

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL

**Tema: “EVALUACIÓN DE EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA EN
ESTRUCTURA DE ACERO CON DIAGONALES
EXCÉNTRICAS, CONCÉNTRICAS”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en
Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas

Modalidad de titulación: Proyecto de Titulación con Componentes de
Investigación Aplicada y/o de Desarrollo

Autora: Ing. Bernarda Estefanía Abril Gavilanes

Director: Ing. Oswaldo Marcelo Guerra Avendaño, MSc-MDI

Ambato -Ecuador
2022

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg, e integrado por los señores: Ing. Alex Gustavo López Arboleda, Mg. e Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldás, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: “EVALUACIÓN DE EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA EN ESTRUCTURA DE ACERO CON DIAGONALES EXCÉNTRICAS, CONCÉNTRICAS”, elaborado y presentado por la Ing. Bernarda Estefanía Abril Gavilanes, para optar por el Grado Académico de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Alex Gustavo López Arboleda, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldás, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “EVALUACIÓN DE EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA EN ESTRUCTURA DE ACERO CON DIAGONALES EXCÉNTRICAS, CONCÉNTRICAS”, le corresponde exclusivamente a la Ing. Bernarda Estefanía Abril Gavilanes, autora bajo la Dirección del Ing. Oswaldo Marcelo Guerra Avendaño, MSc-MDI, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Bernarda Estefanía Abril Gavilanes

AUTORA

Ing. Oswaldo Marcelo Guerra Avendaño MSc-MDI

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Bernarda Estefanía Abril Gavilanes
C.C. 1804618401

INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
INDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
AGRADECIMIENTO	xiv
DEDICATORIA.....	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
EXECUTIVE SUMMARY.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos.....	2
CAPITULO II	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	4
2.1 Antecedentes investigativos	4
2.1.1 Acero estructural.....	4
2.1.2 Propiedades Mecánicas del Acero	4
2.1.2.1 Elasticidad.....	5
2.1.2.2 Uniformidad	5

2.1.2.3 Ductilidad	5
2.1.2.4 Tenacidad	5
2.1.2.5 Resistencia.....	5
2.1.3 Ingeniería Sísmica.....	6
2.1.4 Funcionalidad de las Diagonales	6
• La relación de esbeltez	7
• Las condiciones de fijación en los extremos (K)	7
• La forma de la sección (A, I)	8
2.1.5 Diagonales Concéntricas	8
• Respuesta sísmica de las diagonales concéntricas	10
2.1.6 Diagonales Excéntricas.....	11
• Respuesta sísmica de las diagonales excéntricas	12
• Comportamiento estructural de la excentricidad.....	12
2.1.7 Método de análisis	12
• Análisis Estático.....	13
• Análisis Modal Espectral	13
2.1.8 Especificaciones de la norma americana ASCE 7-16	14
2.1.8.1 Categorización del riesgo, clasificación de edificios y otras estructuras	14
2.1.8.2. Combinaciones de cargas para los sistemas de Pórticos especiales arriostrados concéntricamente (SCBF) y Pórticos arriostrados excéntricamente (EBF)	15
2.1.8.3 Cargas muertas	16
2.1.8.4 Cargas vivas	16
2.1.9. Fundamentos de peligro Sísmico Norma Ecuatoriana (NEC-SE-DS). 17	
2.1.9.1 Espectro de diseño.....	17
• Zonificación sísmica (Z).....	17
• Coeficiente de perfil de suelo F_a , F_d y F_s	18
• Componentes horizontales de la carga sísmica: espectro elástico de aceleración horizontal de diseño.....	19
• Cortante basal de diseño (V).....	20
• Categoría de edificio y coeficiente de importancia I.	21

•	Determinación del período de vibración T	22
•	Factor de reducción de fuerza sísmica R	22
•	Carga sísmica reactiva W	23
•	Coefficiente de regularidad en planta ϕ_p y elevación ϕ_e	23
•	Distribución de fuerzas verticales sísmicas laterales	23
•	Distribución horizontal de fuerzas	24
•	Control de la deriva de piso (Derivas Inelásticas máximas de piso ΔM) ..	24
•	Efectos de segundo orden $P-\Delta$ e índice de estabilidad Q_i	25
2.1.10	Especificaciones según el fundamento de ANSI/AISC 341-16.....	26
2.1.10.1	Bases Generales para diseño de Pórticos Especiales arriostrados concentricamente (SCBF) según la norma AISC 341-16.....	26
•	Requerimientos básicos	26
•	Riostras	26
•	Relación ancho-espesor	26
•	Zonas de protección	27
•	Requerimiento especial para arriostramiento en V y V invertida	27
2.1.10.2	Bases generales para el diseño de pórticos especiales arriostrados excéntricamente (EBF)	27
•	Ángulo de rotación del enlace	27
•	Arriostramiento lateral para estabilidad del elemento enlace	28
2.1.10.2.1	Limitaciones para enlaces	29
•	Enlaces de sección tipo I.....	29
2.1.10.2.2	Resistencia al cortante del enlace.....	30
2.1.10.2.3	Longitud del enlace	30
2.1.10.2.4	Zonas protegidas	31
CAPITULO III.....		32
MARCO METODOLÓGICO		32
3.1	Ubicación.....	32
3.2	Equipos y materiales.....	32
3.3	Tipo de investigación	32
▪	Bibliográfico	32

▪	Experimental	32
▪	Exploratoria.....	33
3.4	Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender.....	33
3.5	Población o muestra:	33
3.7	Procesamiento de la información y análisis estadístico:	33
3.7.1	Materiales Empleados	35
•	Acero.....	35
•	Hormigón	36
3.7.2	Losa	37
3.7.3	Cargas aplicadas en el modelamiento	38
•	Carga muerta.....	38
•	Carga Viva	38
3.7.4	Secciones Utilizadas.....	38
•	Requisitos de alta ductilidad	38
•	Enlaces	38
•	Predimensionamiento de vigas secundarias.....	38
•	Predimensionamiento Vigas Principales	41
•	Predimensionamiento de Columnas	43
•	Predimensionamiento de Diagonales.....	45
3.7.6	Condiciones de Apoyo	45
3.7.7	Parámetros para el Análisis Modal Espectral.....	45
3.7.8	Espectro de Diseño.....	47
3.7.9	Definición en el software Etabs del espectro de diseño	47
3.8	Variables respuesta o resultados alcanzados	48
•	Modelamiento con diagonales concéntricas tipo X	48
•	Corrección del cortante basal estático.....	49
•	Corrección al cortante basal dinámico	49
•	Análisis de participación modal en la estructura.....	50
•	Derivas de Piso.....	52
•	Validación análisis dinámico	52
•	Modelamiento con diagonales excéntricas.....	54
•	Corrección del cortante basal estático.....	55

• Corrección al cortante basal dinámico	56
• Análisis de participación modal en la estructura.....	57
• Derivas de Piso.....	59
• Validación análisis dinámico	60
CAPITULO IV	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1 Modelamiento con diagonales concéntricas tipo X.....	62
• Cumplimiento del diseño	62
• Cumplimiento de elementos principales y vigas secundarias.....	63
4.2 Modelamiento con diagonales excéntricas	64
• Cumplimiento del diseño	64
• Cumplimiento de elementos principales y vigas secundarias.....	65
4.3 Análisis Pushover	66
• Resultado análisis Pushover.....	69
CAPITULO V.....	73
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.....	73
5.1. Conclusiones.....	73
5.2. Recomendaciones	74
BIBLIOGRAFIA.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Categoría de riesgo de edificios y otras estructuras para inundaciones, vientos, nieve, terremotos y cargas de hielo.	14
Tabla 2.- Factores de importancia por categoría de riesgo de edificios y otras - estructuras para cargas de nieve, hielo y terremotos.....	15
Tabla 3.- Combinaciones de carga de la estructura.....	15
Tabla 4.- Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto F_a , Suelo A y C.	18
Tabla 5.- Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca F_d , Suelo A y C.....	18
Tabla 6.- Comportamiento no lineal del suelo F_s , Suelo A y C.....	18
Tabla 7.- Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.....	21
Tabla 8.- Coeficiente C_t y α . (Norma NEC-SE-DS).....	22
Tabla 9.- Coeficiente R para estructuras dúctiles.....	22
Tabla 10.- Coeficiente K.....	23
Tabla 11.- Valores de ΔM máximo permisible, expresados como fracción de la altura de piso (NEC-SE-DS)	25
Tabla 12. Recursos Humanos y Materiales.....	32
Tabla 13.- Detalle de cálculo de carga muerta (CM).....	38
Tabla 14.- Viga principales-verificación de requisitos miembros de alta ductilidad. 43	
Tabla 15.- Secciones seleccionadas de columnas	44
Tabla 16.- Sección seleccionada para las diagonales.....	45
Tabla 17- Valores corregidos de cortante Basal estático y dinámico	50
Tabla 18.Participación modal pórtico con diagonales en X.....	50
Tabla 19. Periodo y frecuencias pórtico con diagonales en X.....	51
Tabla 20. Coeficiente C_u	51
Tabla 21.- Validación del análisis dinámico.....	54
Tabla 22- Valores corregidos de cortante Basal estático y dinámico	57
Tabla 23. Participación modal pórtico con diagonales excéntricas	57
Tabla 24. Periodo y frecuencias pórtico con diagonales excéntricas.....	58
Tabla 25. Coeficiente C_u	58
Tabla 26.- Validación del análisis dinámico.....	61
Tabla 27.- Resultados finales	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Esfuerzo- Deformación.....	5
Figura 2. Cortante basal V	7
Figura 4. Diagonal en V	9
Figura 5. Diagonal en V invertida.....	9
Figura 6. Arrostramiento en diagonal	9
Figura 7. Arrostramiento en cruz	9
Figura 8. Configuraciones inadecuadas	10
Figura 9. Tipos de diagonales excéntricas	11
Figura 10. Diagrama de momentos flectores y esfuerzos de corte	12
Figura 11. Modos de vibración de una estructura	14
Figura 12.- Zonas sísmicas del Ecuador	17
Figura 13.- Espectro elástico horizontal de diseño de aceleración	19
Figura 14.- Ángulo de rotación del enlace.....	27
Figura 15.- Ubicación de arriostramiento lateral en el enlace	28
Figura 16.- Secciones usuales para el enlace: sección I.....	29
Figura 17.- Zonas protegidas.....	31
Figura 18.- Características de la grilla	34
Figura 19.- Grilla en Planta.....	34
Figura 20.- Grilla en Elevación.....	34
Figura 21.- Acero ASTM A572 Gr. 50 en el software ETABS.....	35
Figura 22.- Acero para deck metálico en el software ETABS.....	35
Figura 23.- Hormigón para losa con deck metálico en el software ETABS..	36
Figura 24.- Detalle de los con deck metálico.....	37
Figura 25.- Detalle de la losa con deck metálico	37
Figura 26.- Viga secundaria (ancho cooperante)	39
Figura 27- Diagrama de momento y reacciones (viga secundaria).....	40
Figura 28- Definición viga secundaria en el software	41
Figura 29.- Viga principal (cargas aplicadas)	41
Figura 30.- Diagrama de momento viga principal (empotramiento perfecto)	42
Figura 31.- Diagrama de momento viga principal (apoyo articulado).....	42
Figura 32.- Definición viga primaria en el software	42
Figura 33.- Área cooperante de columna	43
Figura 34.- Definición de las diagonales.....	45

Figura 35.- Espectro de diseño en el software Etabs	47
Figura 36.- Modelamiento realizado en 3d (diagonales concéntricas en x) ..	48
Figura 37.- Factor de corrección del cortante basal estático	49
Figura 38.- Factor de corrección del cortante basal dinámico	49
Figura 39.- deriva elástica por efecto del sismo en x-y.....	52
Figura 40.- Cortante estático en “x”	53
Figura 41.- Cortante estático en “y”	53
Figura 42.- Cortante dinámico en “x”-“y”	54
Figura 43.- Modelamiento realizado en 3d (diagonales excéntricas)	55
Figura 44.- Factor de corrección del cortante basal estático	56
Figura 45.- Factor de corrección del cortante basal dinámico	56
Figura 46.- deriva elástica por efecto del sismo en x-y.....	59
Figura 47.- Cortante estático en “x”	60
Figura 48.- Cortante estático en “y”	60
Figura 49.- Cortante dinámico en “x”-“y”	61
Figura 50.- Verificación de cumplimiento de diseño.....	63
Figura 51.- Verificación de elementos principales y secundarios	64
Figura 52.- Verificación de cumplimiento de diseño.....	65
Figura 53.- Verificación de elementos principales y secundarios	66
Figura 54.- Creación de patrones de carga.....	66
Figura 55.- Creación de casos de carga.....	67
Figura 56.- Creación de carga vertical	67
Figura 57.- Definición de caso pushover en sentido x	67
Figura 58.- Definición de caso pushover en sentido y	68
Figura 59.- Vista 3d de aplicación de carga.....	69
Figura 60.- Definición de rotula plástica.....	70
Figura 61.- Formación de rotulas plásticas (diagonales concéntricas tipo X)	70
Figura 62.- Curva estática de pushover (diagonales concéntricas tipo X)	71
Figura 63.- Formación de rotulas plásticas (diagonales excéntricas).....	71
Figura 64.- Curva estática de pushover (diagonales concéntricas tipo X)	72

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec.1	18
Ec.2.....	18
Ec.3.....	18
Ec.4.....	19
Ec.5.....	19
Ec.6.....	19
Ec.7.....	24
Ec.8.....	24
Ec.9.....	25
Ec.10.....	25
Ec.11.....	25
Ec.12.....	27
Ec.13.....	28
Ec.14.....	28
Ec.15.....	28
Ec.16.....	29
Ec.17.....	29
Ec.18.....	29
Ec.19.....	30
Ec.20.....	31
Ec.21.....	32
Ec.22.....	33
Ec.23.....	34
Ec.24.....	34
Ec.25.....	34

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por mi familia la cual me ha brindado su apoyo incondicional y han sido un ejemplo de lucha, fortaleza, comprensión y apoyo para no poner límite a mis sueños.

A mis Docentes por su vocación y paciencia para transmitirme sus conocimientos buscando hacer de mí una profesional de excelencia.

Un agradecimiento especial a mi Tutor Ing. Marcelo Guerra, por la transferencia de sus conocimientos que me sirvieron en el desarrollo de este proyecto de investigación.

Bernarda Estefanía Abril Gavilanes

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi familia que es mi pilar fundamental para alcanzar las metas que me proponga en el transcurso de mi vida, de manera especial a mis hijas Emilia y Victoria.

A la memoria de mi padre Gustavo, quien me enseñó que el estudio y los conocimientos son la llave para abrir las puertas del futuro, llegando a ser mi ejemplo de superación y perseverancia.

Esta es una meta más de muchas por cumplir con mucho amor para ustedes

Bernarda Estefanía Abril Gavilanes

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS
METÁLICAS

TEMA:

“EVALUACIÓN DE EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA EN ESTRUCTURA
DE ACERO CON DIAGONALES EXCÉNTRICAS, CONCÉNTRICAS”

AUTOR: Ing. Bernarda Estefanía Abril Gavilanes

DIRECTOR: Ing. Oswaldo Marcelo Guerra Avendaño MSc-MDI

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

- Ingeniería, Industria y Construcción

FECHA: 24 de agosto de 2022

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad el empleo de sistemas de rigidización que permitan obtener un mejor desempeño estructural frente a la presencia de eventos sísmicos mediante la comparación de los sistemas estructurales de disipación de energía como son: edificios con diagonales concéntricas en forma de x y edificios con diagonales excéntricas con una longitud de enlace (link) de 1 metro en edificaciones de acero de mediana altura considerando las propiedades mecánicas y físicas de estos elementos así como las ventajas de implementación y construcción.

En este proyecto se comparó dos edificaciones de acero de 20 pisos los cuales presentan sistemas de rigidización sísmica que fueron ubicados de forma simétrica en la estructura, para el modelamiento se empleó el software ETABS 2016, aplicando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), así como la verificación del cumplimiento de la norma AISC 341-16, de donde se obtuvo un diseño estructural sismoresistente óptimo que se encuentra dentro de los parámetros permitidos.

El empleo de diagonales concéntricas y excéntricas permite garantizar la estabilidad en la estructura, obtener un apropiado comportamiento estructural que permita ser capaz de minimizar los movimientos horizontales provocados por los sismos y el

viento, proporcionando una mayor rigidez y estabilidad a la estructura.

Se obtuvo como resultado al emplear diagonales concéntricas un periodo de vibración de 2.037 segundos, la deriva de piso inelástica fue de 0.0129 mm, así mismo el valor del cortante estático y dinámico fueron de 580.78 y 464.62 respectivamente, mientras que al emplear diagonales excéntricas el periodo de vibración fue de 1.921 segundos, con derivas de piso inelástica de 0.0118 mm, cumpliendo con los requerimientos establecidos por la norma NEC-15, de la misma manera se obtuvo un cortante estático de 615.868 y el cortante dinámico de 492.695 .

Adicionalmente se realizó un análisis estático no lineal (Pushover), en donde se aplicó un patrón de carga a todos los nudos que unen vigas principales y columnas que se encuentra relacionado a las formas modales de los dos primeros modos de vibración de la estructura de acero de mediana altura, en donde de la curva de capacidad estática se pudo observar que en los dos modelamientos empleado diagonales concéntricas así como diagonales excéntricas el resultado es similar en cuanto a las caídas de resistencia, sin embargo comparado con el sistema concéntrico, el sistema de diagonales excéntricas tiene mayor ductilidad.

Descriptor: Capacidad estática, comportamiento estructural, cortante estático, diagonales concéntricas, diagonales excéntricas, disipación energética, estructura de acero, formas modales, mediana altura, reducir desplazamiento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS
METÁLICAS

THEME:

“ASSESSMENT OF MEDIUM-RISE BUILDINGS IN STEEL STRUCTURE
WITH ECCENTRIC, CONCENTRIC DIAGONALS”

AUTHOR: Ing. Bernarda Estefanía Abril Gavilanes

DIRECTED BY: Ing. Oswaldo Marcelo Guerra Avendaño MSc-MDI

LINE OF RESEARCH:

- Engineering, Industry and Construction

DATE: August 24, 2022

EXECUTIVE SUMMARY

The purpose of this research project is to use stiffening systems that allow for better structural performance in the presence of seismic events by comparing structural energy dissipation systems such as: buildings with concentric diagonals in the form of x and buildings with eccentric diagonals with a link length of 1 meter in medium-rise steel buildings considering the mechanical and physical properties of these elements as well as the implementation and construction advantages.

In this project, two 20-story steel buildings were compared, which have seismic stiffening systems that were located symmetrically in the structure, for modeling the ETABS 2016 software was used, applying the Ecuadorian Construction Standard (NEC-15).), as well as the verification of compliance with the AISC 341-16 standard, from which an optimal seismic-resistant structural design was obtained that is within the permitted parameters.

The use of concentric and eccentric diagonals allows to guarantee the stability in the structure, to obtain an appropriate structural behavior that allows to be able to

minimize the horizontal movements caused by the earthquakes and the wind, it requires a greater rigidity and stability to the structure.

The result was obtained by using concentric diagonals a vibration period of 2.037 seconds, the inelastic floor drift was 0.0129 mm, likewise the value of static and dynamic shear were 580.78 and 464.62 respectively, while when using eccentric diagonals the period of vibration was 1.921 seconds, with inelastic floor deviations of 0.0118 mm, complying with the requirements established by the NEC-15 norm, in the same way a static shear of 615.868 and a dynamic shear of 492.695.

Additionally, a non-linear static analysis (Pushover) was carried out, where a load pattern was applied to all the nodes that join the main beams and columns, which is related to the modal shapes of the first two vibration modes of the steel structure. of medium height, where from the static capacity curve it was possible to observe that in the two models used concentric diagonals as well as eccentric diagonals the result is similar in terms of resistance drops, however compared to the concentric system, the system of Eccentric diagonals have higher ductility.

Keywords: Static capacity, structural behavior, static shear, concentric diagonals, eccentric diagonals, energy dissipation, steel structure, modal shapes, medium height, reduce displacement.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

En Sudamérica se encuentra en desarrollo la construcción de edificaciones de mediana y gran altura la mayoría de las estructuras de vivienda, comerciales e industriales se construyen en acero. [1]El Ecuador es un país con alta peligrosidad sísmica, considerando los eventos sísmicos en el país en los últimos años, ha permitido cambiar la visión al momento de diseñar edificaciones considerando la importancia de planificar, diseñar y construir considerando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), normativa nacional e internacional. La construcción de edificaciones en el país se ha incrementado notablemente en los últimos años, incluida la ciudad de Quito, [2]en donde se puede observar un sinnúmero de edificaciones repartidas alrededor de la ciudad considerando que un gran porcentaje de estas edificaciones están conformadas por materiales dúctiles que permiten un comportamiento adecuado ante eventos naturales inesperados como son los sismos. El sector constructivo con el paso de tiempo ha innovado y desarrollado técnicas y métodos constructivos en edificaciones de acero de mediana altura a nivel mundial. La presente investigación proyecta un sistema estructural que genere resistencia, ductilidad, rigidez, estabilidad mediante la implementación del uso de diagonales concéntricas y excéntricas.

