

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL**



**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**

**“ANÁLISIS DE UN EDIFICIO DE ESTRUCTURA METÁLICA BAJO
LAS CONSIDERACIONES SISMORRESISTENTES UTILIZANDO
MUROS DE CORTE VS. UN EDIFICIO CON ARRIOSTRAMIENTOS
DE PANDEO RESTRINGIDO. CASO DE ESTUDIO EDIFICIO EL
FARO”**

AUTOR: ALEXANDER FABIÁN LOYA RIVERA

DIRECTOR: OSCAR JARAMILLO DE LEÓN

QUITO, ABRIL 2025

DEDICATORIA

El presente trabajo se la dedico a Dios y a toda mi familia, en especial a mi querida Esposa Maria Eugenia, la cual me alentó durante todos los estudios de la maestría.

ALEXANDER FABIÁN LOYA RIVERA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en especial al Ing. Oscar Jaramillo, quien me asesoró durante todo el desarrollo del presente proyecto de titulación.

Un especial agradecimiento a todos mis compañeros de la maestría, en especial a los Ingenieros Saul Guevara y David Andrade, los cuales compartieron sus experiencias de profesión durante el transcurso de la maestría.

ALEXANDER FABIÁN LOYA RIVERA

RESUMEN

En el Ecuador se construye edificaciones en su gran mayoría de hormigón armado, el presente proyecto tiene por objetivo analizar sistemas estructurales de acero que sean eficientes tanto en comportamiento frente a acciones sísmicas como en costo de construcción, principalmente se analiza un edificio diseñado en estructura metálica que tiene pórticos resistentes a momento con muros estructurales en comparación con un edificio que tiene riostras de pandeo restringido (BRB). Además, se analiza la diferencia con otros sistemas estructurales, beneficios, desventajas. Es importante promover el uso del acero, y diseñar sistemas mixtos acero-hormigón que son sistemas más eficientes.

En función de determinar los beneficios y desventajas; se realizan modelos conformados por los siguientes sistemas estructurales: modelo estructural con pórticos especiales resistentes a momento y muros estructurales; modelo estructural con riostras concéntricas; modelo estructural con riostras de pandeo restringido BRB. Una vez determinado los modelos se analiza: derivas, cortante basal, demanda capacidad de elementos estructurales, peso de las estructuras (ratio), análisis no lineal (Pushover). Finalmente, se realiza la comparación entre modelos estructurales propuestos y se determina el sistema estructural que se desempeña mejor frente a cargas sísmicas.

Uno de los objetivos, es determinar el costo de las riostras de pandeo restringido (BRB), para ello se dimensiona la riostra (camisa metálica, segmento cedente), el dimensionamiento de la riostra se determina según procedimiento de cálculo en función de las fuerzas que van a soportar estos elementos estructurales. Además, se analiza los costos que comprende la fabricación y el montaje de las estructuras metálicas.

Palabras Clave: Muros, Riostras de Pandeo Restringido, Estructuras Metálicas, Derivas, Ratios, Costos, Análisis No Lineal (Pushover).

ABSTRACT

In Ecuador, buildings are mostly built of reinforced concrete. The purpose of this project is to analyze steel structural systems that are efficient both in seismic behavior and in construction costs. Mainly, a building designed with a metal structure that has moment-resistant frames with structural walls is analyzed in comparison with a building that has restrained buckling braces (BRB). In addition, the difference with other structural systems, benefits, and disadvantages are analyzed. It is important to promote the use of steel and design mixed steel-concrete systems that are more efficient systems.

In order to determine the benefits and disadvantages, models are made up of the following structural systems: structural model with special moment-resistant frames and structural walls; structural model with concentric braces; structural model with restrained buckling braces BRB. Once the models are determined, the following are analyzed: drifts, basal shear, demand capacity of structural elements, weight of the structures (ratio), non-linear analysis (Pushover). Finally, a comparison is made between the proposed structural models and the structural system that performs best against seismic loads is determined.

One of the objectives is to determine the cost of the restrained buckling braces (BRB). To do this, the brace is sized (metal casing, yielding segment). The sizing of the brace is determined according to the calculation procedure based on the forces that these structural elements will support. In addition, the costs of manufacturing and assembling the metal structures are analyzed.

Keywords: Walls, Restrained Buckling Braces, Metal Structures, Drifts, Ratios, Costs, Nonlinear Analysis (Pushover).

INDICE GENERAL

Contenido

1.	CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	12
1.1.	INTRODUCCIÓN.....	12
1.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.3.	JUSTIFICACIÓN.....	13
1.4.	OBJETIVOS.....	14
1.4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	14
1.4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.5.	ALCANCE.....	15
2.	CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	16
2.1.	ANTECEDENTES.....	16
2.2.	MARCO TEÓRICO.....	18
2.2.1.	SISTEMA DE ESTABILIDAD LATERAL PARA EDIFICIOS ALTOS 18	
2.2.2.	SISTEMAS ESTRUCTURALES PARA EDIFICIOS ALTOS.....	20
2.2.3.	ARRIOSTRAMIENTOS CON RESTRICCIÓN DE PANDEO (BRB)	32
2.3.	COMBINACIONES DE SISTEMAS ESTRUCTURALES SEGÚN ASCE 7- 22	36
2.3.1.	Combinaciones Horizontales.....	36
2.3.2.	Combinaciones Verticales.....	36
2.4.	COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN DE RESUESTA “R” PARA DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES SEGÚN ASCE 7-22.....	37
2.5.	COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN DE RESUESTA “R” PARA DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES SEGÚN NEC-15.....	38
2.5.1.	PORTICO ESPECIAL SISMORRESISTENTE CON DIAGONALES RIGIDIZADORAS – NEC 15.....	38
2.5.2.	PORTICO ESPECIAL SISMORRESISTENTE CON MUROS ESTRUCTURALES (SISTEMAS DUALES) – NEC 15.....	38
2.6.	TIPOS DE ANÁLISIS PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	39
2.7.	PERÍODO FUNDAMENTAL.....	40
2.8.	CORTANTE BASAL DE DISEÑO – NEC 2015.....	41
3.	CAPÍTULO III: ANALISIS DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	42
3.1.	DATOS.....	42
3.2.	ESPECTRO DE RESPUESTA PARA EL MAXIMO SISMO CONSIDERADO PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS - MANTA FUENTE: IGEPN43	

3.3.	ESPECTRO DE RESPUESTA PARA EL MAXIMO SISMO CONSIDERADO PERIODO DE RETORNO DE 2475 AÑOS - MANTA FUENTE: IGEPN44	
3.4.	CALCULO DEL PERIODO FUNDAMENTAL APROXIMADO.....	45
3.5.	ESPECTRO DE RESPUESTA NEC-2015	48
3.6.	ESPECTRO DE RESPUESTA ASCE 7-16.....	48
3.7.	COMBINACIONES DE CARGA	49
3.8.	INDICADORES DE LA ESTRUCTURA	50
3.9.	VARIABLES DE LA ESTRUCTURA.....	50
3.10.	MODELO COMPUTACIONAL	51
3.11.	PATRONES DE CARGA Y COMBINACIONES.....	56
3.12.	ESPECTRO DE RESPUESTA SEGÚN ASCE 7-10	57
3.13.	ESPECTRO DE RESPUESTA SEGÚN NEC-2015.....	57
3.14.	FUENTE DE MASA & EFECTOS P-DELTA.....	58
4.	CAPÍTULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS	59
4.1.	Edificio con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Muros de Corte	59
4.1.1.	Períodos de Vibración	59
4.1.2.	Tabla de Períodos y Masas Participativas	60
4.1.3.	Revisión del Cortante Basal	60
4.1.4.	Revisión del Derivas de Piso.....	64
4.1.5.	Revisión de Irregularidades	65
4.1.6.	Revisión de Muros Estructurales.....	68
4.2.	Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Pórticos SCBF (Arriostamientos Concéntricos)	71
4.2.1.	Períodos de Vibración	71
4.2.2.	Tabla de Períodos y Masas Participativas	72
4.2.3.	Revisión del Cortante Basal	72
4.2.4.	Revisión del Derivas de Piso.....	76
4.2.5.	Revisión de Irregularidades	77
4.3.	Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Pórticos BRBF (Arriostamientos de Pandeo Restringido).....	81
4.3.1.	Períodos de Vibración	81
4.3.2.	Tabla de Períodos y Masas Participativas	82
4.3.3.	Revisión del Cortante Basal	82
4.3.4.	Revisión del Derivas de Piso.....	86
4.3.5.	Revisión de Irregularidades	87
4.3.6.	Cálculo de Riostras BRB.....	91

4.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES	95
4.4.1.	Variables:	95
4.4.2.	Indicadores:	96
5.	ANÁLISIS NO LINEAL DE LOS MODELOS PROPUESTOS	100
5.1.	Procedimiento	100
5.2.	Cálculo de parámetros para el Análisis No Lineal de Elementos Estructurales según ASCE 41-17	100
5.2.1.	Viga Principal HI 450x200x15x12	100
5.2.2.	Riostra TC 300x18	102
5.2.3.	Riostra TC 250x15	105
5.2.4.	Riostra TC 200x15	105
5.2.5.	Riostra TC 200x12	106
5.2.6.	Riostra de Pandeo Restringido	109
5.2.7.	Muro Estructural	109
5.3.	Resultados Análisis No Lineal según ASCE 41-17	110
5.3.1.	Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Muros de Corte	110
5.3.2.	Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Pórticos SCBF (Arriostramientos Concéntricos)	113
5.3.3.	Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Pórticos BRBF (Arriostramientos de Pandeo Restringido)	115
6.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES, BENEFICIOS Y DESVENTAJAS	117
7.	BIBLIOGRAFÍA	124
8.	ANEXOS	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Lista de diferentes sistemas de estabilidad lateral en edificios altos	19
Figura 2 Estructuras Estabilizadoras	24
Figura 3 Sistemas de Cerchas de Contorno	27
Figura 4 Planta típica del Burj Khalifa.....	28
Figura 5 Planta 42-Edificio Torres Petronas	30
Figura 6 Espectro de Respuesta según NEC-2015 (R=8)	48
Figura 7 Espectro de Respuesta según ASCE 7-16 (R=7)	48
Figura 8 Sección Columna CC_900X600X30	51
Figura 9 Sección Columna CC_900X600X18	52
Figura 10 Sección Columna CC_900X600X15	52
Figura 11 Sección Viga VP 450X200X15X12	53
Figura 12 Sección Viga VP 300X150X8X15	53
Figura 13 Sección Viga W 12X14.....	54
Figura 14 Sección Viga Variable VP 600-450	54
Figura 15 DECK METALICO, Hormigón e = 12 cm.....	55
Figura 16 Modelo Estructural Edificio EL FARO	55
Figura 17 Patrones de Carga.....	56
Figura 18 Casos de Carga.....	56
Figura 19 Combinaciones de Carga.....	56
Figura 20 Espectro de Respuesta según ASCE 7-10.....	57
Figura 21 Espectro de Respuesta NEC-2015	57
Figura 22 Fuente de Masa & Efectos P-Delta	58
Figura 23 End Length Offsets	58
Figura 24 Muro Estructural – Section Designer.....	68
Figura 25 Diagrama Interacción 3D	69
Figura 26 Diagrama Interacción Momento 2-2 [tonf-m].....	69
Figura 27 Diagrama Interacción Momento 3-3 [tonf-m].....	70
Figura 28 Definición del BRB en ETABS	94
Figura 29 Cortante Basal Ex_D.....	96
Figura 30 Cortante Basal Ey_D.....	96
Figura 31 Derivas Ex_D	97
Figura 32 Derivas Ey_D	97
Figura 33 Parámetros para análisis no lineal (HI 450X200X15X12)	102
Figura 34 Parámetros para análisis no lineal (Riostra TC 300x18).....	107
Figura 35 Parámetros para análisis no lineal (Riostra TC 250x15).....	107
Figura 36 Parámetros para análisis no lineal (Riostra TC 200x15).....	108
Figura 37 Parámetros para análisis no lineal (Riostra TC 200x12).....	108
Figura 38 Parámetros para análisis no lineal (Riostra BRB TC 200x12).....	109
Figura 39 Parámetros para análisis no lineal (Muro Estructural).....	109
Figura 40 Formación de Rotulas Plásticas NL_Push_X	110
Figura 41 Formación de Rotulas Plásticas NL_Push_Y	110
Figura 42 Curva de Capacidad NL_Push_X_Sismo 2475 años (Disp. Max: 0.77 [m])	111

Figura 43 Curva de Capacidad NL_Push_Y_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.70 [m])	111
.....	111
Figura 44 Esfuerzos en el Muro NL_Push_X_Sismo 2475 años	112
Figura 45 Esfuerzos en el Muro NL_Push_Y_Sismo 2475 años	112
Figura 46 Desplazamientos NL_Push_X_Sismo 2475 años	113
Figura 47 Desplazamientos NL_Push_Y_Sismo 2475 años	113
Figura 48 Curva de Capacidad NL_Push_X_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.78 [m])	114
.....	114
Figura 49 Curva de Capacidad NL_Push_Y_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.64 [m])	114
.....	114
Figura 50 Desplazamientos NL_Push_X_Sismo 2475 años	115
Figura 51 Desplazamientos NL_Push_Y_Sismo 2475 años	115
Figura 52 Curva de Capacidad NL_Push_X_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.97 [m])	116
.....	116
Figura 53 Curva de Capacidad NL_Push_Y_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.72 [m])	116
.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coeficiente de Modificación de Respuesta según ASCE 7-22	37
Tabla 2 Coeficiente de Modificación de Respuesta según NEC-2015.....	38
Tabla 3 Tipos de Análisis para Sistemas Estructurales	39
Tabla 4 Valores de los Parámetros del Período Aproximado según ASCE 7-22.....	40
Tabla 5 Valores de los Parámetros del Período Aproximado según NEC 2015	40
Tabla 6 Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas	42
Tabla 7 Combinaciones de Carga.....	50
Tabla 8 Masa participativa mayor al 90%	60
Tabla 9 Cortante Basal Estático (S_x).....	61
Tabla 10 Cortante Basal Estático (S_y).....	61
Tabla 11 Cortante Basal Dinámico (E_{x_D}).....	62
Tabla 12 Cortante Basal Dinámico (E_{y_D}).....	63
Tabla 13 Cortante Basal Estático vs Dinámico	63
Tabla 14 Derivas de Piso (E_{x_D})	64
Tabla 15 Derivas de Piso (E_{y_D})	65
Tabla 16 Irregularidad Horizontal Torsional (E_{x_D}).....	66
Tabla 17 Irregularidad Horizontal Torsional (E_{y_D}).....	67
Tabla 18 Masa participativa mayor al 90%	72
Tabla 19 Cortante Basal Estático (S_x).....	73
Tabla 20 Cortante Basal Estático (S_y).....	73
Tabla 21 Cortante Basal Dinámico (E_{x_D}).....	74
Tabla 22 Cortante Basal Dinámico (E_{y_D}).....	75
Tabla 23 Cortante Basal Estático vs Dinámico	75
Tabla 24 Derivas de Piso (E_{x_D})	76
Tabla 25 Derivas de Piso (E_{y_D})	77
Tabla 26 Irregularidad Horizontal Torsional (E_{x_D}).....	78
Tabla 27 Irregularidad Horizontal Torsional (E_{y_D}).....	80
Tabla 28 Masa participativa mayor al 90%	82
Tabla 29 Cortante Basal Estático (S_x).....	83
Tabla 30 Cortante Basal Estático (S_y).....	83
Tabla 31 Cortante Basal Dinámico (E_{x_D}).....	84
Tabla 32 Cortante Basal Dinámico (E_{y_D}).....	85
Tabla 33 Cortante Basal Estático vs Dinámico	85
Tabla 34 Derivas de Piso (E_{x_D})	86
Tabla 35 Derivas de Piso (E_{y_D})	87
Tabla 36 Irregularidad Horizontal Torsional (E_{x_D}).....	88
Tabla 37 Irregularidad Horizontal Torsional (E_{y_D}).....	90

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Para el caso del edificio, se realizan algunos modelos matemáticos con varios sistemas estructurales. Durante el desarrollo del presente proyecto se analiza el comportamiento de los sistemas estructurales propuestos ante eventos sísmicos, cabe mencionar que estas alternativas de sistemas estructurales se describen de acuerdo a las últimas tendencias de construcción de edificios altos. Otro tema importante es determinar los costos de fabricación y montaje. Las edificaciones construidas con estructura metálica optimizan tiempos de construcción, por tanto, uno de los objetivos es promover el uso del acero estructural.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Diseñar edificios altos con estructura metálica utilizando sistemas estructurales de acuerdo a las últimas tendencias de construcción es uno de los desafíos de los ingenieros estructurales. Dentro del planteamiento del problema surgen algunas incógnitas como, por ejemplo: ¿Se deben usar sistemas estructurales duales?; ¿Es eficiente un edificio con muros estructurales y pórticos especiales a momento?; ¿Es eficiente un edificio solo con riostras, concéntricas, excéntricas, de pandeo restringido?; ¿Se pueden combinar varios sistemas estructurales?; en función de lo mencionado, surge la mayor de las incógnitas a resolver ¿Cuál es el sistema estructural que mejor disipa energía frente a eventos sísmicos?. Para lo cual se establecen algunos modelos matemáticos con diferentes sistemas estructurales, a continuación, se mencionan los siguientes:

- Modelo estructural conformado por pórticos SMF y Muros de Corte.
- Modelo estructural conformado por pórticos SMF y pórticos SCBF (Arriostamientos Concéntricos)
- Modelo estructural conformado por pórticos SMF y pórticos BRBF (Arriostamientos de Pandeo Restringido).

- Modelo estructural conformado por pórticos SMF, Muros de Corte y pórticos SCBF (Arriostramientos Concéntricos).
- Modelo estructural conformado por pórticos SMF, Muros de Corte y pórticos BRBF (Arriostramientos de Pandeo Restringido).

Una vez finalizado el análisis estructural de cada uno de los sistemas propuestos se debe determinar lo siguiente:

- Beneficios & Desventajas de los Sistemas Estructurales
- Peso de la Estructura (Ratio) [Kg/m²]
- Cortante Basal
- Derivas
- Costo de Fabricación de Estructura Metálica
- Costo de Montaje de Estructura Metálica
- Comportamiento Estructural, es decir, tipo de daño que puede sufrir el Edificio Metálico frente acciones sísmicas y su funcionalidad.
- Análisis en los sistemas estructurales propuestos, cuál de los sistemas puede disipar la mayor cantidad de energía producida por los eventos sísmicos.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador se construye edificaciones en su gran mayoría de hormigón armado, uno de los objetivos de este proyecto es promover el uso de acero estructural, según describe la normativa ASCE 7, se puede utilizar diferentes sistemas estructurales en acero, sin embargo, mientras se incrementa la altura del edificio los sistemas mixtos en acero y hormigón son los más utilizados, eficientes y se pueden optimizar. Este último concepto aplica para el diseño del edificio (21 plantas). Una vez establecido los modelos matemáticos y los sistemas estructurales, se analiza el comportamiento de las edificaciones en estructura metálica bajo las consideraciones sismorresistentes.

Respecto al tema de costos en construcción, en un mundo cada vez competitivo los clientes buscan que sus edificaciones cumplan normativas y que los costos sean lo más económicamente eficientes, para llegar a un costo competitivo, se necesita que los diseños estructurales tomen las buenas prácticas de construcción, en el tema de fabricación y el montaje de los elementos estructurales deben considerar que sean fabricables, transportables, de fácil montaje con rendimientos expresados en [ton/mes]. Para garantizar la calidad de los elementos estructurales, se requiere de ingeniería de detalle, en la cual se genera planos de taller y de montaje, con esto se garantiza la fabricación exacta de los elementos estructurales, y el montaje obtendrá un buen rendimiento.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento sismorresistente de un edificio de estructura metálica que emplea Muros de Corte y pórticos especiales a momento en comparación con un edificio que emplea arriostramientos de pandeo restringido. Caso de estudio Edificio EL FARO.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Análisis del Edificio Metálico utilizando muros de corte y pórticos especiales resistentes a momento, adicional se podría analizar con riostras concéntricas.
- Análisis del Edificio Metálico utilizando arriostramientos concéntricos o de pandeo restringido (BRB).
- Realizar la comparación entre sistemas estructurales propuestos, establecer beneficios, desventajas, derivas, cortante basal, costos, análisis no lineal (Pushover).

1.5. ALCANCE

El alcance del proyecto se menciona a continuación:

- Análisis Estructural de la Edificación que emplea Muros de Corte con pórticos especiales a momento (se podría complementar con riostras concéntricas).
- Análisis Estructural de la Edificación con Riostras de Pandeo Restringido BRB.
- Verificar los posibles sistemas estructurales que se pueden utilizar en el análisis.

2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

En el Ecuador se construye en su gran mayoría edificaciones de hormigón armado, razón por la cual el presente proyecto de titulación pretende promover el uso del acero en la construcción de edificaciones nuevas. Existen varios sistemas estructurales que se pueden utilizar en la construcción de edificaciones de gran altura, estos sistemas se describen en las siguientes secciones del presente proyecto. La construcción en acero respecto a la construcción en hormigón armado tiene varias ventajas que se mencionan a continuación: menor tiempo en fabricación y montaje, el proceso es más limpio respecto al hormigón, optimización de mano de obra, mayor rentabilidad. En los edificios modernos de gran altura se emplean diversos sistemas estructurales (por ejemplo, sistemas estructurales mixtos de acero & hormigón) que permiten obtener un buen desempeño frente a cargas externas (sismo, viento), para el presente proyecto de investigación se va a considerar los efectos del sismo y la combinación de varios sistemas estructurales.

El diseño estructural tiene por objetivo determinar las secciones mínimas de los elementos estructurales los cuales se deben adaptar según los materiales que se encuentren en el mercado y según los procesos de fabricación que tienen las metalmecánicas. La idea con este proceso es siempre promover que los diseños sean fabricables, de fácil montaje y transportables. La ingeniería de detalle de estructuras metálicas a través de los planos de taller y montaje tiene por objetivo, evitar errores en la fabricación y montaje de los elementos estructurales. La finalidad de todo este proceso es optimizar tiempos en montaje (elementos estructurales de fácil montaje), evitar la paralización de las actividades diarias y que no existan reprocesos durante la construcción.

El control de calidad en la construcción de estructuras metálicas tiene por objetivo garantizar la fabricación y montaje de los elementos estructurales, a través de procedimientos e instructivos en los cuales se mencionan todas las prácticas recomendadas recopilados en base a experiencias pasadas y los

requisitos de las normativas nacionales e internacionales. Es importante durante todo este proceso de control de calidad la capacitación del personal operativo y administrativo, esto permitirá que existan menos reprocesos durante las fases de fabricación y montaje de las estructuras metálicas.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. SISTEMA DE ESTABILIDAD LATERAL PARA EDIFICIOS ALTOS

El desarrollo de un sistema estructural para edificios altos se puede dividir en ciertas etapas históricas. Se desarrollan desde el marco rígido, el sistema de arriostramiento, el sistema de muro de corte hasta las estructuras de tubo, núcleo-soporte y rejilla diagonal.

El sistema de marco resistente a momentos (MRF) (también llamado marco rígido) es un sistema en el que las vigas y las columnas están conectadas rígidamente para proporcionar resistencia lateral. Los arriostramientos y los muros de corte (principalmente los muros de núcleo) se utilizan ampliamente como sistema de resistencia lateral en edificios altos, y también se utilizan ampliamente en diferentes tipos de edificios de poca altura. En el caso de los edificios altos, no es suficiente confiar únicamente en el sistema de muro de núcleo para resistir la carga lateral, lo que dará como resultado un espesor de pared muy grueso. Por lo tanto, es bastante común que se utilicen elementos horizontales firmes (como los estabilizadores) para conectar el núcleo principal a las columnas exteriores. Las estructuras estabilizadoras se han utilizado ampliamente en edificios altos; los ejemplos de proyectos famosos son Shard en Londres (310 m de altura) y Shanghai Tower (632 m de altura).

Las estructuras tubulares son uno de los principales sistemas de resistencia lateral en edificios altos. Un edificio está diseñado para actuar como un cilindro hueco, en voladizo perpendicular al suelo para resistir cargas laterales. Existen diferentes tipos de estructuras tubulares, como tubos enmarcados, tubos arriostrados, tubos dentro de tubos y haces de tubos. Los ejemplos famosos de estructuras tubulares son el Centro John Hancock (344 m de altura) y la Torre Willis (442 m de altura).

El sistema Diagrid es otro sistema de estabilidad lateral. Con su eficiencia estructural como una versión adaptada de los sistemas de arriostramiento, las

estructuras Diagrid han surgido como una nueva tendencia estética para edificios altos en esta era.

La geometría triangular de las estructuras Diagrid puede prevenir eficazmente el fallo estructural como resultado de cargas horizontales y verticales resultantes de las cargas laterales impuestas externamente y la carga de gravedad. Los ejemplos famosos son Gherkin en Londres y la Torre CCTV en Pekín.

Las estructuras de supermarco (o megamarco) utilizan megacolumnas y megavigas para trabajar juntas como los principales sistemas estructurales de resistencia lateral. El famoso ejemplo es la Torre Shanghai en Shanghai y la sede central de HSBC en Hong Kong.

Ali et al. resumieron los diferentes sistemas estructurales para edificios altos, su disposición estructural típica y límite de altura eficiente, que se muestra en la Figura 1. Sin embargo, en la práctica de diseño actual, pocos edificios altos utilizan solo un único sistema estructural. Por ejemplo, el sistema estructural de la Torre Shanghai es una combinación de megamarco, sistema de muro central y estabilizadores. Algunas combinaciones convencionales como núcleo arriostrado, núcleo y tubo perimetral, núcleo arriostrado y estabilizadores, núcleo arriostrado y estabilizadores con armadura anular, etc. se pueden encontrar en los proyectos de diseño actuales.

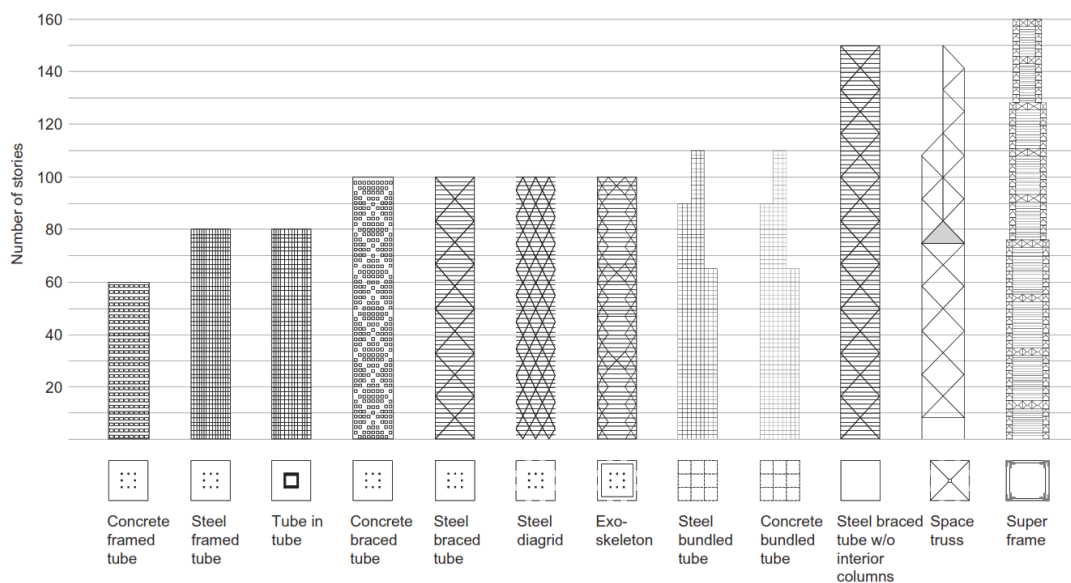


Figura 1 Lista de diferentes sistemas de estabilidad lateral en edificios altos

2.2.2. SISTEMAS ESTRUCTURALES PARA EDIFICIOS ALTOS

2.2.2.1. Muros de Corte y Sistema de Núcleo

Los muros de corte se utilizan ampliamente tanto en edificios altos como en edificios de poca altura. Son elementos estructurales importantes que se utilizan en el sistema de resistencia lateral. Funcionan como una viga voladiza vertical profunda apoyada en el suelo. También soportan cargas verticales junto con columnas. Algunas estructuras pueden requerir muros de corte acoplados, donde las vigas y el sistema de piso unen los dos o más muros como un sistema acoplado para brindar más rigidez.

En los edificios altos, los muros de corte generalmente se ubican en el centro del edificio, normalmente en forma de sistema de muro central para acomodar el sistema de traslación vertical, como los ascensores para el edificio alto. Es una forma muy común de sistema de soporte de carga lateral en edificios altos.

2.2.2.1.1. Tipos de núcleos

Existen dos tipos principales de núcleos: núcleos de hormigón y núcleos con estructura de acero. Los muros de hormigón se utilizan ampliamente en el diseño de edificios altos; en ciertas ocasiones, se pueden encontrar núcleos de acero en edificios construidos antes del 11 de septiembre, ya que al ser mucho más livianos pueden ahorrar el costo de la cimentación. Sin embargo, se abandonaron gradualmente después del ataque del 11 de septiembre.

2.2.2.1.1.1. Núcleo de hormigón

Los núcleos de hormigón armado son una opción más estándar para los edificios altos en general, como se puede ver en la historia, la estructura de hormigón es dominante en el mercado porque proporciona más rigidez que los núcleos de acero, y es relativamente más barato utilizar un núcleo de hormigón. En ciertos países como China, la producción de acero no era suficiente en el pasado; por

lo tanto, la mayoría de los edificios altos se construían en hormigón. Además, algunos códigos requieren que el núcleo del edificio se construya con hormigón armado en caso de incendio y para seguridad de emergencia. Al diseñar un núcleo de hormigón, hay varias cuestiones que deben tenerse en cuenta:

- Constructibilidad y secuencia de construcción: La secuencia de construcción para edificios con un núcleo de hormigón hará que el moldeo del núcleo se realice antes que la estructura de acero. Por lo tanto, los huecos del núcleo y del ascensor pueden permitir el uso de una grúa trepadora en lugar de tener que utilizar grúas torre independientes.
- También es bastante común instalar el acero incrustado, como una placa de acero, en el núcleo para reforzarlo aún más.
- Debido al efecto de acortamiento, puede producirse un movimiento diferencial, especialmente en el sistema estructural del edificio, que es una combinación de acero y hormigón; es necesario tener en cuenta la tendencia del hormigón a deslizarse o encogerse con el tiempo y la expansión térmica del acero.

2.2.2.1.1.2. Núcleos con estructura de acero

Los núcleos de acero eran bastante comunes en el diseño de edificios altos antes del ataque del 11 de septiembre. La mayoría de los edificios altos de los Estados Unidos en ese momento usaban predominantemente acero estructural para los núcleos. Las torres gemelas del World Trade Center son uno de los ejemplos. Usaron el núcleo de acero en el centro del edificio.

La razón principal para usar núcleo de acero es que proporciona una solución de estructura liviana. El peso total de la estructura es bastante importante para el diseño de edificios altos, ya que afectará directamente el diseño de la base. Por lo tanto, una solución liviana hará posible un diseño de base rentable. Sin embargo, la investigación de NIST NCSTAR "Informe final del Equipo Nacional de Seguridad en la Construcción sobre los derrumbes de las torres del World

Trade Center”, muestra que el fuego fue la principal causa del derrumbe del World Trade Center, ya que la mayoría de sus elementos estructurales eran de acero. Por lo tanto, en los edificios superaltos diseñados después del 11 de septiembre, rara vez se utiliza un núcleo de acero.

Al diseñar los núcleos con estructura de acero, es necesario comprobar las cargas laterales, la protección contra incendios, la viabilidad de la construcción y la secuencia de montaje. Entre ellos, el problema más importante es la protección contra incendios, debido a las lecciones aprendidas de la torre gemela. Se pueden considerar diferentes estrategias de protección contra incendios, como pintura intumescente, paneles, aerosoles, etc.

2.2.2.1.1.3. La importancia del diseño del núcleo

El sistema estructural de las Torres Gemelas es el llamado sistema de tubos enmarcados. Se utilizó un núcleo interno de acero para las Torres Gemelas, los pisos estaban hechos del sistema de piso de armadura de acero compuesto, bajo el fuego, la armadura comenzó a doblarse, lo que tiró hacia adentro de las columnas del perímetro: "Esto provocó la curvatura hacia adentro de las columnas del perímetro y la falla de la cara sur del WTC 1 y la cara este del WTC 2, lo que inició el colapso de cada una de las torres".

Como resultado del ataque del 11 de septiembre, cada vez más ingenieros de diseño comenzaron a centrarse en cómo diseñar un edificio alto para poder resistir un ataque similar. Por lo tanto, un núcleo de hormigón se convirtió en una de las principales opciones a considerar. Como se mencionó, el núcleo también es parte de la ruta de evacuación cuando ocurren peligros, por lo tanto, el núcleo de hormigón también sería una buena opción.

2.2.2.2. Sistema de Núcleo de Soportes, Cerchas de Contorno y Contra Fuertes

El núcleo es un componente muy importante, que los ingenieros estructurales han utilizado ampliamente para estabilizar los edificios altos. Sin embargo,

cuando la altura de los edificios altos aumenta, será muy poco económico confiar únicamente en el sistema de muros de apoyo para resistir la carga lateral, ya que esto dará como resultado muros de apoyo masivos o mucho más gruesos. Una de las medidas para complementar el sistema de muros de apoyo es utilizar elementos horizontales rígidos (como soportes, cerchas de contorno, muros de contrafuerte) para conectar el núcleo principal a las columnas exteriores.

La eficiencia de la estructura del edificio se puede mejorar en un 30 % aproximadamente mediante el uso de cerchas de cinta horizontales que unen el marco al núcleo.

2.2.2.2.1. Estructuras Estabilizadoras (Soporte)

Los soportes son uno de los sistemas más utilizados para plantas relativamente regulares. Se construyen utilizando cerchas de acero, vigas, muros de hormigón o vigas de gran altura para conectar el núcleo y las columnas en el perímetro. Las cerchas de soporte normalmente tienen una altura de un piso, algunas incluso ocupan varios pisos. Los núcleos normalmente se ubican en el centro del edificio, mientras que los soportes se extienden hacia las columnas exteriores, como se muestra en la Figura 2.

Por lo tanto, los estabilizadores y las columnas exteriores trabajan juntos como una restricción adicional al muro central. Bajo carga lateral, las cerchas de correa actúan como brazos de palanca que transfieren directamente las tensiones axiales a las columnas perimetrales. La flexión, la tensión axial y la compresión de las columnas exteriores conectadas a los estabilizadores ayudan a resistir los momentos externos de la estructura. Esta resistencia mejora la rigidez general del núcleo, ayuda a reducir las deflexiones laterales y los momentos de vuelco. Las columnas de los estabilizadores trabajan juntas, en particular, ayudando a restringir la rotación del núcleo.