1.2. Justificación

Pichincha es considerada como una alta provincia en número de viviendas proyectadas, con un número significativo para el desarrollo de la urbe, además en el contexto nacional el uso de estructuras metálicas para construcciones es escaso representando un 5.6% de uso en todo el país, en este contexto una desventaja por el uso de este tipo de material es su alto costo de implementación y el tipo de uso final que se le dará al terminar la construcción, [3]ya que una familia promedio no podría optar por construir con materiales metálicos resistente. Por lo que es predominante evaluar el diseño de este tipo de construcción y que a futuro más familias o consorcios

opten por construir con este tipo de diseño.[4]

En el Distrito Metropolitano de Quito la construcción de edificaciones ha incrementado en un sinnúmero de construcciones repartidas alrededor de la ciudad considerando que un gran porcentaje de estas edificaciones están conformadas por materiales dúctiles con diseños innovadores que permiten un comportamiento adecuado ante eventos naturales inesperados como son los sismos,[5].

La presente investigación pretende prevenir pérdidas humanas así como daños estructurales en las edificaciones mediante la aplicación de diagonales excéntricas y concéntricas en las edificaciones de mediana altura por su capacidad para disipar la energía[6] producida durante un sismo, considerando que por el distrito metropolitano de Quito pasan diferentes fallas tectónicas que pueden ocasionar asentamientos diferenciales en las construcciones que no cuenten con un criterio técnico al momento de su construcción.[7]

Evaluar edificios de mediana altura en estructura de acero con diagonales excéntricas y concéntricas que permita verificar la eficiencia del diseño de acuerdo a la normativa nacional e internacional.

1.3. Objetivos

1.3.1 General

Evaluar edificios de mediana altura en estructura de acero con diagonales excéntricas y concéntricas que permita verificar la eficiencia del diseño de acuerdo a la normativa nacional e internacional.

1.3.2 Específicos

- Estudiar las diagonales concéntricas y excéntricas de edificaciones de mediana altura presente en estructuras metálicas
- Modelar el sistema estructural para verificar el cumplimiento de la AISC 341-16, y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)

- Evaluar edificaciones de mediana altura mediante el uso de las diagonales concéntricas y excéntricas.

CAPITULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1 Antecedentes investigativos

2.1.1 Acero estructural

El acero se ha convertido en un material fundamental a la hora de realizar la construcción de edificaciones de mediana altura, una de las ventajas más relevantes

son: la resistencia, ductilidad y capacidad de absorción de energía. [8]

El acero es una aleación de componentes metálicos principalmente de hierro y carbono en proporciones del 0.5 al 1.5%, por la capacidad para soportar esfuerzos a tracción. Hay 7 aceros especiales que contienen, en pequeníssima proporción, cromo, níquel, titanio, volframio o vanadio. [5]

Se caracteriza por su gran resistencia, contrariamente a lo que ocurre con el hierro, que presenta una disminución de resistencia significativa a la deformación plástica, por estar constituida solo con cristales de ferrita; cuando se alea con carbono, se forman estructuras cristalinas diferentes, que permiten un gran incremento de su resistencia. Ésta cualidad del acero y la abundancia de hierro le colocan en un lugar. Un 92% de todo el acero es simple acero al carbono; el resto es acero aleado: aleaciones de hierro con carbono y otros elementos tales como magnesio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.[6]

Los diseñadores en la actualidad han realizado mejoras a la gran variedad de aceros existentes en el mercado como son los aceros estándar y los llamados de alta resistencia, los aceros estructurales modernos se pueden clasificar según la ASTM. [9]

2.1.2 Propiedades Mecánicas del Acero

Las propiedades mecánicas del acero se encuentran en función del tratamiento térmico y el proceso de laminado, de las cuales la más relevantes se encuentran las detalladas a continuación: elasticidad, uniformidad, ductilidad, tenacidad y resistencia.[10]

2.1.2.1 Elasticidad

El comportamiento del acero sigue la ley de Hooke y se determina mediante el módulo de Young o módulo de elasticidad que se lo conoce como la relación existente entre el incremento de esfuerzo y variación de la deformación unitaria que presenta el acero el valor es constante a menos que se exceda de un valor máximo llamado límite elástico.[3]

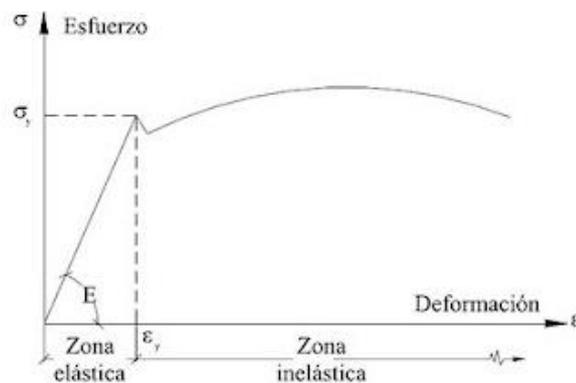
2.1.2.2 Uniformidad

Las propiedades del acero estructural no cambian por lo que se mantienen invariable a través del tiempo.

2.1.2.3 Ductilidad

La ductilidad es una propiedad fundamental del acero que permite que el material tenga la facilidad de soportar deformaciones plásticas antes de llegar a la falla bajo la acción de una fuerza y sin disminuir su resistencia.[11]

Figura1. Diagrama Esfuerzo- Deformación



Fuente: <http://www.cuevadelcivil.com/2010/10/linealidad.html>

2.1.2.4 Tenacidad

Esta propiedad del acero que hace que el material absorba energía en grandes cantidades [7]. Los aceros estructurales tienen resistencia y ductilidad al mismo tiempo.

2.1.2.5 Resistencia

Debido a la alta resistencia que presenta el acero estructural el peso es relativamente bajo en comparación al concreto lo que permite tener una variedad de diseños altos y esbeltos.

2.1.3 Ingeniería Sísmica

La Ingeniería sísmica es una rama de la ingeniería que en la actualidad se ha realizado estudios de la aplicación de diagonales para disipar la energía en edificaciones, este sistema se ha venido comprobando en diferentes eventos experimentales así como en la vida real permitiendo conocer más de los beneficios de que nos concede estos sistemas estructurales [12]

El riesgo sísmico se encuentra presente como una probabilidad en donde pueden verse afectados por los efectos de la peligrosidad sísmica, he ahí la importancia de proporcionar resistencia a la estructura diseñada para que pueda ser capaz de garantizar la resistencia sísmica mediante el uso de diagonales que permiten que la estructura adquiera rigidez

Riesgo sísmico = Peligrosidad sísmica * Vulnerabilidad sísmica

Donde

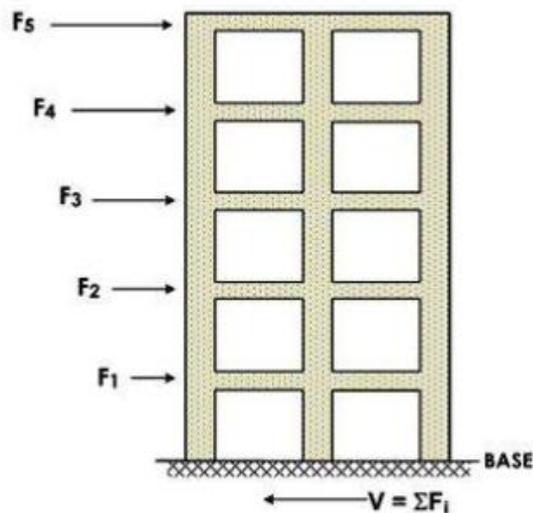
- **Peligrosidad Sísmica:** Probabilidad de ocurrencia dentro de un tiempo, área e intensidad que se encuentran determinados.
- **Vulnerabilidad Sísmica:** Grado del daño producida por un movimiento sísmico bajo una intensidad determinada

2.1.4 Funcionalidad de las Diagonales

Uno de los sistemas estructurales más utilizados son las diagonales de arriostramiento que son empleadas para soportar las fuerzas horizontales, ejercidas sobre una edificación de varios pisos debido a las cargas del viento y sismo [13], los sistemas arriostrados proporcionan más flexibilidad en los diseño estructurales y arquitectónicos.[14] La disipación de energía se da mediante un mecanismo de columnas fuertes – vigas débiles, el cual hace que esta disipación se localice en las vigas, arriostramientos y conexiones. [15]

“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.” NEC (2015) (pág. 6) Considerando que el cortante basal es la fuerza total generada por las cargas laterales (sismo o viento) la cual es aplicada en la base de la estructura.

Figura 2. Cortante basal V



Fuente:<http://portales.puj.edu.co/javevirtual/Proyecto%20Estructuras/html/2clasificaion.html>

Para lograr un eficiente funcionamiento de las diagonales se debe considerar el ángulo de inclinación que se encuentra comprendido entre 30 y 60°, que facilita la construcción de las conexiones entre las riostras y el pórtico. [15]

En los diseños sismo resistentes se debe considerar criterios estructurales y económicos, así como la ubicación simétrica de las diagonales repartidos en todo el perímetro de una edificación, capaces de soportar cargas verticales.

Tres parámetros afectan la capacidad de respuesta histerética de los arriostramientos:

- **La relación de esbeltez**

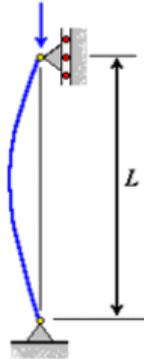
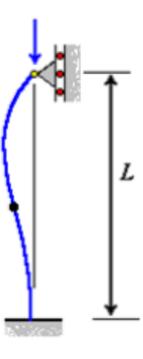
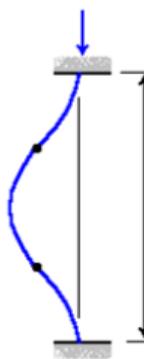
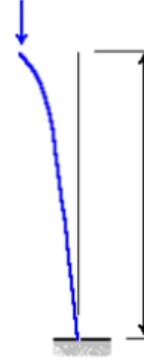
En las diagonales este parámetro es el más importante ya que no solo influye en la resistencia a compresión, sino que influye en la resistencia post-crítica.

Existe tres tipos de grupos de diagonales: a) Diagonales esbeltas, b) Diagonales Robustas, c) Diagonales Intermedias.

- **Las condiciones de fijación en los extremos (K)**

La longitud efectiva está determinada por la siguiente expresión: $K \cdot l$ (K es el factor de longitud efectiva y l es la longitud de la diagonal); y puede determinarse mediante los valores indicados en la siguiente tabla:

Figura 3 **Tabla de condiciones de fijación en los extremos (K)**

Columna articulada-articulada	Columna empotrada-articulada	Columna empotrada-empotrada	Columna empotrada-libre
			
$L_e = L$	$L_e = 0.699L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 2L$
$K = 1$	$K = 0.699$	$K = 0.5$	$K = 2$

Fuente: <http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/05elementosSolicitadosACompresion/5-4.html>

- **La forma de la sección (A, I)**

La eficiencia de la sección está determinada por el comportamiento estructural de las secciones, las cuales pueden ser cuadradas o tipo canal. Las secciones se evalúan a través de la relación ancho – espesor en donde la forma de la sección está relacionada directamente con los problemas de pandeo que se puede dar en las riostras, para tener mayor capacidad de disipación de energía es recomendable emplear secciones compactas que permiten que las riostras presenten fracturas.

2.1.5 Diagonales Concéntricas

Las estructuras con diagonales concéntricas son una forma eficiente de reforzar estructuras de acero [16] de pequeña y mediana altura. Son aquellas en las que sus ejes centrales de los miembros componentes se cortan en un punto, formando así una estructura reticulada [17], formando de esta manera una estructura sujeta principalmente a fuerzas axiales de compresión y tensión. Los nudos proporcionan mayor parte de la rigidez de la estructura.

Existen diferentes tipos de diagonales detallados a continuación:

Figura 4. Diagonal en V

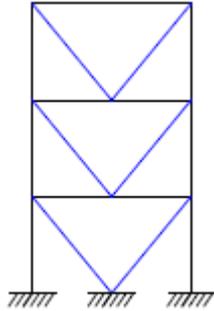
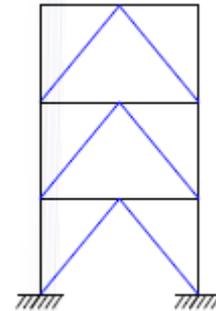


Figura 5. Diagonal en V invertida



Fuente:<http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/09-disenioSismorresistente/9-24.htm>

Figura 6. Arrostramiento en diagonal

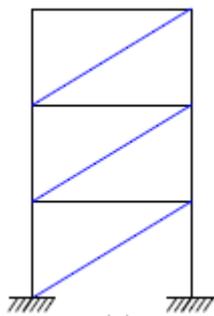
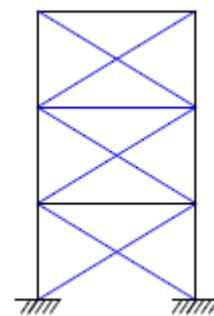


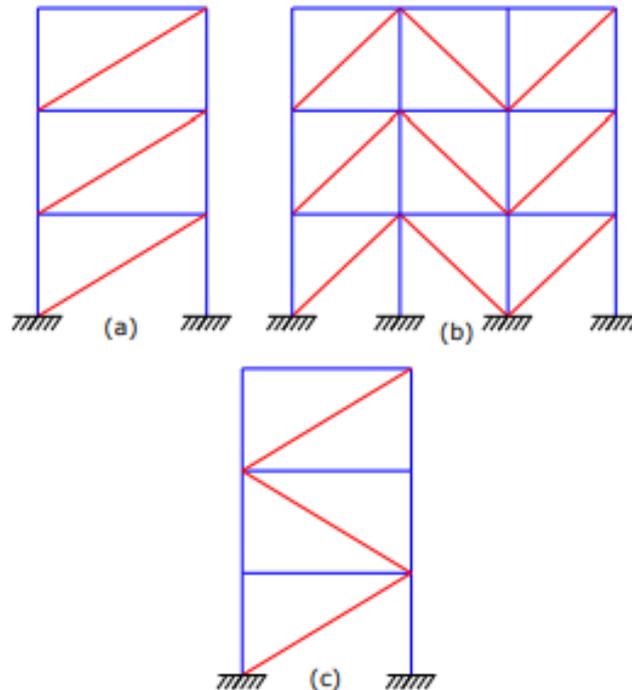
Figura 7. Arrostramiento en cruz



Fuente: Crisafulli Francisco Javier, 2018, “Diseño sísmoresistente de construcciones de acero”, 5ta edición, Asociación Latinoamericana del Acero, Santiago de Chile, capítulo 5, página 70

Para evitar la acumulación de distorsiones de piso inelástico en una dirección se debe garantizar que se obtenga un correcto balance entre las riostras comprimidas y las traccionadas,[18] a continuación, se detalla los sistemas que no son adecuadas y los reglamentos de diseño sísmo resistente usualmente desalientan o prohíben su uso

Figura 8. Configuraciones inadecuadas



Fuente: Crisafulli Francisco Javier, 2018, “Diseño sísmoresistente de construcciones de acero”, 5ta edición, Asociación Latinoamericana del Acero, Santiago de Chile, capítulo 5, página 98

- **Respuesta sísmica de las diagonales concéntricas**

El sistema de diagonales concéntricas desarrolla disipación de energía, ductilidad y deformaciones inelásticas. Las acciones laterales de viento y sismo inducen en la estructura principalmente esfuerzos axiales de tracción y compresión.

Una consideración para el diseño del sistema de arriostramiento se relaciona con el ángulo de inclinación de las riostras, valor recomendando entre 30% y 60% [17].

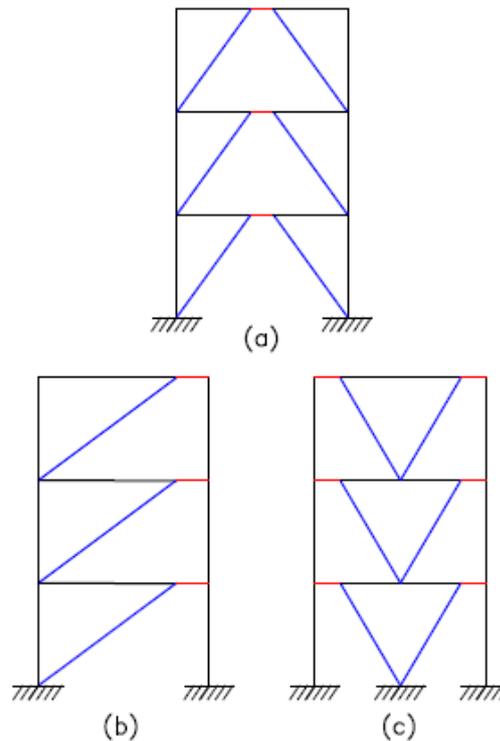
Cuando la estructura es sometida a cargas laterales por efectos de la acción sísmica, las riostras de cada plano del edificio deben estar colocadas de manera que la respuesta del sistema sea prácticamente simétrico en cuanto a resistencia y rigidez; para lo cual es recomendable que exista un número par de riostras en cada plano existente, y además deben tener igual sección y ángulo de inclinación. [17]

2.1.6 Diagonales Excéntricas

En las diagonales excéntricas las fuerzas axiales inducidas en las riostras son transferidas mediante esfuerzos de corte y flexión en segmentos de reducida longitud, llamados enlaces o links, donde se disipa energía por fluencia del acero. Los enlaces representan "fusibles estructurales", los que deben detallarse adecuadamente para evitar que el pandeo local y otros fenómenos de inestabilidad degraden la respuesta. Los restantes componentes del pórtico (vigas fuera de la zona de enlace, columnas, conexiones) se dimensionan aplicando conceptos del diseño por capacidad para asegurar que permanecen en rango elástico [17]

A continuación: se detalla los tipos de diagonales excéntricas:

Figura 9. Tipos de diagonales excéntricas



Fuente: Crisafulli Francisco Javier, 2018, "Diseño sísmoresistente de construcciones de acero", 5ta edición, Asociación Latinoamericana del Acero, Santiago de Chile, capítulo 6, página 140.

Las limitaciones que deben considerarse son la complicación en el diseño de las conexiones, que deben resistir momentos flectores elevados y el hecho de que el enlace

vertical debe transferir parte de la carga gravitatoria que resisten las vigas, de modo que el enlace está sometido a flexión, corte y esfuerzos axiales. Adicionalmente, debe considerarse que el enlace vertical puede sufrir problemas de estabilidad lateral dado que no está vinculado, salvo en la parte superior. Es por ello que, en general, el uso de los enlaces verticales no ha tenido mucha aplicación [17]

- **Respuesta sísmica de las diagonales excéntricas**

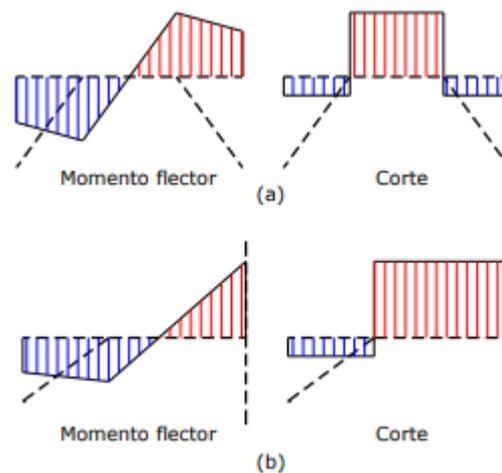
Son sistemas que son capaces de desarrollar disipación de energía, ductilidad además de tener una incursión inelástica significativa. La excentricidad generada en la viga; las fuerzas axiales que se generan en las riostras son transferidas mediante esfuerzos de corte y flexión dependiendo de la longitud de la excentricidad.[15]

- **Comportamiento estructural de la excentricidad**

Las excentricidades se pueden clasificar en cortas y largas

- ✓ **Excentricidades cortas.-** En la viga se genera rótulas de corte
- ✓ **Excentricidades largas.-** La flexión de la diagonal da lugar a la formación de rótulas plásticas especialmente en los extremos del enlace diagonal.

Figura 10. Diagrama de momentos flectores y esfuerzos de corte



Fuente: Crisafulli Francisco Javier, 2018, “Diseño sísmoresistente de construcciones de acero”, 5ta edición, Asociación Latinoamericana del Acero, Santiago de Chile, capítulo 6, página 112.

2.1.7 Método de análisis

En las estructuras sísmo-resistentes se aplica un diseño basado en el método de fuerzas,

en donde interviene directamente la rigidez y la fuerza actuante sobre la estructura, de donde se determina desplazamientos horizontales que se encuentran permitidos a las normas durante eventos sísmicos.[10]

Para analizar la respuesta de una estructura frente a los diferentes eventos sísmico la norma ASCE 7 como la NEC-15 consideran dos métodos: el análisis estático y el análisis modal espectral.

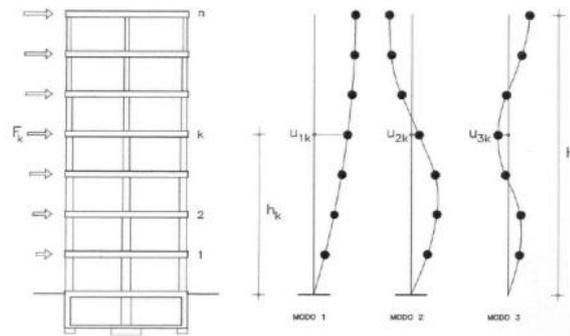
- **Análisis Estático**

El análisis estático se divide en método de las fuerzas laterales equivalentes, método basado en desplazamientos y el método del Pushover, que es un método pseudo estático inelástico. [19] El análisis estático es empleado por lo general para análisis de edificios de baja y mediana estura, consiste en hallar la fuerza horizontal actuante sobre la estructura, empleando parámetros propios de la estructura en estudio como son: ubicación, geometría, sistema estructural utilizado (SCBF, EBF, SMRF, entre otros). De donde se determina la fuerza lateral actuante más conocida como cortante basal, mismo que se encuentra distribuido en cada piso de la estructura, en donde se analiza el primer modo de vibración (sentido x,y).

- **Análisis Modal Espectral**

El análisis modal espectral o más conocido como análisis dinámico es el más recomendado para realizar diseños sismoresistentes según: las diferentes normas, en donde se estima los desplazamientos y fuerzas en los elementos del sistema estructural, una estructura sometida a una fuerza sísmica puede presentar varios modos de vibración.

Figura 11. Modos de vibración de una estructura



Fuente: <https://xfma.wordpress.com/2013/02/19/estructuras-sismoresistentes-analisis-modal-espectral-capitulo-2/>

Es decir el método involucra el cálculo únicamente con los máximos valores de las aceleraciones y desplazamientos de cada modo al emplear el espectro de diseño, posteriormente se combinan mediante el método de la combinación cuadrática completa (método CQC), lo que permite obtener valores de desplazamientos y fuerzas más probables de la estructura, en este sistema se debe tomar en consideración que sumando los modos de vibraciones seleccionados debe ser menos del 90% de la masa de la estructura en estudio.

2.1.8 Especificaciones de la norma americana ASCE 7-16

En la norma ASCE 7-16, se detallan consideraciones y criterios que deben tomarse en cuenta para el diseño de edificios y otros tipos de estructuras.

2.1.8.1 Categorización del riesgo, clasificación de edificios y otras estructuras

En la norma ASCE 7-16, en la sección 1.5.1 se enuncia que los edificios y otras estructuras deben clasificarse según el riesgo para: la vida humana, salud y el bienestar. Cada edificio u otra estructura se asignarán a la Categoría (Tabla 1) o Categorías de Riesgo aplicables (Tabla 2)

Tabla 1.- Categoría de riesgo de edificios y otras estructuras para inundaciones, vientos, nieve, terremotos y cargas de hielo.

Uso u ocupación de edificios y estructuras	Categoría de riesgo
Edificios y otras estructuras que representan un riesgo bajo para la vida humana en caso de falla	I

Todos los edificios y otras estructuras, excepto las enumeradas en las Categorías de riesgo I, III y IV.	II
Edificios y otras estructuras, cuyo fracaso podría representar un riesgo importante para la vida humana.	III
Edificios y otras estructuras no incluidas en la Categoría de riesgo IV que contienen sustancias tóxicas o sustancias explosivas en las que la cantidad de material excede una cantidad límite establecida por la Edificios y otras estructuras designadas como instalaciones esenciales.	IV

Fuente: Tabla 1.5.1 (ASCE/SEI 7-16)

Tabla 2.- Factores de importancia por categoría de riesgo de edificios y otras - estructuras para cargas de nieve, hielo y terremotos.

Categoría de riesgo	Factor de Importancia Sísmica, I_e
I	1.0
II	1.0
III	1.25
IV	1.50

Fuente: Tabla 1.5.2 (ASCE/SEI 7-16)

2.1.8.2. Combinaciones de cargas para los sistemas de Pórticos especiales arriostrados concéntricamente (SCBF) y Pórticos arriostrados excéntricamente (EBF)

En la norma ASCE/SEI 7-16, sección 2.3.1, se describe que las estructuras, componentes y cimientos deben diseñarse de modo que la resistencia de diseño sea igual o superior a los efectos de las cargas factorizadas.

En el trabajo de titulación se utilizaron las siguientes combinaciones.

Dónde:

- D: Carga muerta de peso propio de la estructura o cargas sobreimpuesta.
- L: Carga viva.
- Sx: Sismo dinámico en dirección X
- Sy: Sismo dinámico en dirección Y

Tabla 3.- Combinaciones de carga de la estructura

N° de Combinación	ASCE 7-16
Combinación N°1	1.0 D
Combinación N° 2	1.0 D+ 1.0 L

Combinación N°3	1.2 D+ 1.6 L
Combinación N° 4	1.4 D
Combinación N° 5	1.2 D+ 1.0 L+ 1.0 Sx+ 0.3 Sy
Combinación N° 6	1.2 D+ 1.0 L+ 1.0 Sx- 0.3 Sy
Combinación N° 7	1.2 D+ 1.0 L- 1.0 Sx+ 0.3 Sy
Combinación N° 8	1.2 D+ 1.0 L- 1.0 Sx-0.3 Sy
Combinación N° 9	1.2 D+ 1.0 L+ 1.0 Sy+ 0.3 Sx
Combinación N° 10	1.2 D+ 1.0 L+ 1.0 Sy- 0.3 Sx
Combinación N° 11	1.2 D+ 1.0 L- 1.0 Sy+ 0.3 Sx
Combinación N°12	1.2 D+ 1.0 L- 1.0 Sy- 0.3 Sx
Combinación N°13	0.9 D+ 1.0 Sx + 0.3 Sy
Combinación N°14	0.9 D+ 1.0 Sx - 0.3 Sy
Combinación N°15	0.9 D- 1.0 Sx + 0.3 Sy
Combinación N°16	0.9 D- 1.0 Sx - 0.3 Sy
Combinación N°17	0.9 D+ 1.0 Sy+ 0.3 Sx
Combinación N°18	0.9 D+ 1.0 Sy - 0.3 Sx
Combinación N°19	0.9 D- 1.0 Sy+ 0.3 Sx
Combinación N°20	0.9 D- 1.0 Sy - 0.3 Sx

Fuente: (ASCE/SEI 7-16)

2.1.8.3 Cargas muertas

Según la NEC-SE-CG, manifiesta que las cargas permanentes consisten en los pesos de todos los elementos estructurales que actúan en permanencia sobre la estructura. Se considera como cargas muertas a muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y todo artefacto integrado permanentemente a la estructura.

2.1.8.4 Cargas vivas

Según la NEC-SE-CG, la carga viva, también es conocida como sobrecargas de uso, la cual dependerá de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o

temporales, mercadería en transición, y otras.

2.1.9. Fundamentos de peligro Sísmico Norma Ecuatoriana (NEC-SE-DS)

La norma NEC-SE-DS 2015, proporciona especificaciones, requisitos mínimos para el diseño de estructuras sismo-resistentes. Para el diseño de estructuras dentro del rango elástico se usa la metodología del diseño basado en fuerzas, en donde es reemplazado por un sistema elástico con 5% de amortiguamiento viscoso y cuya rigidez y periodo de diseño, son estimados asumiendo los espesores de las placas para estructuras de acero.

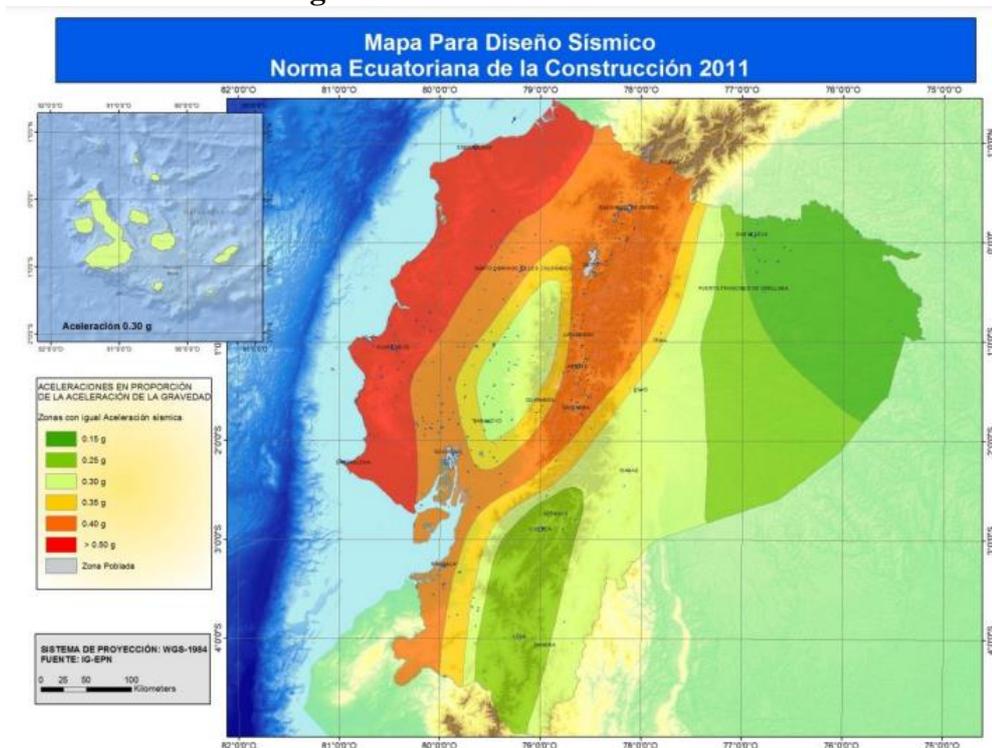
2.1.9.1 Espectro de diseño

El espectro de diseño está en función de parámetros detallados a continuación:

- **Zonificación sísmica (Z)**

En la norma NEC-SE-DS, se detalla la zonificación sísmica, que permite determinar el factor (Z), la cual simboliza la aceleración máxima en roca expresada como fracción de la gravedad.

Figura 12.- Zonas sísmicas del Ecuador



Fuente: Norma NEC-SE-DS/ figura 1

- **Coefficiente de perfil de suelo F_a , F_d y F_s**

Tabla 4.- Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto F_a , Suelo A y C.

Tipo de perfil del Subsuelo	Zonas Sísmicas y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
C	1.40	1.3	1.25	1.23	1.20	1.18

Fuente: Norma NEC-SE-DS / tabla 3

Tabla 5.- Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca F_d , Suelo A y C.

Tipo de perfil del Subsuelo	Zonas Sísmicas y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06

Fuente: Norma NEC-SE-DS / tabla 4

Tabla 6.- Comportamiento no lineal del suelo F_s , Suelo A y C.

Tipo de perfil del Subsuelo	Zonas Sísmicas y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23

Fuente: Norma NEC-SE-DS / tabla 5

En la norma NEC-SE-DS, sección 3.2 se especifica los coeficientes de perfil de suelo detallados a continuación:

F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

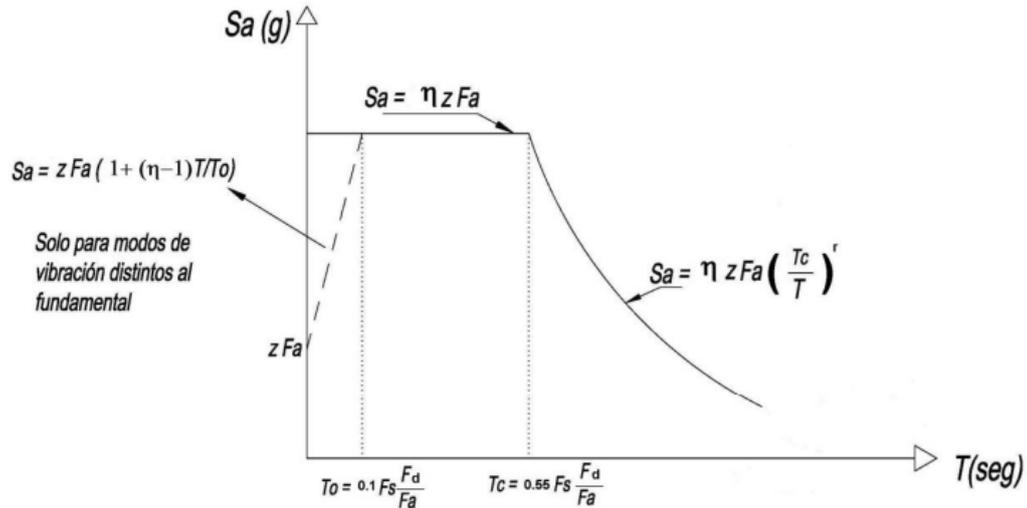
F_d : Coeficiente de amplificación de suelo.

F_s : Es un coeficiente que considera el comportamiento no lineal de los suelos

- **Componentes horizontales de la carga sísmica: espectro elástico de aceleración horizontal de diseño.**

La norma NEC-S-DS, sección 3.3 proporciona una figura del espectro elástico horizontal de diseño de aceleración S_a referido como fracción de la aceleración de la gravedad

Figura 13.- Espectro elástico horizontal de diseño de aceleración



Fuente: Norma NEC-SE-DS / figura 3

La figura N°13, obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%, la cual se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para periodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 rangos

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{Cuando } T_0 \leq T \leq T_c \quad \text{Ec. 1}$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{Cuando } T > T_c \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g), definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual a 5%.

T : Período fundamental de vibración de la estructura.

: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

T_c : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño. $T_c = 0.55 F_a \frac{F_d}{F_a}$

r : Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto, para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E ($r=1$) y suelo tipo E ($r=1.5$) η : Relación de amplificación espectral para período de retorno 475 años, estos valores varían dependiendo de la región del Ecuador.

- $\eta= 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas).
- $\eta= 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.
- $\eta= 2.60$: Provincias del Oriente.

En la Norma NEC-SE-DS, sección 3.3 especifican que: Para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de S_a debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de período de vibración menores a T_o

$$S_a = z F_a \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_o} \right) \quad \text{Para } 0 \leq T \leq T_o \quad \text{Ec. 3}$$

$$T_o = 0.10 F_s \left(\frac{F_d}{F_a} \right) \quad \text{Ec.4}$$

- **Cortante basal de diseño (V)**

En la Norma NEC-SE-DS, sección 6.3.2, se manifiesta que el cortante basal total de diseño V , a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$V = \left(\frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} \right) W \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

V: Cortante basal total de diseño.

I: Coeficiente de importancia definido en la tabla 11.

Sa (Ta): Espectro de diseño en aceleración, con respecto al periodo de vibración de la estructura.

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.

ϕ_p y ϕ_e : Coeficientes de configuración en planta y elevación.

W: Carga sísmica reactiva.

- **Categoría de edificio y coeficiente de importancia I.**

En la Norma NEC-SE-DS, sección 4.1, se manifiesta que el coeficiente I de la estructura se debe clasificar dentro de una de las categorías que se establecen en la Tabla 11, con el objetivo de incrementar la demanda sísmica de diseño para la estructura, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño

Tabla 7.- Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones Esenciales.	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias antincendios. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de Ocupación especial.	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1.3

Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1.0

Fuente: Norma NEC-SE-DS / tabla 6

- **Determinación del período de vibración T**

En la Norma NEC-SE-DS, sección 6.3, se enuncia dos métodos aproximados para determinar el período de vibración de la estructura T, en esta investigación se va a emplear el método 1.

$$T = C_t h_n^\alpha \quad \text{Ec.6}$$

Donde

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio.

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

T: Período de vibración.

Tabla 8.- Coeficiente Ct y α . (Norma NEC-SE-DS)

Estructuras de Acero	Ct	α
Sin arriostramiento	0.072	0.8
Con arriostramiento	0.073	0.75

Fuente: Norma NEC-SE-DS / tabla 6

- **Factor de reducción de fuerza sísmica R.**

La norma NEC-SE-DS, sección 6.3.4, el factor R permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, tratando que la estructura y las conexiones se diseñen para desarrollar un mecanismo de falla previsible con una ductilidad adecuada, en el cual el daño este concentrada en secciones detalladas que funcionen como rótulas plásticas.[20]

Tabla 9.- Coeficiente R para estructuras dúctiles

Pórticos resistentes a momentos.	R
---	----------

Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8

Fuente: Norma NEC-SE-DS / extracto tabla 15

- **Carga sísmica reactiva W**

En la norma ASCE/SEI 7-16, se describe el método para cálculo de carga sísmica, en donde se adopta el peso sísmico con la siguiente expresión.

$$W = WD + 0.25 WL \quad \text{Ec. 7}$$

- **Coefficiente de regularidad en planta ϕ_p y elevación ϕ_e .**

En la tabla 12 y 13 de la norma NEC-SE-DS, se describe las condiciones para que una estructura sea considerada regular e irregular.

- **Distribución de fuerzas verticales sísmicas laterales**

La distribución de fuerzas verticales está en función del periodo de vibración de la estructura en estudio.

Tabla 10.- Coeficiente K

Valores de T (s)	K
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
$\triangleright 2.5$	2

Fuente: Norma NEC-SE-DS

En la norma ASCE/SEI 7-16, en la sección 12.8.3 se manifiesta que la distribución del cortante sísmico basal se considera las ecuaciones detalladas, en donde la fuerza sísmica lateral (F_x) en cualquier nivel se calcule a partir del coeficiente C_{vx} , mismo que se encuentra en función de la altura del piso elevado al exponente K así como también en función de la masa del piso.

$$F_x = C_{vx} V \quad \text{Ec.8}$$

$$C_{vx} = \frac{W_x H_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i H_i^k} \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

F_x : Fuerza sísmica lateral.

C_{vx} : Factor de distribución vertical.

V : Cortante sísmico de diseño en la base de la estructura [kip (kN)].

W_i y W_x : Fracción del peso sísmico efectivo total de la estructura (W) correspondiente al nivel i o x .

H_i y H_x : Altura [ft (m)] desde la base hasta el nivel i o x .

K : Exponente relacionado con el período de estructura

- **Distribución horizontal de fuerzas**

En la norma ASCE 7-16 en la sección 12.8, se manifiesta que el cortante sísmico de un piso $V_x = V_i$ se determina mediante la siguiente expresión:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

F_i = Fracción del cortante sísmico (V) producida en el nivel $i = x$.

- **Control de la deriva de piso (Derivas Inelásticas máximas de piso Δ_M)**

La norma NEC-SE-DS en la sección 6.3.9, se manifiesta que en el diseño de una edificación sismo resistente se debe realizar el control de las deformaciones relativas de entrepiso o derivas de piso, que son las causantes de provocar daños en los elementos estructuras de la edificación. Para el control se calcula a partir del análisis elástico a las derivas inelásticas para luego realizar la comparación con los límites de las derivas permisibles.

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

Δ_M : Deriva inelástica máxima calculada.

Δ_E : Derivas elásticas calculadas para la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

Se debe considerar verificar que cumpla la siguiente expresión

$$\Delta_M < \Delta_{\text{m\grave{a}x permisible}} \quad \text{Ec.12}$$

$\Delta_{\text{m\grave{a}x permisible}$ = El límite para la deriva inelástica se detalla en: la tabla 15.

Tabla 11.- Valores de Δ_M máximo permisible, expresados como fracción de la altura de piso (NEC-SE-DS)

Estructura	$\Delta_{\text{m\grave{a}x permisible}$
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera.	0.02

Fuente: Norma NEC-SE-DS, tabla 7

- **Efectos de segundo orden P- Δ e índice de estabilidad Q_i .**

En la norma NEC-SE-DS, en la sección 6.3.7, se manifiesta que los efectos P- Δ pertenece a los efectos adicionales en las dos direcciones principales, causados por efectos de segundo orden que producen un incremento en fuerzas internas, momentos y derivas de la estructura. Por lo que los efectos P- Δ deben ser considerados para cálculo de incrementos y la evolución de la estabilidad de la estructura.

$$Q_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i H_i} \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

Q_i : Índice de estabilidad del piso i, es la relación entre el momento de segundo orden y el momento de primer orden.

P_i : Suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y la sobrecarga por carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i.

Δ : Deriva del piso i calculada en el centro de masas del piso.

V_i : Cortante sísmico del piso i.

h : Altura de entrepiso i considerado. Se debe cumplir $Q_i \leq 0.30$

2.1.10 Especificaciones según el fundamento de ANSI/AISC 341-16

La norma se emplea para el diseño de pórticos de acero y otros tipos de estructuras.

2.1.10.1 Bases Generales para diseño de Pórticos Especiales arriostrados concéntricamente (SCBF) según la norma AISC 341-16

- **Requerimientos básicos**

Las columnas, vigas y arriostramientos deberán cumplir los requisitos de la Sección D1.1 para miembros dúctiles. Los puntales en MT-SCBF deberán cumplir con los requisitos de la Sección D1.1 para miembros moderadamente dúctiles.