En general, la principal ventaja de usar los estabilizadores es resistir la rotación del núcleo y reducir significativamente la deflexión lateral y el momento de vuelco.

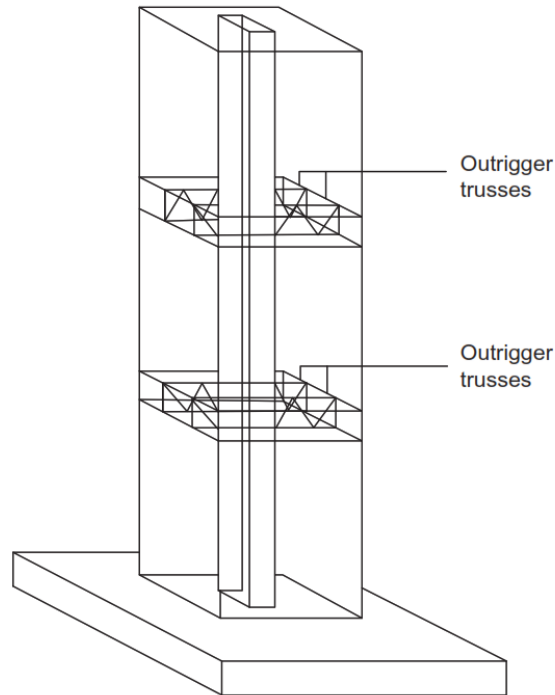


Figura 2 Estructuras Estabilizadoras

2.2.2.2.1.1. Tipos de Estabilizadores

Existen varios tipos diferentes de sistemas de estabilizadores, como estabilizadores de acero, estabilizadores de hormigón y estabilizadores híbridos (que utilizan tanto hormigón como acero). Entre ellos, los estabilizadores de acero son los más convencionales.

(a) Estabilizadores de Acero

Los sistemas de estabilizadores de acero se utilizan ampliamente en muchos edificios altos, ya que la mayoría de los edificios altos son de acero o de sistemas estructurales compuestos. En el diseño convencional, el estabilizador está diseñado para ser una armadura de altura de piso.

(b) Estabilizadores de Hormigón

La ventaja del sistema de estabilizadores de hormigón frente al acero es la alta rigidez y el bajo coste. En casos de carga de viento, el sistema de estabilizadores

debe ser de vigas profundas de hormigón rígido o de pared de hormigón, lo que se puede lograr fácilmente de esta manera.

(c) Estabilizadores Híbridos

El estabilizador de acero no es tan rígido como el de hormigón. Sin embargo, un sistema de estabilizadores de hormigón puro es muy frágil. Tanto la armadura de acero como la pared de soporte de hormigón funcionan de manera compuesta para mejorar el rendimiento estructural general de las estructuras bajo cargas extremas.

(d) Estabilizador Amortiguado

En caso de un terremoto severo, el sistema estructural general debe ser capaz de disipar energía y mantener su robustez contra el colapso. Se pueden instalar amortiguadores viscosos adicionales en el estabilizador para una respuesta no lineal y ajustarlos para cumplir con los objetivos de rendimiento de múltiples niveles. En caso de que los amortiguadores fallen, los estabilizadores que están diseñados para ceder de manera dúctil permanecerán intactos. Por lo tanto, pueden reducir la vibración inducida por el viento y también se pueden usar como fusible para proteger el edificio en condiciones de terremoto severo.

Se puede ver que el estabilizador funciona como un dispositivo de disipación de energía, por lo tanto, resiste eficazmente las cargas sísmicas y, por lo tanto, el costo del material. Aunque existen algunos costos adicionales para los amortiguadores, las pruebas y la instalación de este sistema, el ahorro de material compensará estos costos. Sin embargo, la desventaja es que la rigidez del sistema de estabilizadores se reduce mucho debido al amortiguador.

2.2.2.2.1.2. Desventajas de los Estabilizadores

- Como la mayoría de los estabilizadores ocupan al menos la altura de un piso completo, limitan el uso de los pisos en los que se ubican. Aunque normalmente se colocan en pisos de equipos mecánicos, la presencia de

miembros de armadura de estabilizadores puede ser un problema importante, ya que también restringirán los lugares para colocar el equipo. Además, debido a las restricciones del arquitecto, es posible que no haya lugar para colocar columnas y diagonales de estabilizadores grandes.

- Aunque los estabilizadores pueden reducir el momento de vuelco del núcleo, no pueden reducir las fuerzas de corte horizontales del piso sobre el núcleo. De hecho, la fuerza de corte en el núcleo puede aumentar (y cambiar de dirección) en los pisos de los estabilizadores debido a la fuerza horizontal acoplada dentro del estabilizador que actúa sobre él.
- Las conexiones entre las armaduras de los estabilizadores y el núcleo normalmente son muy complicadas, especialmente cuando se utiliza un núcleo de hormigón. Como la conexión debe soportar una enorme fuerza de corte y una fuerza axial, ambas provienen del núcleo.
- El efecto del acortamiento es una consideración de diseño importante. Durante la etapa de construcción, el núcleo y las columnas de los estabilizadores no se acortarán de manera uniforme bajo la carga de la gravedad. Las cerchas de los estabilizadores, que deben ser muy rígidas para ser efectivas como estabilizadores, pueden verse sometidas a una gran tensión al intentar restringir el acortamiento diferencial entre el núcleo y las columnas de los estabilizadores. En la práctica, los ingenieros pueden retrasar la finalización de ciertas conexiones de cerchas hasta que se haya completado la parte superior del edificio, lo que puede aliviar los problemas causados por el acortamiento diferencial.

2.2.2.3. Sistema de Cerchas de Contorno y Cerchas de Anillo

El sistema de cerchas de contorno es otro sistema estructural eficaz para controlar la deriva excesiva debido a la carga lateral. Según se observa en la Figura 3, las cerchas de contorno conectan todas las columnas perimetrales del edificio mediante cerchas (o paredes en ciertas ocasiones).

Las cerchas de contorno pueden mejorar la eficiencia del sistema lateral. A diferencia de los estabilizadores, las cerchas de contorno se ubican en el perímetro del piso; por lo tanto, si no se utilizan estabilizadores, transferirán

fuerzas y momentos a través del diafragma del piso desde las columnas externas hasta el núcleo. En consecuencia, al diseñar este tipo de estructura, el diafragma del piso debe ser lo suficientemente rígido para permitir la transferencia de fuerzas. Como las losas del piso estarán sujetas a un gran esfuerzo cortante en el plano, deben reforzarse adecuadamente. En muchas aplicaciones, se utilizan losas más gruesas.

Las cerchas de contorno pueden evitar la mayoría de los problemas asociados con los estabilizadores convencionales, como:

- Se elimina la dificultad de conexión entre el estabilizador y el núcleo,
- Se libera el espacio interior del edificio, y
- No es necesario considerar el acortamiento diferencial del núcleo y la columna exterior. Si las cerchas de contorno funcionan con estabilizadores, el sistema de contorno puede dirigir más carga de gravedad a las columnas y, para minimizar la elevación neta, se requiere refuerzo o empalmes de columnas para resistir la tensión y la reducción de la rigidez asociada con el hormigón en tensión neta. En general, las cerchas de contorno pueden mejorar aún más la rigidez general.

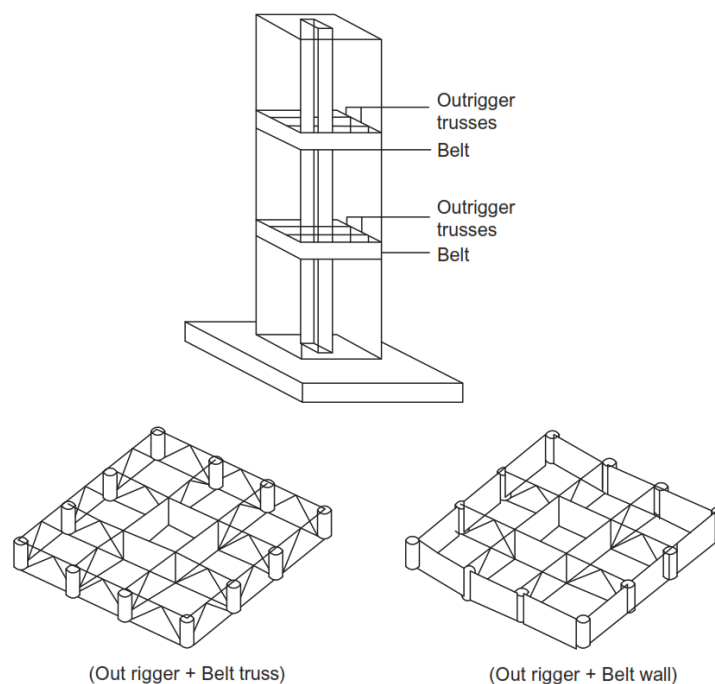


Figura 3 Sistemas de Cerchas de Contorno

2.2.2.4. Sistema de Núcleo Reforzado

El sistema de estabilidad estructural de núcleo reforzado se desarrolló basándose en el concepto de sistema estructural reforzado. Fue desarrollado por primera vez por Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM) para el proyecto Burj Khalifa. El sistema es una estructura en forma de trípode en la que un núcleo central fuerte está conectado a tres alas del edificio. Es un sistema inherentemente estable (Ver Figura 4).

Esto se debe a que cada ala está reforzada por las otras dos. El núcleo central proporciona la resistencia torsional para el edificio, mientras que las alas proporcionan la resistencia al corte y un mayor momento de inercia.

El sistema de núcleo reforzado supuso un avance importante en el diseño de estabilidad de los edificios superaltos al aumentar drásticamente la altura de los edificios altos hasta un récord mundial de 828 m sin utilizar ningún material especial, aunque todavía se utilizan técnicas de construcción convencionales.

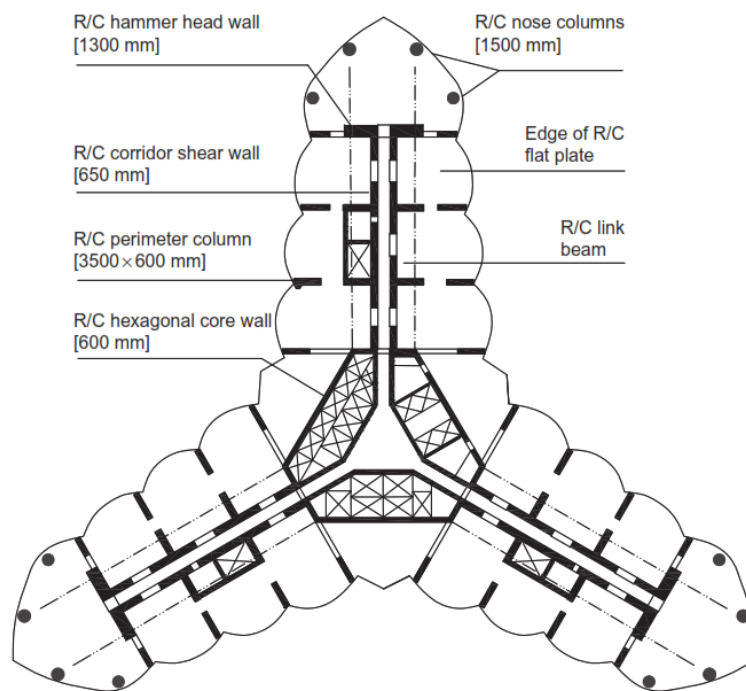


Figura 4 Planta típica del Burj Khalifa

2.2.2.5. Sistema de Tubos en Edificios Altos

2.2.2.5.1. Introducción a las Estructuras Tipo Tubo

El sistema de tubos es uno de los sistemas de estabilidad lateral más comunes. Está diseñado para actuar como un cilindro hueco en voladizo vertical. Esto permite crear una “cáscara” rígida indefinida alrededor del exterior del edificio. Este sistema fue introducido por Fazlur Rahman Khan de la firma Skidmore, Owings & Merrill (SOM) en la década de 1970. Fue un sistema de estabilidad lateral innovador para diseñar un edificio más alto y eficiente en ese momento. Tiene una diferencia dramática en comparación con el sistema estructural tradicional para edificios de varios pisos, como el sistema de marco de portal, el muro central reforzado por estabilizadores, etc.

Para este tipo particular de sistema, el armazón exterior debe diseñarse lo suficientemente resistente (normalmente en términos de conexiones rígidas de vigas a columnas). El perímetro del exterior consta de columnas muy espaciadas que están unidas entre sí con vigas de acople profundas a través de conexiones de momento para resistir todas las cargas laterales. La distancia entre el exterior y los armazones centrales se cubre con vigas o cerchas. Esto puede maximizar la eficacia del tubo perimetral al transferirle algunas de las cargas de gravedad dentro de la estructura y aumenta su capacidad para resistir el vuelco debido a las cargas laterales.

Las estructuras de tubos se clasifican en varios tipos diferentes: tubo dentro de tubo, tubos enmarcados, tubos arriostrados, haz de tubos, sistema de tubos híbridos, etc.

2.2.2.5.2. Sistema Tubo Dentro de Tubo

Este sistema estructural es un sistema estructural acoplado por un tubo externo alrededor del exterior y un núcleo interior (puede ser una pared de núcleo de hormigón o un tubo con estructura de acero) que se denomina estructura de tubo en tubo. El núcleo interior arriostrado y el tubo exterior normalmente están

conectados a través del diafragma del piso; en ciertas ocasiones, están conectados a través de estabilizadores. Trabajan juntos para resistir cargas laterales como el terremoto y el viento. También son parte del sistema de resistencia a la gravedad. La mayoría de las cargas laterales normalmente las soporta el tubo exterior porque el tubo externo tiene una importancia estructural mucho mayor en comparación con el núcleo interno debido a la profundidad estructural. En la Figura 5, se muestra una típica estructura tubo en tubo.

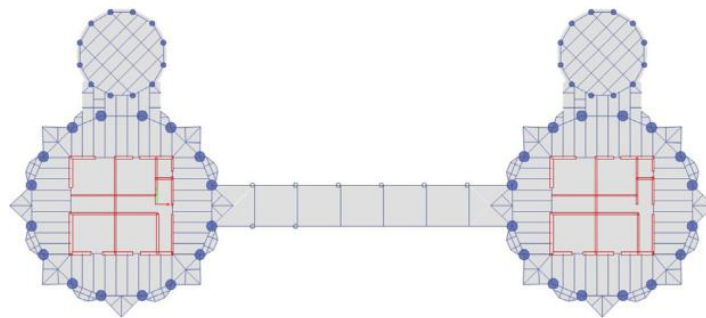


Figura 5 Planta 42-Edificio Torres Petronas

En el sistema de tubo dentro de tubo, el tubo interior y el tubo exterior son un par de tubos blandos, en particular el tubo exterior no es tan rígido. En la estructura de pórticos tubo, el tubo exterior es más rígido, ya que está compuesto por columnas espaciadas juntas conectadas por las vigas de acople que forman un tubo exterior muy rígido. Sin embargo, con el rápido desarrollo de la tecnología de construcción moderna, muchos edificios altos utilizan un sistema híbrido de estabilidad lateral, por lo que no es tan importante distinguir estas dos terminologías.

2.2.2.5.3. Sistema Marco de Tubo

El sistema de tubos pórticos es uno de los sistemas de tubos más utilizados. En comparación con el sistema de tubo dentro de tubo, este tipo de sistema presenta un tubo exterior mucho más rígido. El tubo rígido se logra mediante columnas espaciadas de manera estrecha, conectadas por vigas de acople profundas que se unen firmemente entre sí para formar la carcasa exterior rígida. Dependiendo de la estructura, el espaciamiento de las columnas es bastante

estrecho, generalmente de 1,5 a 4,5 m. La profundidad de las vigas de acople puede variar de 0,5 a 1,2 m.

Las Torres Gemelas de Nueva York fueron una de las primeras estructuras en utilizar un diseño de tubos enmarcados. Como se muestra en la Fig. 5, que es el piso típico del One World Trade Center (WTC1), se pueden ver numerosas columnas con secciones tubulares alrededor del exterior de este diseño en planta.

También se puede ver que las torres tenían un núcleo de acero en el centro que tenía 47 columnas espaciadas de manera relativamente uniforme. La desventaja de este tipo de estructura es su elevado costo. Para garantizar la rigidez de la conexión en el tubo exterior, se necesita un alto nivel de mano de obra para la soldadura y se requieren uniones atornilladas de alta resistencia.

El montaje y la fabricación también son más caros en términos de horas de trabajo.

2.2.2.5.4. Estructura de Tubos Arriostrados

El tubo arriostrado (también conocido como cerchas de tubo) es similar a la estructura de tubo dentro de tubo, pero con comparativamente menos columnas exteriores. En la mayoría de los casos, se utilizan arriostramientos de acero para compensar la menor cantidad de columnas uniéndolas entre sí. Con esta disposición, el costo total del edificio se reduce drásticamente.

La ventaja del tubo arriostrado es que el arriostramiento diagonal puede soportar la carga lateral en acción axial, reduciendo así el retraso de corte. Sin embargo, también existen algunas desventajas, los arriostramientos bloquean algunas ventanas.

Además, los tubos arriostrados solo se utilizan para estructuras con menos de 60 pisos, debido al hecho de que la cubierta externa no es tan rígida como el pórtico tubo.

2.2.2.5.5. Haz de Tubos

Cuando la altura del edificio aumenta, un solo tubo no es suficiente para resistir la enorme carga lateral que se produce por un terremoto o por el viento. Los tubos en haz son un sistema estructural que consta de varios tubos unidos entre sí para resistir las fuerzas laterales. Estos edificios tienen columnas interiores a lo largo de los perímetros de los tubos cuando caen dentro de la envoltura del edificio.

2.2.2.5.6. Sistemas Híbridos de Tubos

Con el rápido desarrollo en el diseño de edificios altos, la mayoría de los edificios altos constan de más de un tipo de sistemas estructurales. Por lo tanto, estos sistemas de construcción deberían denominarse sistemas híbridos.

Los sistemas híbridos de tubos incluyen estructuras en las que se utiliza el concepto básico de tubo y se complementan con otros sistemas. Este método se utiliza cuando un edificio es muy alto o está sujeto a cargas extremas, como un tifón, y el sistema de tubos por sí solo no puede proporcionar la resistencia o rigidez adecuadas.

2.2.3. ARRIOSTRAMIENTOS CON RESTRICCIÓN DE PANDEO (BRB)

Los BRB fueron desarrollados originalmente en Japón por Wakabayashi et al. (1973). Este sistema también se conoce a veces como riostra no adherida y consiste en un núcleo de acero dentro de un elemento de hormigón (reforzado o no) o dentro de una cubierta de acero (Fig. 4.90). No hay unión entre la placa del núcleo y la parte de restricción, por lo que la fuerza axial en el núcleo no se transmite a la parte de restricción. Esto se logra cuando, dada la suficiente holgura, se puede utilizar un material no atado (Iwata, 2004).

A través del pandeo controlado del núcleo dentro de la cubierta, se logra un comportamiento cuasi simétrico en tensión y compresión, al contrario de un sistema de riostra estándar que tiene un comportamiento histérico asimétrico, ya

que pandea en compresión (Fig. 4.91). Esto se evita en un sistema BRB ya que la restricción lateral continua disminuye fuertemente la longitud de pandeo del núcleo.

Entre todas las ventajas, los BRB tienen una rigidez post-fluencia baja que podría conducir a la concentración de daños y una capacidad de tracción y compresión diferente que podría conducir a problemas en las configuraciones de arriostamiento en V. Además, en el caso de que la resistencia del sistema esté cerca de la fuerza de diseño, esto podría reducir la sobrerresistencia del sistema cuando la demanda de ductilidad aumenta ligeramente. Sin embargo, esto se considera un inconveniente menor (Wijanto, 2012). Además, no es posible inspeccionar el núcleo cuando se utiliza un relleno.

Los BRB se pueden diseñar en diferentes configuraciones geométricas. Kersting et al. (2015) utilizan cinco configuraciones diferentes en su estudio: arriostamiento en V invertido (chevron), arriostamiento en V, arriostamiento diagonal (misma dirección), arriostamiento diagonal (zigzag) y arriostamiento en X de varios pisos (Fig. 4.92). El arriostamiento en X de varios pisos redujo las cargas de desequilibrio axial y vertical en las vigas del marco, así como también distribuyó de manera más eficiente el rendimiento en varios pisos. En cambio, en las configuraciones de arriostamiento en V, las vigas del marco deben diseñarse para la fuerza vertical desequilibrada.

Esta carga desequilibrada será contra la gravedad en el caso del arriostamiento en V invertida. El código permite el arriostamiento diagonal (ASCE, 2017a) y se prefiere una configuración en zigzag, ya que reduce la carga axial desequilibrada en las vigas del marco. Los arriostamientos en diagonal no se utilizan en una configuración de arriostamiento en K, ya que no se aceptan en estructuras sísmicas o en conjunto con configuraciones de arriostamiento en X, AISC 341 (AISC, 2016a). Los arriostamientos en diagonal se pueden utilizar como arriostamiento en ángulo (Kim y Seo, 2003), especialmente en el caso de soluciones de reacondicionamiento (Fig. 4.93; Shin et al., 2012).

El comportamiento de los arriostramientos en diagonal es una función del material y la configuración del componente. Los más críticos son:

- Sección transversal
- Tubo de revestimiento
- Material de relleno
- Agentes despegantes

Hay varias configuraciones de sección transversal disponibles para los BRB. Las formas más comunes son las cruciformes y de placa plana (Fig. 4.94; Xie, 2005), como (A) riostra de placa con tubos de acero rellenos de mortero, (B) riostra de acero de sección en H encerrada por RC, (C) riostra de acero de sección transversal entrecruzada con RC de fibra de acero, (D) riostra de placa de acero rigidizada por dos paneles de hormigón prefabricado conectados con pernos, (E) sección de ala ancha con un tubo de acero restringido, (F) dos tubos de acero circulares, (G) placa restringida por un tubo cuadrado, (H) placa cruciforme restringida por un tubo cuadrado, (I) riostra en forma de H restringida por un tubo cuadrado, (J) placa de acero encerrada por canales y placa atornillados, (K) riostra de doble T revestida por cuatro tubos cuadrados conectados, y (L) BRB de doble T y doble tubo.

El tubo de revestimiento es uno de los principales elementos que afectan la estabilidad de todo el sistema. Takeuchi et al. (2010) estudiaron diferentes contendores de tubos a través de análisis numéricos y experimentales para investigar la influencia del tubo de contención. Se estudió el pandeo local como una función de la relación ancho/diámetro a espesor. Los resultados determinaron que cuando la relación es >65 , es posible el pandeo local, mientras que cuando la relación es <25 , no se encontró evidencia de falla por pandeo local. Además, Ju et al. (2009), al estudiar la influencia del espesor del tubo, encontraron que la fuerza de compresión aumenta significativamente (34%-54% más) para espesores de 4-5 mm, en comparación con uno de 3 mm.

El otro componente crítico del material que afecta el rendimiento del BRB es el material de relleno. Se puede utilizar hormigón armado o mortero. Gheidi et al.

(2009) compararon el comportamiento del hormigón normal, los agregados y el hormigón pobre. Los resultados de las pruebas muestran que el hormigón normal, con una resistencia de 25-30 MPa, proporciona el mejor comportamiento histórico. También se pueden excluir los materiales de relleno, pero Gheidi et al. (2009) afirman que es más seguro utilizar material de relleno.

Para los agentes despegantes, se han utilizado varios materiales en diferentes campañas de investigación. Por ejemplo, Wakabayashi et al. (1973) utilizaron resina epoxi, resina de silicona, cintas de vinilo y un revestimiento compuesto de capas de resina de silicona sobre resina epoxi. Por el contrario, Xie (2005) utiliza pintura de silicona, espuma de estireno, láminas de película de polietileno y láminas de caucho de silicona. Dada la gran cantidad de materiales posibles que se han utilizado, no hay una guía clara disponible sobre el que ofrece el mejor rendimiento.

Además del refuerzo, otros parámetros importantes a tener en cuenta al diseñar BRB son las conexiones y las placas de refuerzo. Kersting et al. (2015) proporcionan algunas recomendaciones sobre el tipo de conexiones disponibles: conexión a la cartela, conexión de la viga a la columna (incluidas las cartelas) y conexión de la columna a la placa base. Wigle y Fahnestock (2010) dan algunas recomendaciones para las cartelas que deben ser lo suficientemente gruesas para evitar grandes tensiones distribuidas y lo suficientemente rígidas para evitar el pandeo fuera del plano debido a la concentración de tensiones. Sugieren tener cartelas compactas ya que las cartelas grandes requieren soldaduras más gruesas y son menos rígidas. AISC 341 (AISC, 2016a) proporciona recomendaciones adicionales que requieren diseñar las cartelas para 1,1 veces la resistencia de la riostra ajustado en compresión ya que no debe desarrollarse ninguna bisagra en la cartela. Para la conexión final, Hussain et al. (2006) afirman que existen tres diseños comunes, desarrollados por dos fabricantes diferentes de BRB (Fig. 4.95 y Tabla 4.4):

1. Nippon Steel: conexión atornillada estándar
2. CoreBrace (incluido Star Seismic): conexión atornillada modificada y conexión con pasador real

En el caso de los sistemas BRB de doble T y doble tubo, se puede utilizar una conexión similar del mismo tipo de riostra (Fig. 4.96; Xie, 2005). En todos los casos, no se aceptan empalmes dentro de los BRB, con el fin de garantizar un comportamiento plástico confiable del núcleo. El uso de BRB requiere pruebas, siguiendo un procedimiento de carga detallado y predefinido, descrito en el código apropiado (por ejemplo, AISC 341 (ASCE, 2016a)).

2.3. COMBINACIONES DE SISTEMAS ESTRUCTURALES SEGÚN ASCE 7-22

2.3.1. Combinaciones Horizontales

Según apartado 12.14.4.2.1, se permite el uso de diferentes sistemas resistentes a fuerzas sísmicas en cada una de las dos direcciones ortogonales principales de la construcción. Cuando se utiliza una combinación de diferentes sistemas estructurales para resistir fuerzas laterales en la misma dirección, el valor de R utilizado para el diseño en esa dirección no debe ser mayor que el menor valor de R para cualquiera de los sistemas utilizados en esa dirección.

2.3.2. Combinaciones Verticales

Según apartado 12.14.4.2.2, se permite el uso de diferentes sistemas resistentes a fuerzas sísmicas en diferentes pisos. El valor de R utilizado en una dirección determinada no debe ser mayor que el valor más bajo de cualquiera de los sistemas utilizados en esa dirección.

2.4. COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN DE RESUESTA “R” PARA DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES SEGÚN ASCE 7-22

Norma: ASCE 7-22; Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras				
Tabla 12.2-1. Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas				
Ítem	Sistema Resistente a Fuerzas Sísmicas	Coeficiente de Modificación de Respuesta, R	Factor de Sobre Resistencia, Ω_0	Factor de Amplificación de Deflexión, Cd
B. SISTEMAS DE PÓRTICO PARA EDIFICIOS (BUILDING FRAME SYSTEMS)				
1	Marcos de Acero con Arriostramiento Excéntrico	8	2	4
2	Marcos Especiales de Acero con Arriostramiento Concéntrico	6	2	5
11	Marcos Compuestos de Acero y Hormigón con Arriostramiento Excéntrico	8	2.5	4
12	Marcos Compuestos Especiales de Acero y Hormigón con Arriostramiento Concéntrico	5	2	4.5
26	Marcos de Acero con Arriostramientos de Pandeo Restringido	8	2.5	5
C. SISTEMA DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTO (MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS)				
1	Marcos Especiales de Acero Resistentes a Momento	8	3	5.5
8	Marcos Especiales de Acero y Hormigón Resistentes a Momento	8	3	5.5
D. SISTEMAS DUALES CON MARCOS DE MOMENTO ESPECIALES CAPACES DE RESISTIR AL MENOS EL 25% DE LAS FUERZAS SÍSMICAS PRESCRITAS				
1	Marcos de Acero con Arriostramiento Excéntrico	8	2.5	4
2	Marcos Especiales de Acero con Arriostramiento Concéntrico	7	2.5	5.5
3	Muros Especiales de Hormigón Armado	7	2.5	5.5
13	Marcos de Acero con Arriostramiento de Pandeo Restringido	8	2.5	5

Tabla 1 Coeficiente de Modificación de Respuesta según ASCE 7-22

2.5. COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN DE RESUESTA “R” PARA DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES SEGÚN NEC-15

SISTEMAS ESTRUCTURALES DUALES - NEC 2015		
Ítem	Sistema Resistente a Fuerzas Sísmicas	Coefficiente de Modificación de Respuesta, R
1	Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
2	Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
3	Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
4	Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7

Tabla 2 Coeficiente de Modificación de Respuesta según NEC-2015

2.5.1. PORTICO ESPECIAL SISMORRESISTENTE CON DIAGONALES RIGIDIZADORAS – NEC 15

Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos especiales sismorresistentes como por diagonales estructurales, concéntricas o no, adecuadamente dispuestas espacialmente, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición el ubicar las diagonales lo más simétricamente posible, hacia la periferia y en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere pórtico con diagonales se requiere que el sistema de diagonales absorba al menos el 75% del cortante basal en cada dirección.

2.5.2. PORTICO ESPECIAL SISMORRESISTENTE CON MUROS ESTRUCTURALES (SISTEMAS DUALES) – NEC 15

Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos especiales sismorresistentes como por muros estructurales adecuadamente dispuestos espacialmente, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende

como una adecuada disposición ubicar los muros estructurales lo más simétricamente posible, hacia la periferia y que mantienen su longitud en planta en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere como un sistema dual se requiere que los muros absorban al menos el 75 % del corte basal en cada dirección.