- **Riostras**

Se especifica dos condiciones para las riostras: a) resistencia requerida y b) esbeltez máxima.

La esbeltez de las riostras, debe cumplir la siguiente expresión.

$$\frac{KL}{r} \leq 200 \quad \text{Ec.14}$$

En la norma ANSI/AISC 341-16, se manifiesta que cuando se tenga secciones armadas se debe controlar el espaciamiento de las placas de costuras u otros medios de unión, para llegar a obtener que la esbeltez de los componentes individuales sea menor que el 40% de la esbeltez global, no se permite uso de pernos para la unión de placas de costura en el cuarto central de las riostras.

- **Relación ancho-espesor**

En pórticos especiales arriostrados concéntricamente las columnas y riostras, las secciones de estos miembros debe de satisfacer los requisitos para miembros de ductilidad elevada, donde la relación ancho- espesor no debe superar el valor límite λ_{hd}

Las vigas que son consideradas como miembros con una ductilidad moderada, en las secciones debe de verificarse con el valor límite λ_{md} . Con estos criterios se permite el pandeo global de la riostra, limitando la ocurrencia de pandeo local.

- **Zonas de protección**

La zona protegida de SCBF deberá cumplir con la Sección D1.3, y deberá incluir lo siguiente:

- (a) Para riostras, el centro de un cuarto de la longitud de la riostra y una zona adyacente a cada conexión igual al canto de la riostra en el plano de pandeo.
- (b) Elementos que conectan riostras a vigas y columnas

- **Requerimiento especial para arriostramiento en V y V invertida**

En estos pórticos el objetivo primordial es evitar daños en la zona central de la viga donde se conectan las riostras, se especifica que las vigas deben tener continuidad entre las columnas con un arriostramiento lateral considerando los requisitos para miembros de ductilidad moderada.

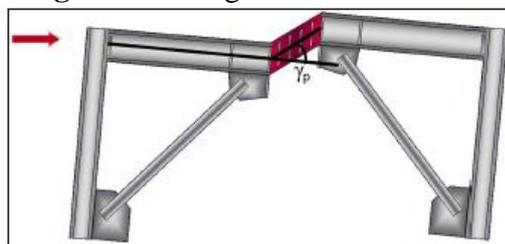
2.1.10.2 Bases generales para el diseño de pórticos especiales arriostrados excéntricamente (EBF)

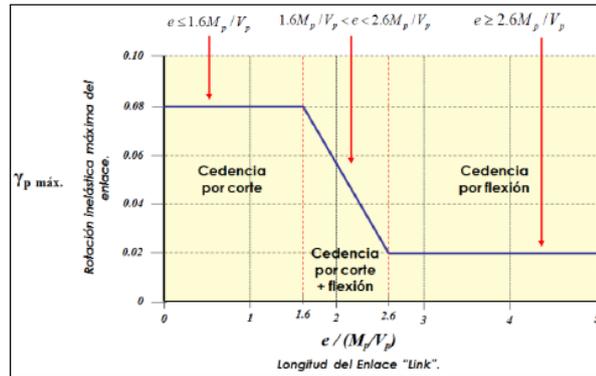
Los pórticos arriostrados excéntricamente se caracterizan por desarrollar una respuesta dúctil y estable, donde las fuerzas axiales inducidas en las riostras son transferidas mediante esfuerzo de corte y flexión en segmentos de reducida longitud conocido como enlace.

- **Ángulo de rotación del enlace**

Es el ángulo de rotación plástica que se da entre tramo de viga que está localizado fuera de la viga enlace con el elemento de enlace se representa con (γ_p), en la norma ANSI/AISC 341-16 se especifica los límites que el ángulo de rotación del elemento link no deberá exceder.

Figura 14.- Ángulo de rotación del enlace



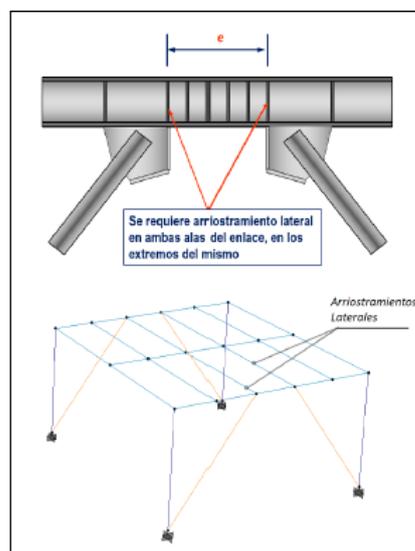


Fuente: Guerra, Marcelo, 2021, “estudio de la incidencia del enlace (link) en edificios sismo resistentes de acero con diagonales excéntricas para 20,25,30, y 40 pisos”, página 66.

- **Arriostamiento lateral para estabilidad del elemento enlace**

En la norma ANSI/AISC 341-16, en la sección D1.2c se establece los requisitos para los arriostamientos laterales, en las secciones tipo I se deberá colocar arriostamientos laterales en alas inferiores así como en las superiores en los extremos de los enlaces.

Figura 15.- Ubicación de arriostamiento lateral en el enlace



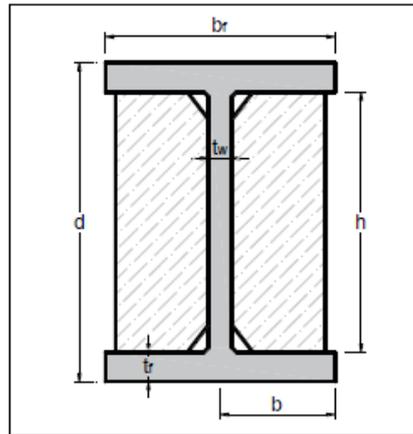
Fuente: Guerra, Marcelo, 2021, “estudio de la incidencia del enlace (link) en edificios sismo resistentes de acero con diagonales excéntricas para 20,25,30, y 40 pisos”, página 68.

2.1.10.2.1 Limitaciones para enlaces

En la sección F3.5b.1 de la norma AISC 341-16, se especifica dependiendo el tipo de sección las limitaciones en relación ancho-espesor que debe cumplir.

- **Enlaces de sección tipo I**

Figura 16.- Secciones usuales para el enlace: sección I



Fuente: Guerra, M. 2021, “estudio de la incidencia del enlace (link) en edificios sismo resistentes de acero con diagonales excéntricas para 20,25,30, y 40 pisos”, página 71.

- a) Para alas del enlace

- Las alas deben cumplir requisitos de moderada ductilidad, cuando el enlace de longitud ($e \leq 1.6 M_p / V_p$).

$$\frac{b_f}{t_f} \leq 0.40 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad \text{Ec. 15}$$

- Las alas deben cumplir requisitos de alta ductilidad, cuando el enlace de longitud ($e > 1.6 M_p / V_p$).

$$\frac{b_f}{t_f} \leq 0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad \text{Ec. 16}$$

- b) Para el alma del enlace (requisitos de alta ductilidad)

- Cuando $C_a \leq 0.114$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 1.04 C_a) \quad \text{Ec. 17}$$

- Cuando $C_a > 0.114$

$$\frac{h}{t_w} \leq \left[\text{mayor entre} \left(0.88 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2.68 - C_a) \right) \text{ y } \left(1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \right) \right] \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad 200 000 MPa (AISC 341-16)

R_y = En la tabla A3.1 de la AISC 341-16 se establece el Factor de fluencia probable

F_y = 345 MPa

$$C_a = \frac{P_u}{\phi_y P_y}$$

P_u = Fuerza axial de la combinación de cargas (N)

ϕ_y = 0.90 de la sección H1.1 de la norma AISC 360 – 16

P_y = Fuerza axial de fluencia = $F_y A_g$

2.1.10.2.2 Resistencia al cortante del enlace

- Fluencia por flexión

$$V_d = 2 \frac{M_p}{e} \quad \text{Ec.19}$$

- Fluencia por corte

$$V_n = V_p \quad \text{Ec.20}$$

2.1.10.2.3 Longitud del enlace

En la norma ANSI/AISC 341-16, se especifica las limitaciones de longitud del enlace, cuando se tiene la condición de $P_u / P_y > 0.15$, se considera los siguientes aspectos:

- Si $\rho \leq 0.5$

$$e = \frac{1.6 M_p}{V_p} \quad \text{Ec.21}$$

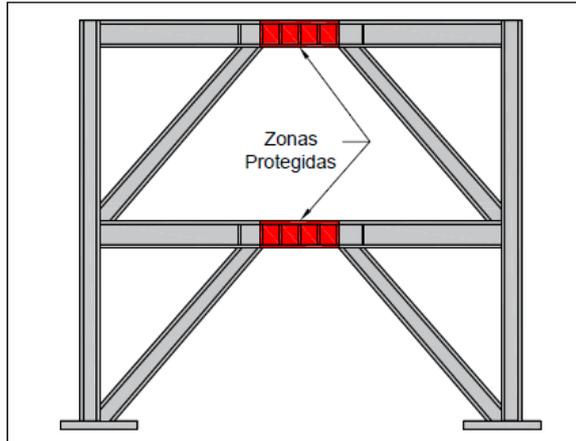
- Si $\rho > 0.5$

$$e \leq \frac{1.6 M_p}{V_p} (1.15 - 0.3 p') \quad \text{Ec.22}$$

2.1.10.2.4 Zonas protegidas

La normativa AISC 341-16 especifica que los elementos enlace (link) son zonas protegidas, por lo que en estos no se pueden colocar conectores de corte, ni ningún tipo de accesorio que pueda penetrar las alas del elemento enlace. [19]

Figura 17.- Zonas protegidas



Fuente: Guerra, M. 2021, “estudio de la incidencia del enlace (link) en edificios sismo resistentes de acero con diagonales excéntricas para 20,25,30, y 40 pisos”, página 87.

CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación

El Distrito metropolitano de Quito se encuentra localizada en la región interandina del Ecuador, ubicada sobre la hoya de Guayllabamba en las laderas occidentales del volcán Pichincha, a una altitud de 2850 m.s.n.m.

Quito presenta un alto riesgo sísmico por su ubicación geográfica, la población actual de la ciudad es de 2'239.191 habitantes considerando las zonas urbanas y rurales; las características socio económicas en cuanto al tipo de vivienda se encuentra en un 55% como casas de baja y mediana altura, y el porcentaje restante como viviendas mixtas; un indicador económico es la población ocupada por rama la cual representa el sector de la construcción con el 5.7% de todos los sectores productivos de la ciudad de Quito. [4]

3.2 Equipos y materiales

Tabla 12. Recursos Humanos y Materiales

Recursos Humanos	Cantidad
Maestrante	1
Dibujante	1
Asesor Externo	1
Recursos Materiales	Cantidad
Computador (actualizaciones)	1
Hojas	500
Actualización de software	1
Esferos	5

3.3 Tipo de investigación

- **Bibliográfico**

Esta investigación utilizará como medio de apoyo libros, tesis, publicaciones, normas ecuatorianas e internacionales que permitirá obtener información para el correcto diseño y alternativas de rigidización.

- **Experimental**

La presente investigación será de modalidad experimental porque se experimentará con el modelamiento de la edificación de mediana altura empleando diagonales

excéntricas, concéntricas.

- **Exploratoria**

Se explorará el uso de diagonales excéntricas, concéntricas en edificaciones de mediana altura para encontrar los procedimientos adecuados para elaborar la presente investigación.

3.4 Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

“El uso de diagonales concéntricas, excéntricas mejora el comportamiento de edificios de acero”.

3.5 Población o muestra:

El estudio consiste en modelar dos edificios de veinte niveles cada uno, destinados para vivienda. La altura de entrepiso es de 3.24 metros, con una altura total del edificio de 64.8 metros, consta de 3 vanos en ambas direcciones “x” y “y” de una longitud de 8 metros, ubicados en la ciudad de Quito. Recolección de información:

El diseño estructural y análisis comparativo se utilizará el programa especializado para el análisis de edificaciones ETABS 2016, el cual se fundamenta en método de los elementos finitos.

3.7 Procesamiento de la información y análisis estadístico:

La presente investigación se va a desarrollar con dos edificios de estructura metálica, los cuales no presentan irregularidades en planta ni en elevación, con un amortiguamiento del 5%, el primer modelo es un edificio con sistema de diagonales excéntricas y el segundo modelo es con diagonales concéntricas. Para empezar a modelar se debe definir unidades y códigos.

Los criterios empleados para el modelamiento en el software ETABS 2016 se detallan a continuación:

Figura 18.- Características de la grilla

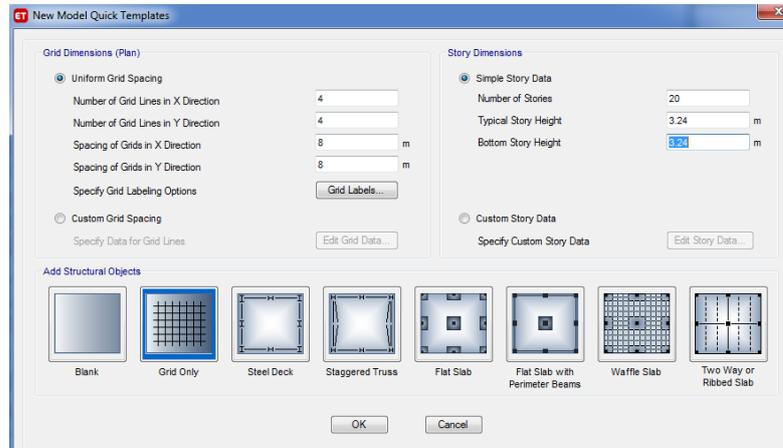


Figura 19.- Grilla en Planta

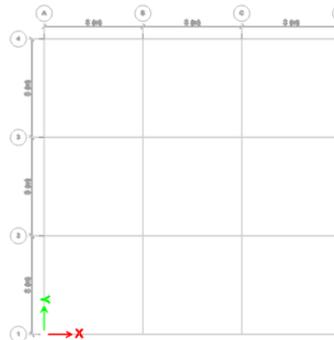
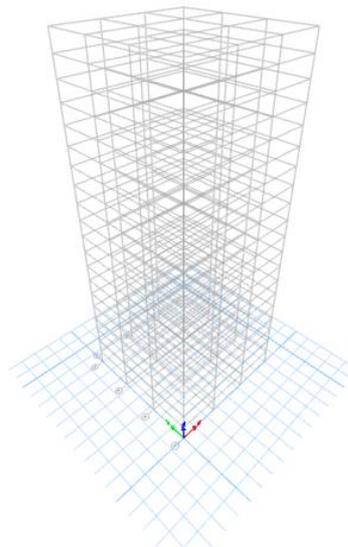


Figura 20.- Grilla en Elevación



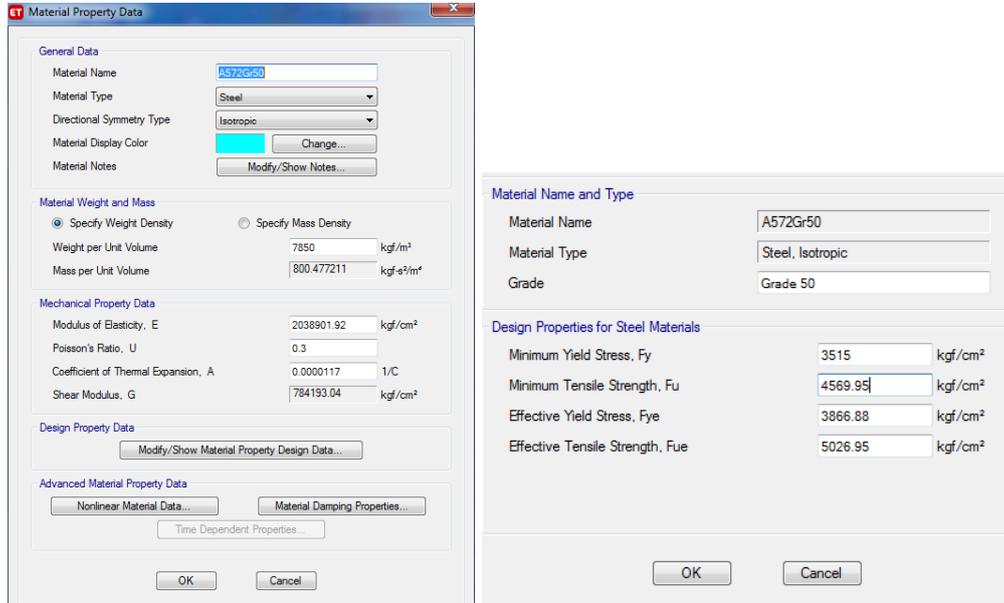
Fuente: Elaboración Propia

3.7.1 Materiales Empleados

- **Acero**

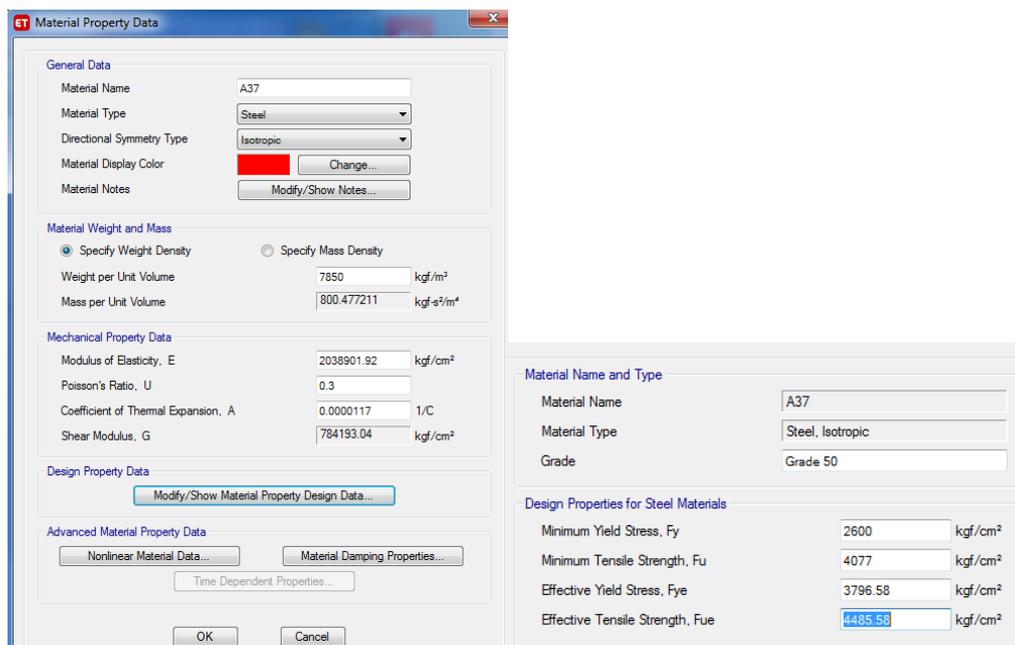
El acero empleado en todos los elementos estructurales es el acero A572 Gr.50, el cual tiene un acero de fluencia $F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$, descrito en la figura 20

Figura 21.- Acero ASTM A572 Gr. 50 en el software ETABS



El material utilizado para el deck metalico es un acero estructural con un limite de fluencia $F_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$, descrito en la figura 21:

Figura 22.- Acero para deck metálico en el software ETABS



- **Hormigón**

El hormigón será empleado en la losa con deck metálico, este material será empleado en los dos modelos, tiene una resistencia $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, para el cálculo del módulo de elasticidad se utilizara la siguiente formula:

$$E_c = 14100 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 14100 \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2}$$

$$E_c = 235938.127 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 23.- Hormigón para losa con deck metálico en el software ETABS

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in ETABS software. The dialog is divided into several sections:

- General Data:** Material Name: FC280; Material Type: Concrete; Directional Symmetry Type: Isotropic; Material Display Color: Purple; Material Notes: (empty).
- Material Weight and Mass:** Specify Weight Density (selected); Weight per Unit Volume: 2400.001117 kgf/m³; Mass per Unit Volume: 244.732 kgf-s²/m⁴.
- Mechanical Property Data:** Modulus of Elasticity, E: 235938.13 kgf/cm²; Poisson's Ratio, U: 0.2; Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C; Shear Modulus, G: 98307.55 kgf/cm².
- Design Property Data:** (Buttons for Modify/Show Material Property Design Data...)
- Advanced Material Property Data:** (Buttons for Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties...)
- Material Name and Type:** Material Name: FC280; Material Type: Concrete, Isotropic; Grade: f_c 4000 psi.
- Design Properties for Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 280 kgf/cm²; Lightweight Concrete: (unchecked); Shear Strength Reduction Factor: (empty).

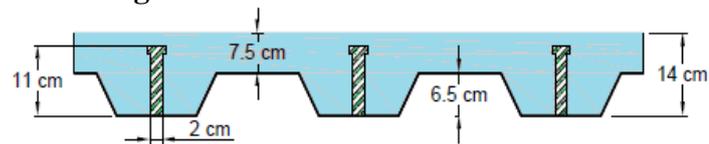
Buttons for OK and Cancel are visible at the bottom of the dialog.