2.6. TIPOS DE ANÁLISIS PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES

En el presente proyecto se ha considerado los siguientes análisis:

- Estático Lineal, Procedimiento de la Fuerza Lateral Equivalente (ELF)
- Estático/Dinámico Lineal, Análisis de Espectro de Respuesta (RSA) o (Análisis Modal Espectral)
- Estático No Lineal, Método de Análisis Pushover o Procedimientos Estáticos No Lineales (NPSs)

Modelo Estructural	Lineal	No Lineal
Carga Sísmica	E, A, I, L, G = Constante, K = Constante	E ≠ Constante, EI ≠ Constante, K ≠ Constante
Estática	Procedimiento de Fuerza Lateral Equivalente (ELF)	Varios Métodos de Análisis Pushover o Procedimientos Estáticos No Lineales (NPSs)
Estática / Dinámica	Análisis de Espectro de Respuesta (RSA) (o Análisis Modal Espectral)	
Dinámica	Procedimiento de Análisis del Historial de Respuesta Modal / Historial del Tiempo (Modal RHA/THA)	Análisis del Historial de Respuesta Modal No Lineal o Análisis No Lineal Rápido (FNA)
Dinámica	Procedimiento de Análisis del Historial de Respuesta Modal / Historial del Tiempo (Integración Lineal Directa RHA/LTHA)	Procedimiento de Análisis del Historial de Respuesta No Lineal / Historial del Tiempo (Integración No Lineal Directa RHA/LTHA)

Tabla 3 Tipos de Análisis para Sistemas Estructurales

2.7. PERÍODO FUNDAMENTAL

$$T_a = C_t * h_n^x$$

Donde:

Ta: Período de Vibración

Hn: Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio

Ítem	Tipo de Estructura	Ct	x
1	Sistemas de pórticos resistentes a momentos en los cuales los pórticos resisten el 100% de la fuerza sísmica requerida y no están encerrados ni unidos por componentes que son más rígidos y evitarán que los pórticos se desvíen cuando estén sujetos a fuerzas sísmicas:		
1.1	Marcos de acero resistentes a momentos	0.028 (0.0724)*	0.8
1.2	Pórticos de hormigón resistentes a momentos	0.016 (0.0466)*	0.9
2	Pórticos de acero arriostrados excéntricamente de acuerdo con la Tabla 12.2-1, línea B1 o D1	0.03 (0.0731)*	0.75
3	Pórticos arriostrados de acero con control de pandeo (BRBF)	0.03 (0.0731)*	0.75
4	Todos los demás sistemas estructurales	0.02 (0.0488)*	0.75
* SI (unidades equivalentes SI entre paréntesis)			

Tabla 4 Valores de los Parámetros del Período Aproximado según ASCE 7-22

Tipo de Estructura	Ct	α
Estructuras de Acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos Especiales de Hormigón Armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Tabla 5 Valores de los Parámetros del Período Aproximado según NEC 2015

2.8. CORTANTE BASAL DE DISEÑO – NEC 2015

$$V = \left(I * \frac{Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e} \right) * W$$

Donde:

Sa (Ta): Aceleración Espectral/Espectro de Diseño en Aceleración

ϕ_p & ϕ_e : Coeficientes de Configuración en Planta y Elevación

I: Coeficiente de Importancia

R: Factor de Reducción de Resistencia Sísmica

V: Cortante Basal de Diseño

W: Carga Sísmica Reactiva

Ta: Período Fundamental de Vibración

3. CAPÍTULO III: ANALISIS DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

3.1. DATOS

Ubicación: Manta, Ecuador

Norma: NEC-SE-DS- 2015

Suelo Tipo "D"

$\emptyset_e = 0.9$; Tabla N°11; Configuraciones Estructurales Recomendadas

$\emptyset_p = 1.0$; Tabla N°13; Coeficientes de Irregularidad en Planta

$I = 1.0$; Tabla N°6; Coeficiente de Importancia

$R = 8$; Tabla 15; Coeficiente R para Sistemas Estructurales Dúctiles

$\eta = 1.80$; Provincias de la Costa (Excepto Esmeraldas)

$r = 1$; para todos los suelos, excepción del suelo tipo E

$Z = 0.50$; Zona VI; Tabla N°1, Valores del Factor Z

$F_a = 1.12$; Tabla N°3, Tipo de Suelo y Factores de Sitio F_a

$F_d = 1.11$; Tabla N°4, Tipo de Suelo y Factores de Sitio F_d

$F_s = 1.40$; Tabla N°5, Tipo de Suelo y Factores del Comportamiento Inelástico del Subsuelo F_s

Norma: ASCE 7-22

Sistemas Duales con Marcos de Momento Especiales capaces de resistir al menos el 25% de las fuerzas sísmicas prescritas

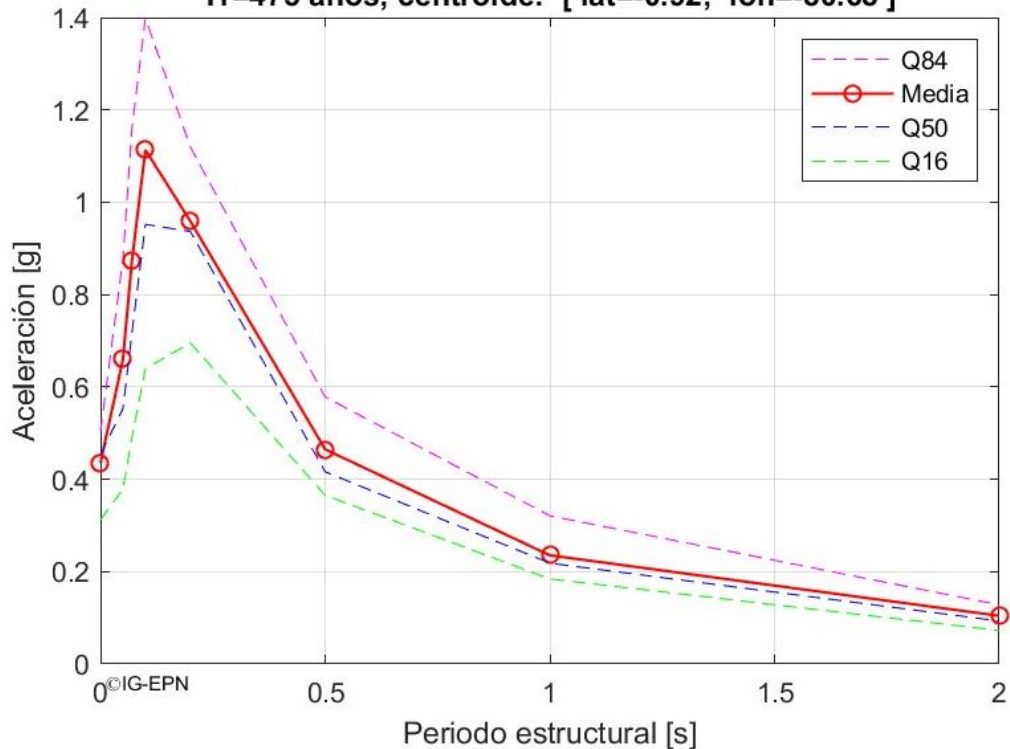
Norma: ASCE 7-22; Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras					Limitaciones del sistema estructural, incluidos los límites de altura estructural, hn [ft]				
Tabla 12.2-1. Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas					Categoría de Diseño Sísmico				
Ítem	Sistema Resistente a Fuerzas Sísmicas	Coeficiente de Modificación de Respuesta, R	Factor de Sobre Resistencia, Ω_o	Factor de Amplificación de Deflexión, C_d	B	C	D	E	F
1	Marcos de Acero con Arriostamiento Excéntrico	8	2.5	4	NL	NL	NL	NL	NL
2	Marcos Especiales de Acero con Arriostamiento Concéntrico	7	2.5	5.5	NL	NL	NL	NL	NL
3	Muros Especiales de Hormigón Armado	7	2.5	5.5	NL	NL	NL	NL	NL
13	Marcos de Acero con Arriostamiento de Pandeo Restringido	8	2.5	5	NL	NL	NL	NL	NL

Tabla 6 Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas

3.2. ESPECTRO DE RESPUESTA PARA EL MAXIMO SISMO CONSIDERADO PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS - MANTA FUENTE: IGEPN

Espectro de respuesta de Amenaza Uniforme en las coordenadas [lat=-0.92; lon=-80.68]				
Periodo de retorno 475 años				
Periodo,	Media[g],	Q_16[g]	,Q_50[g],	Q_84[g]
0.0000,	0.4350,	0.3119,	0.4536,	0.5035
0.0500,	0.6600,	0.3786,	0.5526,	0.8759
0.0700,	0.8726,	0.4897,	0.7167,	1.1595
0.1000,	1.1132,	0.6396,	0.9520,	1.3984
0.2000,	0.9590,	0.6950,	0.9365,	1.1196
0.5000,	0.4647,	0.3653,	0.4162,	0.5781
1.0000,	0.2353,	0.1841,	0.2183,	0.3208
2.0000,	0.1043,	0.0724,	0.0930,	0.128
Ss =	1.12			
S1 =	0.32			

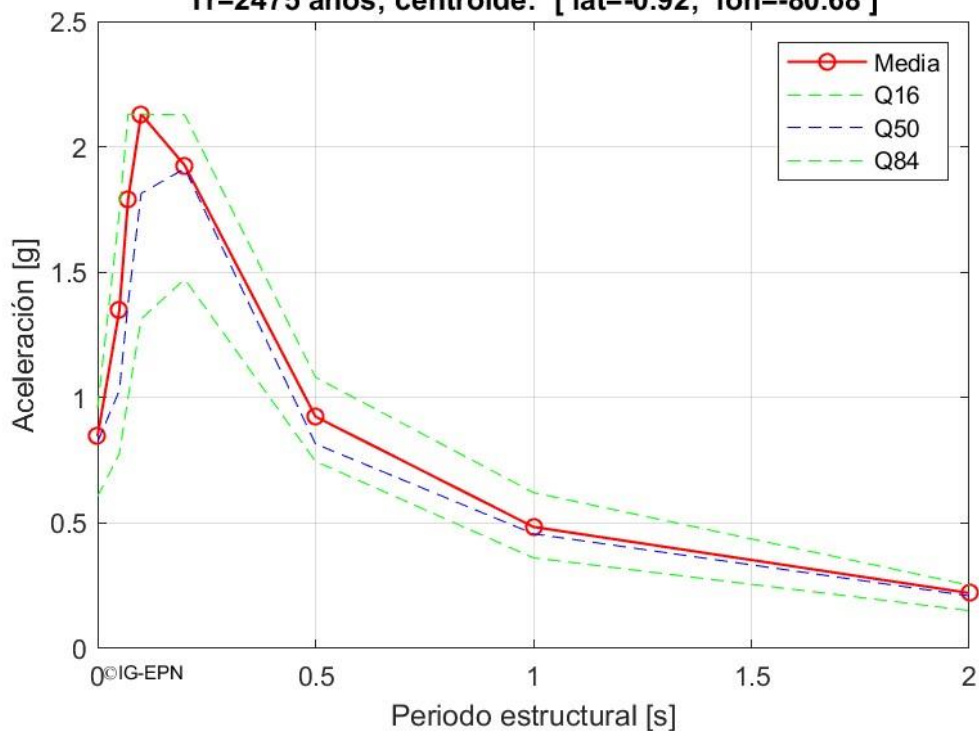
Espectro de respuesta de amenaza uniforme en roca ciudad de MANTA - Aeropuerto, cantón JARAMIJO, provincia MANABI Tr=475 años; centroide: [lat=-0.92; lon=-80.68]



3.3. ESPECTRO DE RESPUESTA PARA EL MAXIMO SISMO CONSIDERADO PERIODO DE RETORNO DE 2475 AÑOS - MANTA FUENTE: IGEPN

Espectro de respuesta de Amenaza Uniforme en las coordenadas [lat=-0.92; lon=-80.68]				
Periodo de retorno 2475 años				
Periodo,	Media[g],	Q_16[g]	,Q_50[g],	Q_84[g]
0.0000,	0.8461,	0.6065,	,0.8232,	0.9579
0.0500,	1.3481,	0.7759,	,1.0279,	1.7403
0.0700,	1.7902,	1.0006,	,1.3757,	2.13
0.1000,	2.1300,	1.3131,	,1.8141,	2.13
0.2000,	1.9258,	1.4724,	,1.9132,	2.1272
0.5000,	0.9245,	0.7461,	,0.8154,	1.0808
1.0000,	0.4846,	0.3612,	,0.4571,	0.6214
2.0000,	0.2210,	0.1508,	,0.2096,	0.2522
Ss =	2.13			
S1 =	0.62			

Espectro de respuesta de amenaza uniforme en roca ciudad de MANTA - Aeropuerto, cantón JARAMIJO, provincia MANABI Tr=2475 años; centroide: [lat=-0.92; lon=-80.68]



3.4. CALCULO DEL PERIODO FUNDAMENTAL APROXIMADO

NORMA: NEC-2015				
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y		
MATERIAL	Acero	Acero	[-]	
Tipología	Sin Arriostramientos	Sin Arriostramientos	[-]	
h	75.78		[m]	
MÉTODO (1)				
Ct	0.072	0.072	[-]	$T = C_t \cdot h_n^\alpha$
alfa	0.8	0.8	[-]	
T. Calc	2.296	2.296	[s]	
T. Lím	2.985	2.985	[s]	
T.modal			[s]	
T.usado	2.296	2.296	[s]	
CÁLCULO DE DEMANDA ESTÁTICA				
k	1.898	1.898	[-]	$k(t) = \begin{cases} 1.0 & , t \leq 0.50 \\ 0.75 + 0.5t & , 0.5 < t \leq 2.50 \\ 2.0 & , t > 2.50 \end{cases}$
Sa(Ta)	0.3350	0.3350	[g]	$Sa(T) = \begin{cases} \eta \cdot Z \cdot Fa & , T < T_c \\ \eta \cdot Z \cdot Fa \cdot \left(\frac{T_c}{T}\right)^r & , T \geq T_c \end{cases}$
Irreg.	1.00	1.00	[-]	$\phi = \phi_p \cdot \phi_e$
R	8.00	8.00	[-]	Coficiente de modificación de respuesta estructural
I (Imp)	1.0		[-]	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores
CORTANTE ESTÁTICO				
V	0.0419	0.0419	W	$V = \frac{I \cdot S_a}{R \cdot \phi_p \cdot \phi_e} W$

NORMA: ASCE 7-22

Ítem	Tipo de Estructura	Ct	x
1	Sistemas de pórticos resistentes a momentos en los cuales los pórticos resisten el 100% de la fuerza sísmica requerida y no están encerrados ni unidos por componentes que son más rígidos y evitarán que los pórticos se desvíen cuando estén sujetos a fuerzas sísmicas:		
1.1	Marcos de acero resistentes a momentos	0.028 (0.0724)*	0.8
1.2	Pórticos de hormigón resistentes a momentos	0.016 (0.0466)*	0.9
2	Pórticos de acero arriostrados excéntricamente de acuerdo con la Tabla 12.2-1, línea B1 o D1	0.03 (0.0731)*	0.75
3	Pórticos arriostrados de acero con control de pandeo (BRBF)	0.03 (0.0731)*	0.75
4	Todos los demás sistemas estructurales	0.02 (0.0488)*	0.75

*** SI (unidades equivalentes SI entre paréntesis)**

$$F_v = 1.50; S_1 = 0.62$$

$$S_{M1} = F_v * S_1 = 1.50 * 0.62 = 0.93$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{M1} = \frac{2}{3} * 0.93 = 0.62$$

Table 12.8-1. Coefficient for Upper Limit on Calculated Period.

Design Spectral Response Acceleration Parameter at 1 s, S_{D1}	Coefficient C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Ítem	Tipo de Estructura	Ct	x	hn	Cu =	1.4
					Ta [s]	Cu*Ta
1	Marcos de acero resistentes a momentos	0.0724	0.8	75.78	2.31	3.23
2	Pórticos de hormigón resistentes a momentos	0.0466	0.9	75.78	2.29	3.21
3	Pórticos de acero arriostrados excéntricamente de acuerdo con la Tabla 12.2-1, línea B1 o D1	0.0731	0.75	75.78	1.88	2.63
4	Pórticos arriostrados de acero con control de pandeo (BRBF)	0.0731	0.75	75.78	1.88	2.63
5	Todos los demás sistemas estructurales	0.0488	0.75	75.78	1.25	1.75

Cálculo del Coeficiente de Respuesta Sísmica – Diseño de Elementos

$$F_a = 1.00$$

$$S_S = 2.13$$

$$S_{MS} = F_a * S_S = 1.00 * 2.13 = 2.13$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} * S_{MS} = \frac{2}{3} * 2.13 = 1.42$$

Cs no puede ser menos que:

$$C_S = 0.044 * S_{DS} * I_e \geq 0.01; \text{ Ecuación 12.8-5}$$

$$C_S = 0.044 * 1.42 * 1.0 \geq 0.01; C_S = 0.0625$$

En estructuras localizadas donde S1 es mayor o igual a 0.6g, Cs no puede ser menor que: (Ecuación 12.8-6)

$$C_S = 0.5 * \frac{S_1}{R} * \frac{1}{I_e}; C_S = 0.5 * \frac{0.62}{7} * \frac{1}{1} = 0.0443$$

$$C_S = 0.0625 \text{ (Valor Máximo Ecuación 12.8-5; Ecuación 12.8-6)}$$

Masa Sísmica

$$W = 10132.69 \text{ [tonf]}$$

Cálculo Cortante Basal – Diseño de Elementos

$$V = C_S * W = 0.0625 * 10132.69 = 633.29 \text{ [tonf]}$$

Cálculo del Coeficiente de Respuesta Sísmica – Cálculo de Derivas

$$T = 2.487 \text{ [s]; } S_a = 0.28;$$

$$S_a / \left(\frac{R}{I_e} \right) = 0.28 / \left(\frac{7}{1} \right) = 0.04$$

$$C_S = \text{Max} (0.0443; 0.04) = 0.0443$$

$$V = C_S * W = 0.0443 * 10132.69 = 448.73 \text{ [tonf]}$$

3.5. ESPECTRO DE RESPUESTA NEC-2015

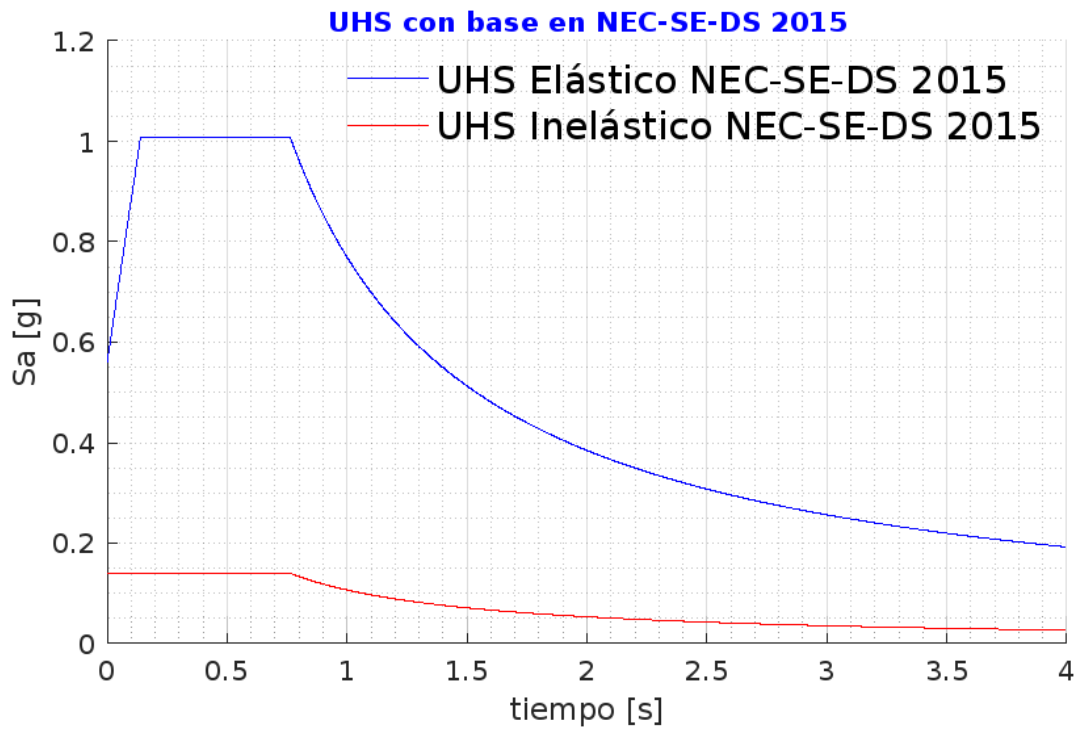


Figura 6 Espectro de Respuesta según NEC-2015 (R=8)

3.6. ESPECTRO DE RESPUESTA ASCE 7-16

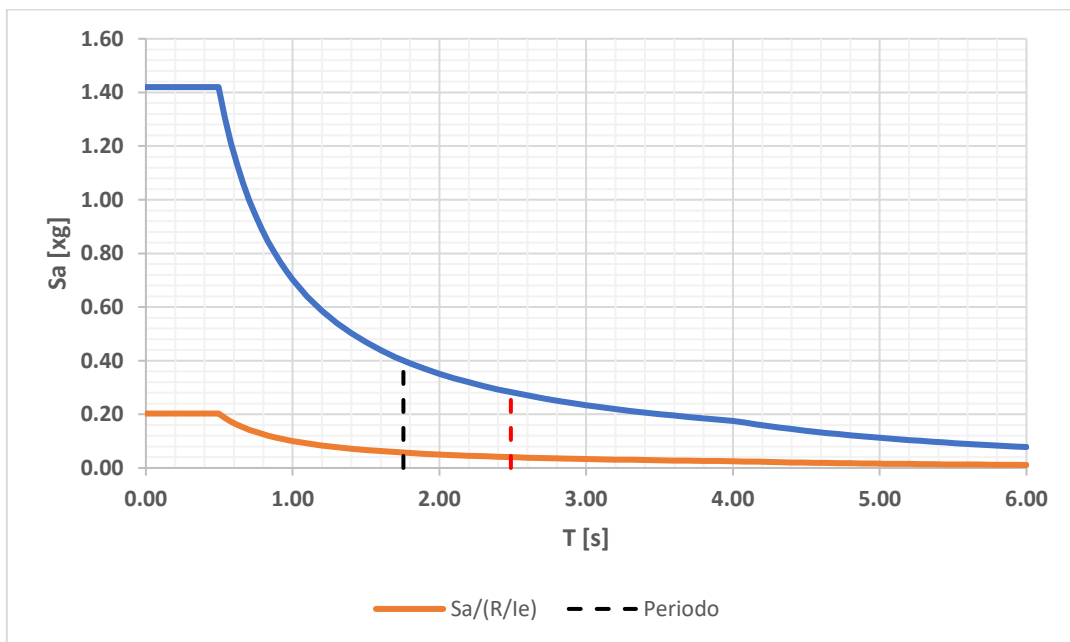


Figura 7 Espectro de Respuesta según ASCE 7-16 (R=7)

3.7. COMBINACIONES DE CARGA

Las combinaciones de carga están basadas en la normativa ASCE 7-16, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Nombre	Combinación	Tipo
U1	$1.4*(PP+CM)$	Combinación Última
U2	$1.2*(PP+CM) + 1.6*CV$	Combinación Última
U3	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV + Ex_D$	Combinación Última
U4	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV + Ex_D$	Combinación Última
U5	$1.184*(PP+CM) + Ex_D$	Combinación Última
U6	$0.616*(PP+CM) + Ex_D$	Combinación Última
U7	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV + Ey_D$	Combinación Última
U8	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV + Ey_D$	Combinación Última
U9	$1.184*(PP+CM) + Ey_D$	Combinación Última
U10	$0.616*(PP+CM) + Ey_D$	Combinación Última
U11	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV + Sx$	Combinación Última
U12	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV + Sx$	Combinación Última
U13	$1.184*(PP+CM) + Sx$	Combinación Última
U14	$0.616*(PP+CM) + Sx$	Combinación Última
U15	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV - Sx$	Combinación Última
U16	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV - Sx$	Combinación Última
U17	$1.184*(PP+CM) - Sx$	Combinación Última
U18	$0.616*(PP+CM) - Sx$	Combinación Última
U19	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV + Sx(+)$	Combinación Última
U20	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV + Sx(+)$	Combinación Última
U21	$1.184*(PP+CM) + Sx(+)$	Combinación Última
U22	$0.616*(PP+CM) + Sx(+)$	Combinación Última
U23	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV - Sx(+)$	Combinación Última
U24	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV - Sx(+)$	Combinación Última
U25	$1.184*(PP+CM) - Sx(+)$	Combinación Última
U26	$0.616*(PP+CM) - Sx(+)$	Combinación Última
U27	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV + Sx(-)$	Combinación Última
U28	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV + Sx(-)$	Combinación Última
U29	$1.184*(PP+CM) + Sx(-)$	Combinación Última
U30	$0.616*(PP+CM) + Sx(-)$	Combinación Última
U31	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV - Sx(-)$	Combinación Última
U32	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV - Sx(-)$	Combinación Última
U33	$1.184*(PP+CM) - Sx(-)$	Combinación Última
U34	$0.616*(PP+CM) - Sx(-)$	Combinación Última
U35	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV + Sy$	Combinación Última
U36	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV + Sy$	Combinación Última
U37	$1.184*(PP+CM) + Sy$	Combinación Última
U38	$0.616*(PP+CM) + Sy$	Combinación Última
U39	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV - Sy$	Combinación Última
U40	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV - Sy$	Combinación Última
U41	$1.184*(PP+CM) - Sy$	Combinación Última
U42	$0.616*(PP+CM) - Sy$	Combinación Última
U43	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV + Sy(+)$	Combinación Última
U44	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV + Sy(+)$	Combinación Última
U45	$1.184*(PP+CM) + Sy(+)$	Combinación Última
U46	$0.616*(PP+CM) + Sy(+)$	Combinación Última
U47	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV - Sy(+)$	Combinación Última
U48	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV - Sy(+)$	Combinación Última

U49	$1.184*(PP+CM) - Sy(+)$	Combinación Última
U50	$0.616*(PP+CM) - Sy(+)$	Combinación Última
U51	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV + Sy(-)$	Combinación Última
U52	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV + Sy(-)$	Combinación Última
U53	$1.184*(PP+CM) + Sy(-)$	Combinación Última
U54	$0.616*(PP+CM) + Sy(-)$	Combinación Última
U55	$1.484*(PP+CM) + 0.5*CV - Sy(-)$	Combinación Última
U56	$0.916*(PP+CM) + 0.5*CV - Sy(-)$	Combinación Última
U57	$1.184*(PP+CM) - Sy(-)$	Combinación Última
U58	$0.616*(PP+CM) - Sy(-)$	Combinación Última
U59	Ex/R	Combinación Sísmica
U60	Ex/R_Drift	Combinación Sísmica
U61	Ex/R_Scaled	Combinación Sísmica
U62	Ey/R	Combinación Sísmica
U63	Ey/R_Drift	Combinación Sísmica
U64	Ey/R_Scaled	Combinación Sísmica
U65	Ex_D (1.0*Ex/R_Scaled, 0.3*Ey/R_Scaled)	Combinación Sísmica
U66	Ey_D (0.3*Ex/R_Scaled, 1.0*Ey/R_Scaled)	Combinación Sísmica
U67	Sx_Drift	Combinación Sísmica
U68	Sx+_Drift	Combinación Sísmica
U69	Sx-_Drift	Combinación Sísmica
U70	Sy_Drift	Combinación Sísmica
U71	Sy+_Drift	Combinación Sísmica
U72	Sy-_Drift	Combinación Sísmica

Tabla 7 Combinaciones de Carga

CM = Carga Permanente

CV = Carga Viva

S = Sismo Estático

E = Sismo Dinámico

3.8. INDICADORES DE LA ESTRUCTURA

Se realizaron varios modelos computacionales en el programa ETABS, donde se define: propiedades de los materiales, secciones de los elementos estructurales, secciones de muro de corte, secciones de losa con placa colaborante. Del análisis se consideran los siguientes indicadores:

- Períodos de vibración
- Cortante basal
- Derivas
- Análisis no lineal – PUSHOVER
- Costos de fabricación & montaje [USD/Kg]

3.9. VARIABLES DE LA ESTRUCTURA

Las variables a analizar en los diferentes modelos estructurales se mencionan a continuación:

- Sistema estructural
- Materiales existentes en el mercado
- Elementos estructurales que sean de fácil fabricación, buenas prácticas de construcción. [USD/Kg]
- Elementos estructurales que sean de fácil montaje y fácil transporte [USD/Kg]
- Peso de la Estructura – Ratios [Kg/m²]

3.10. MODELO COMPUTACIONAL

Se desarrolló varios modelos estructurales en el programa ETABS de acuerdo con la configuración arquitectónica (Edificio el Faro), a continuación, se muestra las secciones:

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box in ETABS. The 'General Data' section includes: Property Name: CC_900X600X30 mm; Material: A572Gr50; Display Color: green; Notes: Modify/Show Notes... The 'Shape' section shows: Section Shape: Filled Steel Tube. The 'Section Property Source' is User Defined. The 'Section Dimensions' section lists: Total Depth: 0.9 m; Total Width: 0.6 m; Flange Thickness: 0.03 m; Web Thickness: 0.03 m; Corner Radius: 0 m. The 'Fill' section shows: Fill Material: f_c=350kg/cm². A preview window on the right shows a rectangular section with a coordinate system (1, 2, 3) and a 'Property Modifiers' section with 'Modify/Show Modifiers...' and 'Currently Default' buttons. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Figura 8 Sección Columna CC_900X600X30

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: CC_900X600X18 mm

Material: A572Gr50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Filled Steel Tube

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Total Depth: 0.9 m

Total Width: 0.6 m

Flange Thickness: 0.018 m

Web Thickness: 0.018 m

Corner Radius: 0 m

Show Section Properties...

Fill

Fill Material: $f_c=350\text{kg/cm}^2$

Property Modifiers: Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK
Cancel

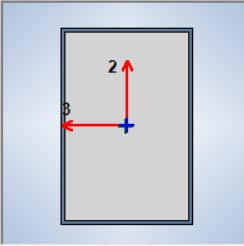


Figura 9 Sección Columna CC_900X600X18

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: CC_900X600X15 mm

Material: A572Gr50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Filled Steel Tube

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Total Depth: 0.9 m

Total Width: 0.6 m

Flange Thickness: 0.015 m

Web Thickness: 0.015 m

Corner Radius: 0 m

Show Section Properties...

Fill

Fill Material: $f_c=350\text{kg/cm}^2$

Property Modifiers: Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK
Cancel

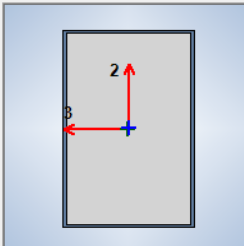


Figura 10 Sección Columna CC_900X600X15

E Frame Section Property Data ×

General Data

Property Name:

Material: ...

Display Color:

Notes:

Shape

Section Shape:

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Total Depth	<input type="text" value="0.45"/>	m
Top Flange Width	<input type="text" value="0.2"/>	m
Top Flange Thickness	<input type="text" value="0.015"/>	m
Web Thickness	<input type="text" value="0.012"/>	m
Bottom Flange Width	<input type="text" value="0.2"/>	m
Bottom Flange Thickness	<input type="text" value="0.015"/>	m
Fillet Radius	<input type="text" value="0"/>	m

Property Modifiers

Currently Default

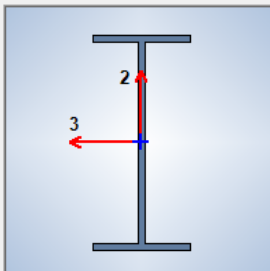


Figura 11 Sección Viga VP 450X200X15X12

E Frame Section Property Data ×

General Data

Property Name:

Material: ...

Display Color:

Notes:

Shape

Section Shape:

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Total Depth	<input type="text" value="0.3"/>	m
Top Flange Width	<input type="text" value="0.15"/>	m
Top Flange Thickness	<input type="text" value="0.015"/>	m
Web Thickness	<input type="text" value="0.008"/>	m
Bottom Flange Width	<input type="text" value="0.15"/>	m
Bottom Flange Thickness	<input type="text" value="0.015"/>	m
Fillet Radius	<input type="text" value="0"/>	m

Property Modifiers

Currently Default

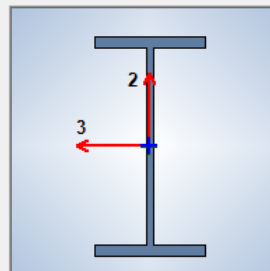


Figura 12 Sección Viga VP 300X150X8X15

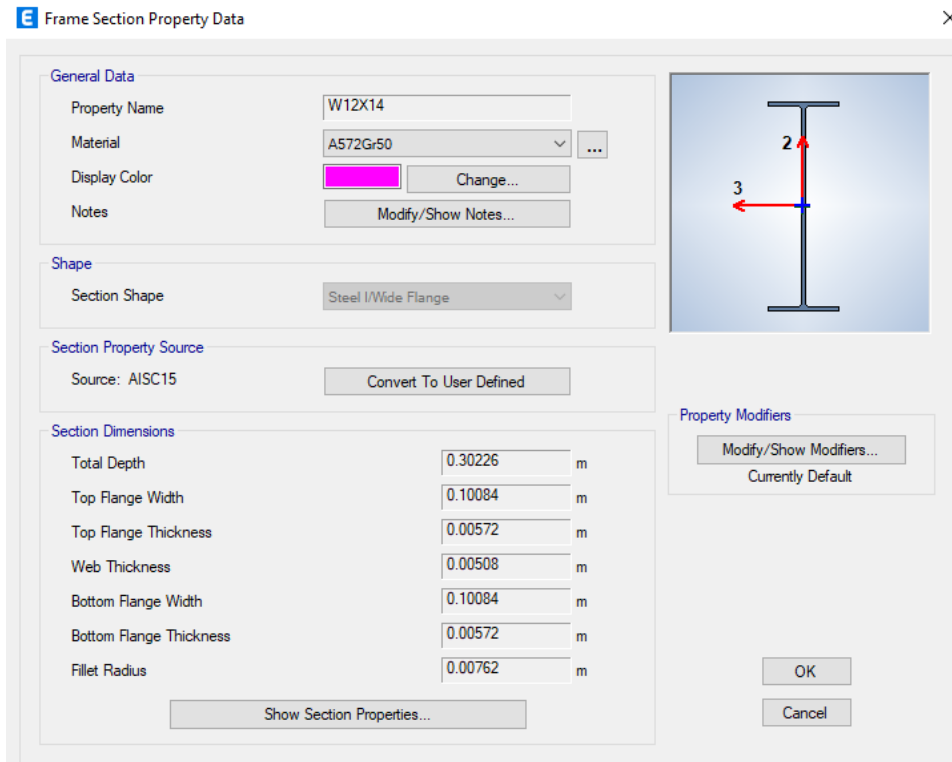


Figura 13 Sección Viga W 12X14

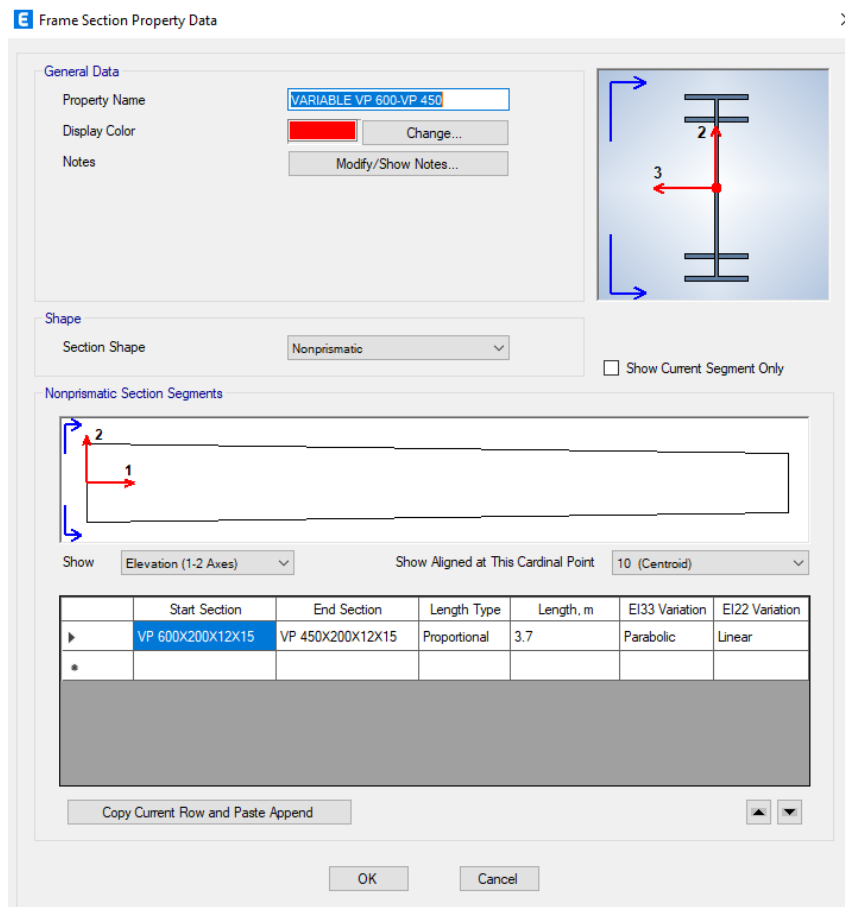


Figura 14 Sección Viga Variable VP 600-450

Deck Property Data X

General Data

Property Name:

Type: ⓘ

Slab Material: ...

Deck Material: ...

Modeling Type:

Modifiers (Currently User Specified):

Display Color:

Property Notes:

Property Data

Slab Depth, t_c: cm

Rib Depth, h_r: cm

Rib Width Top, w_{rt}: cm

Rib Width Bottom, w_{rb}: cm

Rib Spacing, s_r: cm

Deck Shear Thickness: cm

Deck Unit Weight: kgf/cm²

Shear Stud Diameter: cm

Shear Stud Height, h_s: cm

Shear Stud Tensile Strength, F_u: kgf/cm²

Figura 15 DECK METALICO, Hormigón e = 12 cm

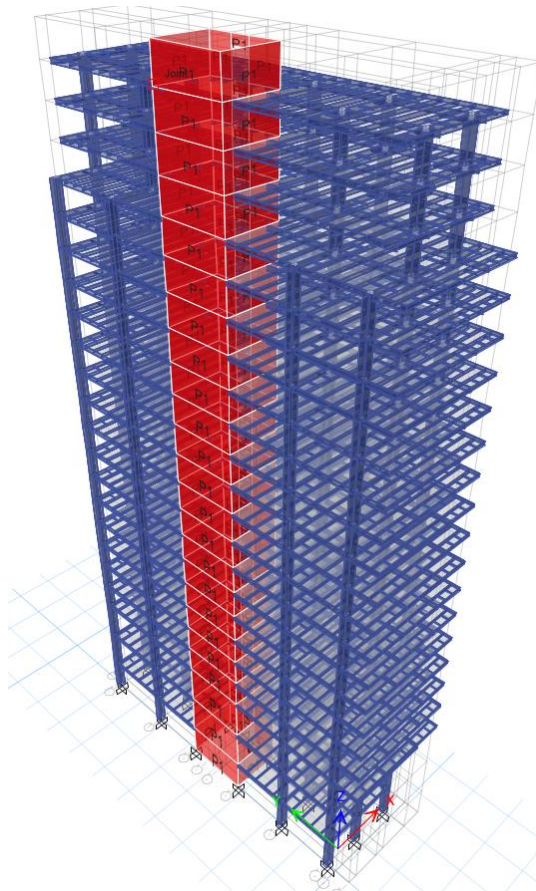


Figura 16 Modelo Estructural Edificio EL FARO

3.11. PATRONES DE CARGA Y COMBINACIONES

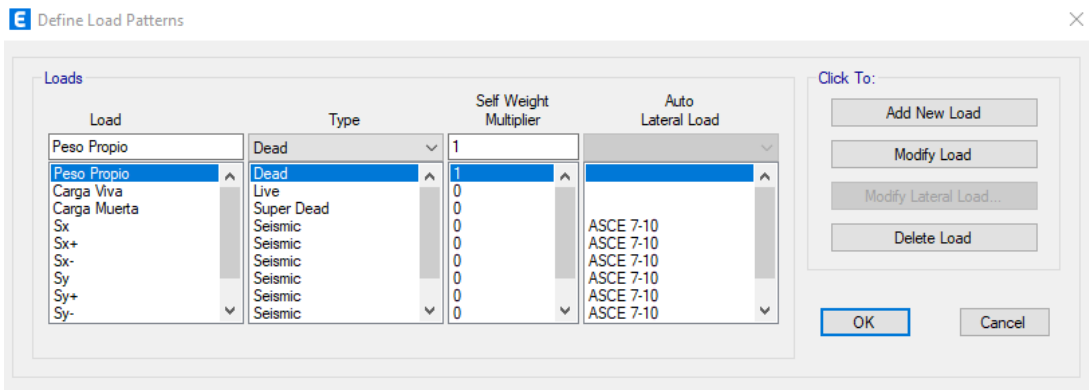


Figura 17 Patrones de Carga

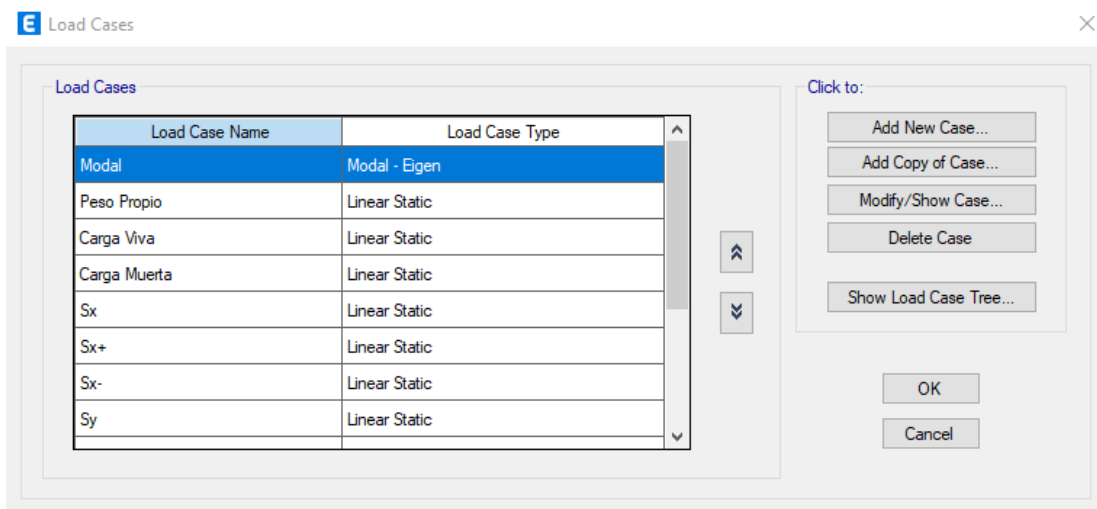


Figura 18 Casos de Carga

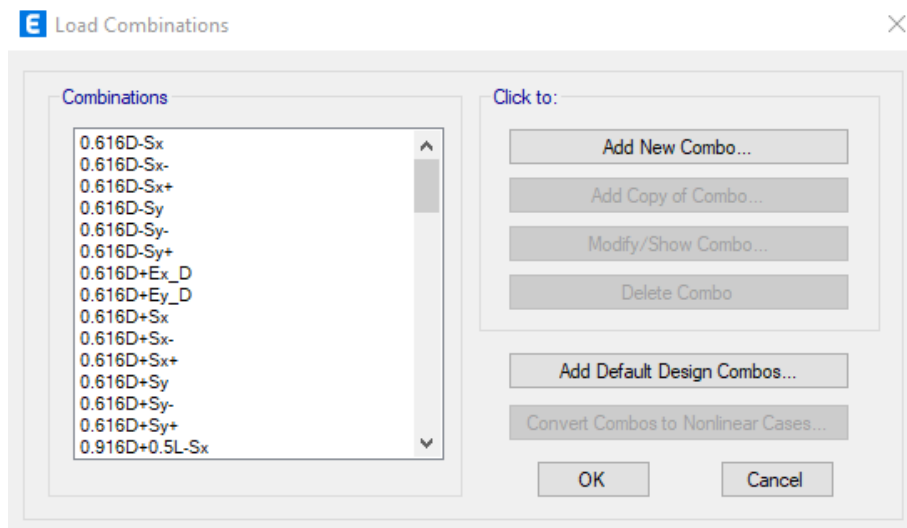


Figura 19 Combinaciones de Carga

3.12. ESPECTRO DE RESPUESTA SEGÚN ASCE 7-10

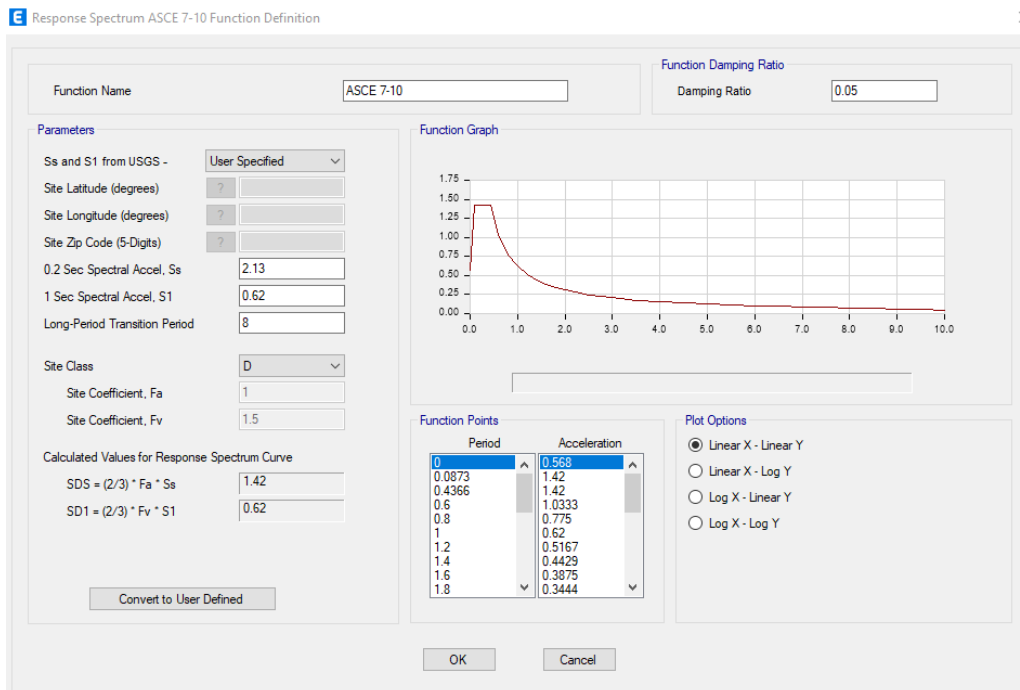


Figura 20 Espectro de Respuesta según ASCE 7-10

3.13. ESPECTRO DE RESPUESTA SEGÚN NEC-2015

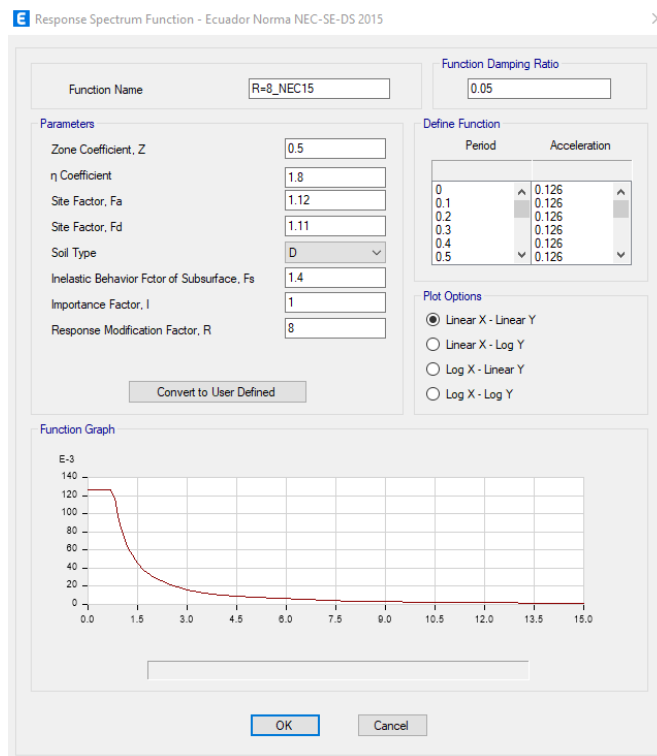


Figura 21 Espectro de Respuesta NEC-2015

3.14. FUENTE DE MASA & EFECTOS P-DELTA

Mass Source Data

Mass Source Name: MsSrc1

Mass Source

- Element Self Mass
- Additional Mass
- Specified Load Patterns
- Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction:
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction:

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
Dead	1
Dead	1
SDead	1
Live	0.5

Mass Options

- Include Lateral Mass
- Include Vertical Mass
- Lump Lateral Mass at Story Levels

OK Cancel

Figura 22 Fuente de Masa & Efectos P-Delta

Frame Assignment - End Length Offsets

End Offset Along Length

- Automatic from Connectivity
- Define Lengths
 - End-I: cm
 - End-J: cm

Rigid-zone factor:

Frame Self Weight Option

- Auto
- Weight Based on Full Length
- Weight Based on Clear Length

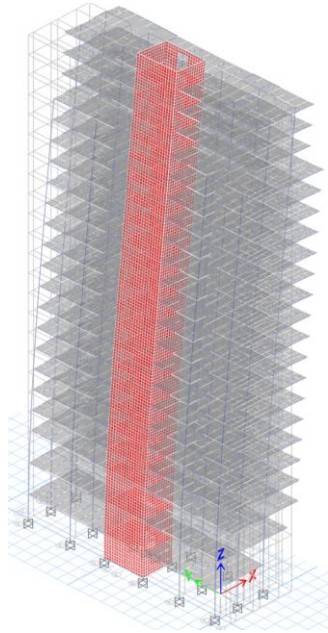
OK Close Apply

Figura 23 End Length Offsets

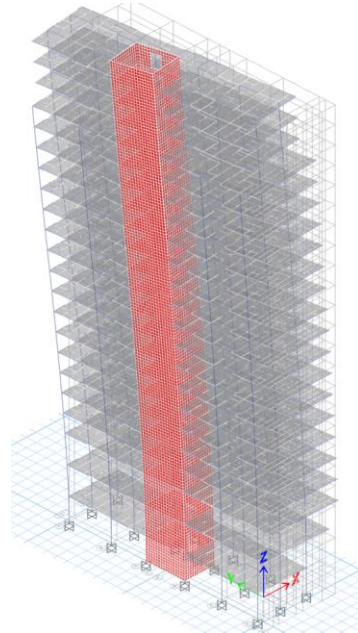
4. CAPÍTULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Edificio con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Muros de Corte

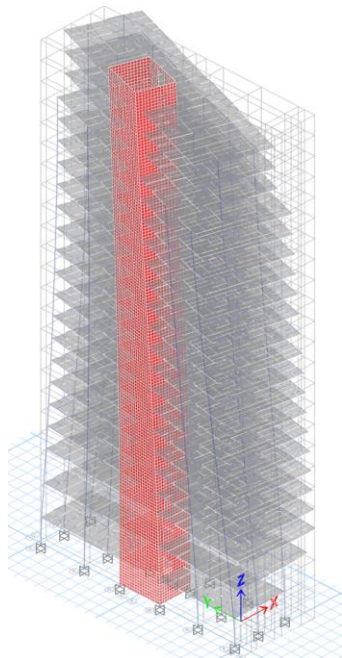
4.1.1. Períodos de Vibración



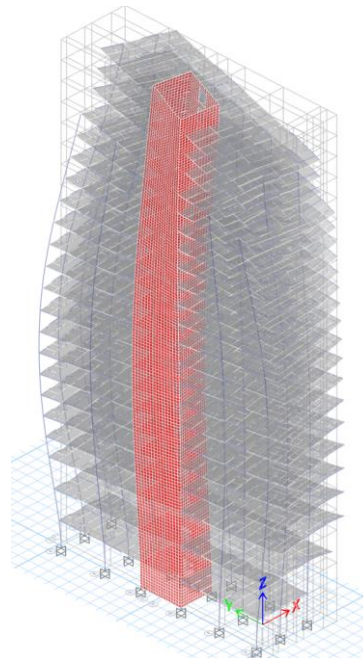
Modo 1 (T = 2.493 s)



Modo 2 (T = 2.261 s)



Modo 3 (T = 1.366 s)



Modo 4 (T = 0.614 s)

4.1.2. Tabla de Períodos y Masas Participativas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal	1	2.493	0.6535	0.0026	0.6535	0.0026
Modal	2	2.261	0.0028	0.628	0.6563	0.6306
Modal	3	1.366	2.047E-05	0.0241	0.6563	0.6547
Modal	4	0.614	0.0109	0.1108	0.6672	0.7655
Modal	5	0.585	0.1736	0.008	0.8408	0.7735
Modal	6	0.433	0.0001	0.0624	0.8409	0.8359
Modal	7	0.334	0.0003	0.0311	0.8411	0.867
Modal	8	0.257	0.066	0.0003	0.9071	0.8674
Modal	9	0.231	1.192E-05	0.0019	0.9071	0.8693
Modal	10	0.209	0.0002	0.0472	0.9073	0.9165
Modal	11	0.17	1.874E-05	0.0033	0.9073	0.9198
Modal	12	0.152	0.0298	0.0003	0.9371	0.9201
Modal	13	0.133	0.0001	0.008	0.9373	0.9281
Modal	14	0.131	0.0002	0.0164	0.9375	0.9445
Modal	15	0.11	0.007	0.0001	0.9444	0.9446
Modal	16	0.106	2.679E-06	0.0007	0.9445	0.9453
Modal	17	0.101	0.0092	0.0004	0.9536	0.9458
Modal	18	0.095	0.0005	0.0126	0.9542	0.9584
Modal	19	0.088	0.0016	7.943E-07	0.9558	0.9584
Modal	20	0.088	1.001E-05	0.0003	0.9558	0.9586

Tabla 8 Masa participativa mayor al 90%

4.1.3. Revisión del Cortante Basal

Cortante Basal Estático

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Sx	LinStatic		Bottom	0	0	0
Cubierta N +75.78	Sx	LinStatic		Bottom	0	-58.8129	0
Piso 20 N +72.36	Sx	LinStatic		Bottom	0	-119.8664	0
Piso 19 N +68.94	Sx	LinStatic		Bottom	0	-176.2961	0
Piso 18 N +65.52	Sx	LinStatic		Bottom	0	-240.2698	0
Piso 17 N +62.10	Sx	LinStatic		Bottom	0	-301.5646	0
Piso 16 N +58.68	Sx	LinStatic		Bottom	0	-357.464	0
Piso 15 N +55.26	Sx	LinStatic		Bottom	0	-409.2489	0
Piso 14 N +51.84	Sx	LinStatic		Bottom	0	-456.8752	0
Piso 13 N +48.42	Sx	LinStatic		Bottom	0	-499.4974	0

Piso 12 N +45.00	Sx	LinStatic		Bottom	0	-537.7213	0
Piso 11 N +41.58	Sx	LinStatic		Bottom	0	-572.3509	0
Piso 10 N +38.16	Sx	LinStatic		Bottom	0	-603.0468	0
Piso 9 N +34.74	Sx	LinStatic		Bottom	0	-629.9061	0
Piso 8 N +31.32	Sx	LinStatic		Bottom	0	-653.0185	0
Piso 7 N +27.90	Sx	LinStatic		Bottom	0	-672.1682	0
Piso 6 N +24.48	Sx	LinStatic		Bottom	0	-687.6487	0
Piso 5 N +21.06	Sx	LinStatic		Bottom	0	-699.8814	0
Piso 4 N +17.64	Sx	LinStatic		Bottom	0	-709.1334	0
Piso 3 N +14.22	Sx	LinStatic		Bottom	0	-715.6494	0
Piso 2 N +10.8	Sx	LinStatic		Bottom	0	-720.4128	0
Piso 1 N +5.4	Sx	LinStatic		Bottom	0	-722.128	0
Planta Baja N +0.0	Sx	LinStatic		Bottom	0	-722.128	0

Tabla 9 Cortante Basal Estático (Sx)

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	0
Cubierta N +75.78	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-58.8129
Piso 20 N +72.36	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-119.8664
Piso 19 N +68.94	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-176.2961
Piso 18 N +65.52	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-240.2698
Piso 17 N +62.10	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-301.5646
Piso 16 N +58.68	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-357.464
Piso 15 N +55.26	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-409.2489
Piso 14 N +51.84	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-456.8752
Piso 13 N +48.42	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-499.4974
Piso 12 N +45.00	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-537.7213
Piso 11 N +41.58	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-572.3509
Piso 10 N +38.16	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-603.0468
Piso 9 N +34.74	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-629.9061
Piso 8 N +31.32	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-653.0185
Piso 7 N +27.90	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-672.1682
Piso 6 N +24.48	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-687.6488
Piso 5 N +21.06	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-699.8814
Piso 4 N +17.64	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-709.1334
Piso 3 N +14.22	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-715.6494
Piso 2 N +10.8	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-720.4128
Piso 1 N +5.4	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-722.128
Planta Baja N +0.0	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-722.128

Tabla 10 Cortante Basal Estático (Sy)

Cortante Basal Dinámico

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	15.8331	4.9985
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	108.5495	37.5572
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	184.8647	63.8636
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	235.6597	81.4042
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	274.2809	96.2411
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	299.2356	107.7822
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	314.0623	115.5637
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	322.1692	119.8429
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	326.5752	122.0315
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	330.2554	123.8124
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	335.7025	126.2999
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	344.5664	130.038
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	357.7766	135.4516
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	376.3005	143.0739
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	401.3203	153.2708
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	432.1854	165.4795
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	467.3652	178.8609
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	505.5794	192.8106
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	545.7802	206.9719
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	586.337	221.0243
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	630.7951	236.6149
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	663.9731	248.8911
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	673.3563	252.5635

Tabla 11 Cortante Basal Dinámico (Ex_D)

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	6.4297	12.4638
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	43.6472	91.8456
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	74.1716	156.9565
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	94.397	201.4626
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	109.3954	239.8624
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	119.1621	270.2231
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	124.7023	291.8921
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	126.8762	306.1937
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	126.717	316.8391
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	125.7707	327.667
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	125.6065	340.746

Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	127.3172	356.519
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	131.5427	374.8309
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	138.8062	395.9177
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	149.5653	420.2522
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	163.2045	447.2458
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	178.6371	476.2128
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	195.013	506.7382
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	211.7583	538.4735
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	228.2361	570.7631
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	245.9957	607.5133
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	259.1538	637.1033
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	262.8924	646.1748

Tabla 12 Cortante Basal Dinámico (Ey_D)

TABLE: Story Forces								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VX	VY	MX	MY
					tonf	tonf	tonf-m	tonf-m
Planta Baja N +0.0	Sx	LinStatic		Bottom	-722.128	0	12.6173	-43296.404
Planta Baja N +0.0	Sy	LinStatic		Bottom	0	-722.128	43022.4233	-14.9526
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Bottom	673.3563	252.5635	9335.8585	23997.2322
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Bottom	262.8924	646.1748	25994.2923	8819.7932

Tabla 13 Cortante Basal Estático vs Dinámico

La norma exige que el sismo dinámico (espectral) sea por lo menos el 80% del sismo estático para estructuras regulares y 85% para estructuras irregulares, en este caso la edificación es regular.

$$\% Dir X = \frac{673.36}{722.13} = 93.25 \% ; OK$$

$$\% Dir Y = \frac{646.17}{722.13} = 89.48 \% ; OK$$

CASO: SX	VISTA XZ	VISTA YZ	
Ítem	Fuerza Cortante 2-2 [tonf]	Fuerza Cortante 3-3 [tonf]	Porcentaje [%]
Columnas	99.34	99.34	13.76%
Muro Estructural	622.79	622.79	86.24%
Total [tonf]	722.13	722.13	100.00%

CASO: SY	VISTA XZ	VISTA YZ	
Ítem	Fuerza Cortante 2-2 [tonf]	Fuerza Cortante 3-3 [tonf]	Porcentaje [%]
Columnas	65.88	65.88	9.12%
Muro Estructural	656.25	656.25	90.88%
Total [tonf]	722.13	722.13	100.00%

Para los dos casos en mención los muros absorben más del 75% del cortante basal en cada dirección, por lo tanto, es un sistema dual.

4.1.4. Revisión del Derivas de Piso

TABLE: Story Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Cd	Drift	Max Drift
					Elástico		Inelástico	0.02
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	X	0.002115	5.5	0.0116325	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	X	0.002129	5.5	0.0117095	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	X	0.002203	5.5	0.0121165	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	X	0.002237	5.5	0.0123035	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	X	0.002281	5.5	0.0125455	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	X	0.00231	5.5	0.012705	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	X	0.002315	5.5	0.0127325	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	X	0.002289	5.5	0.0125895	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	X	0.002259	5.5	0.0124245	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	X	0.002217	5.5	0.0121935	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	X	0.002153	5.5	0.0118415	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	X	0.002077	5.5	0.0114235	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	X	0.002007	5.5	0.0110385	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	X	0.001929	5.5	0.0106095	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	X	0.001859	5.5	0.0102245	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	X	0.001788	5.5	0.009834	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	X	0.001709	5.5	0.0093995	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	X	0.001617	5.5	0.0088935	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	X	0.001518	5.5	0.008349	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	X	0.001402	5.5	0.007711	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	X	0.001176	5.5	0.006468	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	X	0.000852	5.5	0.004686	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	X	0.000396	5.5	0.002178	Acceptable

Tabla 14 Derivas de Piso (Ex_D)

TABLE: Story Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Cd	Drift	Max Drift
					Elástico		Inelástico	0.02
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001603	5.5	0.0088165	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001624	5.5	0.008932	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001734	5.5	0.009537	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001765	5.5	0.0097075	Acceptable

Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001876	5.5	0.010318	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001931	5.5	0.0106205	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001962	5.5	0.010791	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001958	5.5	0.010769	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001957	5.5	0.0107635	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001941	5.5	0.0106755	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Y	0.0019	5.5	0.01045	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001845	5.5	0.0101475	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001798	5.5	0.009889	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001737	5.5	0.0095535	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001688	5.5	0.009284	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001633	5.5	0.0089815	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001568	5.5	0.008624	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001488	5.5	0.008184	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001403	5.5	0.0077165	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001296	5.5	0.007128	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001154	5.5	0.006347	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Y	0.00076	5.5	0.00418	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000364	5.5	0.002002	Acceptable

Tabla 15 Derivas de Piso (Ey_D)

4.1.5. Revisión de Irregularidades

TABLE: Story Max Over Avg Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	$\delta_{max} < 1.25_{avg}$
					m	m		
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	X	0.007234	0.00706	1.025	Acceptable
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002004	0.001956	1.025	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	X	0.007282	0.007062	1.031	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002077	0.001979	1.049	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	X	0.007534	0.007261	1.038	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002238	0.002112	1.06	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	X	0.007652	0.007344	1.042	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002271	0.002133	1.065	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	X	0.007802	0.007395	1.055	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002447	0.002221	1.102	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	X	0.007899	0.007449	1.06	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	Y	0.00252	0.002264	1.113	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	X	0.007917	0.007437	1.065	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002556	0.002277	1.122	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	X	0.007827	0.007342	1.066	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002537	0.002252	1.127	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	X	0.007727	0.00724	1.067	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002521	0.002231	1.13	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	X	0.007584	0.007101	1.068	Acceptable

Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002483	0.002193	1.132	Aceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	X	0.007364	0.006904	1.067	Aceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002408	0.00213	1.131	Aceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	X	0.007104	0.006678	1.064	Aceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002318	0.002055	1.128	Aceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	X	0.006864	0.006464	1.062	Aceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002245	0.001992	1.127	Aceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	X	0.006596	0.006221	1.06	Aceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002161	0.001916	1.128	Aceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	X	0.006359	0.005992	1.061	Aceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002099	0.001853	1.133	Aceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	X	0.006116	0.005746	1.064	Aceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002039	0.001785	1.142	Aceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	X	0.005844	0.005463	1.07	Aceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001971	0.001708	1.154	Aceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	X	0.005529	0.005134	1.077	Aceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001887	0.001614	1.169	Aceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	X	0.005192	0.004774	1.088	Aceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001798	0.001514	1.188	Aceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	X	0.004796	0.00435	1.103	Aceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001681	0.001384	1.215	Irregularidad Torsional
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	X	0.006351	0.005713	1.112	Aceptable
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002403	0.001906	1.261	Irregularidad Torsional
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	X	0.004603	0.003997	1.152	Aceptable
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001596	0.001271	1.256	Irregularidad Torsional
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	X	0.001663	0.001403	1.185	Aceptable
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Y	0.000605	0.000474	1.276	Irregularidad Torsional

Tabla 16 Irregularidad Horizontal Torsional (Ex_D)

TABLE: Story Max Over Avg Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	$\delta_{max} < 1.25avg$
					m	m		
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	X	0.002717	0.002656	1.023	Aceptable
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005482	0.005376	1.02	Aceptable
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	X	0.004015	0.003283	1.223	Irregularidad Torsional
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005555	0.005373	1.034	Aceptable
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	X	0.004438	0.003523	1.26	Irregularidad Torsional
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005932	0.005695	1.042	Aceptable
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	X	0.004771	0.003697	1.29	Irregularidad Torsional
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006037	0.005764	1.047	Aceptable

Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	X	0.005037	0.003817	1.319	Irregularidad Torsional
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006417	0.005957	1.077	Aceptable
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	X	0.00522	0.003907	1.336	Irregularidad Torsional
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006603	0.00607	1.088	Aceptable
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	X	0.005311	0.003939	1.348	Irregularidad Torsional
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006709	0.00612	1.096	Aceptable
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	X	0.005234	0.003875	1.351	Irregularidad Torsional
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006696	0.006079	1.102	Aceptable
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	X	0.005149	0.003807	1.353	Irregularidad Torsional
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006692	0.006049	1.106	Aceptable
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	X	0.00502	0.00371	1.353	Irregularidad Torsional
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006639	0.005981	1.11	Aceptable
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	X	0.004778	0.003552	1.345	Irregularidad Torsional
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006497	0.005845	1.112	Aceptable
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	X	0.004482	0.003364	1.332	Irregularidad Torsional
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006309	0.005674	1.112	Aceptable
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	X	0.004237	0.003204	1.322	Irregularidad Torsional
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006149	0.005522	1.113	Aceptable
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	X	0.003998	0.003045	1.313	Irregularidad Torsional
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005942	0.005324	1.116	Aceptable
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	X	0.003867	0.00294	1.315	Irregularidad Torsional
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005771	0.005147	1.121	Aceptable
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	X	0.00379	0.002858	1.326	Irregularidad Torsional
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005586	0.004946	1.13	Aceptable
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	X	0.003754	0.002791	1.345	Irregularidad Torsional
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005364	0.004706	1.14	Aceptable
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	X	0.00374	0.002725	1.372	Irregularidad Torsional
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005089	0.004418	1.152	Aceptable
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	X	0.003765	0.002673	1.409	Irregularidad Torsional
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004797	0.004109	1.167	Aceptable
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	X	0.003799	0.002612	1.455	Irregularidad Torsional
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004431	0.003721	1.191	Aceptable
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	X	0.005623	0.003745	1.502	Irregularidad Torsional
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Y	0.006231	0.005054	1.233	Irregularidad Torsional
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	X	0.004798	0.00303	1.584	Irregularidad Torsional
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004104	0.003342	1.228	Irregularidad Torsional
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	X	0.001918	0.001175	1.632	Irregularidad Torsional
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001529	0.001225	1.248	Irregularidad Torsional

Tabla 17 Irregularidad Horizontal Torsional (Ey_D)

4.1.6. Revisión de Muros Estructurales

En el análisis de los muros estructurales se tomó en consideración lo siguiente:

- Se utilizó la opción de Refuerzo Uniforme (Uniform Reinforcing)
- A medida que se eleva el muro el espesor va disminuyendo en función de las cargas que recibe.
- Los materiales que se utilizan en el muro son: Acero de refuerzo ($f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$), Resistencia Hormigón Armado ($f'_c = 450 \text{ Kg/cm}^2$).
- Para el análisis estructural se empleó un solo PIER (P1).
- En el Section Designer de ETABS, se configura según un prediseño inicial, en función de las cargas.
- Una vez finalizado la sección del muro, se realizan los diagramas de interacción.
- Se bosquejan las cargas que recibe el muro dentro de los diagramas de interacción, y se revisa que las cargas estén dentro del diagrama.

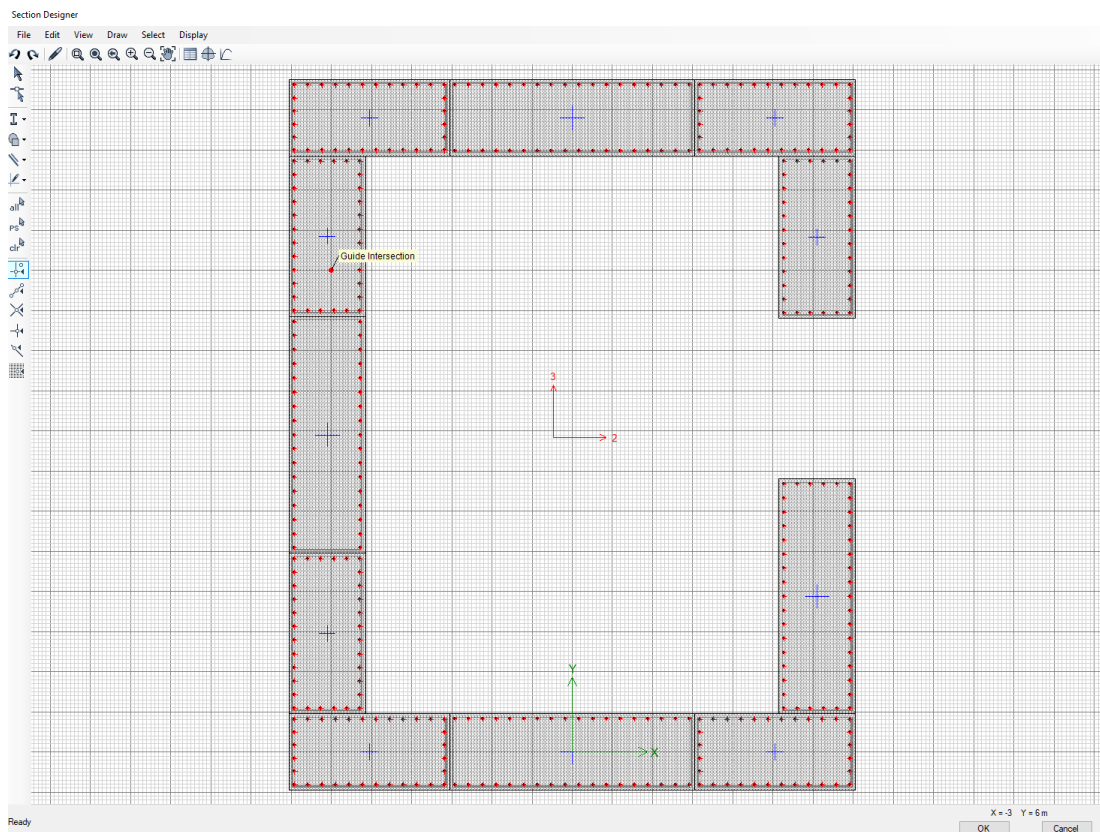


Figura 24 Muro Estructural – Section Designer

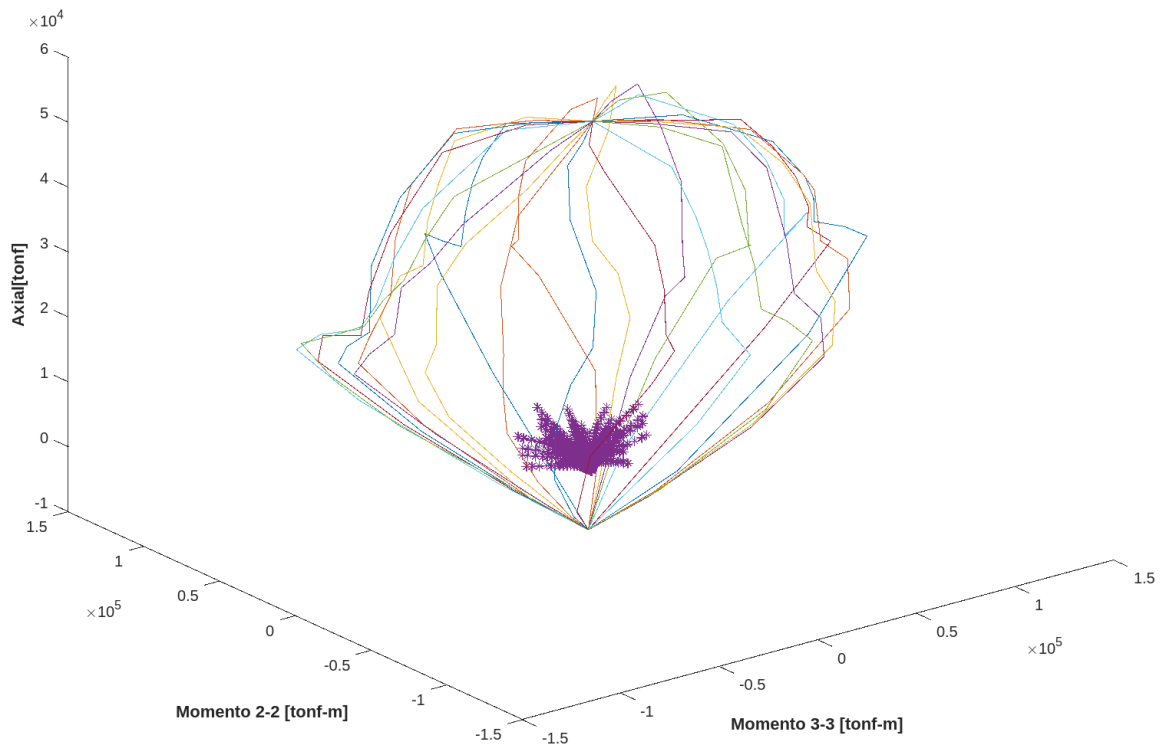


Figura 25 Diagrama Interacción 3D

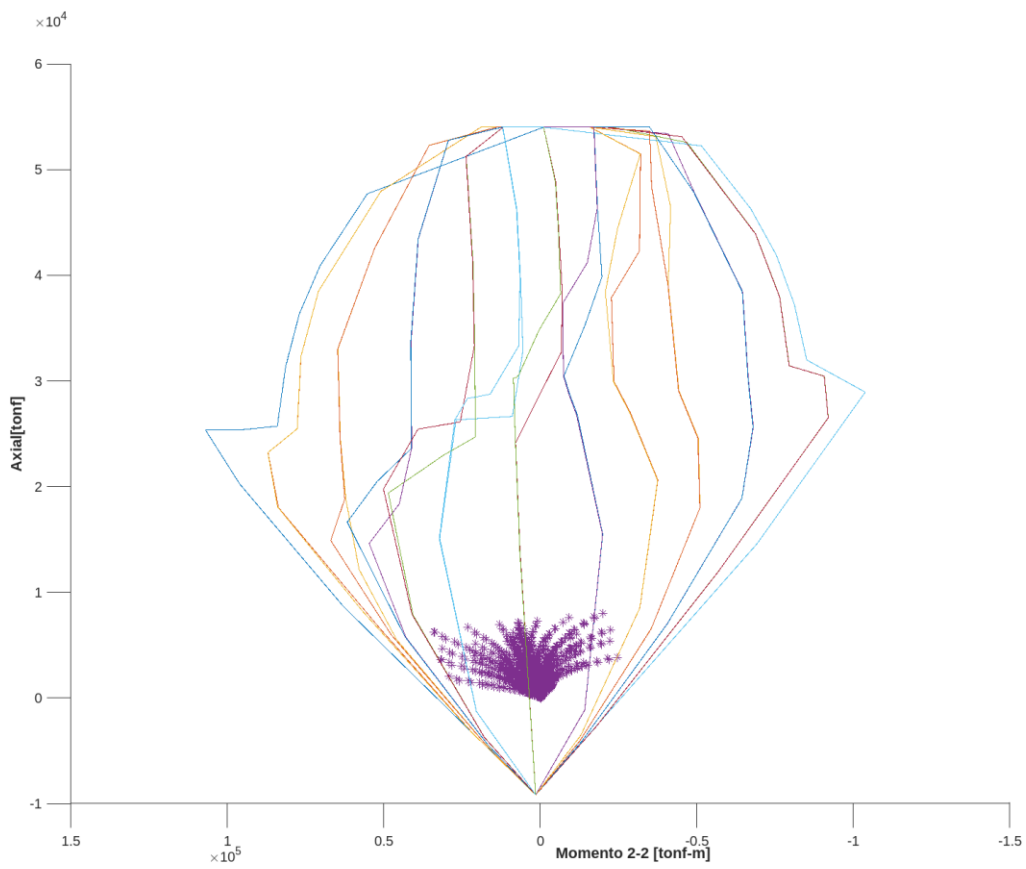


Figura 26 Diagrama Interacción Momento 2-2 [tonf-m]