Fuente: Elaboración Propia

3.7.2 Losa

La losa es con deck metálico, con un espesor de 0.76mm y una altura de 6.5 cm, la capa de compresión esta compuesta de un hormigón con una resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, con una altura de 7.5 cm. La altura total de la losa será de 14cm, con conectores de corte de 2 cm de diámetro y una altura de 11 cm.

Figura 24.- Detalle de los con deck metálico



Fuente: Elaboración Propia

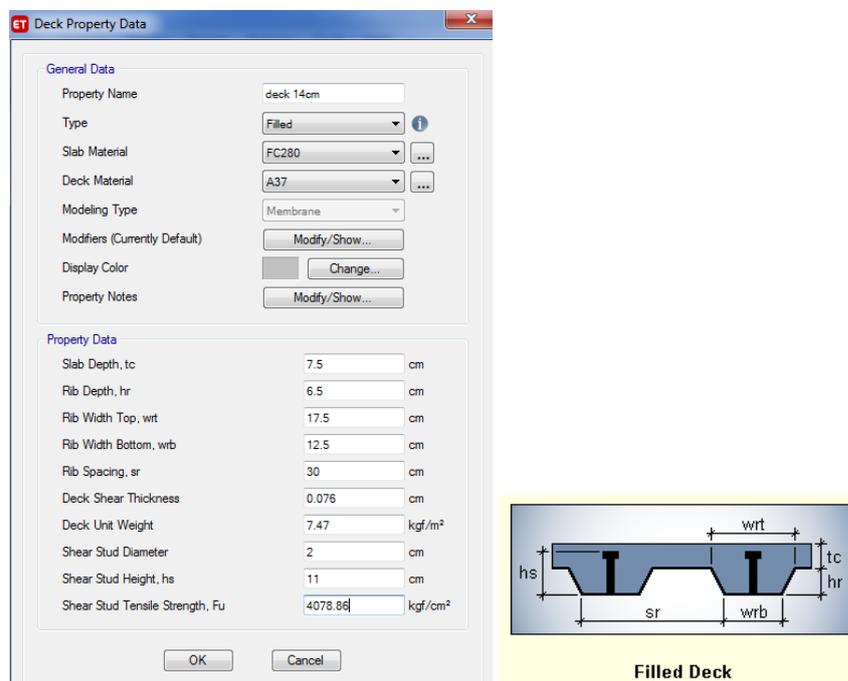
Determinación del peso del deck metálico y del hormigón que será fundido

Peso del deck metálico de 0.76 mm (espesor): $7.47 \text{ Kg} / \text{m}^2$

Peso del hormigón en el deck metálico: $0.104 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * 2400 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 249 \text{ Kg} / \text{m}^2$

Peso propio de la losa = $7.47 \text{ Kg} / \text{m}^2 + 249 \text{ Kg} / \text{m}^2 = 256 \text{ Kg} / \text{m}^2$

Figura 25.- Detalle de la losa con deck metálico



Fuente: Elaboración Propia

3.7.3 Cargas aplicadas en el modelamiento

- **Carga muerta**

La carga mínima para el modelamiento es de 552 kg/m²

Tabla 13.- Detalle de cálculo de carga muerta (CM)

Peso propio de losa	256 kg/m ²
Peso de paredes	200 kg/m ²
Peso de enlucidos	36 kg/m ²
Peso de recubrimiento de pisos	30 kg/m ²
Carga muerta (CM)	552 kg/m²

Fuente: Elaboración Propia

- **Carga Viva**

Según la norma NEC-SE-CG sección 4.2.1 se manifiesta que se deberá aplicar una sobrecarga mínima de 200 kg/m²

3.7.4 Secciones Utilizadas

- **Requisitos de alta ductilidad**

En los modelos que se analizará se utilizara secciones tipo I, en la norma AISC 341-16 tabla D1.1 se especifica los requerimientos de miembros de alta ductilidad para secciones tipo I.

- **Enlaces**

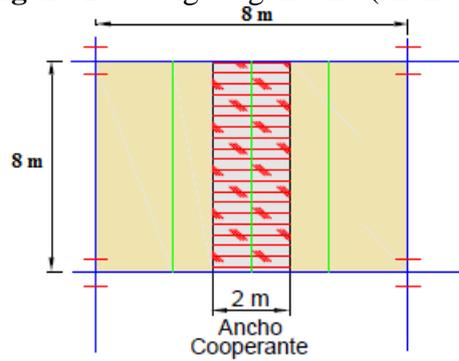
Los enlaces deben ser de un solo grosor, en caso que sean soldadas las placas deberá ser de penetración completa en las alas y almas del elemento. Las limitaciones estas especificadas en la sección F3.5b.1 de la norma AISC 341-16

- **Predimensionamiento de vigas secundarias**

El predimensionamiento está basado en la carga a soportar las vigas, longitud y separación de las mismas, para los dos modelos se utilizará una separación de 2 metros cumpliendo de acuerdo a la norma AISC 341-16.

Se realiza el cálculo del ancho cooperante y longitud de una viga secundaria para determinar la carga distribuida que estará aplicada a las vigas secundarias

Figura 26.- Viga secundaria (ancho cooperante)



Fuente: Elaboración Propia

Se determina la carga distribuida última, el momento flector positivo último, reacciones y modulo plástico de la sección:

Datos para predimensionamiento

Longitud de viga secundaria: 8m

Ancho cooperante: 2m

Carga muerta: $D = 522 \text{ kg/m}^2$

Carga viva: $L = 200 \text{ kg/m}^2$

Determinación de carga distribuida ultima

$$U = 1.2 D + 1.6 L$$

$$U = 1.2 (522 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (200 \text{ kg/m}^2)$$

$$U = 946.4 \text{ kg/m}^2$$

$$W_u = (946.4 \text{ kg/m}^2) * (2\text{m})$$

$$W_u = 1892.8 \text{ kg /m}$$

Momento flector positivo ultimo

$$M_u = \frac{W_u * L^2}{8}$$

$$M_u = \frac{(1892.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}) * (8\text{m})^2}{8}$$

$$M_u = 15142.4 \text{ kg} - \text{m}$$

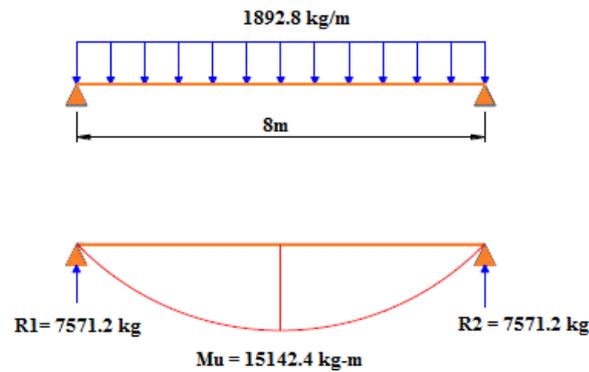
Determinación de reacciones

$$R = \frac{W_u * L}{2}$$

$$R = \frac{(1892.8 \frac{kg}{m}) * (8m)}{2}$$

$$R = 7571.2 \text{ kg}$$

Figura 27- Diagrama de momento y reacciones (viga secundaria)



Fuente: Elaboración Propia

Determinación del módulo plástico de la sección

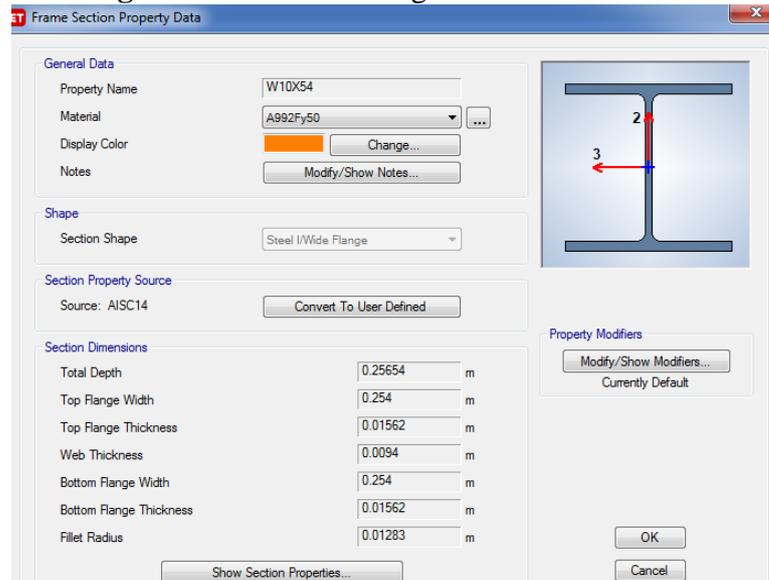
$$Z_x = \frac{M_u}{\phi_b * F_y}$$

$$Z_x = \frac{(15142.4 * 10^2) \text{ kg} - \text{cm}}{0.9 * (3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})}$$

$$Z_x = 478.659 \text{ cm}^3 - 29.20 \text{ in}^3$$

En el manual de construcciones de Acero del AISC, existen referencias de las secciones según el área por lo tanto se adopta una sección W10X54.

Figura 28- Definición viga secundaria en el software



Fuente: Elaboración Propia

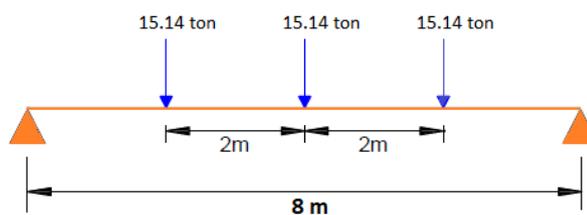
- **Predimensionamiento Vigas Principales**

Las vigas principales deben cumplir los requisitos de alta ductilidad que se encuentran en la tabla D1.1 en la sección 4.2.4.1.1 de la norma AISC 341-16, que permite controlar el pandeo local de las secciones.

Determinación del momento positivo máximo

$$R = 7571.2 \text{ kg} \rightarrow 7.57 \text{ ton} * 2 = 15.14 \text{ ton} \text{ (cada 2 metros)}$$

Figura 29.- Viga principal (cargas aplicadas)



Fuente: Elaboración propia

Se determina dos condiciones de apoyo, empotramiento perfecto y apoyo articulado, ayudados del software SAP2000 se ha realizado dos modelos de donde se obtuvo un momento máximo positivo de 22.84 ton-m con empotramiento perfecto y 60.83 ton-m con apoyo simple.

Figura 30.- Diagrama de momento viga principal (empotramiento perfecto)

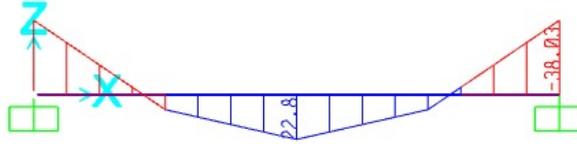
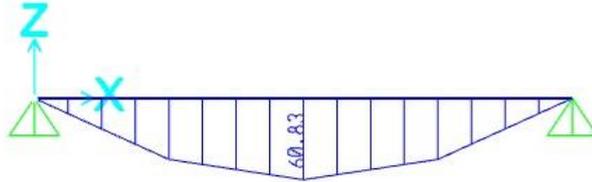


Figura 31.- Diagrama de momento viga principal (apoyo articulado)



Fuente: Elaboración Propia

Se calcula el modulo plástico de la sección con el momento de 60.83 ton

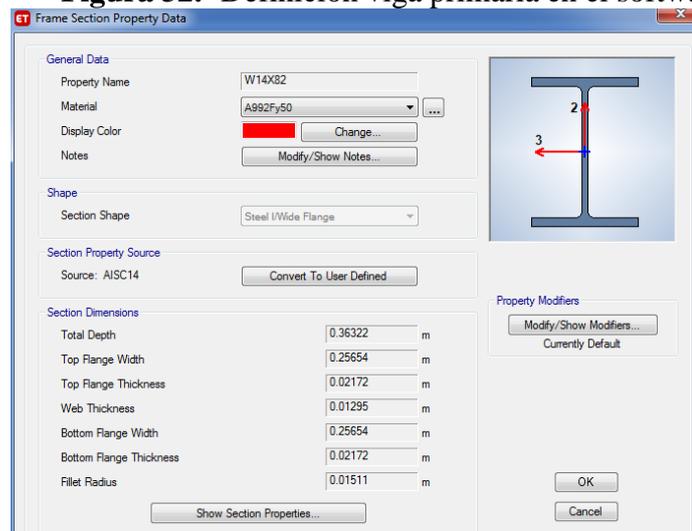
$$Z_x = \frac{M_u}{\phi_b * F_y}$$

$$Z_x = \frac{(60.83 * 10^5) kg - cm}{0.9 * (3515 \frac{kg}{cm^2})}$$

$$Z_x = 1922.87 cm^3 - 117.34 in^3$$

En el Manual de Construcciones de Acero de la norma AISC, en la tabla 1.1 de perfiles de acero se busca mediante el valor calculado del modelo plástico de la sección, de donde se adopta una sección de W14x82.

Figura 32.- Definición viga primaria en el software



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14.- Viga principales-verificación de requisitos miembros de alta ductilidad

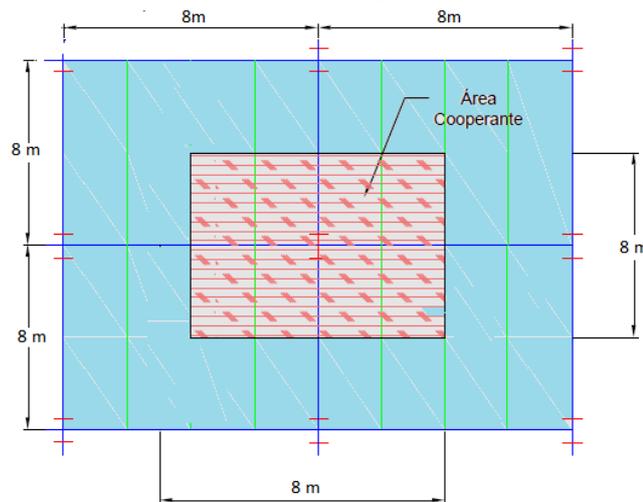
Sección (mm)	Pisos	Alas			Alma		
		λ	$\lambda h d$	Miembro de alta ductilidad	λ	$\lambda h d$	Miembro de alta ductilidad
W 14X82	1 al 20	5.90	7.35	Ok	24.69	36.04	Ok

Fuente: Elaboración propia

- **Predimensionamiento de Columnas**

Las columnas deben cumplir con los requisitos para ser miembros de alta ductilidad en la tabla D1.1 en la sección 4.2.4.1.1 de la norma AISC 341-16, para el predimensionamiento se asume que trabaje únicamente a compresión, para lo cual se debe de definir el área cooperante de la columna obteniendo un valor de 64 m²

Figura 33.- Área cooperante de columna



Fuente: Elaboración Propia

Datos utilizados en predimensionamiento:

Área cooperante: 64 m²

Carga Muerta: D = 552 kg/ m²

Carga Viva: L= 200 kg/ m²

Determinación de carga por metro cuadrado soportado por el área cooperante

$$U= 1.2 D+1.6 L$$

$$U = 1.2 (522 \text{ kg/m}^2) + 1.6 (200 \text{ kg/m}^2)$$

$$U = 946.4 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de fuerza axial última

$$P_u = 946.4 \text{ kg/m}^2 \times 64 \text{ m}^2$$

$$P_u = 60569.6 \text{ kg/piso}$$

$$P_u = 60.57 \text{ ton/piso}$$

Considerando la altura de entrepiso de 3.24 metros se considera la siguiente relación de esbeltez.

$$\frac{KL}{r} = 50$$

En el Manual de Construcciones de la norma AISC, tabla 4-22, se ingresa los valores de límite de fluencia de 50 ksi y la relación de esbeltez de 50, dando un esfuerzo crítico de 37.5 ksi. Para nuestra investigación se tiene un edificio de 20 pisos, dando una carga (P) de 1150822.4 kg que llegará a la columna del piso inferior.

$$A = \frac{P}{\sigma}$$

$$A_{req} = \frac{P}{F_{cr}}$$

$$A_{req} = \frac{1150822.4 \text{ kg}}{2636.511 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_{req} = 436.5 \text{ cm}^2 \rightarrow 67.65 \text{ in}^2$$

Por lo que se selecciona las columnas detalladas a continuación:

Tabla 15.- Secciones seleccionadas de columnas

Sección (mm)	Pisos	Alas			Alma		
		λ	λ_{hd}	Miembro de alta ductilidad	λ	λ_{hd}	Miembro de alta ductilidad
450x450x42	1 al 4	5.35	7.35	Ok	8.71	36.04	ok
400x400x40	5 al 8	5	7.35	Ok	8	36.04	ok
350x350x40	9 al 12	4.37	7.35	Ok	6.75	36.04	ok
300x300x35	13 al 20	4.28	7.35	ok	6.57	36.04	ok

Fuente: Elaboración propia

- **Predimensionamiento de Diagonales**

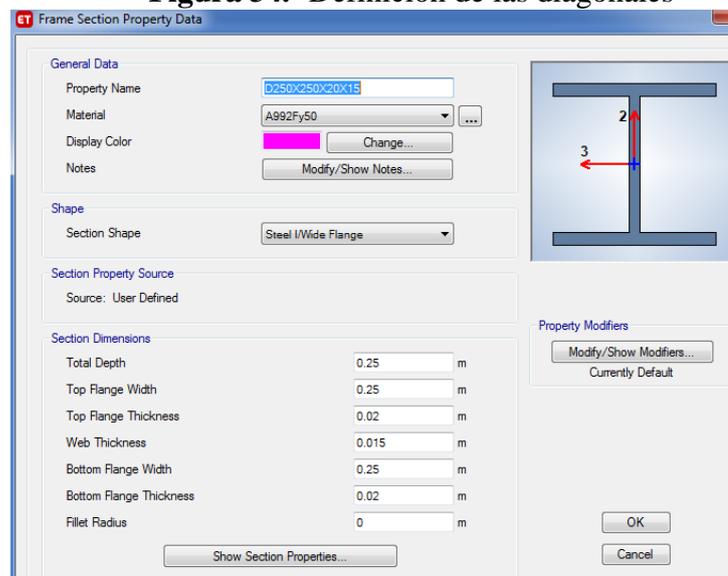
En las diagonales se debe controlar pandeo local, por lo que debe cumplir con los requisitos descritos en la tabla D1.1 de la norma AISC 341-16, por lo que se eligió una sección de 250X250X20X15.

Tabla 16.- Sección seleccionada para las diagonales

Sección (mm)	Pisos	Alas			Alma		
		λ	λ_{hd}	Miembro de alta ductilidad	λ	λ_{hd}	Miembro de alta ductilidad
250X250X20X15	1 al 20	6.25	7.35	Ok	14	36.04	Ok

Fuente: Elaboración propia

Figura 34.- Definición de las diagonales



Fuente: Elaboración propia

3.7.6 Condiciones de Apoyo

Para el modelamiento se ha estimado empotramiento perfecto, considerando el tipo de suelo, cimentación y profundidad de desplante de la cimentación.

3.7.7 Parámetros para el Análisis Modal Espectral

El cortante basal y el espectro de diseño se calcula considerando que la estructura se va a construir en Quito por lo que le corresponde un valor de $z = 0.40$, con un tipo de

suelo "D". En la norma NEC-SE-DS, 2015 en las tablas 3,4,5 se puede determinar los valores de: F_a , F_d , F_s .

Coeficiente de amplificación dinámica

Factores de sitio (F_a):	1.2
Factores de sitio (F_d):	1.19
Factores del comportamiento inelástico del subsuelo (F_s):	1.28
r para tipo de suelo D	1
Factor (η):	2.48

Cálculo de la aceleración (S_a)

$$S_a = \eta z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$$

$$S_a = 2.48 \times 0.40 \times 1.2 \left(\frac{0.6981}{1.667}\right)^1$$

$$S_a = 0.4985$$

Periodo de vibración (T)

$$T = C_t h_n^\alpha$$

$$T = (0.073)(64.8)^{0.75}$$

$$T = 1.667 \text{ seg}$$

Periodo de vibración (T_o)

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1 \times 1.28 \times \frac{1.19}{1.20}$$

$$T_o = 0.1269 \text{ seg}$$

Periodo de vibración (T_c)

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 \times 1.28 \times \frac{1.19}{1.20}$$

$$T_c = 0.6981 \text{ seg}$$

Cortante basal (V)

$$V = \frac{I S_a}{R \phi_P \phi_E} W$$

$$V = \frac{1.3(0.6981)}{8 \times 1 \times 1} W$$

$$V = 0.0810 W$$

3.7.8 Espectro de Diseño

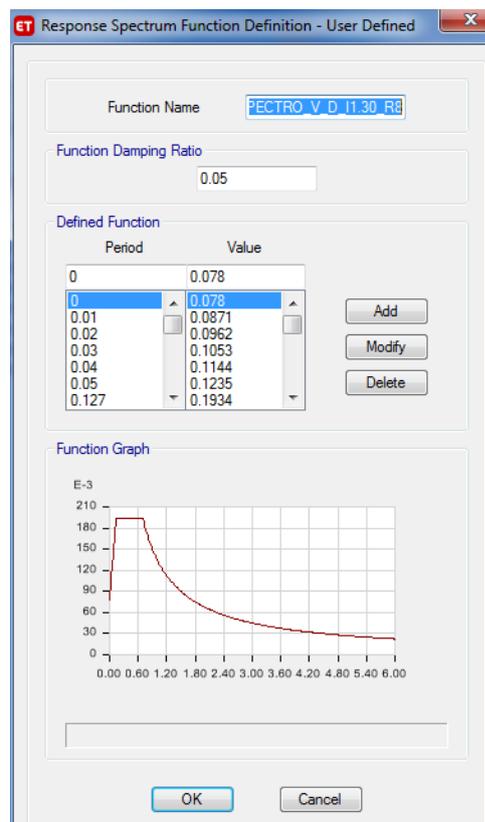
Para la reducción del espectro elástico la norma NEC-SE-DS en las tablas 16 ,6 determina los valores de (R) e (I) que depende directamente del sistema estructural y del uso del mismo , en nuestro caso se obtiene los valor de (R = 8) e (I= 1.3).