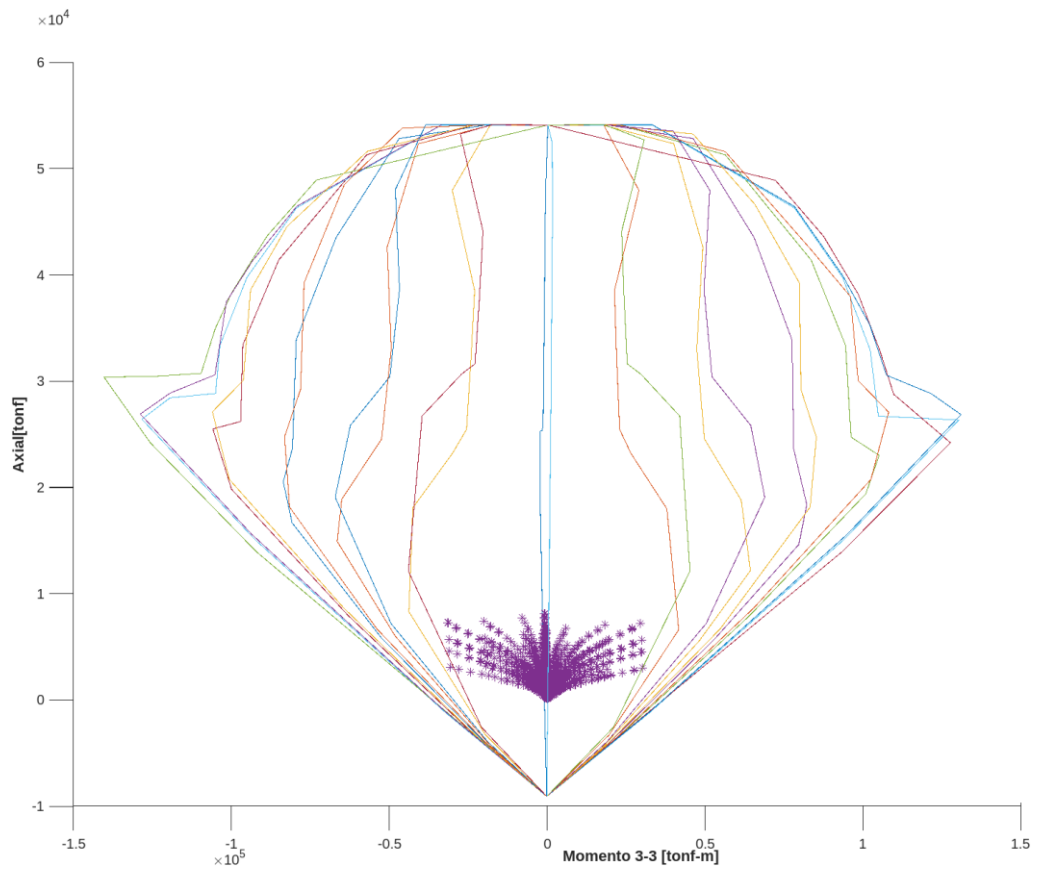
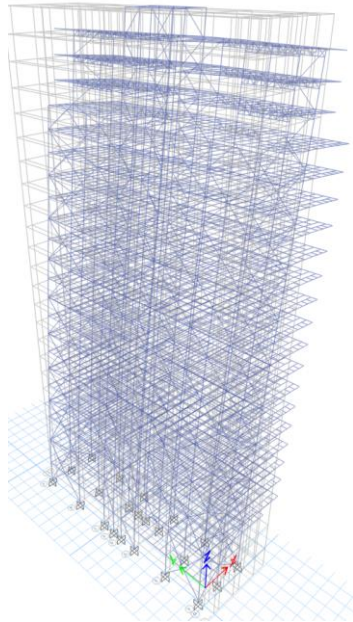


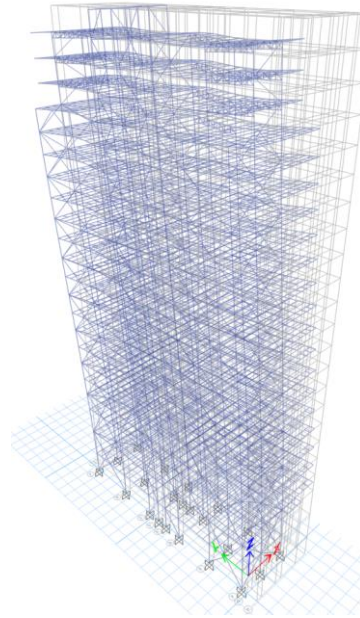
Figura 27 Diagrama Interacción Momento 3-3 [tonf-m]

4.2. Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Pórticos SCBF (Arriostramientos Concéntricos)

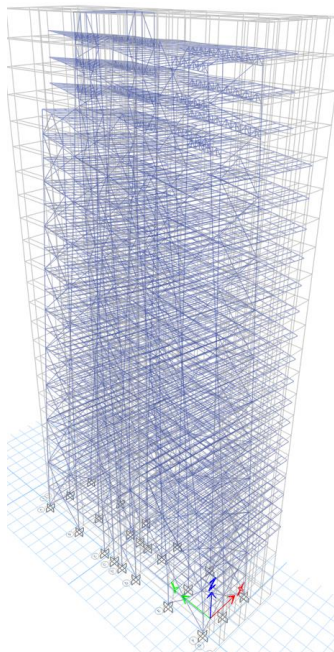
4.2.1. Períodos de Vibración



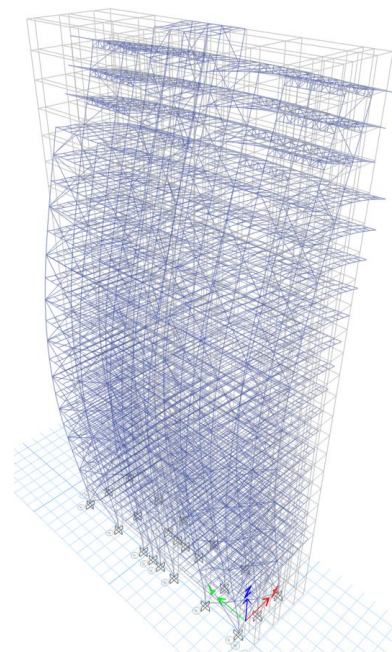
Modo 1 (T = 2.527 s)



Modo 2 (T = 1.825 s)



Modo 3 (T = 1.497 s)



Modo 4 (T = 0.745 s)

4.2.2. Tabla de Períodos y Masas Participativas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal	1	2.527	0.7272	2.232E-05	0.7272	2.232E-05
Modal	2	1.825	4.012E-05	0.7402	0.7273	0.7402
Modal	3	1.497	0.0006	0.0038	0.7278	0.744
Modal	4	0.745	0.1692	1.291E-06	0.897	0.744
Modal	5	0.524	9.495E-06	0.1557	0.897	0.8997
Modal	6	0.474	0.0002	0.0033	0.8971	0.9029
Modal	7	0.388	0.0372	0	0.9343	0.9029
Modal	8	0.274	0.0003	0.0345	0.9346	0.9375
Modal	9	0.268	0.0168	0.0014	0.9514	0.9389
Modal	10	0.259	0.001	0.002	0.9525	0.9409
Modal	11	0.194	0.0094	0.0001	0.9619	0.941
Modal	12	0.189	0.0005	0.0091	0.9623	0.9501
Modal	13	0.183	0.0001	0.0073	0.9625	0.9575
Modal	14	0.15	0.0068	1.002E-05	0.9693	0.9575
Modal	15	0.142	0.0001	0.0062	0.9694	0.9637
Modal	16	0.134	0.0001	0.0038	0.9695	0.9675
Modal	17	0.119	0.0049	9.247E-07	0.9745	0.9675
Modal	18	0.112	0.0001	0.0042	0.9746	0.9717
Modal	19	0.105	0.0004	0.0028	0.975	0.9744
Modal	20	0.1	0.0038	1.77E-05	0.9788	0.9745

Tabla 18 Masa participativa mayor al 90%

4.2.3. Revisión del Cortante Basal

Cortante Basal Estático

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Sx	LinStatic		Bottom	0	0	0
Cubierta N +75.78	Sx	LinStatic		Bottom	0	-47.8617	0
Piso 20 N +72.36	Sx	LinStatic		Bottom	0	-98.1195	0
Piso 19 N +68.94	Sx	LinStatic		Bottom	0	-144.5729	0
Piso 18 N +65.52	Sx	LinStatic		Bottom	0	-196.8189	0
Piso 17 N +62.10	Sx	LinStatic		Bottom	0	-245.6806	0
Piso 16 N +58.68	Sx	LinStatic		Bottom	0	-290.2075	0
Piso 15 N +55.26	Sx	LinStatic		Bottom	0	-330.5909	0
Piso 14 N +51.84	Sx	LinStatic		Bottom	0	-366.9885	0

Piso 13 N +48.42	Sx	LinStatic		Bottom	0	-399.5617	0
Piso 12 N +45.00	Sx	LinStatic		Bottom	0	-428.4762	0
Piso 11 N +41.58	Sx	LinStatic		Bottom	0	-454.0011	0
Piso 10 N +38.16	Sx	LinStatic		Bottom	0	-476.2861	0
Piso 9 N +34.74	Sx	LinStatic		Bottom	0	-495.4146	0
Piso 8 N +31.32	Sx	LinStatic		Bottom	0	-511.5759	0
Piso 7 N +27.90	Sx	LinStatic		Bottom	0	-524.9662	0
Piso 6 N +24.48	Sx	LinStatic		Bottom	0	-535.7909	0
Piso 5 N +21.06	Sx	LinStatic		Bottom	0	-544.2654	0
Piso 4 N +17.64	Sx	LinStatic		Bottom	0	-550.6178	0
Piso 3 N +14.22	Sx	LinStatic		Bottom	0	-555.0917	0
Piso 2 N +10.8	Sx	LinStatic		Bottom	0	-558.1973	0
Piso 1 N +5.4	Sx	LinStatic		Bottom	0	-559.247	0
Planta Baja N +0.0	Sx	LinStatic		Bottom	0	-559.247	0

Tabla 19 Cortante Basal Estático (Sx)

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	0
Cubierta N +75.78	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-47.8617
Piso 20 N +72.36	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-98.1195
Piso 19 N +68.94	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-144.5729
Piso 18 N +65.52	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-196.8189
Piso 17 N +62.10	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-245.6806
Piso 16 N +58.68	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-290.2075
Piso 15 N +55.26	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-330.5909
Piso 14 N +51.84	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-366.9885
Piso 13 N +48.42	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-399.5617
Piso 12 N +45.00	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-428.4762
Piso 11 N +41.58	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-454.0011
Piso 10 N +38.16	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-476.2861
Piso 9 N +34.74	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-495.4146
Piso 8 N +31.32	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-511.5759
Piso 7 N +27.90	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-524.9662
Piso 6 N +24.48	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-535.7909
Piso 5 N +21.06	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-544.2654
Piso 4 N +17.64	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-550.6178
Piso 3 N +14.22	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-555.0917
Piso 2 N +10.8	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-558.1973
Piso 1 N +5.4	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-559.247
Planta Baja N +0.0	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-559.247

Tabla 20 Cortante Basal Estático (Sy)

Cortante Basal Dinámico

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	12.2145	3.122
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	73.8064	22.0296
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	124.89	39.7395
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	160.9684	53.0664
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	191.8783	65.2208
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	215.676	75.4258
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	233.9114	83.0813
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	247.9232	88.4775
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	259.1572	92.4742
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	268.8814	95.7839
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	277.7699	98.5677
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	286.9186	101.2111
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	297.4701	104.2678
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	309.5102	108.0944
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	323.2579	112.6957
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	338.9703	118.0742
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	356.4509	124.3755
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	375.7658	131.5651
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	396.8901	139.1284
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	418.7316	146.4524
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	442.2637	154.0229
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	461.1289	160.0408
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	466.4591	161.8499

Tabla 21 Cortante Basal Dinámico (Ex_D)

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	4.2235	9.1852
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	24.3431	68.164
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	40.5272	123.9779
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	51.7024	167.32
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	60.6879	207.3089
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	67.6463	240.3195
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	73.2784	265.6391
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	77.7079	284.2988
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	81.1609	297.9323
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	84.0154	308.3809
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	86.4628	316.9443

Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	88.9614	325.3028
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	92.1159	335.0197
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	95.9607	347.2217
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	100.4076	362.2904
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	105.4043	380.4148
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	110.7594	401.5916
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	116.4714	425.1185
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	122.6892	449.639
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	129.1835	473.7783
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	136.2703	498.6104
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	142.3105	517.1651
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	144.1895	522.3743

Tabla 22 Cortante Basal Dinámico (Ey_D)

TABLE: Story Forces								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VX	VY	MX	MY
					tonf	tonf	tonf-m	tonf-m
Planta Baja N +0.0	Sx	LinStatic		Bottom	-559.247	0	2.0875	-34122.4382
Planta Baja N +0.0	Sy	LinStatic		Bottom	0	-559.247	33592.6123	-2.8075
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Bottom	466.4591	161.8499	7116.4032	20341.2315
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Bottom	144.1895	522.3743	23038.0701	6285.0359

Tabla 23 Cortante Basal Estático vs Dinámico

La norma exige que el sismo dinámico (espectral) sea por lo menos el 80% del sismo estático para estructuras regulares y 85% para estructuras irregulares, en este caso la edificación es regular.

$$\% Dir X = \frac{466.46}{559.25} = 83.41 \% ; OK$$

$$\% Dir Y = \frac{522.37}{559.25} = 93.41 \% ; OK$$

CASO: SX	VISTA XZ	VISTA YZ	
Ítem	Fuerza Cortante 2-2 [tonf]	Fuerza Cortante 3-3 [tonf]	Porcentaje [%]
Columnas	243.20	243.20	43.49%
Riostras	316.05	316.05	56.51%
Total [tonf]	559.25	559.25	100.00%

CASO: SY	VISTA XZ	VISTA YZ	
Ítem	Fuerza Cortante 2-2 [tonf]	Fuerza Cortante 3-3 [tonf]	Porcentaje [%]
Columnas	64.85	64.85	11.60%
Riostras	494.40	494.40	88.40%
Total [tonf]	559.25	559.25	100.00%

Para el caso (Sy) las riostras absorben más del 75% del cortante basal, por lo tanto, es un sistema dual.

4.2.4. Revisión del Derivas de Piso

TABLE: Story Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Cd	Drift	Max Drift
					Elástico		Inelástico	0.02
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	X	0.001564	5.5	0.008602	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	X	0.001841	5.5	0.0101255	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	X	0.001975	5.5	0.0108625	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	X	0.002024	5.5	0.011132	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	X	0.001991	5.5	0.0109505	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	X	0.00203	5.5	0.011165	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	X	0.002081	5.5	0.0114455	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	X	0.002123	5.5	0.0116765	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	X	0.002143	5.5	0.0117865	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	X	0.002146	5.5	0.011803	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	X	0.002099	5.5	0.0115445	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	X	0.001999	5.5	0.0109945	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	X	0.001935	5.5	0.0106425	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	X	0.001901	5.5	0.0104555	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	X	0.001852	5.5	0.010186	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	X	0.001815	5.5	0.0099825	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	X	0.001754	5.5	0.009647	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	X	0.001707	5.5	0.0093885	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	X	0.001628	5.5	0.008954	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	X	0.001548	5.5	0.008514	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	X	0.001388	5.5	0.007634	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	X	0.001278	5.5	0.007029	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	X	0.000629	5.5	0.0034595	Acceptable

Tabla 24 Derivas de Piso (Ex_D)

TABLE: Story Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Cd	Drift	Max Drift
					Elástico		Inelástico	0.02
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000807	5.5	0.0044385	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000829	5.5	0.0045595	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000861	5.5	0.0047355	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000907	5.5	0.0049885	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000944	5.5	0.005192	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001046	5.5	0.005753	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001092	5.5	0.006006	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001129	5.5	0.0062095	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Y	0.00115	5.5	0.006325	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001169	5.5	0.0064295	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001162	5.5	0.006391	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001161	5.5	0.0063855	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001139	5.5	0.0062645	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001139	5.5	0.0062645	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001104	5.5	0.006072	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Y	0.0011	5.5	0.00605	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001051	5.5	0.0057805	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001042	5.5	0.005731	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000976	5.5	0.005368	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000951	5.5	0.0052305	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000823	5.5	0.0045265	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000759	5.5	0.0041745	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000393	5.5	0.0021615	Acceptable

Tabla 25 Derivas de Piso (Ey_D)

4.2.5. Revisión de Irregularidades

TABLE: Story Max Over Avg Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	$\delta_{max} < 1.2\delta_{avg}$
					m	m		
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	X	0.005348	0.005319	1.005	Acceptable
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	Y	0.000937	0.000892	1.051	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	X	0.006297	0.006002	1.049	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	Y	0.000974	0.000852	1.142	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	X	0.006753	0.006187	1.092	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001022	0.000949	1.077	Acceptable

Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	X	0.006921	0.006596	1.049	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	Y	0.00105	0.001008	1.041	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	X	0.006808	0.006173	1.103	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001107	0.001045	1.06	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	X	0.006941	0.00659	1.053	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001224	0.001148	1.067	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	X	0.007116	0.00649	1.097	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001282	0.001195	1.073	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	X	0.007262	0.006875	1.056	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001325	0.001233	1.075	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	X	0.00733	0.006721	1.091	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001351	0.001253	1.079	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	X	0.00734	0.006942	1.057	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001372	0.001271	1.079	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	X	0.007178	0.006613	1.085	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001363	0.001263	1.079	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	X	0.006836	0.006476	1.056	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	Y	0.00135	0.001259	1.072	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	X	0.006617	0.006124	1.08	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001323	0.001234	1.072	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	X	0.006501	0.006157	1.056	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001321	0.001232	1.072	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	X	0.006334	0.005884	1.077	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001282	0.001194	1.074	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	X	0.006208	0.005874	1.057	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001275	0.001188	1.074	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	X	0.006	0.005589	1.073	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001221	0.001134	1.077	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	X	0.005839	0.005516	1.059	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	Y	0.00121	0.001124	1.077	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	X	0.005566	0.005196	1.071	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001138	0.001053	1.081	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	X	0.005294	0.004984	1.062	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001108	0.001025	1.081	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	X	0.007497	0.007082	1.059	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001528	0.001403	1.089	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	X	0.006904	0.006504	1.061	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001347	0.001277	1.055	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	X	0.002641	0.00247	1.069	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Y	0.000546	0.000515	1.059	Acceptable

Tabla 26 Irregularidad Horizontal Torsional (Ex_D)

TABLE: Story Max Over Avg Drifts

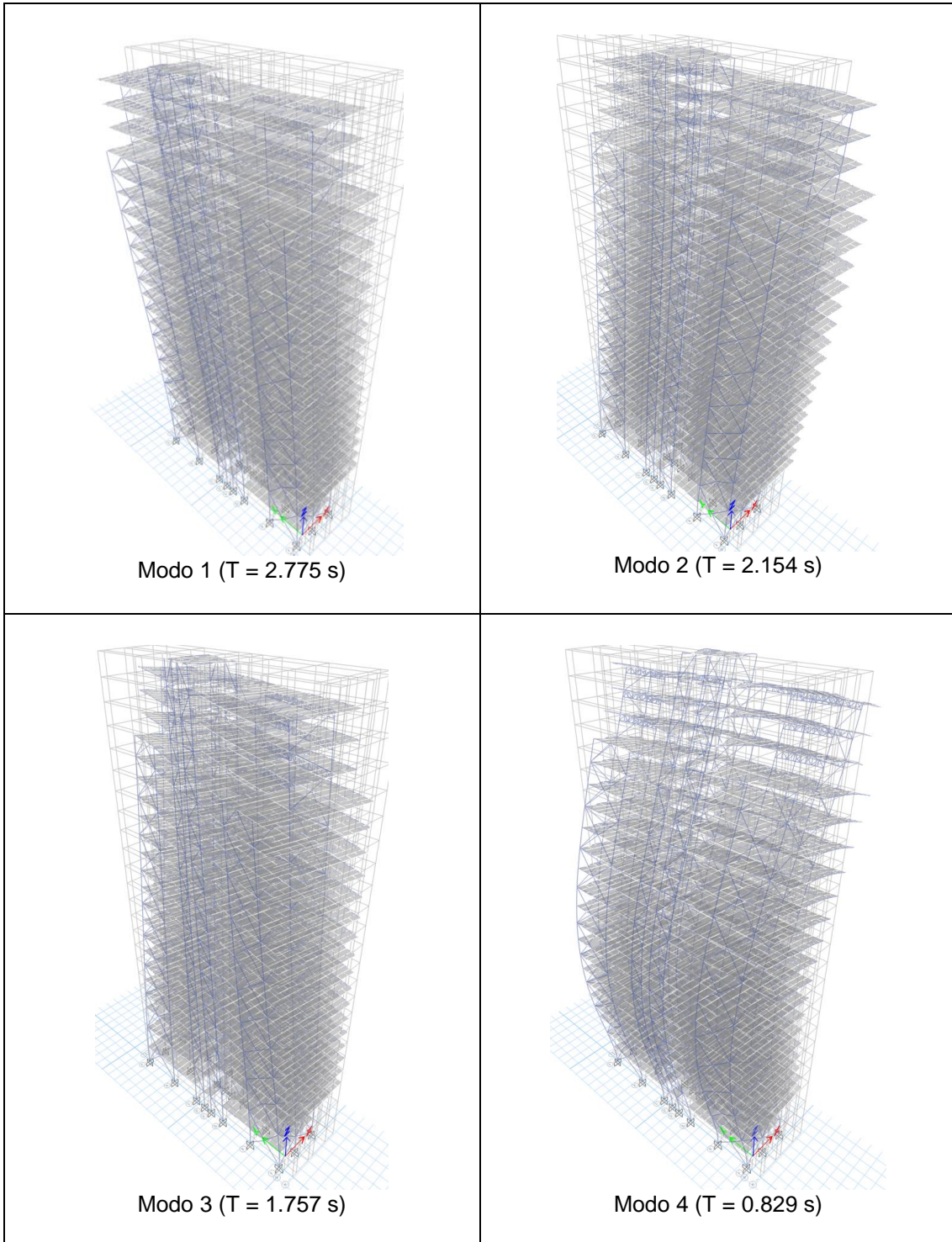
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	$\delta_{max} < 1.2\delta_{avg}$
					m	m		
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	X	0.00177	0.001723	1.027	Acceptable
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Y	0.002761	0.002744	1.006	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	X	0.002379	0.002107	1.129	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Y	0.002835	0.002547	1.113	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	X	0.003196	0.002579	1.239	Irregularidad Torsional
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Y	0.002945	0.002822	1.044	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	X	0.002504	0.002253	1.111	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003104	0.003062	1.014	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	X	0.003398	0.002681	1.267	Irregularidad Torsional
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003229	0.003201	1.009	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	X	0.002488	0.002238	1.112	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003576	0.003503	1.021	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	X	0.003467	0.002747	1.262	Irregularidad Torsional
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003736	0.00363	1.029	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	X	0.002661	0.002362	1.126	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003861	0.003749	1.03	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	X	0.00343	0.002755	1.245	Irregularidad Torsional
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003932	0.003798	1.035	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	X	0.002717	0.002398	1.133	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003997	0.003862	1.035	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	X	0.003262	0.002645	1.233	Irregularidad Torsional
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003975	0.00383	1.038	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	X	0.002504	0.002221	1.127	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003971	0.003847	1.032	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	X	0.002964	0.002419	1.225	Irregularidad Torsional
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003896	0.003764	1.035	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	X	0.002389	0.002115	1.129	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003895	0.003769	1.033	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	X	0.002763	0.002278	1.213	Irregularidad Torsional
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003776	0.003637	1.038	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	X	0.002304	0.00203	1.135	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Y	0.00376	0.003629	1.036	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	X	0.002534	0.002114	1.199	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003593	0.003449	1.042	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	X	0.002202	0.001922	1.145	Acceptable

Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003564	0.003428	1.039	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	X	0.002257	0.001908	1.183	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003338	0.003191	1.046	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	X	0.002036	0.001754	1.161	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003253	0.003114	1.045	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	X	0.002823	0.002466	1.145	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004443	0.004242	1.048	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	X	0.002699	0.002313	1.167	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004099	0.003939	1.041	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	X	0.001079	0.000902	1.197	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001651	0.001584	1.042	Acceptable

Tabla 27 Irregularidad Horizontal Torsional (Ey_D)

4.3. Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Pórticos BRBF (Arriostramientos de Pandeo Restringido)

4.3.1. Períodos de Vibración



4.3.2. Tabla de Períodos y Masas Participativas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal	1	2.775	0.7475	0.0001	0.7475	0.0001
Modal	2	2.154	0.0002	0.7724	0.7477	0.7724
Modal	3	1.757	0.0009	0.0183	0.7486	0.7907
Modal	4	0.829	0.1516	1.112E-05	0.9002	0.7907
Modal	5	0.667	4.015E-05	0.1296	0.9002	0.9203
Modal	6	0.556	0.0003	0.003	0.9005	0.9233
Modal	7	0.435	0.0347	3.02E-06	0.9352	0.9233
Modal	8	0.353	6.836E-06	0.0259	0.9352	0.9492
Modal	9	0.305	0.0001	0.0011	0.9353	0.9503
Modal	10	0.295	0.0162	1.545E-05	0.9515	0.9503
Modal	11	0.243	4.305E-06	0.0106	0.9515	0.9608
Modal	12	0.216	0.0079	0.0001	0.9595	0.961
Modal	13	0.214	0.0021	0.0007	0.9616	0.9616
Modal	14	0.184	1.47E-05	0.0067	0.9616	0.9683
Modal	15	0.164	0.007	1.251E-06	0.9686	0.9683
Modal	16	0.159	0.0003	0.0009	0.9689	0.9692
Modal	17	0.147	2.792E-05	0.0056	0.9689	0.9749
Modal	18	0.13	0.0057	0	0.9746	0.9749
Modal	19	0.124	0.0002	0.002	0.9749	0.9769
Modal	20	0.121	0.0001	0.0037	0.975	0.9806

Tabla 28 Masa participativa mayor al 90%

4.3.3. Revisión del Cortante Basal

Cortante Basal Estático

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Sx	LinStatic		Bottom	0	8.629E-07	0
Cubierta N +75.78	Sx	LinStatic		Bottom	0	-48.5477	0
Piso 20 N +72.36	Sx	LinStatic		Bottom	0	-99.656	0
Piso 19 N +68.94	Sx	LinStatic		Bottom	0	-146.8955	0
Piso 18 N +65.52	Sx	LinStatic		Bottom	0	-200.045	0
Piso 17 N +62.10	Sx	LinStatic		Bottom	0	-249.9679	0
Piso 16 N +58.68	Sx	LinStatic		Bottom	0	-295.4563	0
Piso 15 N +55.26	Sx	LinStatic		Bottom	0	-336.7118	0
Piso 14 N +51.84	Sx	LinStatic		Bottom	0	-373.8954	0

Piso 13 N +48.42	Sx	LinStatic		Bottom	0	-407.1721	0
Piso 12 N +45.00	Sx	LinStatic		Bottom	0	-436.711	0
Piso 11 N +41.58	Sx	LinStatic		Bottom	0	-462.7648	0
Piso 10 N +38.16	Sx	LinStatic		Bottom	0	-485.4921	0
Piso 9 N +34.74	Sx	LinStatic		Bottom	0	-505.0004	0
Piso 8 N +31.32	Sx	LinStatic		Bottom	0	-521.4825	0
Piso 7 N +27.90	Sx	LinStatic		Bottom	0	-535.1387	0
Piso 6 N +24.48	Sx	LinStatic		Bottom	0	-546.1782	0
Piso 5 N +21.06	Sx	LinStatic		Bottom	0	-554.821	0
Piso 4 N +17.64	Sx	LinStatic		Bottom	0	-561.2994	0
Piso 3 N +14.22	Sx	LinStatic		Bottom	0	-565.8622	0
Piso 2 N +10.8	Sx	LinStatic		Bottom	0	-569.0509	0
Piso 1 N +5.4	Sx	LinStatic		Bottom	0	-570.1392	0
Planta Baja N +0.0	Sx	LinStatic		Bottom	0	-570.1392	0

Tabla 29 Cortante Basal Estático (Sx)

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	0
Cubierta N +75.78	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-48.5477
Piso 20 N +72.36	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-99.656
Piso 19 N +68.94	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-146.8955
Piso 18 N +65.52	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-200.045
Piso 17 N +62.10	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-249.9679
Piso 16 N +58.68	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-295.4563
Piso 15 N +55.26	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-336.7118
Piso 14 N +51.84	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-373.8954
Piso 13 N +48.42	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-407.1721
Piso 12 N +45.00	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-436.711
Piso 11 N +41.58	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-462.7648
Piso 10 N +38.16	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-485.4921
Piso 9 N +34.74	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-505.0004
Piso 8 N +31.32	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-521.4825
Piso 7 N +27.90	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-535.1387
Piso 6 N +24.48	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-546.1782
Piso 5 N +21.06	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-554.821
Piso 4 N +17.64	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-561.2994
Piso 3 N +14.22	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-565.8622
Piso 2 N +10.8	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-569.0509
Piso 1 N +5.4	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-570.1392
Planta Baja N +0.0	Sy	LinStatic		Bottom	0	0	-570.1392

Tabla 30 Cortante Basal Estático (Sy)

Cortante Basal Dinámico

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	11.4649	2.8069
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	73.8752	19.4656
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	125.2586	35.3715
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	161.4675	47.9679
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	193.5099	60.6685
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	218.479	71.9035
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	237.5066	80.7598
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	252.978	87.7057
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	266.3164	93.5292
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	278.3813	98.4712
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	290.2454	102.6649
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	302.3671	106.6051
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	314.3891	110.575
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	326.4635	114.5795
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	339.1227	118.7656
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	352.4334	123.3467
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	366.8023	128.3582
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	383.2645	133.8699
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	401.9262	139.9178
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	421.8685	146.2441
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	444.7719	153.1593
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	463.8605	158.7831
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Bottom	0	469.3047	160.5039

Tabla 31 Cortante Basal Dinámico (Ex_D)

TABLE: Story Forces							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	4.0354	7.6249
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	24.7901	58.7335
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	41.3418	108.5668
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	52.9307	149.174
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	62.8018	189.4072
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	70.4237	224.1454
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	76.2155	252.2241
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	81.0233	274.847
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	85.2016	293.4866
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	88.9343	309.1485

Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	92.593	322.7921
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	96.3364	335.6193
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	100.0528	348.2023
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	103.8029	360.9076
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	107.7716	374.3619
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	111.9669	388.9717
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	116.5014	404.7651
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	121.6703	422.0821
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	127.4869	441.0843
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	133.6482	461.0187
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	140.7042	482.8498
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	146.7351	500.4029
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Bottom	0	148.5001	505.6468

Tabla 32 Cortante Basal Dinámico (Ey_D)

TABLE: Story Forces								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VX	VY	MX	MY
					tonf	tonf	tonf-m	tonf-m
Planta Baja N +0.0	Sx	LinStatic		Bottom	- 570.1392	0	10979.1695	3.2779
Planta Baja N +0.0	Sy	LinStatic		Bottom	0	- 570.1392	-3763.3022	34468.372
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Bottom	469.3047	160.5039	10062.2681	7602.6679
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Bottom	148.5001	505.6468	6910.4519	23998.0342

Tabla 33 Cortante Basal Estático vs Dinámico

La norma exige que el sismo dinámico (espectral) sea por lo menos el 80% del sismo estático para estructuras regulares y 85% para estructuras irregulares, en este caso la edificación es regular.

$$\% Dir X = \frac{469.30}{570.14} = 82.31 \% ; OK$$

$$\% Dir Y = \frac{505.65}{570.14} = 88.69 \% ; OK$$

CASO: SX	VISTA XZ	VISTA YZ	
Ítem	Fuerza Cortante 2-2 [tonf]	Fuerza Cortante 3-3 [tonf]	Porcentaje [%]
Columnas	357.57	357.57	62.72%
Riostras	212.57	212.57	37.28%
Total [tonf]	570.14	570.14	100.00%

CASO: SY	VISTA XZ	VISTA YZ	
Ítem	Fuerza Cortante 2-2 [tonf]	Fuerza Cortante 3-3 [tonf]	Porcentaje [%]
Columnas	182.27	182.27	31.97%
Riostras	387.87	387.87	68.03%
Total [tonf]	570.14	570.14	100.00%

En el caso Sy, se puede mencionar que las columnas absorben más del 25% del cortante basal, por lo tanto, el sistema es dual.