Se multiplica por el factor (I/R) es decir (1.13/8) dando como resultado el espectro reducido detallado a continuación en la figura 35.

3.7.9 Definición en el software Etabs del espectro de diseño

Se define el espectro de diseño mediante un archivo de Excel, mismo que es ingresado al software detallado a continuación.

Figura 35.- Espectro de diseño en el software Etabs



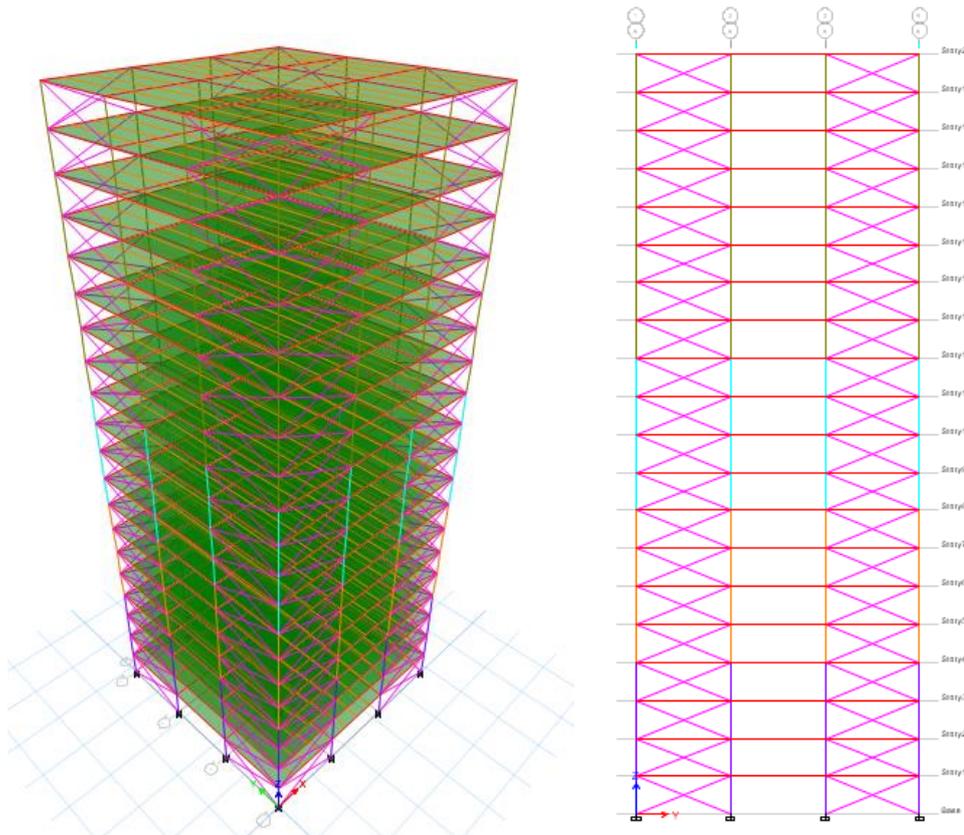
Fuente: Elaboración Propia

3.8 Variables respuesta o resultados alcanzados

- **Modelamiento con diagonales concéntricas tipo X**

Las riostras están ubicadas en la periferia de la estructura en todos los pisos, para que su comportamiento sea eficiente, en donde la disipación de energía se presenta en las diagonales en compresión mediante la tracción y el pandeo se presenta cuando las diagonales se encuentran en compresión, produciéndose la rótula plástica en el extremo de las diagonales en el cruce.

Figura 36.- Modelamiento realizado en 3d (diagonales concéntricas en x)



Fuente: Elaboración Propia

El peso W de la estructura se detallada a continuación:

$$W = 7191205.4 \text{ kgf}$$

El cortante basal para las dos direcciones X-Y

$$V = 0.0810 W$$

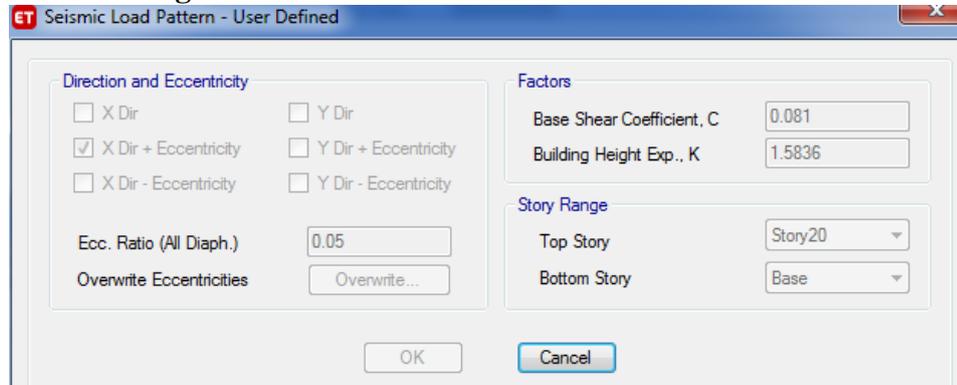
$$V = 0.0810 (7191205.4 \text{ kgf})$$

$$V = 582487.63 \text{ kgf}$$

- **Corrección del cortante basal estático**

El factor calculado se lo ingresa en los estados de carga estáticos y se realiza un nuevo análisis en base a la información corregida

Figura 37- Factor de corrección del cortante basal estático

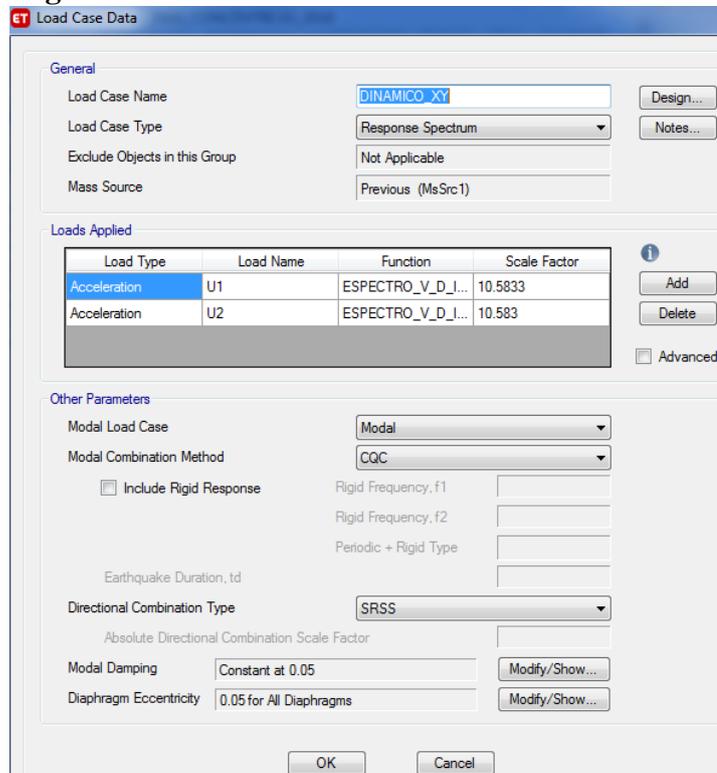


Fuente: Elaboración propia

- **Corrección al cortante basal dinámico**

El factor calculado se lo ingresa en los estados de carga dinámico en las ambas direcciones

Figura 38- Factor de corrección del cortante basal dinámico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17- Valores corregidos de cortante Basal estático y dinámico

Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m
Dead	LinStatic	0	0	7191.2054	86294.4649	-86294.4649	0
Live	LinStatic	0	0	2304	27647.9994	-27647.9994	0
PERMANENTE	LinStatic	0	0	0	0	0	0
SISMO X1	LinStatic	-580.7806	0	0	0	-27690.7697	6970.1287
SISMO Y1	LinStatic	0	-580.7806	0	27690.7697	0	-6970.1287
DINAMICO_XY	LinRespSpec	464.6244	464.6256	0	16513.9202	16512.6067	7892.6576
DCmpD1	Combination	0	0	7191.2054	86294.4649	-86294.4649	0

Fuente: Elaboración propia

- **Análisis de participación modal en la estructura**

El análisis se lo realizo con 21 modos para realizar la comparación del comportamiento de la estructura con los modos superiores de vibración.

Tabla 18. Participación modal pórtico con diagonales en X

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	2.037	0.6899	0	0	0.6899	0	0	0	0.3133	0	0	0.3133	0
Modal	2	2.037	0	0.69	0	0.6899	0.69	0	0.3133	0	0	0.3133	0.3133	0
Modal	3	1.139	0	0	0	0.6899	0.69	0	0	0	0.7081	0.3133	0.3133	0.7081
Modal	4	0.573	0.1884	0	0	0.8783	0.69	0	0	0.3643	0	0.3133	0.6776	0.7081
Modal	5	0.573	0	0.1883	0	0.8783	0.8783	0	0.3644	0	0	0.6776	0.6776	0.7081
Modal	6	0.337	0	0	0	0.8783	0.8783	0	0	0	0.1834	0.6776	0.6776	0.8915
Modal	7	0.288	0	0.0545	0	0.8783	0.9328	0	0.1247	0	0	0.8023	0.6776	0.8915
Modal	8	0.288	0.0546	0	0	0.9328	0.9328	0	0	0.1247	0	0.8023	0.8023	0.8915
Modal	9	0.193	0	0.0234	0	0.9328	0.9562	0	0.0673	0	0	0.8696	0.8023	0.8915
Modal	10	0.193	0.0234	0	0	0.9562	0.9562	0	0	0.0673	0	0.8696	0.8696	0.8915
Modal	11	0.173	0	0	0	0.9562	0.9562	0	0	0	0.049	0.8696	0.8696	0.9405
Modal	12	0.147	0	0.012	0	0.9562	0.9682	0	0.0337	0	0	0.9033	0.8696	0.9405
Modal	13	0.147	0.012	0	0	0.9682	0.9682	0	0	0.0337	0	0.9033	0.9033	0.9405
Modal	14	0.121	0	0.0071	0	0.9682	0.9753	0	0.0217	0	0	0.9251	0.9033	0.9405
Modal	15	0.121	0.0071	0	0	0.9753	0.9753	0	0	0.0217	0	0.9251	0.9251	0.9405
Modal	16	0.117	0	0	0	0.9753	0.9753	0	0	0	0.0212	0.9251	0.9251	0.9617
Modal	17	0.104	0	0.0045	0	0.9753	0.9798	0	0.0132	0	0	0.9382	0.9251	0.9617
Modal	18	0.104	0.0045	0	0	0.9798	0.9798	0	0	0.0132	0	0.9382	0.9382	0.9617
Modal	19	0.093	0	0.003	0	0.9798	0.9828	0	0.0093	0	0	0.9475	0.9382	0.9617
Modal	20	0.093	0.003	0	0	0.9828	0.9828	0	0	0.0093	0	0.9475	0.9475	0.9617
Modal	21	0.09	0	0	0	0.9828	0.9828	0	0	0	0.0113	0.9475	0.9475	0.9729

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan diferentes periodos y frecuencias

Tabla 19. Periodo y frecuencias pórtico con diagonales en X

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	2.037	0.491	3.0845	9.5139
Modal	2	2.037	0.491	3.0847	9.5156
Modal	3	1.139	0.878	5.5154	30.4199
Modal	4	0.573	1.745	10.9646	120.2235
Modal	5	0.573	1.745	10.9654	120.241
Modal	6	0.337	2.967	18.6433	347.5718
Modal	7	0.288	3.472	21.8137	475.8379
Modal	8	0.288	3.473	21.8187	476.0553
Modal	9	0.193	5.185	32.5799	1061.4474
Modal	10	0.193	5.189	32.6022	1062.904
Modal	11	0.173	5.797	36.4224	1326.5928
Modal	12	0.147	6.797	42.707	1823.8915
Modal	13	0.147	6.805	42.7563	1828.1019
Modal	14	0.121	8.26	51.8986	2693.4696
Modal	15	0.121	8.272	51.9763	2701.5339
Modal	16	0.117	8.54	53.6591	2879.2977
Modal	17	0.104	9.589	60.2514	3630.2365
Modal	18	0.104	9.605	60.3512	3642.272
Modal	19	0.093	10.793	67.813	4598.6054
Modal	20	0.093	10.811	67.9247	4613.7663
Modal	21	0.09	11.17	70.1842	4925.8235

- Cálculo del periodo de vibración aproximado (Norma NEC-SE-DS 2015, sección 6.3.3)

$$T_a = C_t h_n^\alpha$$

$$T_a = (0.073)(64.8)^{0.75} \rightarrow 1.667sg$$

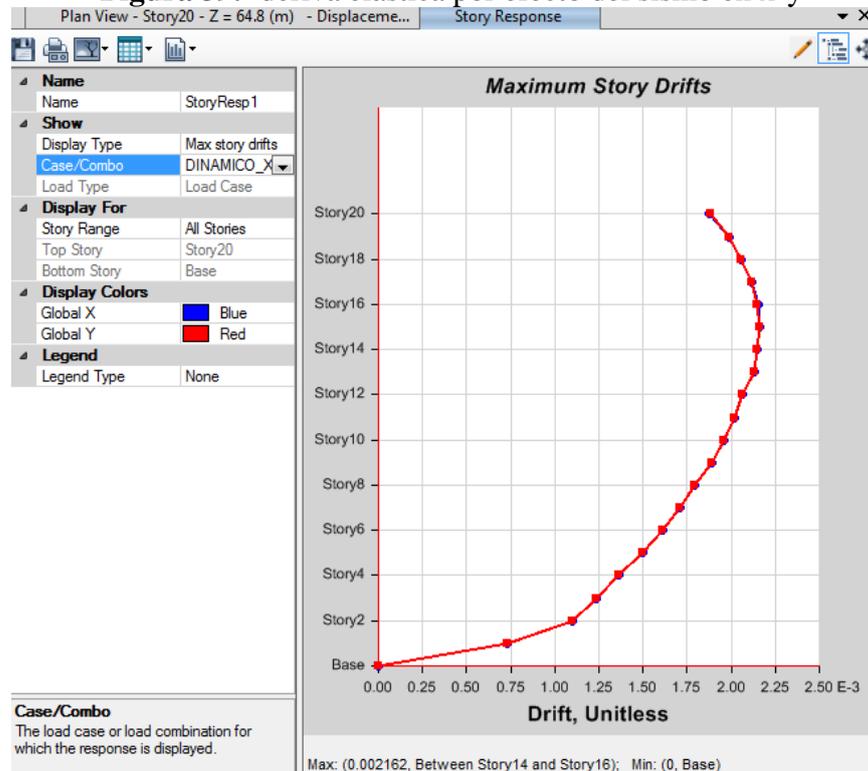
Tabla 20. Coeficiente C_u

# Pisos	Periodo (T etbas)	Periodo aprox. (T _a)	Periodo máximo (T)	T(etbas) ≤ T
20	2.037	1.667	2.167	OK

Fuente: Elaboración propia

- Derivas de Piso

Figura 39.- deriva elástica por efecto del sismo en x-y



Fuente: Elaboración propia

- Derivas elástica calculada (software)

$$X = 0.002162$$

$$Y = 0.002162$$

- Derivas inelástica según la norma NEC-SE-DS sección 6.3.9

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 (8)(0.002162)$$

$$\Delta_M = 0.0129 < 0.02 \rightarrow Ok$$

Donde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica

R = factor de reducción de resistencia sísmica (Norma NEC-SE-DS, tabla 16)

Δ_E = Deriva elástica máxima

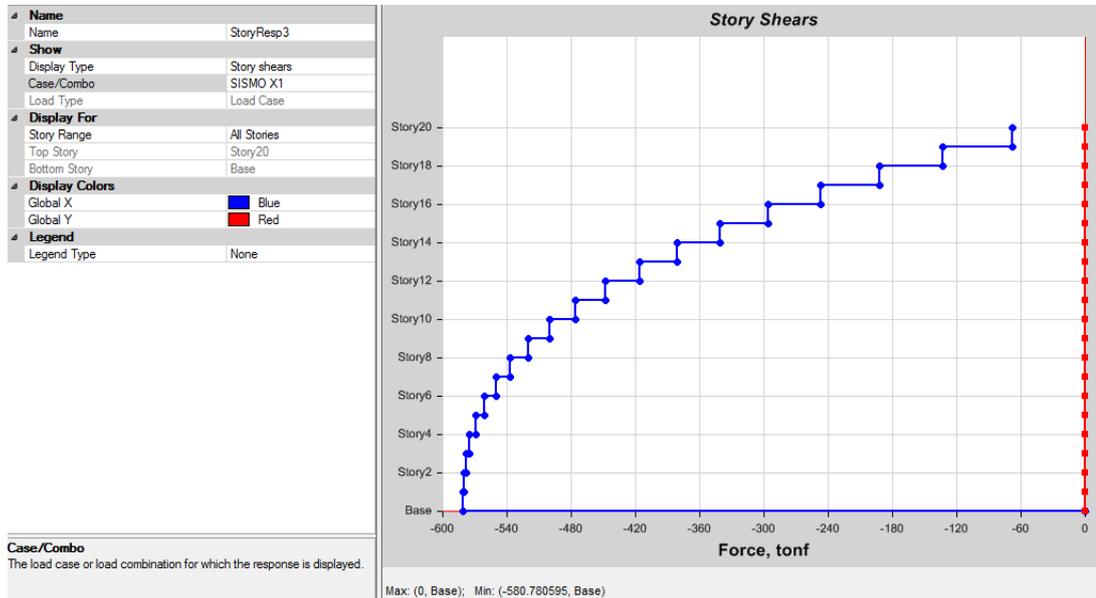
- **Validación análisis dinámico**

El cortante dinámico debe ser mayor al 80 % del cortante estático (estructura regular)

caso de investigación)

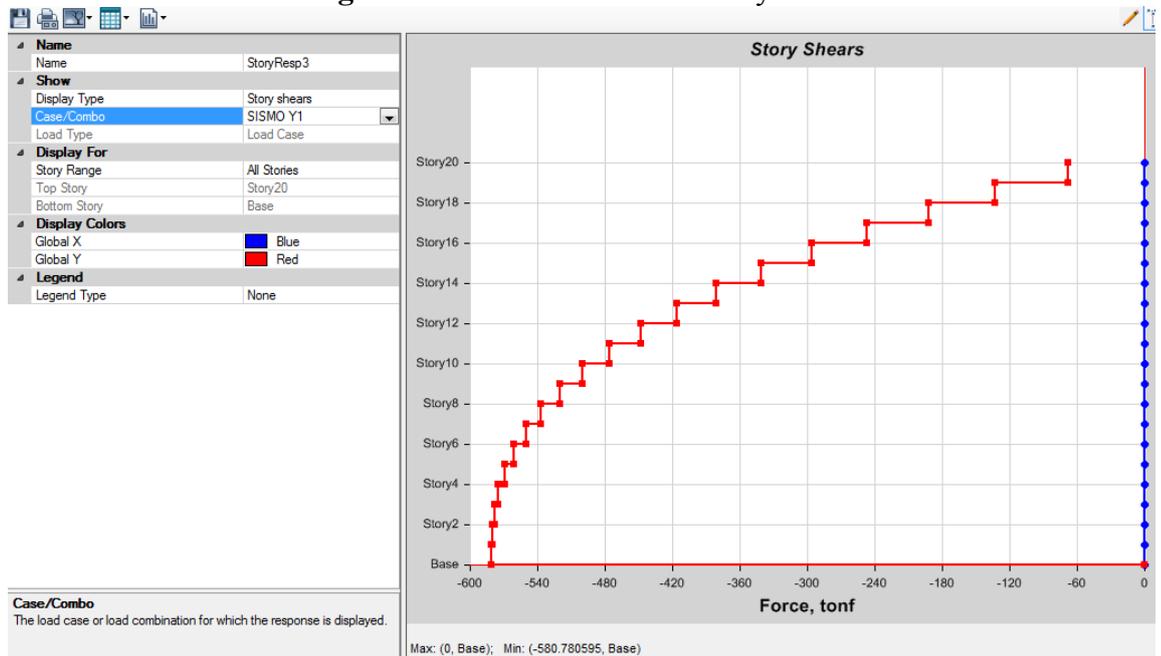
$$\frac{\text{cortante dinámico}}{\text{cortante estáico}} \times 100 > 80\%$$

Figura 40.- Cortante estático en “x”



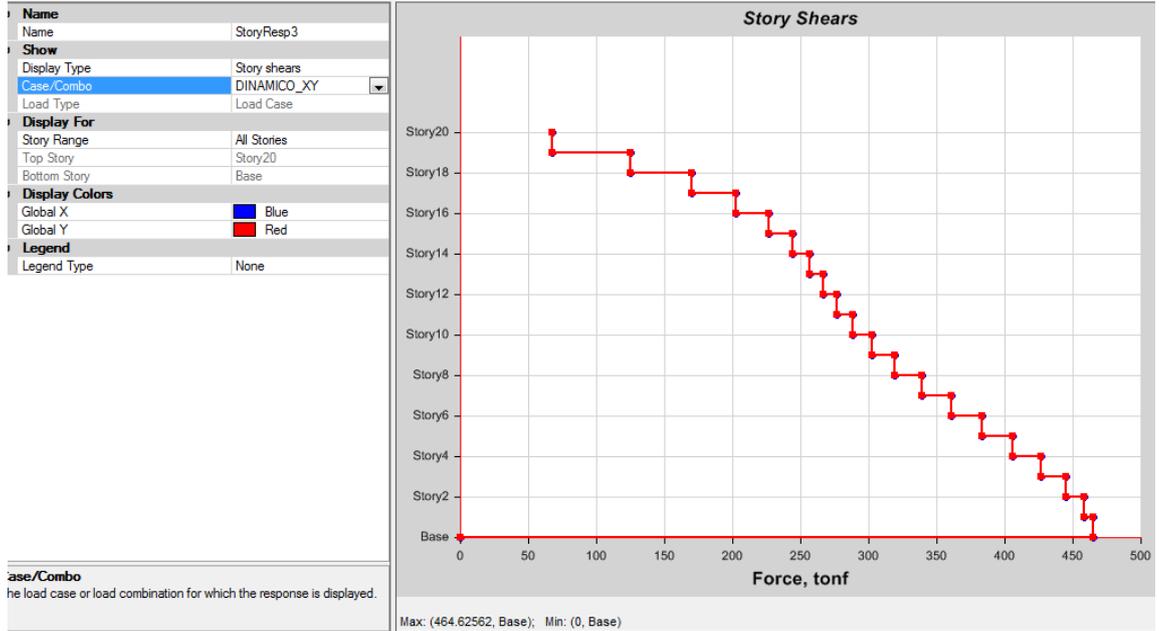
Fuente: Elaboración propia

Figura 41.- Cortante estático en “y”



Fuente: Elaboración propia

Figura 42.- Cortante dinámico en “x”-“y”



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.- Validación del análisis dinámico

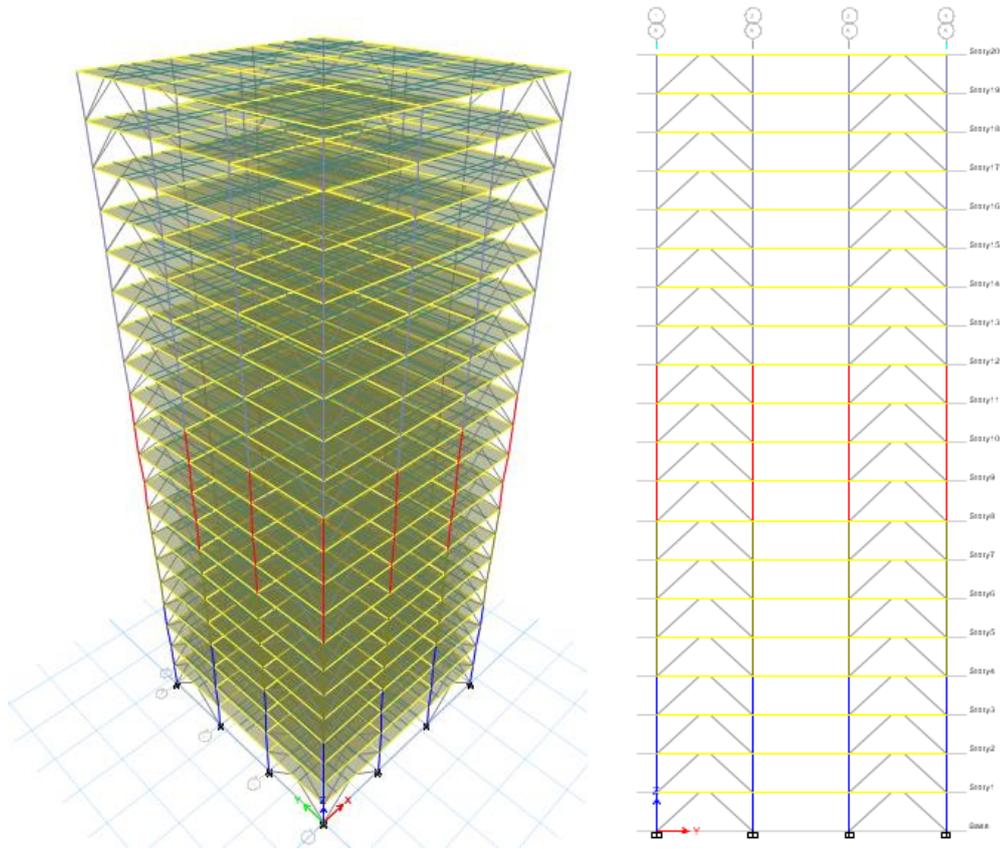
Cortante estático	Cortante dinámico	Cálculo	Verificación >80%
580.78	464.62	80 %	Ok
580.78	464.62	80 %	Ok

Fuente: Elaboración propia

- **Modelamiento con diagonales excéntricas**

En el modelamiento con diagonales excéntricas la excentricidad se produce en la viga, donde a medida que aumentan los esfuerzos formados por la fuerza sísmica da lugar a la generación de rotulas plásticas en los extremos de las diagonales, para nuestro modelamiento se ha considerado la longitud del enlace de 1.0 m.

Figura 43.- Modelamiento realizado en 3d (diagonales excéntricas)



Fuente: Elaboración Propia

El peso W de la estructura se detallada a continuación:

$$W = 7191205.4 \text{ kgf}$$

El cortante basal para las dos direcciones X-Y

$$V = 0.0810 W$$

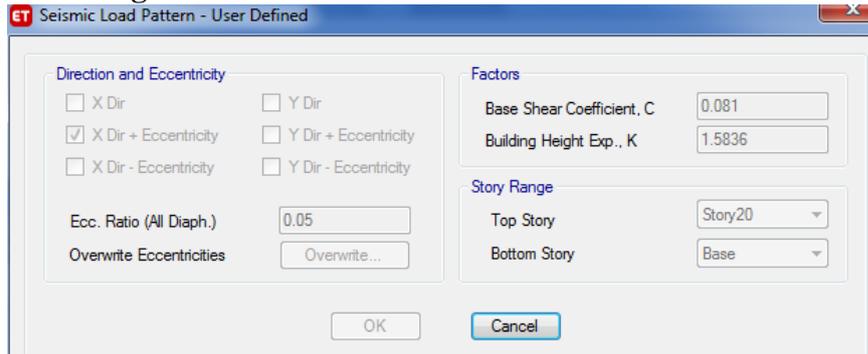
$$V = 0.0810 (7191205.4 \text{ kgf})$$

$$V = 582487.63 \text{ kgf}$$

- **Corrección del cortante basal estático**

El factor calculado se lo ingresa en los estados de carga estáticos y se realiza un nuevo análisis en base a la información corregida

Figura 44- Factor de corrección del cortante basal estático

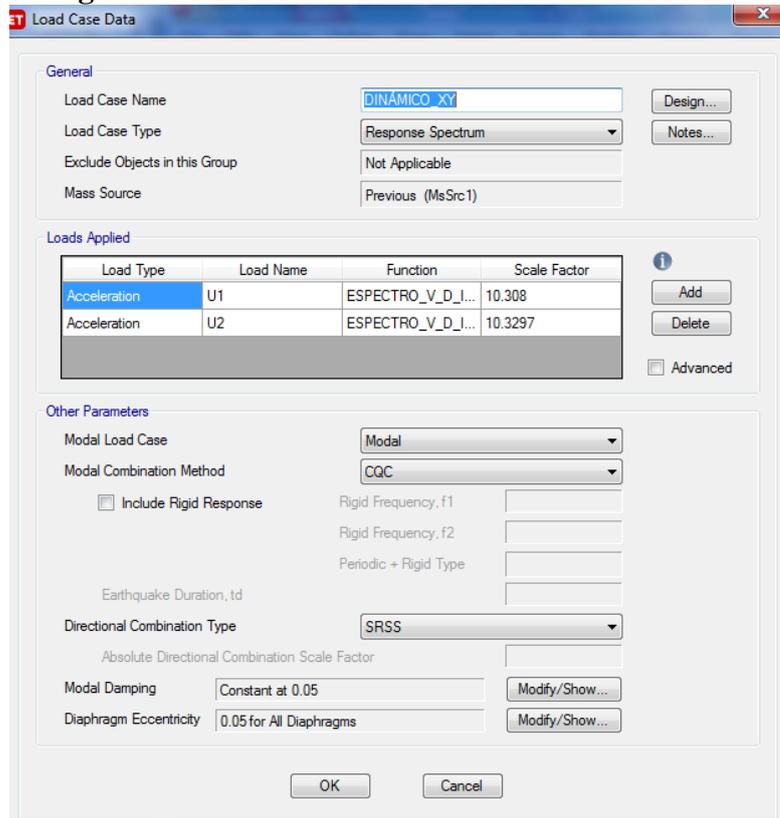


Fuente: Elaboración propia

- **Corrección al cortante basal dinámico**

El factor calculado se lo ingresa en los estados de carga dinámico en las ambas direcciones

Figura 45- Factor de corrección del cortante basal dinámico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 22- Valores corregidos de cortante Basal estático y dinámico

Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m
Dead	LinStatic	6.0928	-5.4761	371.9814	-0.681	-0.5309	0
Live	LinStatic	1.7885	-1.5785	105.6255	-0.1921	-0.1426	0
PERMANENTE	LinStatic	0	0	0	0	0	0
SISMO X1	LinStatic	-64.6964	1.9854	-526.1016	1.5226	-25.5334	0.02
SISMO Y1	LinStatic	3.4871	-63.1727	525.5696	25.2228	-0.9016	-0.02
DINÁMICO_XY	LinRespSpec	51.429	51.3457	476.0142	21.3191	21.0643	0.0167
DCmpD1	Combination	6.0928	-5.4761	371.9814	-0.681	-0.5309	0

Fuente: Elaboración propia

- **Análisis de participación modal en la estructura**

El análisis se lo realizo con 21 modos para realizar la comparación del comportamiento de la estructura con los modos superiores de vibración.

Tabla 23. Participación modal pórtico con diagonales excéntricas

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	1.921	1.75E-05	0.7076	0	1.75E-05	0.7076	0	0.2959	7.364E-06	0	0.2959	7.364E-06	0
Modal	2	1.916	0.707	1.757E-05	0	0.707	0.7076	0	7.295E-06	0.2964	0	0.2959	0.2965	0
Modal	3	1.069	0	0	0	0.707	0.7076	0	0	0	0.7343	0.2959	0.2965	0.7343
Modal	4	0.588	0.0001	0.1742	0	0.7071	0.8818	0	0.3924	0.0001	0	0.6883	0.2966	0.7343
Modal	5	0.586	0.1746	0.0001	0	0.8817	0.8819	0	0.0001	0.3916	0	0.6884	0.6881	0.7343
Modal	6	0.342	0	0	0	0.8817	0.8819	0	0	0	0.1602	0.6884	0.6881	0.8945
Modal	7	0.305	0.0002	0.0509	0	0.8819	0.9327	0	0.1122	0.0004	0	0.8006	0.6885	0.8945
Modal	8	0.304	0.0511	0.0002	0	0.9329	0.9329	0	0.0004	0.1126	0	0.801	0.8011	0.8945
Modal	9	0.206	0.0002	0.0226	0	0.9331	0.9555	0	0.0675	0.0005	0	0.8685	0.8016	0.8945
Modal	10	0.204	0.0227	0.0002	0	0.9557	0.9556	0	0.0005	0.0676	0	0.8689	0.8692	0.8945
Modal	11	0.182	0	0	0	0.9557	0.9556	0	0	0	0.0453	0.8689	0.8692	0.9398
Modal	12	0.155	0.0003	0.0122	0	0.956	0.9679	0	0.0335	0.0008	0	0.9024	0.8699	0.9398
Modal	13	0.154	0.0122	0.0003	0	0.9683	0.9682	0	0.0008	0.0336	0	0.9032	0.9035	0.9398
Modal	14	0.125	4.591E-06	0.0001	0	0.9683	0.9682	0	0.0002	1.398E-05	0.0203	0.9034	0.9035	0.9601
Modal	15	0.125	0.0002	0.0075	0	0.9685	0.9757	0	0.0233	0.0008	0.0002	0.9267	0.9043	0.9602
Modal	16	0.124	0.0076	0.0003	0	0.9761	0.976	0	0.0008	0.0235	1.147...	0.9275	0.9277	0.9602
Modal	17	0.105	0.0003	0.005	0	0.9764	0.981	0	0.0145	0.001	0	0.942	0.9287	0.9602
Modal	18	0.105	0.005	0.0003	0	0.9814	0.9813	0	0.001	0.0145	0	0.943	0.9432	0.9602
Modal	19	0.096	0	0	0	0.9814	0.9813	0	7.426E-07	8.11E-07	0.0115	0.943	0.9432	0.9717
Modal	20	0.091	0.0003	0.0035	0	0.9817	0.9849	0	0.011	0.001	6.127...	0.954	0.9442	0.9717
Modal	21	0.091	0.0035	0.0003	0	0.9853	0.9852	0	0.001	0.011	0	0.955	0.9552	0.9717

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan diferentes periodos y frecuencias

Tabla 24. Periodo y frecuencias pórtico con diagonales exc entricas

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	1.921	0.521	3.2716	10.7035
Modal	2	1.916	0.522	3.28	10.7586
Modal	3	1.069	0.936	5.8803	34.5781
Modal	4	0.588	1.7	10.6841	114.1498
Modal	5	0.586	1.707	10.7257	115.0401
Modal	6	0.342	2.922	18.3581	337.0193
Modal	7	0.305	3.276	20.5857	423.7718
Modal	8	0.304	3.291	20.6802	427.6718
Modal	9	0.206	4.865	30.5687	934.4452
Modal	10	0.204	4.891	30.7303	944.3501
Modal	11	0.182	5.481	34.4407	1186.1587
Modal	12	0.155	6.451	40.5336	1642.9711
Modal	13	0.154	6.488	40.7684	1662.0638
Modal	14	0.125	7.974	50.1028	2510.2941
Modal	15	0.125	7.985	50.17	2517.0262
Modal	16	0.124	8.034	50.4783	2548.0593
Modal	17	0.105	9.481	59.5729	3548.9273
Modal	18	0.105	9.545	59.9756	3597.0748
Modal	19	0.096	10.432	65.5487	4296.6304
Modal	20	0.091	10.937	68.7167	4721.9832
Modal	21	0.091	11.015	69.2094	4789.9429

- Cálculo del periodo de vibración aproximado (Norma NEC-SE-DS 2015, sección 6.3.3)

$$T_a = C_t h_n^\alpha$$

$$T_a = (0.073)(64.8)^{0.75} \rightarrow 1.667sg$$

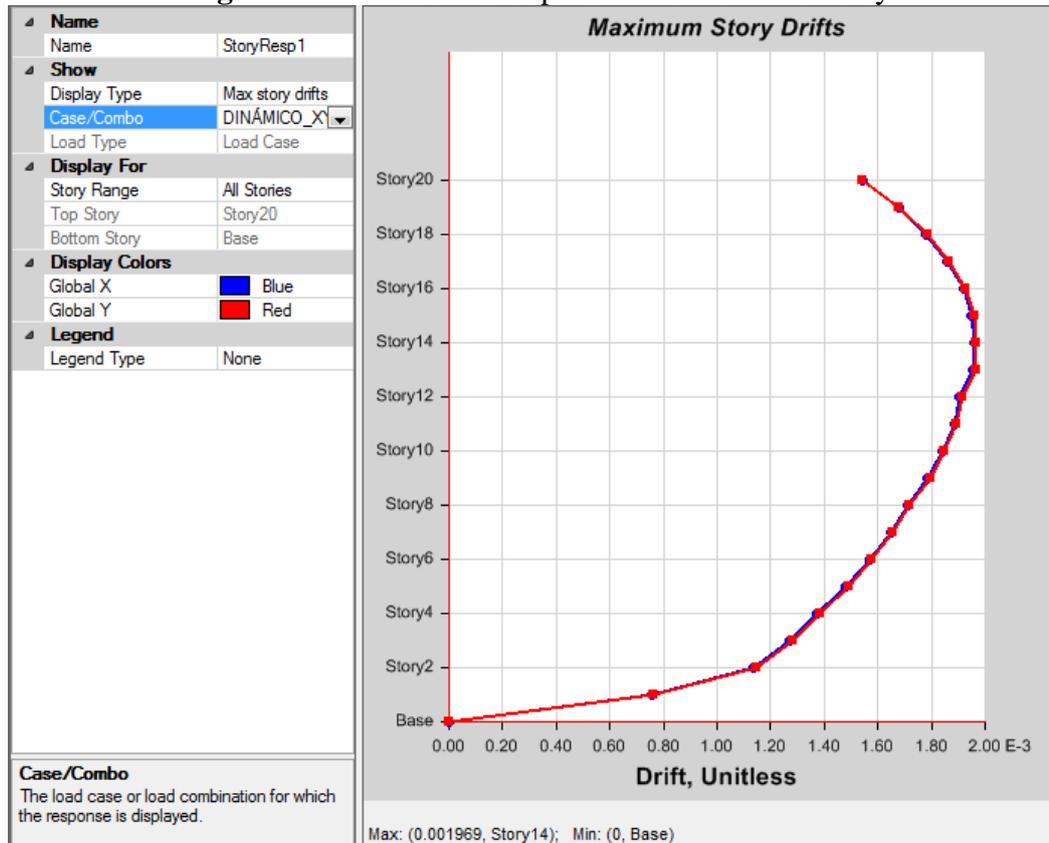
Tabla 25. Coeficiente C_u

# Pisos	Longitud de enlace e (m)	Periodo (T etbas)	Periodo aprox. (T _a)	Periodo máximo (T)	T(etbas) ≤ T
20	1.0	1.921	1.667	2.167	OK

Fuente: Elaboración propia

- Derivas de Piso

Figura 46.- deriva elástica por efecto del sismo en x-y



Fuente: Elaboración propia

- Derivas elástica calculada (software)

$$X = 0.001969$$

$$Y = 0.001969$$

- Derivas inelástica según la norma NEC-SE-DS sección 6.3.9

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 (8)(0.001969)$$

$$\Delta_M = 0.0118 < 0.02 \rightarrow Ok$$

Donde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica

R = factor de reducción de resistencia sísmica (Norma NEC-SE-DS, tabla 16)

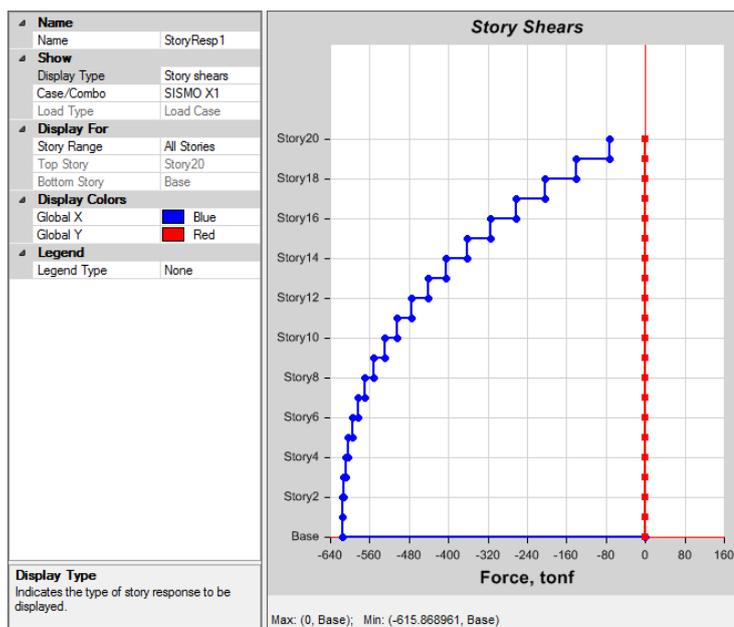
Δ_E = Deriva elástica máxima

- **Validación análisis dinámico**

El cortante dinámico debe ser mayor al 80 % del cortante estático (estructura regular caso de investigación)