4.3.4. Revisión del Derivas de Piso

TABLE: Story Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Cd	Drift	Max Drift
					Elástico		Inelástico	0.02
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	X	0.001608	5	0.00804	Aceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	X	0.00194	5	0.0097	Aceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	X	0.002099	5	0.010495	Aceptable
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	X	0.002176	5	0.01088	Aceptable
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	X	0.002196	5	0.01098	Aceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	X	0.002263	5	0.011315	Aceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	X	0.002336	5	0.01168	Aceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	X	0.002398	5	0.01199	Aceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	X	0.00244	5	0.0122	Aceptable
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	X	0.002471	5	0.012355	Aceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	X	0.002482	5	0.01241	Aceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	X	0.002485	5	0.012425	Aceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	X	0.002474	5	0.01237	Aceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	X	0.002462	5	0.01231	Aceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	X	0.00243	5	0.01215	Aceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	X	0.002401	5	0.012005	Aceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	X	0.002351	5	0.011755	Aceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	X	0.00231	5	0.01155	Aceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	X	0.002242	5	0.01121	Aceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	X	0.002172	5	0.01086	Aceptable
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	X	0.001991	5	0.009955	Aceptable
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	X	0.001714	5	0.00857	Aceptable
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	X	0.000851	5	0.004255	Aceptable

Tabla 34 Derivas de Piso (Ex_D)

TABLE: Story Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Cd	Drift	Max Drift
					Elástico		Inelástico	0.02
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000806	5	0.00403	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000772	5	0.00386	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000814	5	0.00407	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000895	5	0.004475	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001051	5	0.005255	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001231	5	0.006155	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001318	5	0.00659	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001385	5	0.006925	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001436	5	0.00718	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001477	5	0.007385	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001502	5	0.00751	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001523	5	0.007615	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001528	5	0.00764	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001538	5	0.00769	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001524	5	0.00762	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001526	5	0.00763	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001496	5	0.00748	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Y	0.00149	5	0.00745	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001448	5	0.00724	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001471	5	0.007355	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Y	0.00158	5	0.0079	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Y	0.001476	5	0.00738	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Y	0.000789	5	0.003945	Acceptable

Tabla 35 Derivas de Piso (Ey_D)

4.3.5. Revisión de Irregularidades

TABLE: Story Max Over Avg Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	$\delta_{max} < 1.25avg$
					m	m		
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	X	0.0055	0.005462	1.007	Acceptable
Tapa grada N +79.20	Ex_D	Combination	Max	Y	0.000946	0.000911	1.039	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	X	0.006634	0.006313	1.051	Acceptable
Cubierta N +75.78	Ex_D	Combination	Max	Y	0.000959	0.00082	1.169	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	X	0.007178	0.006817	1.053	Acceptable
Piso 20 N +72.36	Ex_D	Combination	Max	Y	0.00103	0.000939	1.097	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	X	0.007442	0.007088	1.05	Acceptable
Piso 19 N +68.94	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001082	0.001035	1.046	Acceptable

Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	X	0.007511	0.007103	1.058	Acceptable
Piso 18 N +65.52	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001258	0.00117	1.076	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	X	0.007741	0.007333	1.056	Acceptable
Piso 17 N +62.10	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001471	0.001354	1.086	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	X	0.007989	0.00753	1.061	Acceptable
Piso 16 N +58.68	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001574	0.001445	1.09	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	X	0.008201	0.007746	1.059	Acceptable
Piso 15 N +55.26	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001652	0.001514	1.091	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	X	0.008344	0.007849	1.063	Acceptable
Piso 14 N +51.84	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001712	0.001566	1.093	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	X	0.008449	0.007967	1.06	Acceptable
Piso 13 N +48.42	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001759	0.001608	1.094	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	X	0.008487	0.007969	1.065	Acceptable
Piso 12 N +45.00	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001787	0.001632	1.095	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	X	0.0085	0.008006	1.062	Acceptable
Piso 11 N +41.58	Ex_D	Combination	Max	Y	0.00181	0.001653	1.096	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	X	0.008462	0.007933	1.067	Acceptable
Piso 10 N +38.16	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001815	0.001654	1.098	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	X	0.008419	0.00792	1.063	Acceptable
Piso 9 N +34.74	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001826	0.001664	1.097	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	X	0.008309	0.007775	1.069	Acceptable
Piso 8 N +31.32	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001811	0.001643	1.102	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	X	0.00821	0.007711	1.065	Acceptable
Piso 7 N +27.90	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001811	0.001645	1.101	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	X	0.008041	0.007505	1.071	Acceptable
Piso 6 N +24.48	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001779	0.001608	1.106	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	X	0.007899	0.007399	1.068	Acceptable
Piso 5 N +21.06	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001773	0.001605	1.105	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	X	0.007668	0.007137	1.074	Acceptable
Piso 4 N +17.64	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001728	0.001556	1.11	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	X	0.007429	0.00693	1.072	Acceptable
Piso 3 N +14.22	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001751	0.001575	1.112	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	X	0.010752	0.01009	1.066	Acceptable
Piso 2 N +10.8	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002937	0.002692	1.091	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	X	0.009258	0.00866	1.069	Acceptable
Piso 1 N +5.4	Ex_D	Combination	Max	Y	0.002629	0.002501	1.051	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	X	0.003576	0.00332	1.077	Acceptable
Planta Baja N +0.0	Ex_D	Combination	Max	Y	0.001097	0.00104	1.054	Acceptable

Tabla 36 Irregularidad Horizontal Torsional (Ex_D)

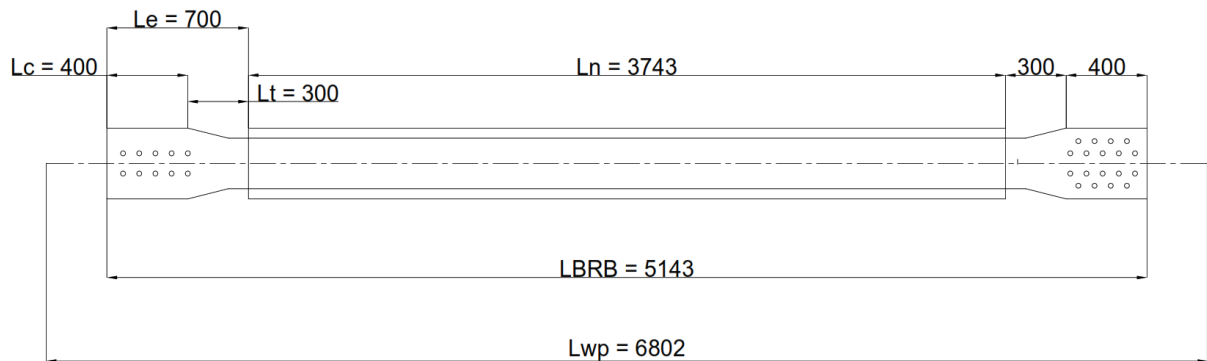
TABLE: Story Max Over Avg Drifts								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	$\delta_{max} < 1.25avg$
					m	m		
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	X	0.001861	0.001803	1.032	Aceptable
Tapa grada N +79.20	Ey_D	Combination	Max	Y	0.002757	0.002726	1.012	Aceptable
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	X	0.002624	0.002292	1.145	Aceptable
Cubierta N +75.78	Ey_D	Combination	Max	Y	0.002639	0.002364	1.117	Aceptable
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	X	0.006316	0.004217	1.498	Irregularidad Torsional
Piso 20 N +72.36	Ey_D	Combination	Max	Y	0.002784	0.002689	1.036	Aceptable
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	X	0.002866	0.002526	1.134	Aceptable
Piso 19 N +68.94	Ey_D	Combination	Max	Y	0.00306	0.003007	1.018	Aceptable
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	X	0.007004	0.004588	1.527	Irregularidad Torsional
Piso 18 N +65.52	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003594	0.003456	1.04	Aceptable
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	X	0.003196	0.00271	1.18	Aceptable
Piso 17 N +62.10	Ey_D	Combination	Max	Y	0.00421	0.003997	1.053	Aceptable
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	X	0.006943	0.004614	1.505	Irregularidad Torsional
Piso 16 N +58.68	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004508	0.004253	1.06	Aceptable
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	X	0.003498	0.002916	1.199	Aceptable
Piso 15 N +55.26	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004736	0.004461	1.062	Aceptable
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	X	0.006717	0.004542	1.479	Irregularidad Torsional
Piso 14 N +51.84	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004911	0.004609	1.065	Aceptable
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	X	0.00368	0.003034	1.213	Irregularidad Torsional
Piso 13 N +48.42	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005053	0.004739	1.066	Aceptable
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	X	0.006371	0.004381	1.454	Irregularidad Torsional
Piso 12 N +45.00	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005136	0.004802	1.07	Aceptable
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	X	0.003767	0.003077	1.224	Irregularidad Torsional
Piso 11 N +41.58	Ey_D	Combination	Max	Y	0.00521	0.004868	1.07	Aceptable
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	X	0.005928	0.004149	1.429	Irregularidad Torsional
Piso 10 N +38.16	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005224	0.004867	1.073	Aceptable
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	X	0.00379	0.003071	1.234	Irregularidad Torsional
Piso 9 N +34.74	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005261	0.0049	1.074	Aceptable
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	X	0.005408	0.003861	1.401	Irregularidad Torsional
Piso 8 N +31.32	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005213	0.004841	1.077	Aceptable
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	X	0.003755	0.003017	1.244	Irregularidad Torsional
Piso 7 N +27.90	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005218	0.004845	1.077	Aceptable
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	X	0.004821	0.003523	1.368	Irregularidad Torsional
Piso 6 N +24.48	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005117	0.004736	1.081	Aceptable
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	X	0.00367	0.002923	1.255	Irregularidad Torsional
Piso 5 N +21.06	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005097	0.004719	1.08	Aceptable
Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	X	0.004174	0.003139	1.33	Irregularidad Torsional

Piso 4 N +17.64	Ey_D	Combination	Max	Y	0.004951	0.004571	1.083	Aceptable
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	X	0.003492	0.002756	1.267	Irregularidad Torsional
Piso 3 N +14.22	Ey_D	Combination	Max	Y	0.005032	0.004633	1.086	Aceptable
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	X	0.004822	0.003902	1.236	Irregularidad Torsional
Piso 2 N +10.8	Ey_D	Combination	Max	Y	0.008532	0.007999	1.067	Aceptable
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	X	0.004223	0.003384	1.248	Irregularidad Torsional
Piso 1 N +5.4	Ey_D	Combination	Max	Y	0.007973	0.007624	1.046	Aceptable
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	X	0.001732	0.001345	1.288	Irregularidad Torsional
Planta Baja N +0.0	Ey_D	Combination	Max	Y	0.003315	0.00316	1.049	Aceptable

Tabla 37 Irregularidad Horizontal Torsional (Ey_D)

4.3.6. Cálculo de Riostras BRB

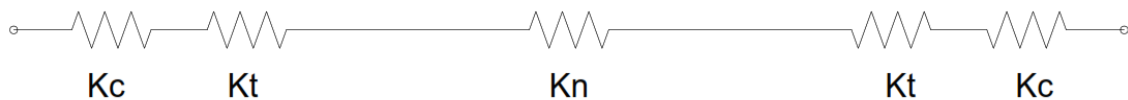
4.3.6.1. Esquema general BRB



4.3.6.2. Procedimiento de cálculo

- Se determinan medidas generales de la riostra BRB
- Se define geometría del tubo de confinamiento, segmento no cedente, segmento no cedente en transición, segmento no cedente en conexión.
- Se define la rigidez axial efectiva de la riostra de pandeo restringido
- Se determina el peso de la riostra de pandeo restringido
- El programa ETABS presenta un error al considerar el área total de la riostra en lugar del área del núcleo, por lo tanto, se debe ingresar la capacidad de la riostra de forma manual.
- Una vez determinada la capacidad de la riostra, se corre nuevamente el programa para que determine la demanda-capacidad real de la riostra.
- En función de las cargas que soporta las riostras, se determina el área del núcleo. Este paso es iterativo hasta obtener las dimensiones que soportan las cargas.

4.3.6.3. Fórmulas para el cálculo de las riostras BRB



$$K_{BRB} = \frac{1}{\sum \frac{1}{K_i}} = \frac{1}{\frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_t} + \frac{1}{K_n} + \frac{1}{K_t} + \frac{1}{K_c}} = \frac{1}{\frac{1}{K_n} + \frac{2}{K_c} + \frac{2}{K_t}}$$

$$\frac{1}{K_{se}} = \frac{2}{K_c} + \frac{2}{K_t}$$

Rigidez del segmento elástico

$$K_{se} = \frac{K_c * K_t}{2 * K_t + 2 * K_c}$$

Rigidez efectiva del BRB

$$K_{BRB} = \frac{1}{\frac{1}{K_n} + \frac{1}{K_{se}}} = \frac{K_n * K_{se}}{K_n + K_{se}}$$

Rigidez del segmento cedente

$$K_n = \frac{E * A_n}{L_n}$$

Rigidez del segmento no cedente en transición

$$K_t = \frac{E * A_t}{L_t}$$

Rigidez del segmento no cedente en conexión

$$K_c = \frac{E * A_c}{L_c}$$

Fuerza máxima de compresión

$$P_{ac} = \beta * \omega * R_y * F_y * A_{sc}$$

Revisión de la camisa o tubo de confinamiento (FS – factor de seguridad)

$$FS = \frac{I_{tubo} * \pi^4 * E}{P_{tubo} * (K * L_{tubo})^2}$$

1. Definición de segmentos de las riostras de pandeo restringido (BRB)

1.1. Dimensiones Generales

Lwp = La =	680.2	cm	Longitud Total
Lbrb =	514.3	cm	Longitud real del BRB
Ln =	374.3	cm	Longitud del segmento cedente (núcleo de acero)
Le =	70	cm	Longitud del segmento no cedente de comportamiento elástico
Lt =	30	cm	Longitud del segmento no cedente en transición (no arriostrado)
Lc =	40	cm	Longitud del segmento no cedente en conexión (arriostrado)

1.2. Definición del tubo de confinamiento (camisa metálica)

b_tubo =	35	cm	Ancho del tubo
h_tubo =	35	cm	Altura del tubo
t_tubo =	1.2	cm	Espesor del tubo
A_tubo =	162.24	cm ²	Área del tubo
I_tubo =	30930.52	cm ⁴	Inercia del tubo

1.3. Segmento Cedente

b_pl1 =	25	cm	Ancho de la plancha
t_pl1 =	2.5	cm	Espesor de la plancha
An =	62.5	cm ²	Área de la sección transversal del segmento cedente

1.4. Segmento no cedente en transición (elástico)

h_pl_ref1 =	11.25	cm	Altura de la plancha de refuerzo
t_pl_ref1 =	2.5	cm	Espesor de la plancha
At =	118.75	cm ²	Área de la sección transversal en el segmento no cedente (transición)

1.5. Segmento no cedente en conexión (elástico)

b_pl2 =	25	cm	Ancho de la plancha
t_pl2 =	2.5	cm	Espesor de la plancha
h_pl_ref2 =	11.25	cm	Altura de la plancha de refuerzo
t_pl_ref2 =	2.5	cm	Espesor de la plancha de refuerzo
Ac =	118.75	cm ²	Área de la sección transversal en el segmento no cedente (conexión)

2. Definición de la rigidez axial efectiva de la riostra de pandeo restringido

Ry =	1.1		
E =	200000	[Mpa]	
E =	2039440	[Kg/cm ²]	
ω =	1.3		Factor de ajuste de endurecimiento por deformación
β =	1.15		Factor de ajuste de resistencia por compresión
Kn =	340542.35	Kg/cm	Rigidez del segmento cedente
Kt =	8072783.33	Kg/cm	Rigidez del segmento no cedente en transición
Kc =	6054587.5	Kg/cm	Rigidez del segmento no cedente en conexión
Kse =	1729882.14	Kg/cm	Rigidez del segmento elástico
KBRB =	284530.117	Kg/cm	Rigidez efectiva del BRB

3. Peso de la riostra de pandeo restringido

3.1 Peso del tubo de confinamiento

ρ_acero =	0.00785	Kg/cm ³	
ρ_mortero =	0.001835	Kg/cm ³	
L_tubo =	434.3	cm	Longitud del tubo
W_tubo =	553.12	Kg	Peso del tubo

3.2 Peso de las planchas

W_planchas =	314.15	Kg	Peso de las planchas de acero
--------------	--------	----	-------------------------------

3.3 Peso del Mortero

Amn =	1000.26	cm ²	Área del mortero en el segmento cedente
Amt =	944.01	cm ²	Área del mortero en el segmento no cedente en transición
W_mortero =	790.95	Kg	Peso del Mortero

3.4 Peso Total

W_total =	1658.22	Kg	Peso total
-----------	---------	----	------------

3.5 Definición del BRB en ETABS

b_tubo =	35	cm	Overall Width
h_tubo =	35	cm	Overall Depth

An =	62.5	cm ²	Area of Yielding Core
Ln =	374.3	cm	Length of Yielding Core
Kse =	1729882.14	Kg/cm	Stiffness of Elastic Segment
Lse =	140	cm	Length of Elastic Segment
KBRB =	284530.117	Kg/cm	Current Linear Effective Axial Stiffness
4. Relación Demanda / Capacidad			
Asc = An =	62.5	cm ²	
Fy _{sc} =	3500	Kg/cm ²	
P_n =	218750	Kg	Se debe ingresar la capacidad de la riostra de forma manual
ØP _n =	196875	Kg	
Pac =	359734.38	Kg	
K =	2.00		Conexión Apertada
FS =	2.29	OK	FS > 2

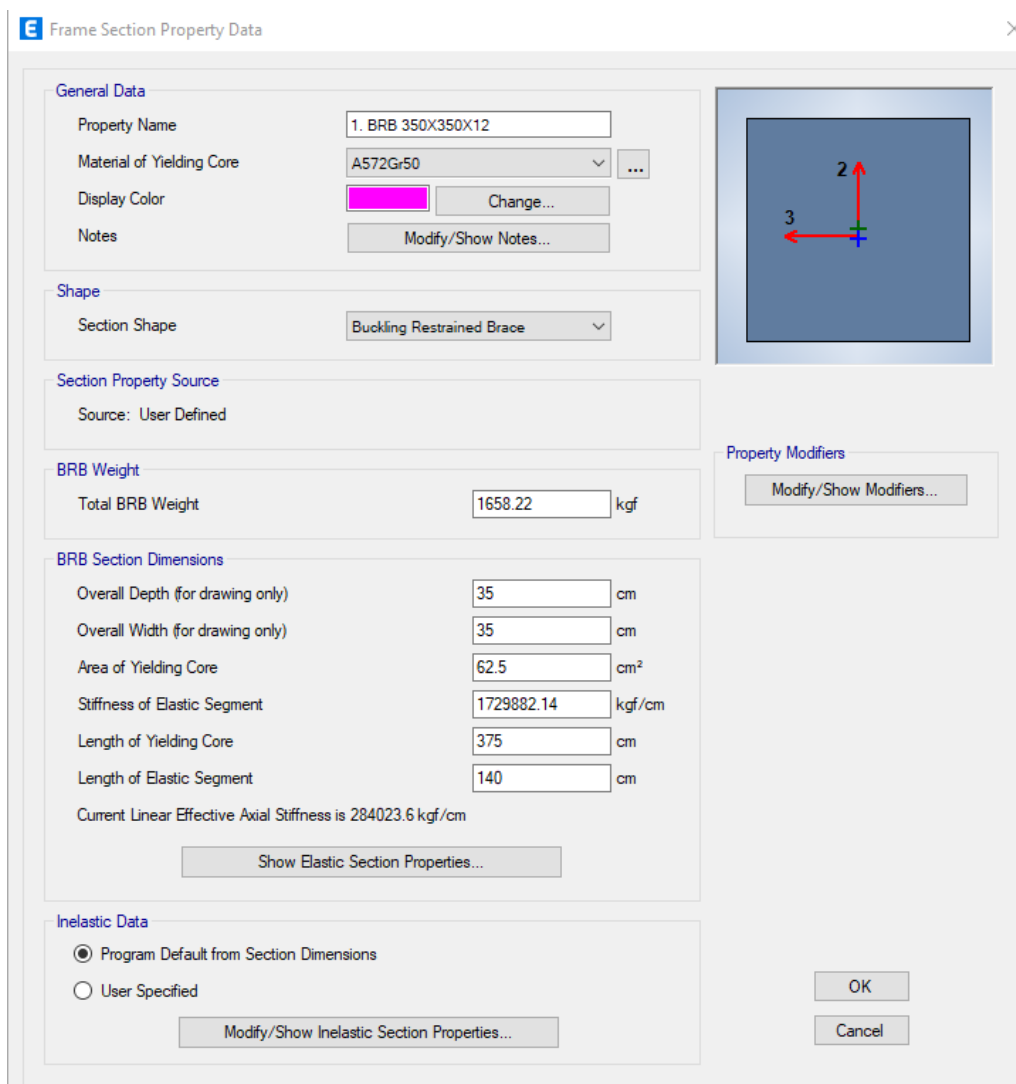


Figura 28 Definición del BRB en ETABS

4.4. ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

4.4.1. Variables:

Sistema Estructural, Peso

EDIFICIO	EL FARO	
SISTEMA ESTRUCTURAL	PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO & MUROS DE CORTE	
Sección	Material	Peso [Kg]
Columnas	A572Gr50	494,836.50
Vigas Principales	A572Gr50	482019.11
Vigas Secundarias	A36	11,872.13
	Peso [Kg]	988,727.74
	Área [m2]	10,975.08
	Ratio [Kg/m2]	90.09

EDIFICIO	EL FARO	
SISTEMA ESTRUCTURAL	PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO & RIOSTRAS CONCENTRICAS	
Sección	Material	Peso [Kg]
Columnas	A572Gr50	636,294.45
Vigas Principales	A572Gr50	570,753.97
Vigas Secundarias	A36	10,412.22
Riostras	A572Gr50	172,726.27
	Peso [Kg]	1,390,186.91
	Área [m2]	10,975.08
	Ratio [Kg/m2]	126.67

EDIFICIO	EL FARO REV. 12	
SISTEMA ESTRUCTURAL	PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO & RIOSTRAS BRB	
Sección	Material	Peso [Kg]
Columnas	A572Gr50	639,436.24
Vigas Principales	A572Gr50	570,747.65
Vigas Secundarias	A36	10,412.22
Riostras BRB	A572Gr50	173,943.41
	Peso [Kg]	1,394,539.52
	Área [m2]	10,975.08
	Ratio [Kg/m2]	127.06

4.4.2. Indicadores:

Cortante Basal

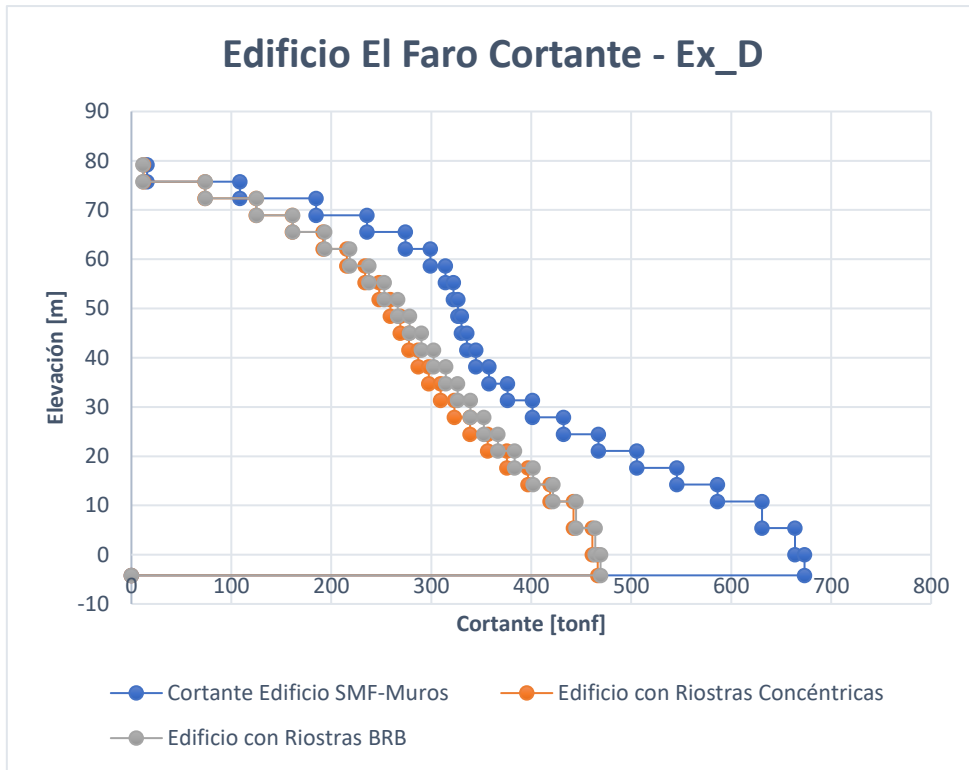


Figura 29 Cortante Basal Ex_D

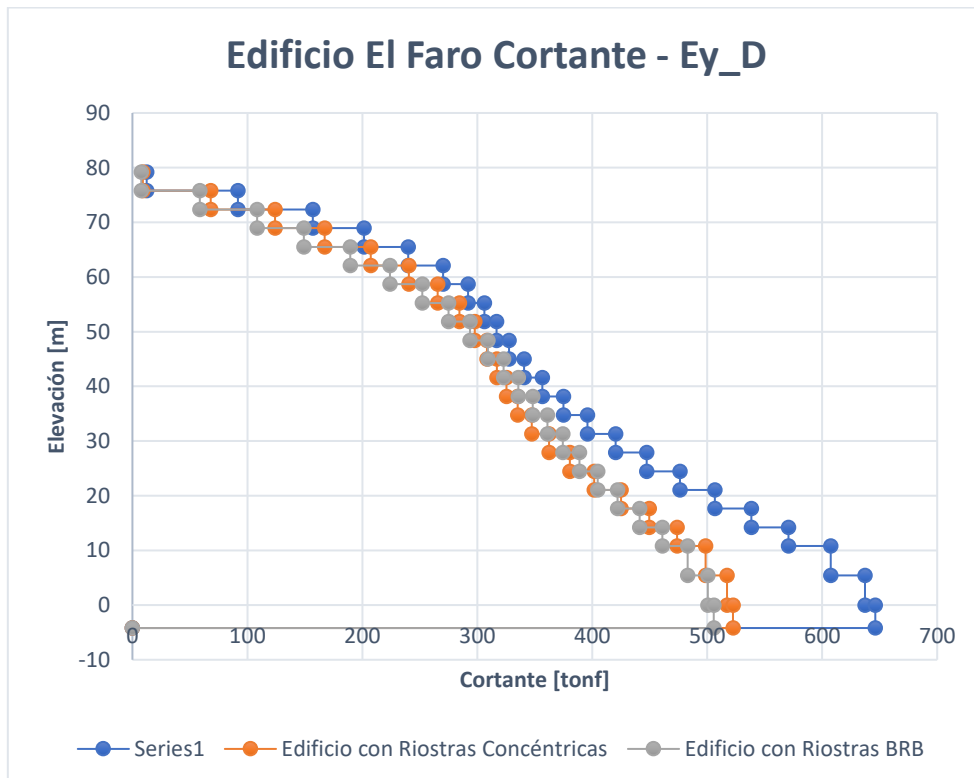


Figura 30 Cortante Basal Ey_D

Derivas

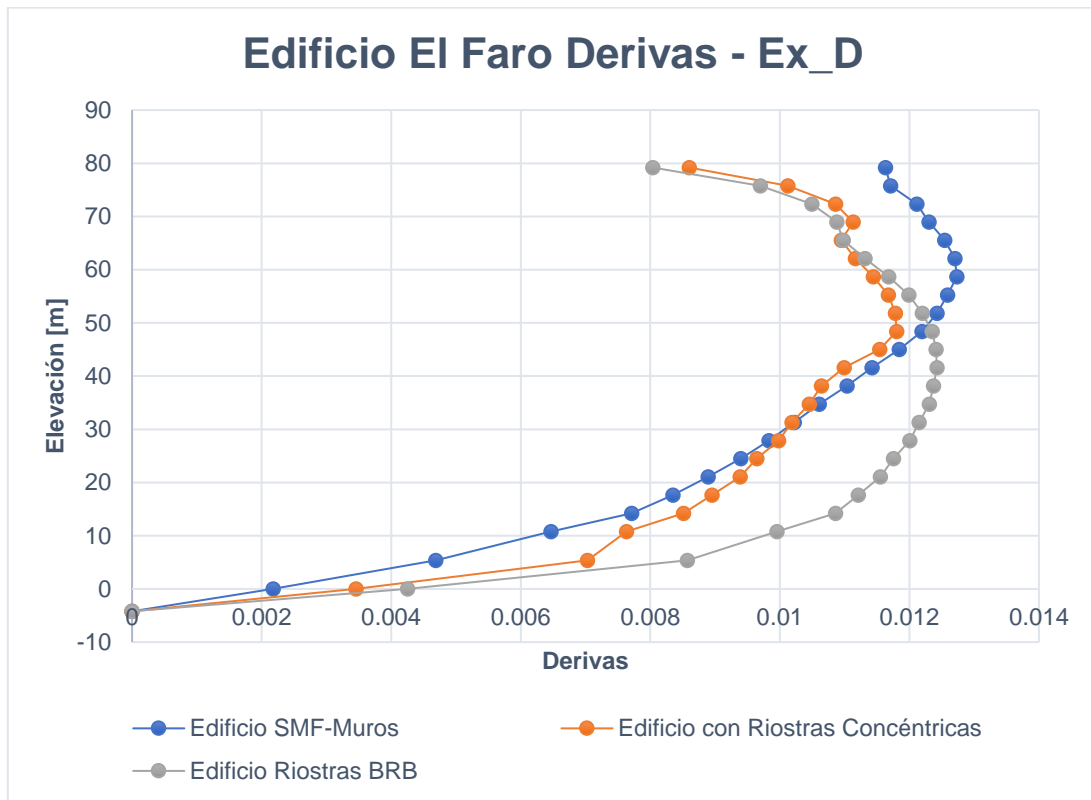


Figura 31 Derivas Ex_D

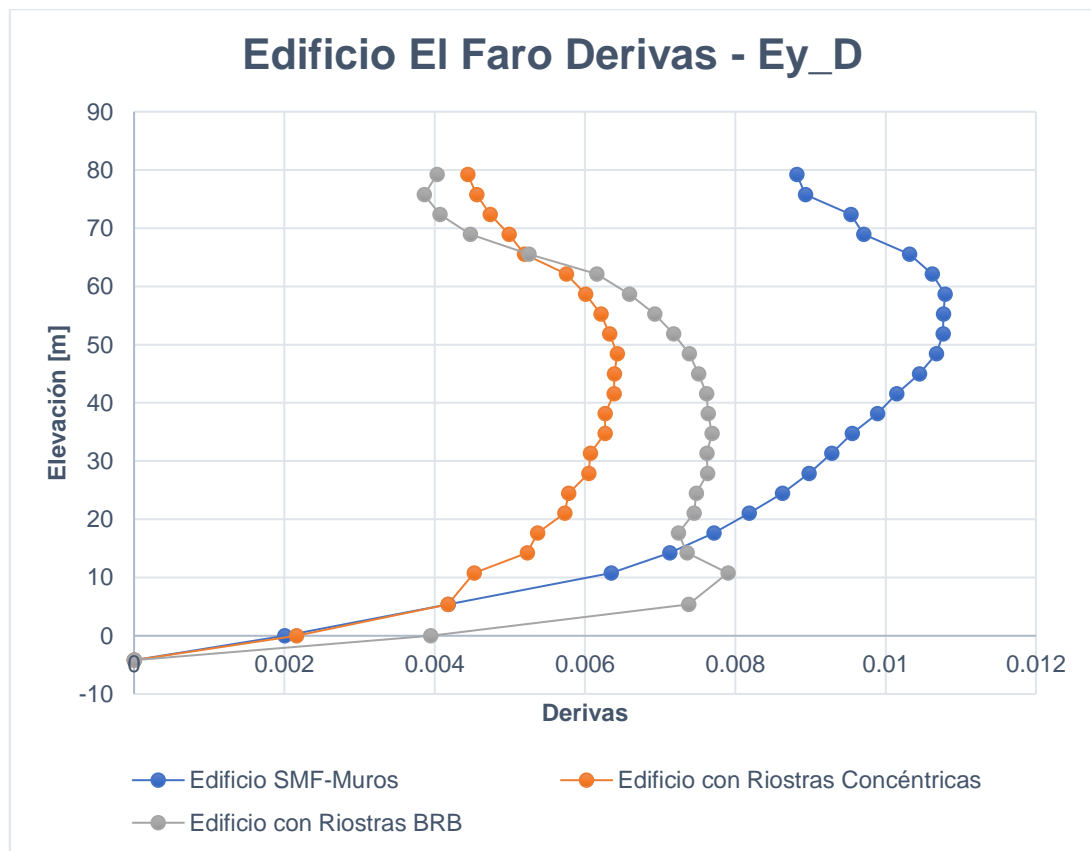


Figura 32 Derivas Ey_D

Costos

Costo de la Estructura Metálica

EDIFICIO	EL FARO			
SISTEMA ESTRUCTURAL	PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO & MUROS DE CORTE		COSTOS FABRICACIÓN & MONTAJE	
Sección	Material	Peso [Kg]	Precio Unitario [USD/Kg]	Precio Total [USD]
Columnas	A572Gr50	494,836.50	2.20	1,088,640.30
Vigas Principales	A572Gr50	498,579.41	2.20	1,096,874.70
Vigas Secundarias	A36	10,412.22	2.20	22,906.88
	Peso [Kg]	1,003,828.13	TOTAL [USD] (1)	2,208,421.89
	Área [m2]	10,975.08		
	Ratio [Kg/m2]	91.46		

Costo del Muro Estructural

Peso Hormigón	3,753,785.11	[Kg]	Modelo ETABS
Densidad	2,400.00	[kg/m3]	
Volumen	1,564.08	[m3]	
Acero de Refuerzo	80.00	[Kg/m3]	Cuantía Aprox. de Acero de Refuerzo Kg/m3 de hormigón

Descripción	Volumen [m3]	Precio [USD/m3]	Precio Hormigón [USD]
Hormigón f'c 450, Incluido Encofrado	1,564.08	350.00	547,427.00

Descripción	Acero Refuerzo [Kg]	Precio [USD/kg]	Precio Acero Refuerzo [USD]
Acero Refuerzo	125,126.17	1.90	237,739.72

TOTAL [USD] (2)	785,166.72
(1) + (2) [USD]	2,993,588.61

EDIFICIO	EL FARO			
SISTEMA ESTRUCTURAL	PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO & RIOSTRAS CONCENTRICAS		COSTOS DE FABRICACIÓN & MONTAJE	
Sección	Material	Peso Estructura [Kg]	Precio [USD/Kg]	Precio Total [USD]
Columnas	A572Gr50	636,294.45	2.20	1,399,847.79
Vigas Principales	A572Gr50	570,753.97	2.20	1,255,658.73
Vigas Secundarias	A36	10,412.22	2.20	22,906.88
Riostras	A572Gr50	172,726.27	2.20	379,997.79
	Peso [Kg]	1,390,186.91		3,058,411.20
	Área [m2]	10,975.08		
	Ratio [Kg/m2]	126.67		

EDIFICIO	EL FARO			
SISTEMA ESTRUCTURAL	PORTICOS RESISTENTES A MOMENTO & RIOSTRAS BRB		COSTOS DE FABRICACIÓN & MONTAJE	
Sección	Material	Peso Estructura [Kg]	Precio [USD/Kg]	Precio Total [USD]
Columnas	A572Gr50	639,436.24	2.20	1,406,759.73
Vigas Principales	A572Gr50	570,747.65	2.20	1,255,644.83
Vigas Secundarias	A36	10,412.22	2.20	22,906.88
Riostras BRB	A572Gr50	173,943.41	2.20	382,675.50
	Peso [Kg]	1,394,539.52		3,067,986.94
	Área [m2]	10,975.08		
	Ratio [Kg/m2]	127.06		

5. ANALISIS NO LINEAL DE LOS MODELOS PROPUESTOS

5.1. Procedimiento

Para que la curva de capacidad tenga más sentido se debe revisar lo siguiente:

- Definir la rótula axial en las riostras.
- Cambiar condición de apoyo, asignar apoyo simple.
- Incluir una rotula plástica de flexión a la columna.
- Intentar que el modelo sea totalmente elastoplástico.
- Revisar las cargas de cortante en las columnas, si se observan valores muy altos es posible que la curva de capacidad no sea real. Esto puede ser por la condición de apoyo.
- En ciertas ocasiones, la rótula elástica puede llevarse toda la carga, por la condición de apoyo simple, este punto se tiene que chequear durante el análisis.
- Se podría considerar la no linealidad de las columnas para observar un comportamiento realista.
- Se debe esperar un desplazamiento razonable.
- Se debe colocar los valores que establece el código ASCE 41-17

5.2. Cálculo de parámetros para el Análisis No Lineal de Elementos Estructurales según ASCE 41-17

5.2.1. Viga Principal HI 450x200x15x12

SECCIÓN	HI 450X200X15X12	Unidades
d =	45.00	[cm]
bf =	20.00	[cm]
tf =	1.50	[cm]
tw =	1.20	[cm]
r =	0.00	[cm]
h =	42	[cm]
As =	110.4	[cm ²]
Ixx =	35803.80	[cm ⁴]
Iyy =	2006.05	[cm ⁴]
Zxx =	1834.20	[cm ³]
Zyy =	315.12	[cm ³]

rx =	18.01	[cm]
ry =	4.26	[cm]
1 KSI =	703.07	[tonf/m2]
Fy (ASTM A 572 Gr. 50) =	3515	[Kg/cm^2]
Fy (ASTM A 572 Gr. 50) =	50	[KSI]
Ry (ASTM A 572 Gr. 50) =	1.1	
E =	29000	[KSI]

CALCULO DE CARGA AXIAL		
As =	110.40	[cm2]
Fy =	3,515.00	[Kg/cm^2]
P =	388,056.00	[Kg]
	388.06	[ton]
	427.76	[tonf]

CALCULO DE MOMENTO PROBABLE		
Ry =	1.1	
Z =	1,834.20	[cm^3]
Fy =	3,515.00	[Kg/cm^2]
Mp =	7,091,934.30	[Kg-cm]
	70.92	[ton-m]
	78.18	[tonf-m]

Cálculo de Coeficientes de Rotaciones Plásticas

Table 9-7.1. Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Beams and Columns—Flexural Actions

Modeling Parameters	Acceptance Criteria		
	Plastic rotation angle (radians) Performance Level		
Plastic rotation angle a and b (radians) Residual strength ratio c	IO	LS	CP
Beams 1. Where: $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ $a = 9\theta_y$ $b = 11\theta_y$ $c = 0.6$	0.25 ^a	a	b
2. Where: $\frac{b_f}{2t_f} \geq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ $a = 4\theta_y$ $b = 6\theta_y$ $c = 0.2$	0.25 ^a	0.75 ^a	a
3. Other: Linear interpolation between the values on lines 1 and 2 for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used.			

bf / 2tf =	6.67
0.30*Raiz(E/Fy) =	7.22
h / tw =	35.00
2.45*Raiz(E/Fy) =	59.00
bf / 2tf ≤ 0.30*Raiz(E/Fy)	OK
h / tw ≤ 2.45*Raiz(E/Fy)	OK

Cumple

Entonces:	
a =	9
b =	11
c =	0.6

NIVELES DE DESEMPEÑO	
IO (Ocupación Inmediata) =	2.25
LS (Seguridad de Vida) =	9
CP (Prevención de Colapso) =	11

Hinge Property Data for RotulaFlexión - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.6	-11
D-	-0.6	-9
C-	-1	-9
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	9
D	0.6	9
E	0.6	11

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment

Moment SF Positive Negative

Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Rotation SF Positive Negative

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy Positive Negative

Life Safety Positive Negative

Collapse Prevention Positive Negative

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Figura 33 Parámetros para análisis no lineal (HI 450X200X15X12)

5.2.2. Riostra TC 300x18

SECCIÓN	TC 300X18	
H =	30	[cm]
B =	30	[cm]
t =	1.8	[cm]
A =	203.04	[cm ²]
E =	29000	[KSI]
Fy =	50	[KSI]
Ry =	1	
Øc =	0.9	
L =	760	[cm]
Kx =	1.0	
Ky =	1.0	

CHEQUEO DE ESBELTEZ - AISC 360 - TABLA B4.1a

b =	26.4	[cm]
h =	26.4	[cm]
t =	1.8	[cm]
b/t =	14.67	
h/t =	14.67	

1.4*RAIZ(E/Fy)	33.72	No Esbelta
----------------	-------	-------------------

TABLA D1.1a - AISC 341-22

0.65*RAIZ(E/Ry*Fy) =	15.65	HD
----------------------	-------	-----------

PROPIEDADES GEOMETRICAS		
Ry =	1.1	
Fy =	3515.00	[Kg/cm²]
Fu =	3866.50	[Kg/cm²]
E =	2038700	[Kg/cm ²]
Ag =	203.04	[cm ²]
Ix =	27020.56	[cm ⁴]
rx =	11.54	[cm]
Iy =	27020.56	[cm ⁴]
ry =	11.54	[cm]
Kx*L/rx =	65.88	
Ky*L/ry =	65.88	
4.71*RAIZ(E/Fy) =	113.43	Parte (a)
Fe =	4635.95	[Kg/cm ²]
Fn =	2559.19	[Kg/cm ²]
Pn =	519618.85	[Kg]
Pn =	519.62	[ton]
Øc =	0.9	
Øc*Pn =	467.66	[ton]
Øc*Pn =	572.78	[tonf]

Resistencia Esperada de la Riostra en Tensión

Te_Fy =	786.70	[tonf]
----------------	---------------	---------------

Resistencia Esperada de la Riostra en Compresión

Ce =	653.11	[tonf]
-------------	---------------	---------------

Resistencia Esperada de la Riostra después del Pandeo

R_post_pandeo =	195.93	[tonf]
------------------------	---------------	---------------

Criterios de aceptación para análisis no lineal – Riostras en Compresión

Slender _____ 101.15

Stocky _____ 50.57

$Kx*L/r_x = 65.88$

Table 9-8. Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Components—Axial Actions

Component/Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria		
	a	B	c	Residual Strength Ratio		
				IO	LS	CP
Braces in Compression (except EBF braces)^{a,b}						
a. Slender $\frac{KI}{r} \geq 4.2 \sqrt{E/F_y}$						
1. W, I, 2L in-plane ^c , 2C in-plane ^c	0.5 Δ_c	10 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	8 Δ_c	10 Δ_c
2. 2L out-of-plane ^c , 2C out-of-plane ^c	0.5 Δ_c	9 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	7 Δ_c	9 Δ_c
3. HSS, pipes, tubes	0.5 Δ_c	9 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	7 Δ_c	9 Δ_c
4. Single angle	0.5 Δ_c	12 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	9 Δ_c	12 Δ_c
b. Stocky ^d $\frac{KI}{r} \leq 2.1 \sqrt{E/F_y}$						
1. W, I, 2L in-plane ^c , 2C in-plane ^c	1 Δ_c	8 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	7 Δ_c	8 Δ_c
2. 2L out-of-plane ^c , 2C out-of-plane ^c	1 Δ_c	7 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	6 Δ_c	7 Δ_c
3. HSS, pipes, tubes	1 Δ_c	7 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	6 Δ_c	7 Δ_c
c. Intermediate	Linear interpolation between the values for slender and stocky braces (after application of all applicable modifiers) shall be used.					
Braces in Tension (except EBF braces)^{e-g}						
1. W	10 Δ_T	13 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	10 Δ_T	13 Δ_T
2. 2L	9 Δ_T	12 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	9 Δ_T	12 Δ_T
3. HSS	9 Δ_T	11 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	8 Δ_T	11 Δ_T
4. Pipe	8 Δ_T	9 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	7 Δ_T	9 Δ_T
5. Single angle	10 Δ_T	11 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	8 Δ_T	10 Δ_T
Columns in tension (except EBF Columns)^e	5 Δ_T	7 Δ_T	1.0	0.5 Δ_T	6 Δ_T	7 Δ_T
Buckling-Restrained Braces^{h-j}	13.3 Δ_y	13.3 Δ_y	1.0	3.0 Δ_y	10 Δ_y	13.3 Δ_y

PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS NO LINEAL [Interpolación] Tabla 9-8 ASCE 41-17						
	a	B	c	IO	LS	CP
101.15	0.50	9.00	0.30	0.50	7.00	9.00
65.88	0.85	7.61	0.44	0.50	6.30	7.61
50.57	1.00	7.00	0.50	0.50	6.00	7.00

Criterios de aceptación para análisis no lineal – Riostras en Tensión

	a	B	c	IO	LS	CP
HSS	9	11	0.6	0.50	8.00	11.00

5.2.3. Riostra TC 250x15

Resistencia Esperada de la Riostra en Tensión

Te_Fy =	546.32	[tonf]
---------	--------	--------

Resistencia Esperada de la Riostra en Compresión

Ce =	451.88	[tonf]
------	--------	--------

Resistencia Esperada de la Riostra después del Pandeo

R_post_pandeo =	135.57	[tonf]
-----------------	--------	--------

Criterios de aceptación para análisis no lineal – Riostras en Compresión

PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS NO LINEAL [Interpolación] Tabla 9-8 ASCE 41-17						
	a	B	c	IO	LS	CP
101.15	0.50	9.00	0.30	0.50	7.00	9.00
66.26	0.84	7.62	0.44	0.50	6.31	7.62
50.57	1.00	7.00	0.50	0.50	6.00	7.00

5.2.4. Riostra TC 200x15

Resistencia Esperada de la Riostra en Tensión

Te_Fy =	430.08	[tonf]
---------	--------	--------

Resistencia Esperada de la Riostra en Compresión

Ce =	337.82	[tonf]
------	--------	--------

Resistencia Esperada de la Riostra después del Pandeo

R_post_pandeo =	101.35	[tonf]
-----------------	--------	--------

Criterios de aceptación para análisis no lineal – Riostras en Compresión

PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS NO LINEAL [Interpolación] Tabla 9-8 ASCE 41-17						
	a	B	c	IO	LS	CP
101.15	0.50	9.00	0.30	0.50	7.00	9.00
71.40	0.79	7.82	0.42	0.50	6.41	7.82
50.57	1.00	7.00	0.50	0.50	6.00	7.00

5.2.5. Riostra TC 200x12

Resistencia Esperada de la Riostra en Tensión

Te_Fy =	349.65	[tonf]
----------------	---------------	---------------

Resistencia Esperada de la Riostra en Compresión

Ce =	287.97	[tonf]
-------------	---------------	---------------

Resistencia Esperada de la Riostra después del Pandeo

R_post_pandeo =	86.39	[tonf]
------------------------	--------------	---------------

Criterios de aceptación para análisis no lineal – Riostras en Compresión

PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS NO LINEAL [Interpolación] Tabla 9-8 ASCE 41-17						
	a	B	c	IO	LS	CP
101.15	0.50	9.00	0.30	0.50	7.00	9.00
66.70	0.84	7.64	0.44	0.50	6.32	7.64
50.57	1.00	7.00	0.50	0.50	6.00	7.00

Hinge Property Data for RotulaAxial R1 - Axial P

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.44	-7.61
D-	-0.44	-0.85
C-	-1	-0.85
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	9
D	0.6	9
E	0.6	11

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Type

Force - Displacement

Stress - Strain

Hinge Length

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF tonf

Use Yield Disp Disp SF m

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

Immediate Occupancy

Life Safety

Collapse Prevention

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Figura 34 Parámetros para análisis no lineal (Riostra TC 300x18)

Hinge Property Data for RotulaAxialR2 - Axial P

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.44	-7.62
D-	-0.44	-0.84
C-	-1	-0.84
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	9
D	0.6	9
E	0.6	11

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Type

Force - Displacement

Stress - Strain

Hinge Length

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF tonf

Use Yield Disp Disp SF m

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

Immediate Occupancy

Life Safety

Collapse Prevention

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Figura 35 Parámetros para análisis no lineal (Riostra TC 250x15)

Hinge Property Data for RotulaAxialR3 - Axial P

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.42	-7.82
D-	-0.42	-0.79
C-	-1	-0.79
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	9
D	0.6	9
E	0.6	11

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF Positive: 430.08 Negative: 337.82 tonf

Use Yield Disp Disp SF Positive: Negative: m
(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

Immediate Occupancy Positive: 0.5 Negative: -0.5

Life Safety Positive: 8 Negative: -6.41

Collapse Prevention Positive: 11 Negative: -7.82

Show Acceptance Criteria on Plot

Type

Force - Displacement

Stress - Strain
Hinge Length:

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis:

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Figura 36 Parámetros para análisis no lineal (Riostra TC 200x15)

Hinge Property Data for RotulaAxialR4 - Axial P

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.44	-7.64
D-	-0.44	-0.84
C-	-1	-0.84
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	9
D	0.6	9
E	0.6	11

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF Positive: 349.65 Negative: 287.97 tonf

Use Yield Disp Disp SF Positive: Negative: m
(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

Immediate Occupancy Positive: 0.5 Negative: -0.5

Life Safety Positive: 8 Negative: -6.32

Collapse Prevention Positive: 11 Negative: -7.64

Show Acceptance Criteria on Plot

Type

Force - Displacement

Stress - Strain
Hinge Length:

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis:

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Figura 37 Parámetros para análisis no lineal (Riostra TC 200x12)

5.2.6. Riostra de Pandeo Restringido

Parámetros para el análisis no lineal Tabla 9-8 ASCE 41-17:

a	B	c	IO	LS	CP
13.30	13.30	1.00	3.00	10.00	13.30

E Hinge Property Data for RotulaAxialBRB1 - Axial P

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-1	-13.3
D-	-1	-13.3
C-	-1	-13.3
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	13.3
D	1	13.3
E	1	13.3

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF Positive: 312.81 Negative: 359.73 ton f

Use Yield Disp Disp SF Positive: Negative: m
(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

Immediate Occupancy Positive: 3 Negative: -3

Life Safety Positive: 10 Negative: -10

Collapse Prevention Positive: 13.3 Negative: -13.3

Show Acceptance Criteria on Plot

Type

Force - Displacement

Stress - Strain

Hinge Length:

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis: **Isotropic**

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Figura 38 Parámetros para análisis no lineal (Riostra BRB TC 200x12)

5.2.7. Muro Estructural

E Wall Property Layer Definition Data - MURO ANL 95 CM

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Modeling Type	Number Integration Points	Material	Material Angle	Material Behavior	Material S11	Material S22	Material S12
ConcM	0	0.95	Membrane	1	f _c =450kg/cm ²	0	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
Pos3Bar2M	0.419	0.00447	Membrane	1	F _y =4200kg/cm ²	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
Neg3Bar2M	-0.419	0.00447	Membrane	1	F _y =4200kg/cm ²	90	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
ConcP	0	0.95	Plate	2	f _c =450kg/cm ²	0	Directional	Linear	Linear	Linear

Calculated Layer Information

Number of Layers: 4

Total Section Thickness: 0.95 m

Sum of Layer Overlaps: 0.96788 m

Sum of Gaps Between Layer: 0 m

Cross Section

Highlight Selected Layer

Transparency:

Vertical Scale:

Min Max

Order Layers

Order Ascending by Distance

Order Descending by Distance

Quick Start

Parametric Quick Start...

OK Cancel

Figura 39 Parámetros para análisis no lineal (Muro Estructural)

5.3. Resultados Análisis No Lineal según ASCE 41-17

5.3.1. Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Muros de Corte

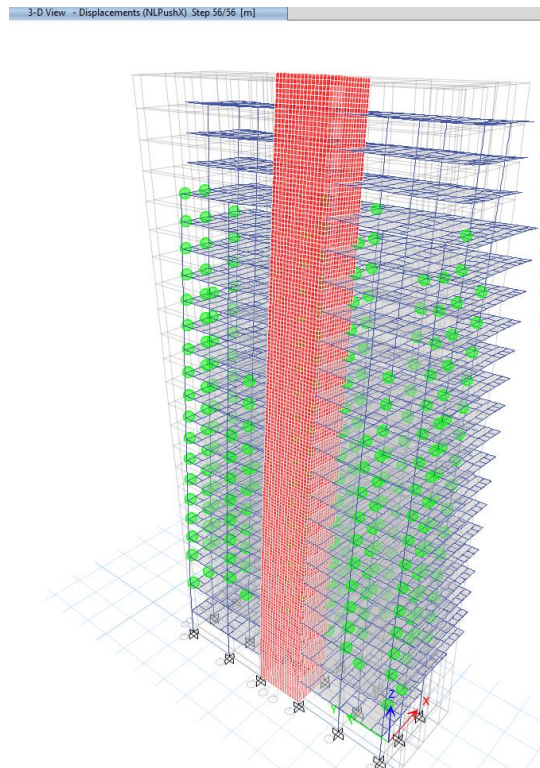


Figura 40 Formación de Rotulas Plásticas NL_Push_X

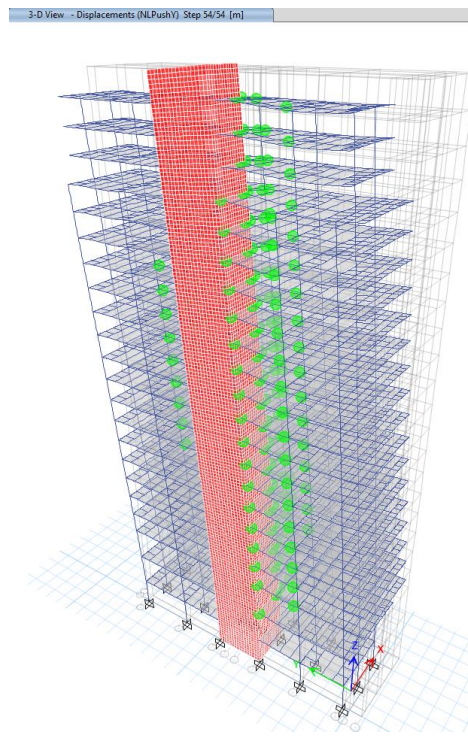


Figura 41 Formación de Rotulas Plásticas NL_Push_Y

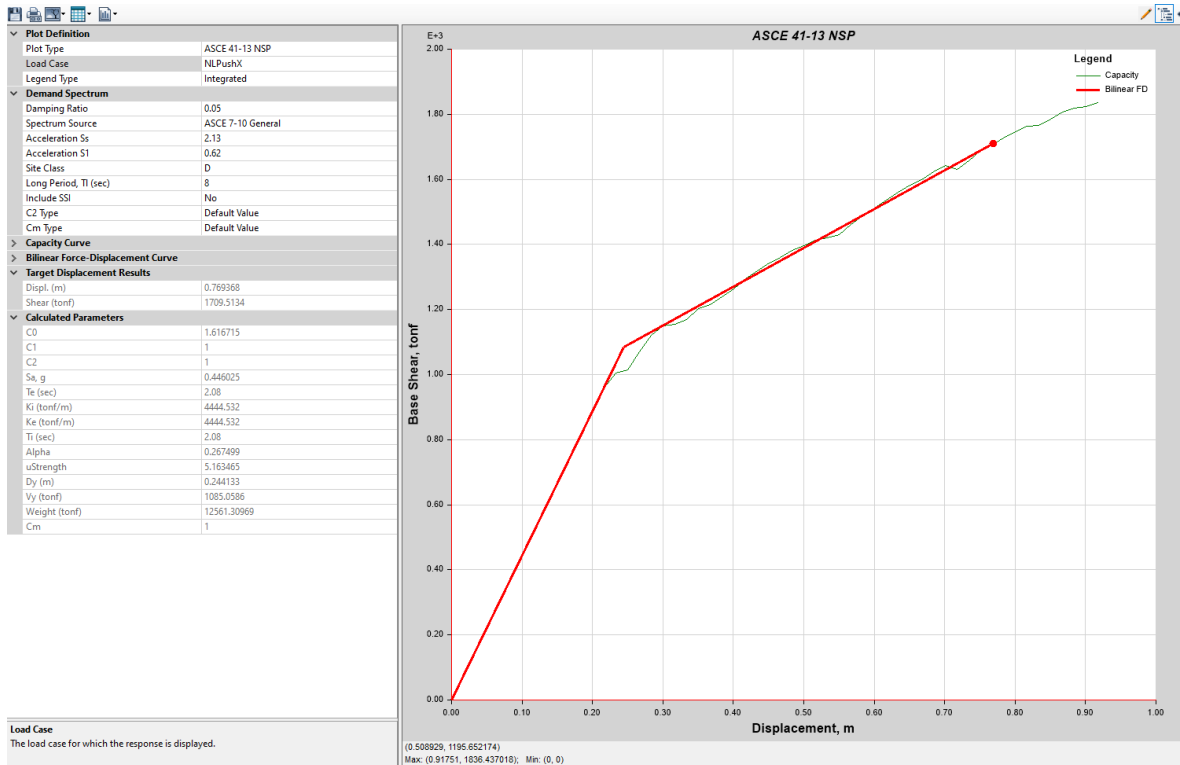


Figura 42 Curva de Capacidad NL_Push_X_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.77 [m])

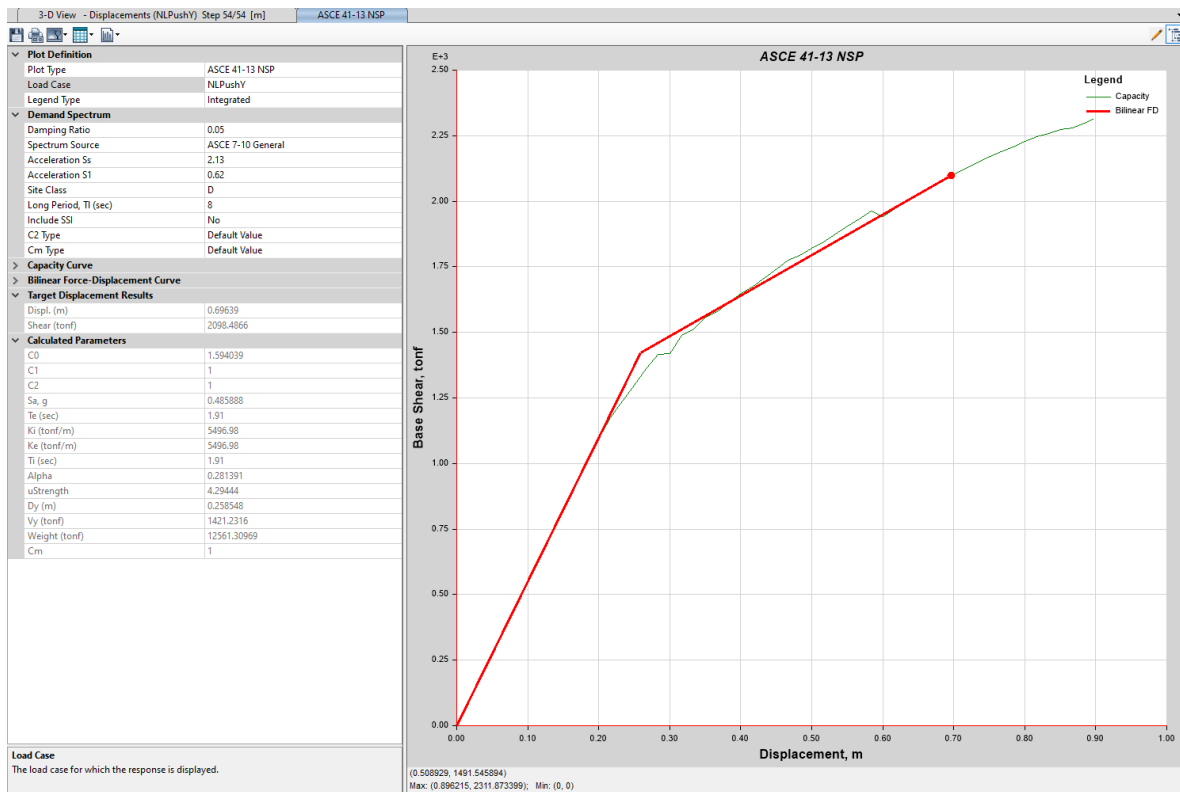


Figura 43 Curva de Capacidad NL_Push_Y_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.70 [m])

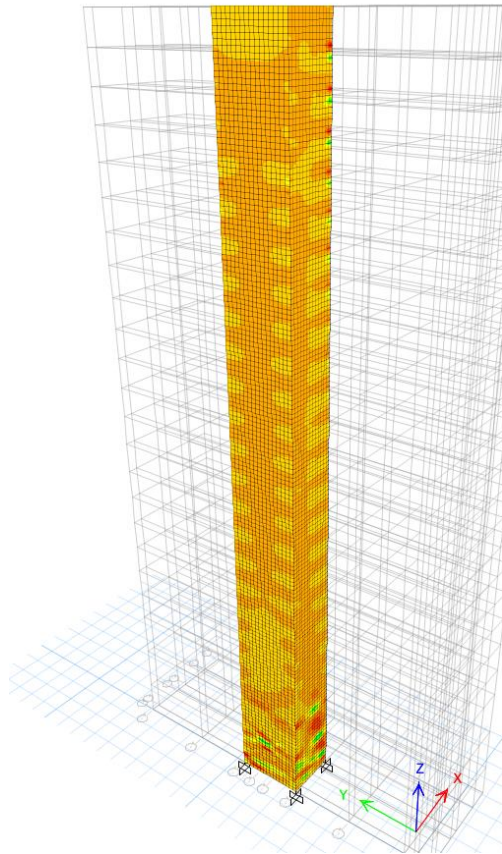


Figura 44 Esfuerzos en el Muro NL_Push_X_Sismo 2475 años

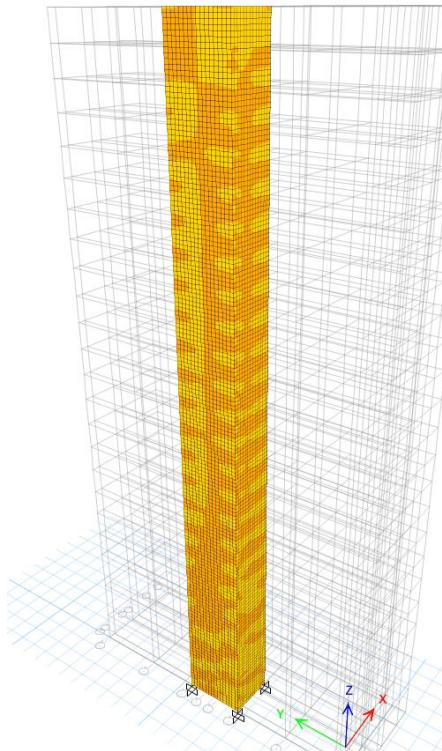


Figura 45 Esfuerzos en el Muro NL_Push_Y_Sismo 2475 años

5.3.2. Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Pórticos SCBF (Arriostramientos Concéntricos)

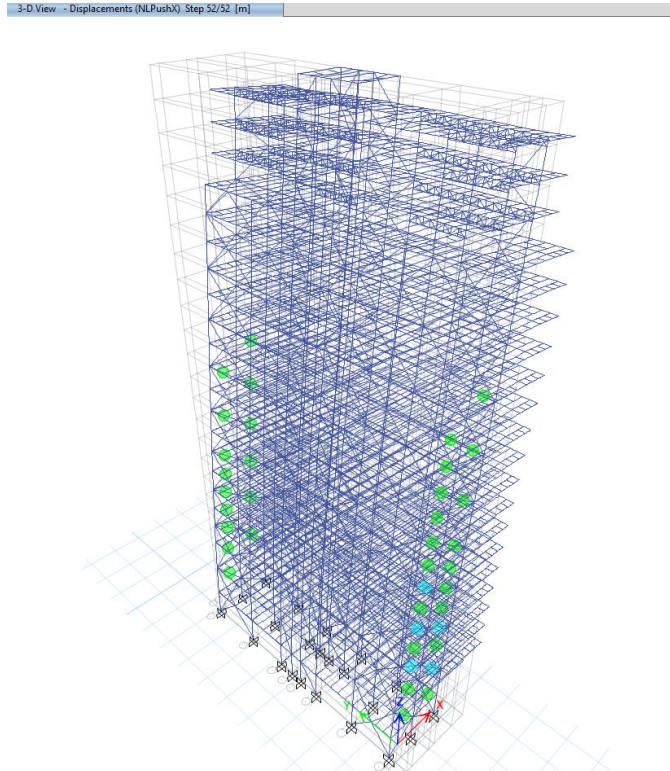


Figura 46 Desplazamientos NL_Push_X_Sismo 2475 años

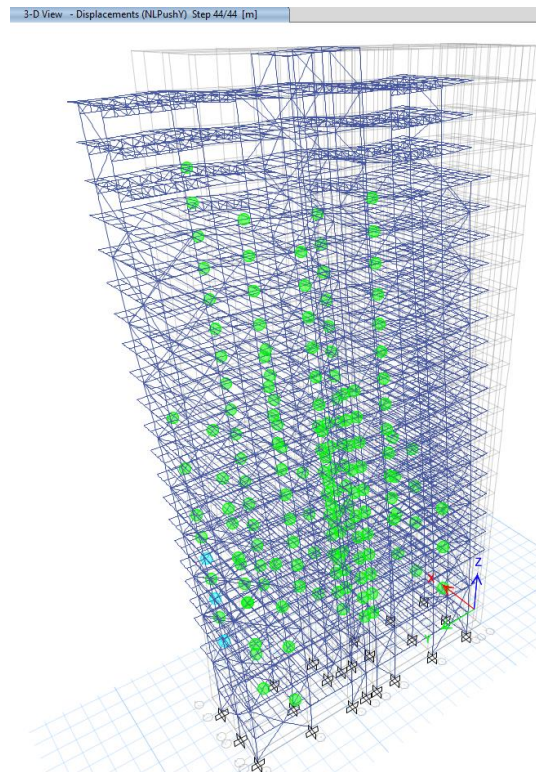


Figura 47 Desplazamientos NL_Push_Y_Sismo 2475 años

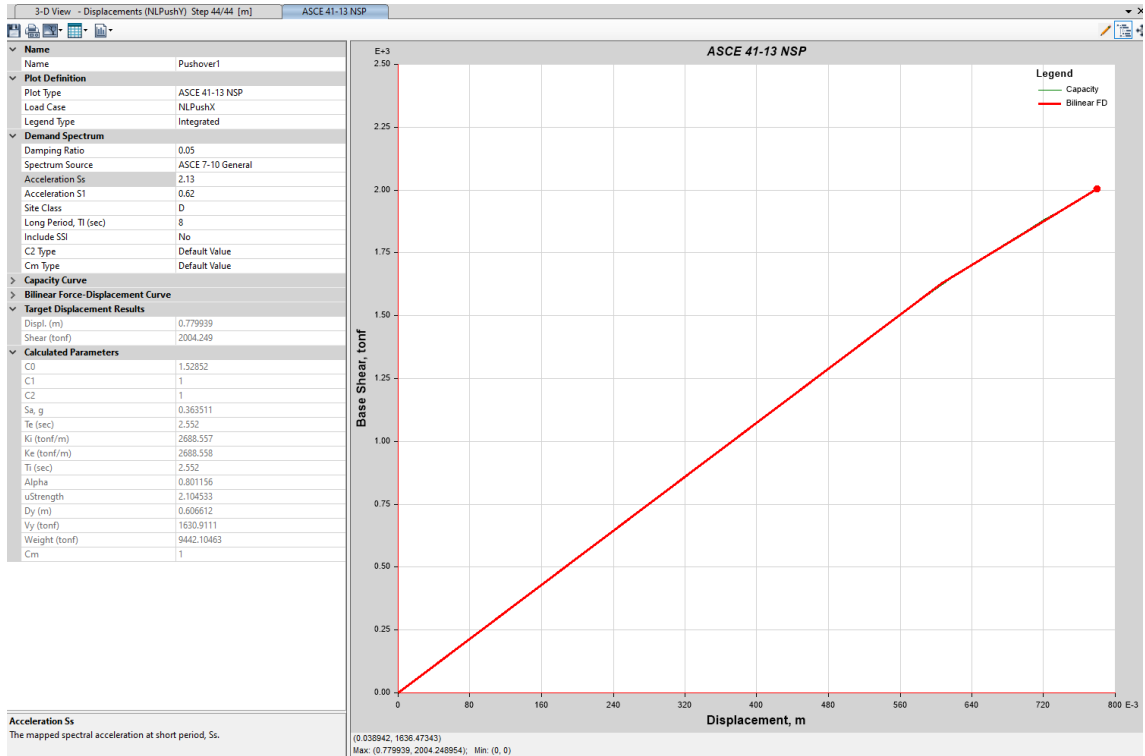


Figura 48 Curva de Capacidad NL_Push_X_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.78 [m])

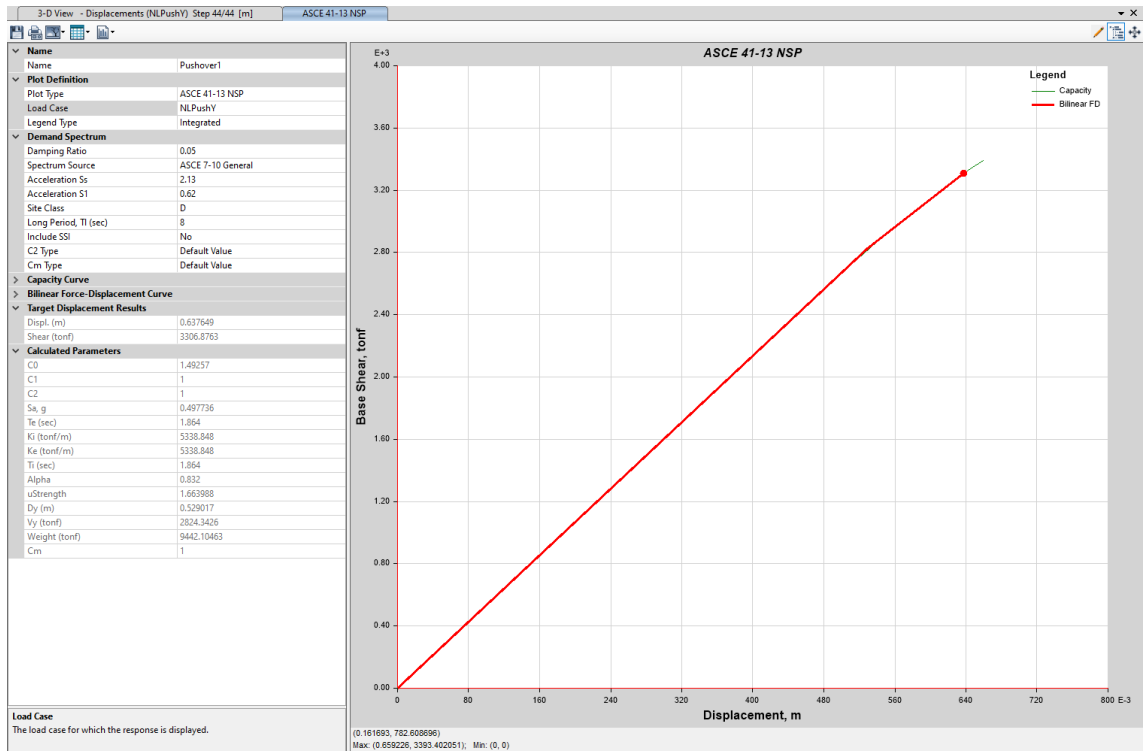


Figura 49 Curva de Capacidad NL_Push_Y_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.64 [m])

5.3.3. Modelo Estructural con Pórticos Especiales Resistentes a Momento (SMF) y Pórticos BRBF (Arriostramientos de Pandeo Restringido)

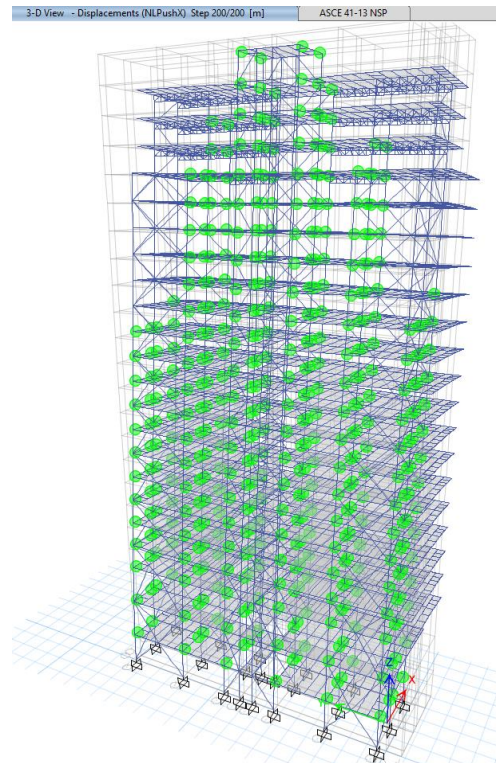


Figura 50 Desplazamientos NL_Push_X_Sismo 2475 años

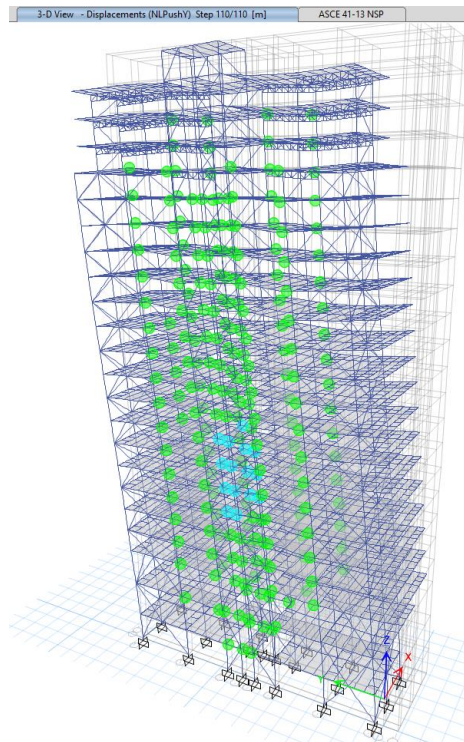


Figura 51 Desplazamientos NL_Push_Y_Sismo 2475 años

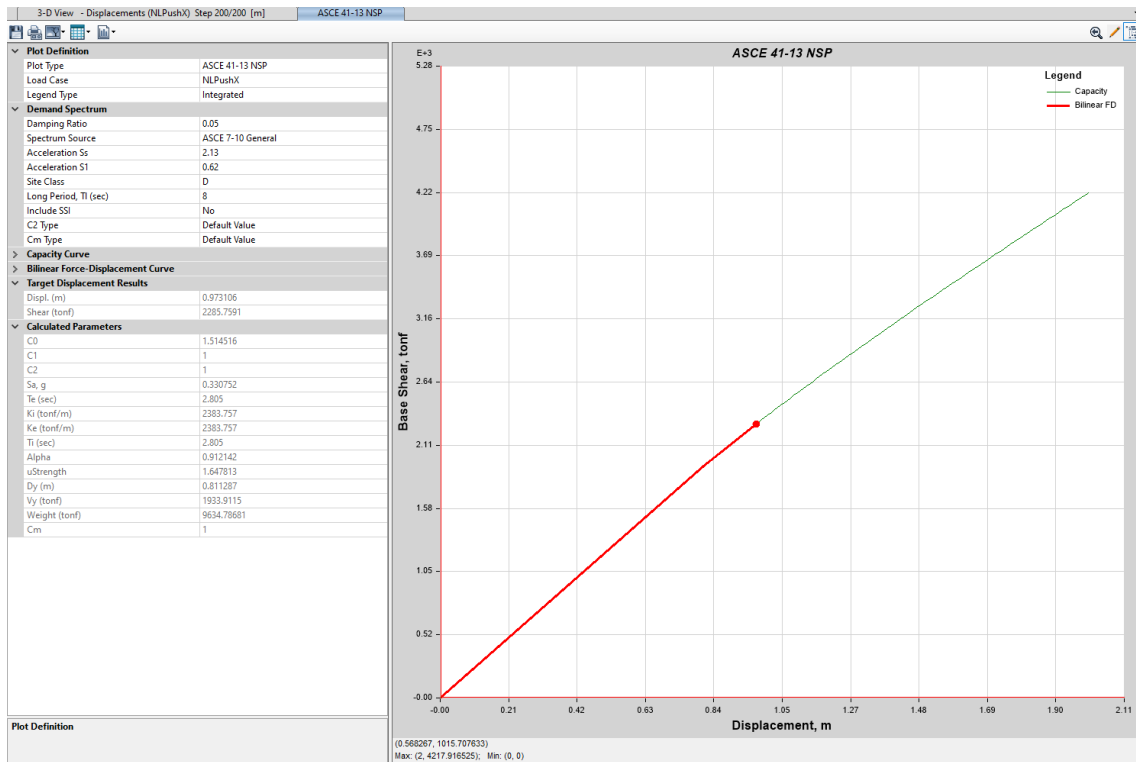


Figura 52 Curva de Capacidad NL_Push_X_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.97 [m])

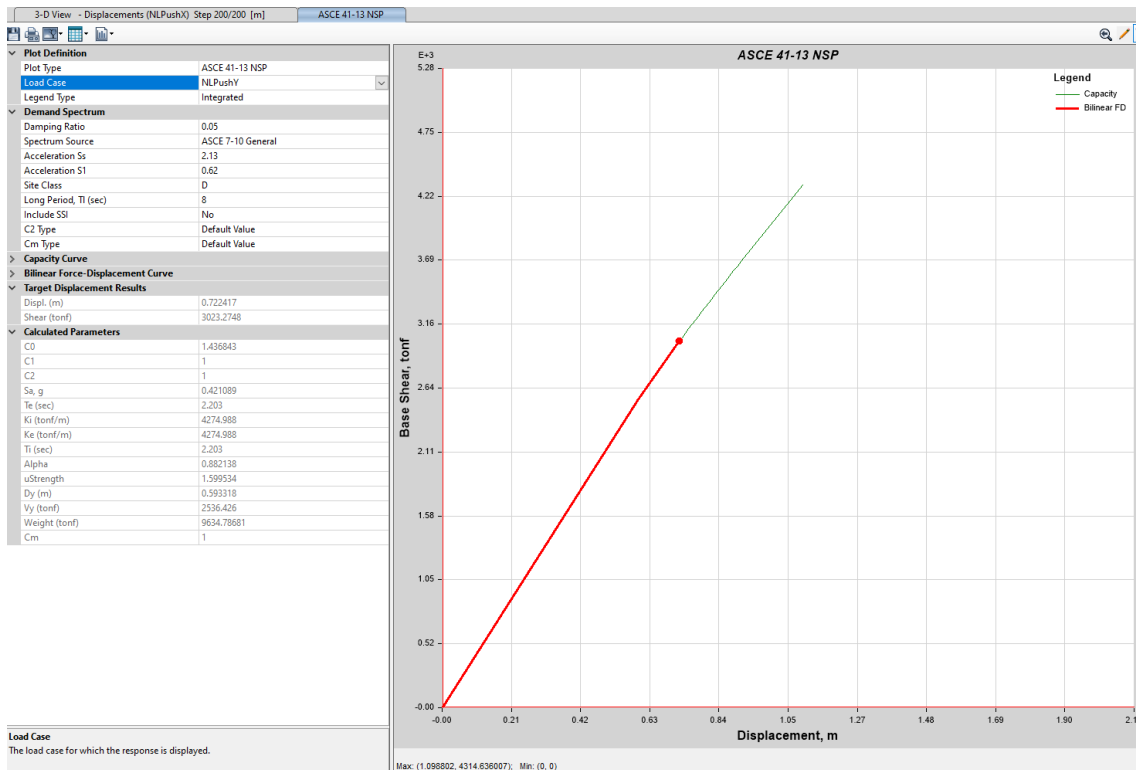


Figura 53 Curva de Capacidad NL_Push_Y_Sismo 2475 años (Desp. Max: 0.72 [m])

6. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES, BENEFICIOS Y DESVENTAJAS

Conclusiones

Cortante Basal

El cortante basal del modelo de pórticos SMF con muros de corte, tiene valores entre 600 a 650 ton-f, por el contrario, en los modelos que tienen pórticos arriostrados concéntricamente y los pórticos BRBF tienen valores entre 480 a 520 ton-f. Para el caso del modelo con pórticos SMF y muros, el cortante se disipa en su gran mayoría en el muro estructural; en el caso que se considere riostras concéntricas y riostras BRB, estos elementos son los encargados de disipar la mayor cantidad de energía sísmica.

Derivas

Las derivas en el modelo de pórticos SMF y muros de corte en sus dos direcciones tiene valores cercanos al 1.2%, mientras que los modelos que tienen pórticos arriostrados concéntricamente y pórticos con riostras BRB tienen en el eje X valores desde el 1% hasta el 1.2% y en el eje Y valores desde el 0.4% hasta el 0.8%. Es decir, si se instala un mayor número de riostras las derivas tienden a disminuir. Se podría optimizar bajando al mínimo el número de riostras, sin embargo, las derivas no deben superar el 2% que indica los códigos.

Sistema Estructural

Los sistemas estructurales analizados en el presente proyecto son los que se mencionan a continuación:

- Pórticos especiales resistentes a momento (SMF) con muros de corte (muros de corte con vigas de acople para formar un núcleo, que es el elemento más importante para disipar o absorber energía sísmica.
- Pórticos especiales resistentes a momento (SMF) con riostras concéntricas, en este caso las riostras se llevan la mayor parte de la energía sísmica, lo cual permite que los valores derivas y la torsión disminuyan.

- Pórticos especiales resistentes a momento (SMF) con riostras BRB, en este caso las riostras permiten que la estructura aumente su desplazamiento y una mayor cantidad de energía disipada frente a eventos sísmicos.

Otros sistemas estructurales que se pueden desarrollar se mencionan a continuación:

- Sistemas estructurales que tengan núcleos de muros compuestos, es decir, dentro de los muros se puedan instalar columnas y vigas de acero, esto mejora la resistencia del muro y aumenta la velocidad de construcción.
- Sistemas estructurales con núcleos de acero compuesto u hormigón y en los perímetros emplear riostras en todas las caras del edificio.
- Sistemas estructurales con cerchas de contorno en el perímetro del edificio y núcleo de hormigón. Los núcleos de acero no son recomendables por cuanto no son eficientes frente a acciones del fuego. Los núcleos deben ser compuestos
- Sistema Estructural con Pórticos Resistentes a Momento a Momento (SMF), Muros de Corte y Pórticos SCBF (Arriostamientos Concéntricos)
- Sistema Estructural con Pórticos Resistentes a Momento a Momento (SMF), Muros de Corte y Pórticos BRBF (Arriostamientos de Pandeo Restringido)

En general para cual tipo de sistema estructural se debe verificar: Períodos de Vibración, Masas Participativas, Revisión del Cortante Basal, Revisión del Derivas de Piso, Revisión de Irregularidades.

Costos

En el mercado actual el tema de costos se vuelve sumamente importante, la mayor parte de constructores evalúan los costos en dólares por metro cuadro de construcción [USD/m²]. En términos generales, cualquier sistema estructural en acero o acero-hormigón que se utilice durante la fase de diseño y cotización debe ser evaluado en [USD/m²] respecto a un edificio en hormigón armado [USD/m²]. Si el diseño estructural permite una construcción eficiente y ante todo cumpliendo las normativas se puede obtener valores [USD/m²] que permitan ser competitivos respecto al hormigón armado.

Curvas de Capacidad (Análisis Pushover)

La curva de capacidad del modelo estructural con pórticos SMF y muros de corte muestra un desplazamiento de la estructura de 0.77 [m] en el eje "X" y 0.7 [m] en el eje "Y".

La curva de capacidad del modelo estructural con pórticos SMF y riostras concéntricas muestra un desplazamiento de la estructura de 0.78 [m] en el eje "X" y 0.64 [m] en el eje "Y".

La curva de capacidad del modelo estructural con pórticos SMF y riostras BRB muestra un desplazamiento de la estructura de 0.97 [m] en el eje "X" y 0.72 [m] en el eje "Y".

Sistema Estructural	Desplazamiento Eje "X" [m]	Desplazamiento Eje "Y" [m]
Pórticos SMF y Muros	0.77	0.7
Pórticos SMF y Riostras Concéntricas	0.78	0.64
Pórticos SMF y Riostras BRB	0.97	0.72

Revisando los datos: el sistema estructural con riostras BRB tiene mayores desplazamientos que los otros sistemas propuestos, en el eje X se puede ver una diferencia significativa, mientras que en el eje Y se puede concluir que el desplazamiento es menor en el sistema con riostras concéntricas, en este caso se podría disminuir el número de riostras para que el sistema alcance un valor similar respecto a los otros, al disminuir las riostras se optimiza el peso de la estructura [kg/m²].

Beneficios y Desventajas de la construcción en acero

Beneficios

Los edificios construidos en acero son livianos respecto a los edificios construidos en hormigón armado, esto es directamente proporcional al tamaño de las cimentaciones, en un edificio de acero las fundaciones son menos robustas lo que conlleva a manejar volúmenes de hormigón y acero de refuerzo menores respecto a un edificio de hormigón armado.

La sección de los elementos estructurales de columnas y vigas de un edificio de acero son mucho menores que los elementos de un edificio de hormigón armado, las alturas libres en estructuras de hormigón son mas grandes que en estructuras de acero.

Durante la construcción de los muros de corte, es importante planificar las actividades para no frenar el avance del montaje de la estructura metálica, para ello hay algunas configuraciones de muros estructurales. Muros estructurales con placas embebidas para recibir la estructura, sin embargo, el avance del muro debe ir al menos unos dos niveles más adelante para no frenar el avance del montaje; Muros estructurales con columnas y vigas de acero embebidos en el muro, permite el avance del montaje de la estructura metálica sin depender del avance del muro. El muro estructural compuesto (hormigón, acero estructural, acero de refuerzo) es el elemento que más se emplea dentro del mundo de la construcción por cuanto el hormigón se comporta mejor frente a los incendios y es el elemento que más carga sísmica disipa.

La velocidad en el montaje de la estructura metálica depende del tipo de conexión estructural, existen conexiones soldadas y apernadas. Respecto a las conexiones soldadas, los soldadores y procedimientos de soldadura deben ser calificados, se deben realizar ensayos no destructivos en las juntas soldadas para garantizar la sanidad de las soldaduras, depende de las condiciones climáticas para tener un buen avance en el montaje de la estructura metálica. En el caso de conexiones apernadas, la velocidad de montaje es mucho mayor, el

concepto es que los elementos estructurales ya vienen fabricados y liberados de taller y el montaje avance sin problemas. En los dos casos la velocidad de avance en obra es mayor respecto a un edificio de hormigón armado.

Las conexiones apernadas y soldadas se aplican a los nodos de los pórticos sismorresistentes, respecto a las vigas secundarias o gravitacionales los nodos de estos elementos están trabajando netamente a corte, salvo ciertas excepciones, se puede aplicar el concepto de junta soldada o apernada. Sin embargo, estos elementos son los de mayor número dentro de la ejecución de un proyecto, por esta razón, el concepto junta apernada en estos elementos secundarios resulta ser más eficiente en tiempo de montaje.

Un factor importante en las construcciones de acero es determinar el peso de la estructura, para esto se emplea el concepto de kilogramos de estructura por metro cuadrado de construcción [Kg/m²], mientras más robusta sea la estructura se tendrá más kilos y por lo tanto un mayor costo en dólares [USD]. Es crucial el diseño estructural donde se garantice el buen uso de las normativas y que sea un diseño eficiente en términos económicos. Al peso de la estructura se le debe sumar un porcentaje de conexiones que dependerá si es conexión apernada o soldada, en la práctica se estima alrededor de un 8% en peso adicional para conexiones soldadas y un 15% para conexiones apernadas.

El acero estructural en términos generales tiene propiedades mecánicas como resistencia a la tensión, ductilidad, resistencia a la tenacidad, dureza, entre las principales, en el caso de los edificios de acero, la ductilidad permite que ante un evento sísmico los materiales puedan estirarse sin romperse, lo que se traduce a un buen comportamiento estructural de la edificación y contribuyendo a una mejor disipación de energía sísmica. Sin embargo, para que esto ocurra se debe tomar en cuenta todos los conceptos estructurales tanto en análisis como diseño y cumplimiento de normativas.

En temas arquitectónicos, en ciertos proyectos los elementos estructurales quedan vistos para que sea agradable a la vista. Esto es una de las razones para promover el uso del acero estructural.

Desventajas de la Construcción en Acero

La construcción en acero, requiere precisión en la fabricación y montaje de los elementos estructurales, para evitar reprocesos durante la ejecución del proyecto. El tema de fabricación y montaje requiere de mano de obra calificada, por ejemplo: soldadores calificados, procedimientos de soldadura calificados, liberación de las estructuras antes del envío a acabados superficiales, ensayos no destructivos de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto.

Respecto a los recubrimientos que se realiza en el acero, una de las desventajas es la oxidación del acero, se tiene que tomar en cuenta los sistemas de pintura a utilizar, dependiendo del lugar donde se va a desempeñar la estructura, se utiliza sistemas monocapa, bicapa, tricapa, depende de las especificaciones técnicas del proyecto.

Se tiene que considerar el tema del sistema de protección contra incendios, el acero en presencia del fuego no tiene un buen comportamiento estructural, por lo tanto, en las construcciones donde se especifique el sistema de protección al fuego de las estructuras metálicas, se debe considerar este rubro que encarece el proyecto. Se puede mencionar que las estructuras en hormigón armado se comportan mejor en presencia del fuego.

Ventajas de las Riostras de Pandeo Restringido BRB

- Menor cantidad de arriostramientos y conexiones.
- Mayor libertad arquitectónica al requerirse un menor número de pórticos arriostrados.
- Aumento del desempeño sísmico estructural de las edificaciones.
- Reducción del daño sísmico de elementos estructurales, no estructurales.
- Menor peso muerto de la edificación.
- Reducciones de las fuerzas de diseño, tanto cuando se usa como riostra avanzada como cuando se usa como disipador de energía.

- Reducción en el tamaño de las columnas y vigas que no forman parte de los pórticos arriostrados.
- Reducción de las fuerzas de diseño transmitidas a la cimentación.
- Aumento en la velocidad de construcción.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Design and Analysis of Tall and Complex Structures, Elsevier, 2018
- NEHRP Seismic Design Technical Brief N° 6; NIST GCR 11-917-11REV-1; Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Special Structural Walls and Coupling Beams; A Guide for Practicing Engineers; March 2012.
- NEHRP Seismic Design Technical Brief N° 11; NIST GCR 15-917-34; Seismic Design of Steel Buckling Restrained Braced Frames; A Guide for Practicing Engineers; September 2015.
- NEHRP Seismic Design Technical Brief N° 1; NIST GCR 8-917-1; Seismic Design of Reinforced Concrete Special Moment Frames; A Guide for Practicing Engineers; August 2008.
- NEHRP Seismic Design Technical Brief N° 2; NIST GCR 9-917-3; Seismic Design of Steel Special Moment Frames; A Guide for Practicing Engineers; June 2009.
- NEHRP Seismic Design Technical Brief N° 8; NIST GCR 13-917-24; Seismic Design of Steel Special Concentrically Braced Frame Systems; A Guide for Practicing Engineers; July 2013.
- AISC 303-16 Código de Practicas Estándar para Construcciones de Aceros y Puentes
- AISC 360-16 Especificación para Construcciones de Acero
- AISC 341-16 Provisiones Sísmicas para Construcciones de Acero
- AISC 358-16 Conexiones Precalificadas para Aplicaciones Sísmicas (Pórticos SMF-IMF)
- ASCE 7-22 Cargas Mínimas de Diseño para Edificaciones
- FEMA 350 Criterios de Diseño Sísmico recomendados para nuevos edificios de acero de pórtico de momento.
- ACI 318-19 Requerimientos de Construcción para Hormigón Estructural
- AWS D1.1 Código de Soldadura Estructural para el Acero

8. ANEXOS

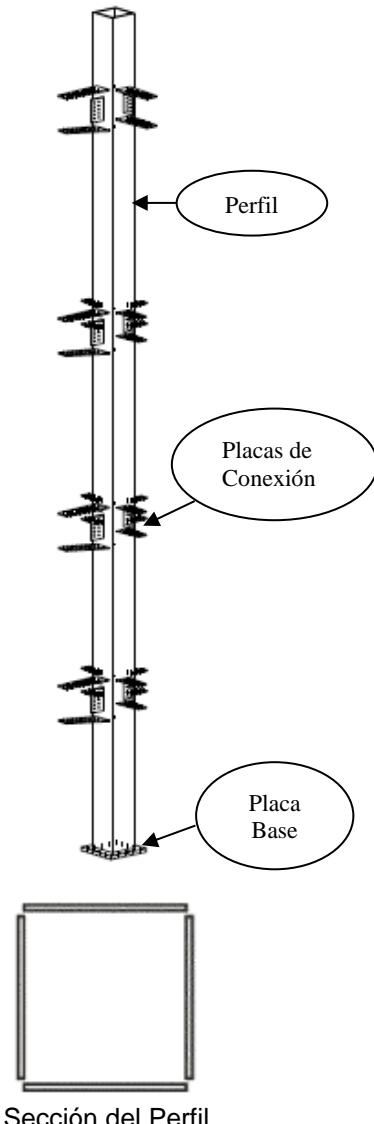
Perfil Armado Tipo Cajón (4 Placas) + Conexiones		
 <p style="text-align: center;">Sección del Perfil</p>	Perfil	
	Lista de Materiales (BOM)	
	Plancha	Norma
	PLE 30 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 25 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 22 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 20 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 18 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 15 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	Placa Base	
	Lista de Materiales (BOM)	
	Plancha	Norma
	PLE 75 mm	ASTM A 36
	PLE 65 mm	ASTM A 36
	PLE 50 mm	ASTM A 36
	PLE 40 mm	ASTM A 36
	PLE 30 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 25 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 22 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 20 mm	ASTM A 572 Gr. 50
PLE 18 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 15 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
Placas de Conexión		
Lista de Materiales (BOM)		
Plancha	Norma	
PLE 30 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 25 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 22 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 20 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 18 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 15 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 12 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 10 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 8 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 6 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
Notas:		
Longitudes del perfil: 6, 9, 12, 15 metros		
Dimensiones de la sección depende del diseño estructural		
El diseño de conexiones de acuerdo a normativas vigentes (AISC 358 – 22)		

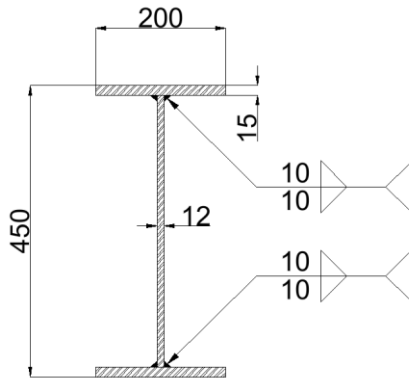
Tabla 1 – Ficha Técnica del Perfil Tipo Cajón (4 placas)

Perfil Armado Tipo "I" (3 Placas) + Conexiones		
<p>Sección del Perfil</p>	Perfil	
	Lista de Materiales (BOM)	
	Plancha	Norma
	PLE 30 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 25 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 22 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 20 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 18 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 15 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 12 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 10 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 8 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	PLE 6 mm	ASTM A 572 Gr. 50
	Placa Base	
	Lista de Materiales (BOM)	
	Plancha	Norma
	PLE 75 mm	ASTM A 36
	PLE 65 mm	ASTM A 36
	PLE 50 mm	ASTM A 36
	PLE 40 mm	ASTM A 36
PLE 30 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 25 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 22 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 20 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 18 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 15 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
Placas de Conexión		
Lista de Materiales (BOM)		
Plancha	Norma	
PLE 30 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 25 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 22 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 20 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 18 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 15 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 12 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 10 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 8 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
PLE 6 mm	ASTM A 572 Gr. 50	
Notas:		
Longitudes del perfil: 6, 9, 12, 15 metros		
Dimensiones de la sección depende del diseño estructural		
El diseño de conexiones de acuerdo a normativas vigentes (AISC 358 – 22)		

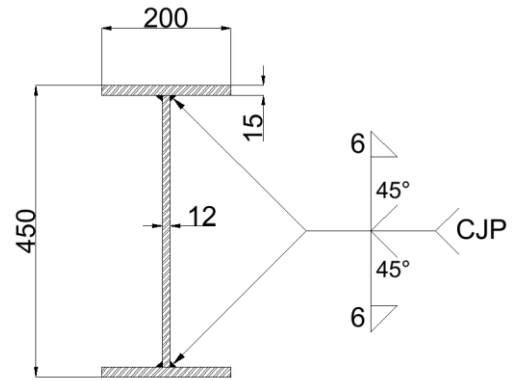
Tabla 2 – Ficha Técnica del Perfil Tipo "I" (3 placas)

SECCIONES DE PERFILES ESTRUCTURALES PARA EL ANÁLISIS

VIGAS PRINCIPALES

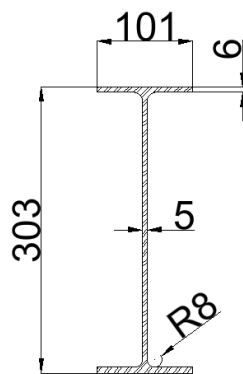


SOLDADURA DE FILETE
FUERA DE LA ZONA PROTEGIDA

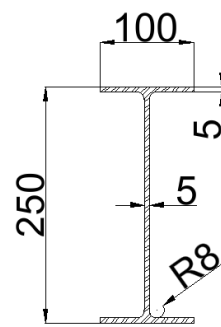


SOLDADURA CJP
EN LA ZONA PROTEGIDA

VIGAS SECUNDARIAS (Laminadas en Caliente)



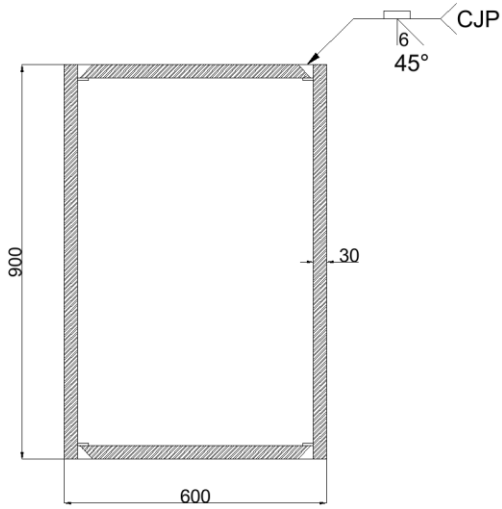
W12X14



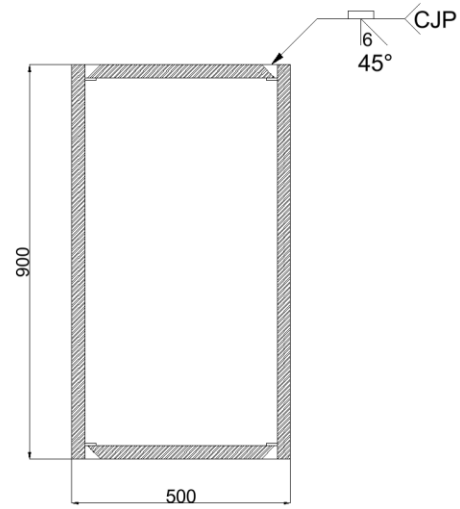
W10X12

SECCIONES DE PERFILES ESTRUCTURALES PARA EL ANÁLISIS

COLUMNAS

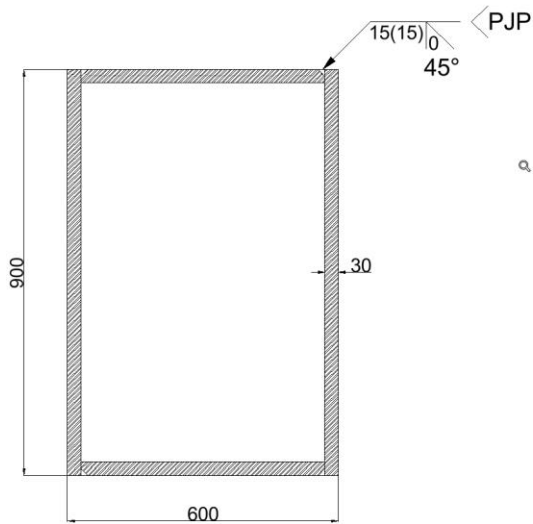


SOLDADURA CJP
EN LA ZONA PROTEGIDA

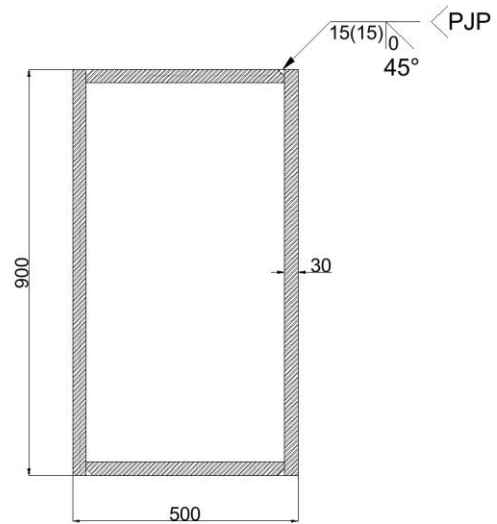


SOLDADURA CJP
EN LA ZONA PROTEGIDA

COLUMNAS



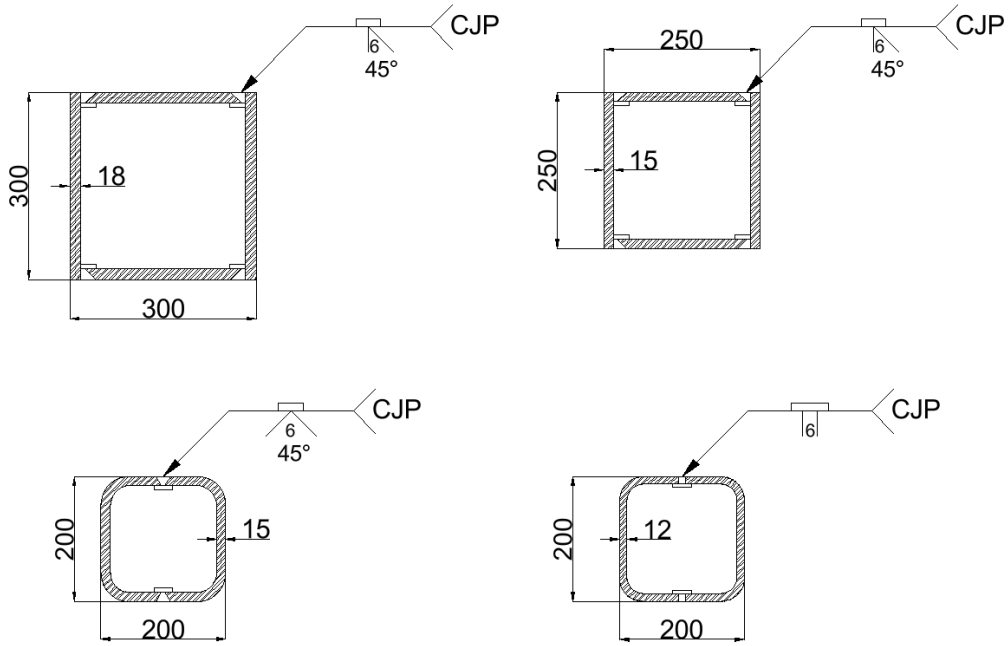
SOLDADURA PJP
FUERA DE LA ZONA
PROTEGIDA



SOLDADURA PJP
FUERA DE LA ZONA
PROTEGIDA

SECCIONES DE PERFILES ESTRUCTURALES PARA EL ANÁLISIS

RIOSTRAS CONCENTRICAS



RIOSTRAS BRB