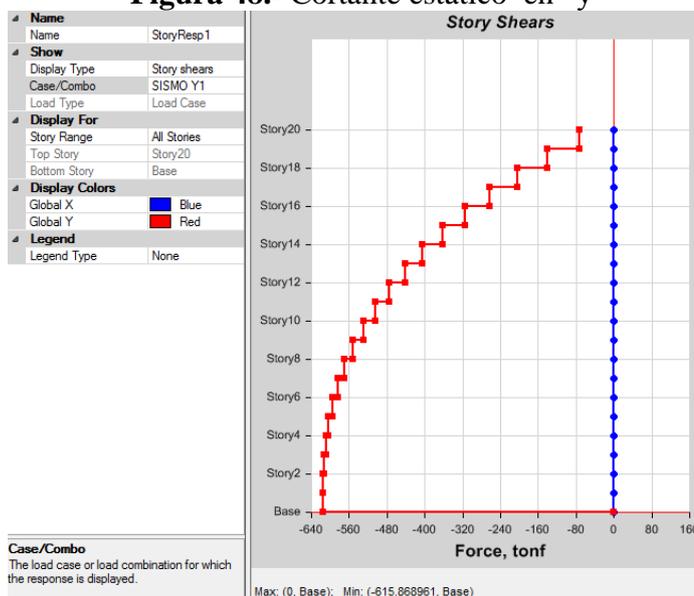
$$\frac{\text{cortante dinámico}}{\text{cortante estático}} \times 100 > 80\%$$

Figura 47.- Cortante estático en “x”



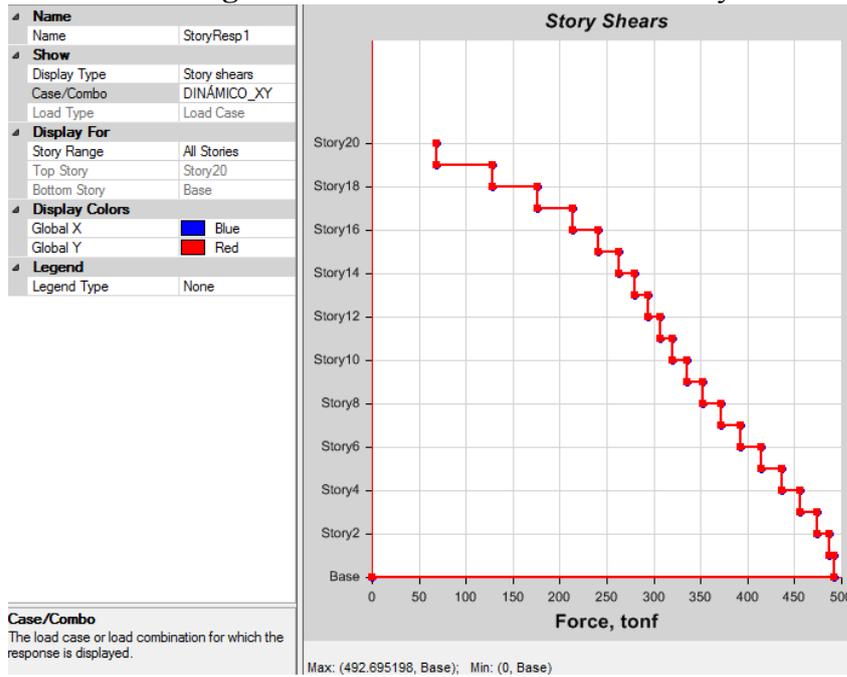
Fuente: Elaboración propia

Figura 48.- Cortante estático en “y”



Fuente: Elaboración propia

Figura 49.- Cortante dinámico en “x”-“y”



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26.- Validación del análisis dinámico

Cortante estático	Cortante dinámico	Cálculo	Verificación >80%
615.868	492.695	80 %	Ok
615.868	492.695	80 %	Ok

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación propone realizar el estudio para evaluar los edificios de mediana altura con el uso de diagonales concéntricas y excéntricas, de donde se espera obtener una disminución de los efectos provocados por fuerzas sísmicas proporcionando mayor estabilidad y rigidez en las edificaciones de acero cumpliendo con los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción así como ciertos criterios proporcionados por la norma AISC 341-16.

Se detalla una tabla con el resumen de los resultados obtenidos en el empleo de diagonales concéntricas y excéntricas.

Tabla 27.- Resultados finales

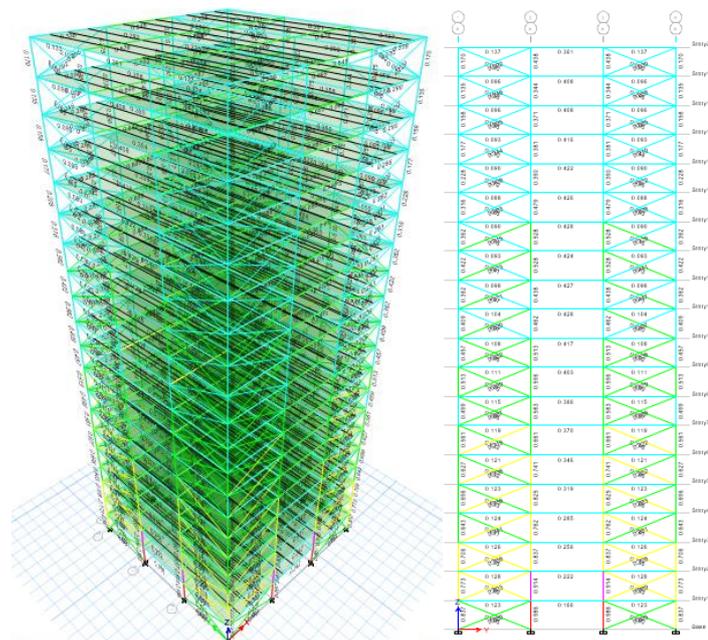
	Diagonales concéntricas x	Diagonales excéntricas
Coefficiente de reducción R	8	8
Periodo de vibración T	2.037	1.921
Deriva inelástica	0.0129	0.0118
Deriva elástica	0.002162	0.001969
Cortante estático	580.78	464.62
Cortante dinámico	615.868	492.695
Validación dinámico < 80%	80%	80%

Fuente: Elaboración Propia

4.1 Modelamiento con diagonales concéntricas tipo X

- **Cumplimiento del diseño**

Figura 50.- Verificación de cumplimiento de diseño

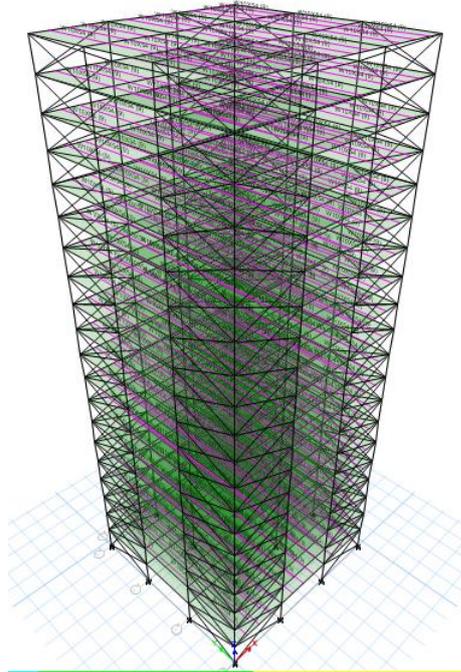


Fuente: Elaboración propia

Para realizar un correcto análisis no lineal de la estructura, se debe cumplir con todos los requisitos de servicialidad y de resistencia. Los requisitos de servicialidad son deflexiones y derivas de piso principalmente. Para cumplir con los requisitos de resistencia se debe seguir las disposiciones de las normativas AISC 360 y AISC 341. Así mismo, en el software se debe indicar el tipo de sistema estructural que se está considerando para que tome en cuenta los requisitos específicos del sistema estructural elegido para que realice un correcto diseño estructural. En este caso se considera un pórtico especial con diagonales concéntricas (SCBF).

- **Cumplimiento de elementos principales y vigas secundarias**

Figura 51.- Verificación de elementos principales y secundarios



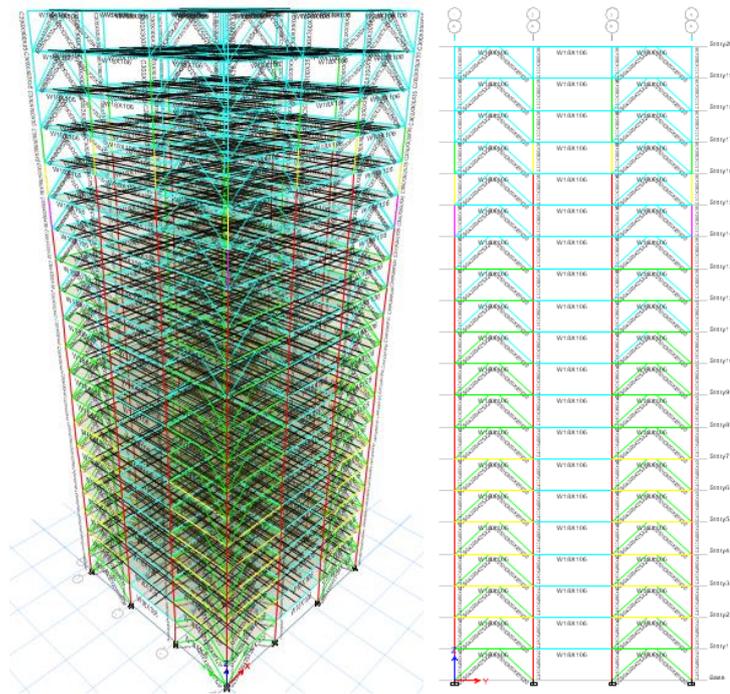
Fuente: Elaboración propia

Se debe revisar que todos los elementos estructurales tengan la resistencia adecuada para soportar las cargas aplicadas sobre la estructura. Para el diseño de las vigas secundarias, se considera las especificaciones de la normativa AISC 360. Esta condición está especificada en el software para que se realice el diseño correcto.

4.2 Modelamiento con diagonales excéntricas

- **Cumplimiento del diseño**

Figura 52.- Verificación de cumplimiento de diseño



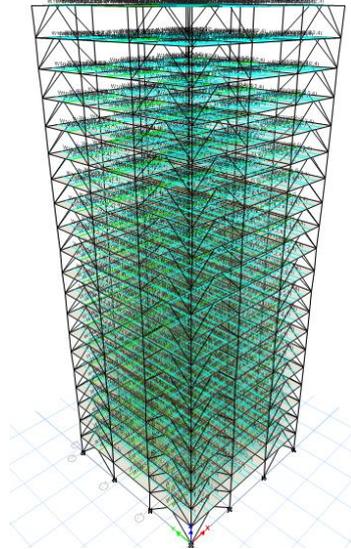
Fuente: Elaboración propia

Para realizar un correcto análisis no lineal de la estructura, se debe cumplir con todos los requisitos de servicialidad y de resistencia. Los requisitos de servicialidad son deflexiones y derivas de piso. Para cumplir con los requisitos de resistencia se debe considerar las disposiciones de las normativas AISC 360 y AISC 341.

Así mismo, en el software se debe indicar el tipo de sistema estructural para que tome en cuenta los requisitos específicos del sistema estructural elegido para que realice un correcto diseño estructural. En este caso se considera un pórtico con diagonales excéntricas (EBF).

- **Cumplimiento de elementos principales y vigas secundarias**

Figura 53.- Verificación de elementos principales y secundarios



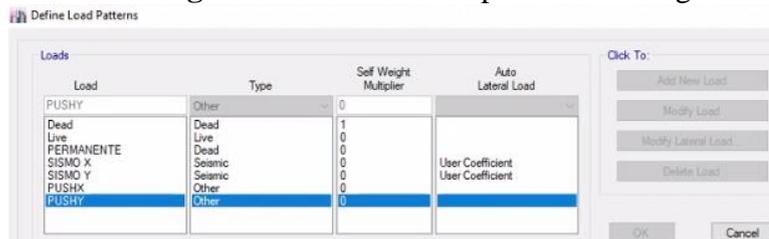
Fuente: Elaboración propia

Se debe cumplir que todos los elementos estructurales dispongan de la resistencia adecuada para soportar las cargas aplicadas sobre la estructura. Para el diseño de las vigas secundarias, se considera las especificaciones de la normativa AISC 360. Esta condición está especificada en el software para que se realice el diseño correcto.

4.3 Análisis Pushover

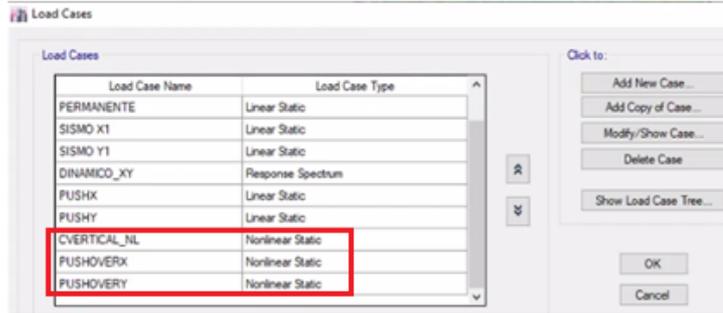
Para el análisis pushover se crea dos patrones de carga, donde se colocara una carga de empuje en todos los puntos del modelo, principalmente en la unión viga-columna, que permitirá encontrar puntos de inflación y falla

Figura 54.- Creación de patrones de carga



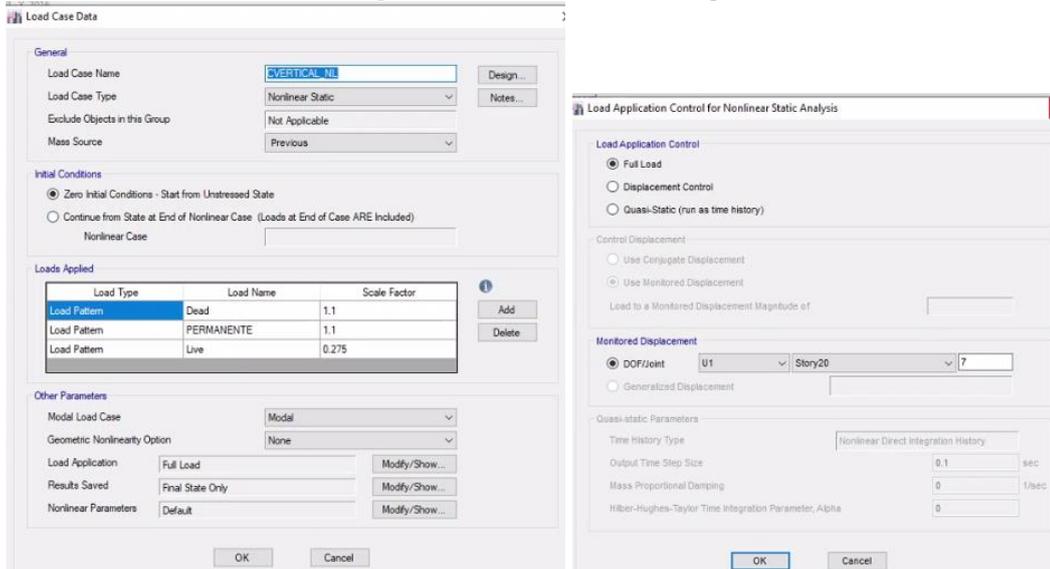
Fuente: Elaboración Propia

Figura 55.- Creación de casos de carga



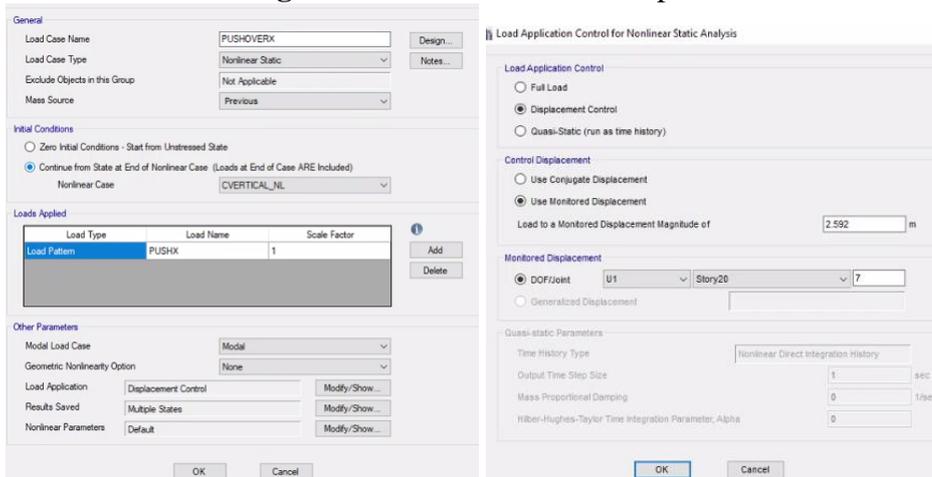
Fuente: Elaboración propia

Figura 56.- Creación de carga vertical



Fuente: Elaboración propia

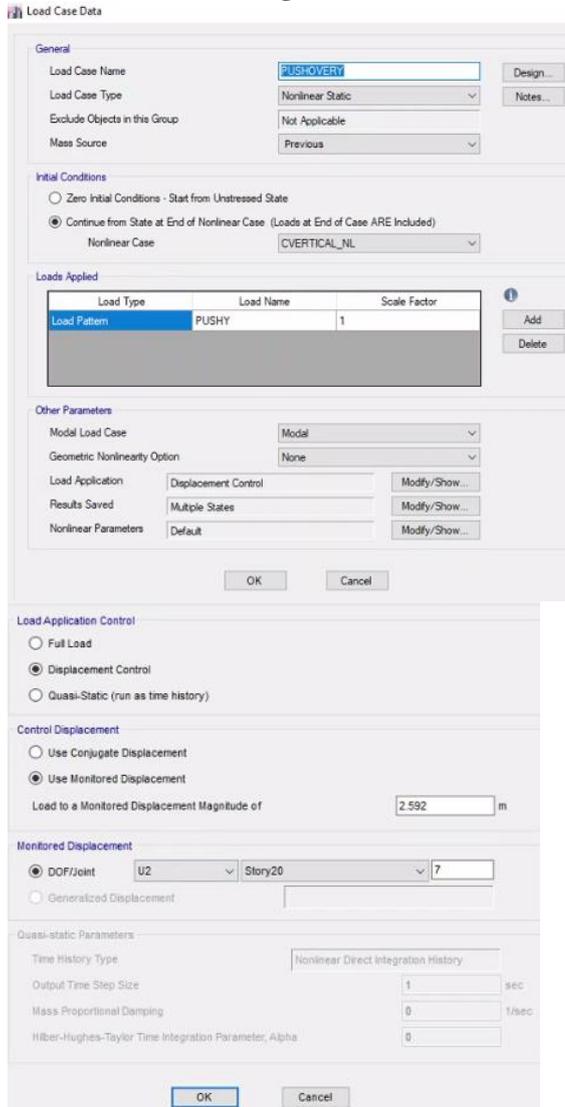
Figura 57.- Definición de caso pushover en sentido x



Fuente: Elaboración Propia

- Cálculo de factor de desplazamiento máximo de control
 $d = 0.04 \times \text{altura del edificio} = 0.04(64.8\text{m}) \rightarrow 2.592\text{m}$

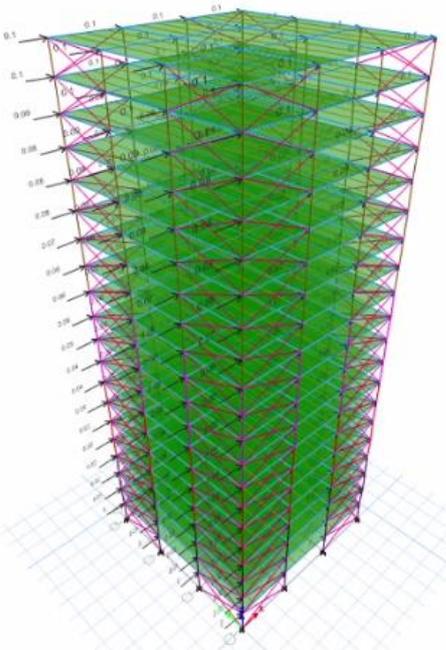
Figura 58.- Definición de caso pushover en sentido y



Fuente: Elaboración Propia

- Cálculo de factor de desplazamiento máximo de control
 $d = 0.04 \times \text{altura del edificio} = 0.04(64.8\text{m}) \rightarrow 2.592\text{m}$

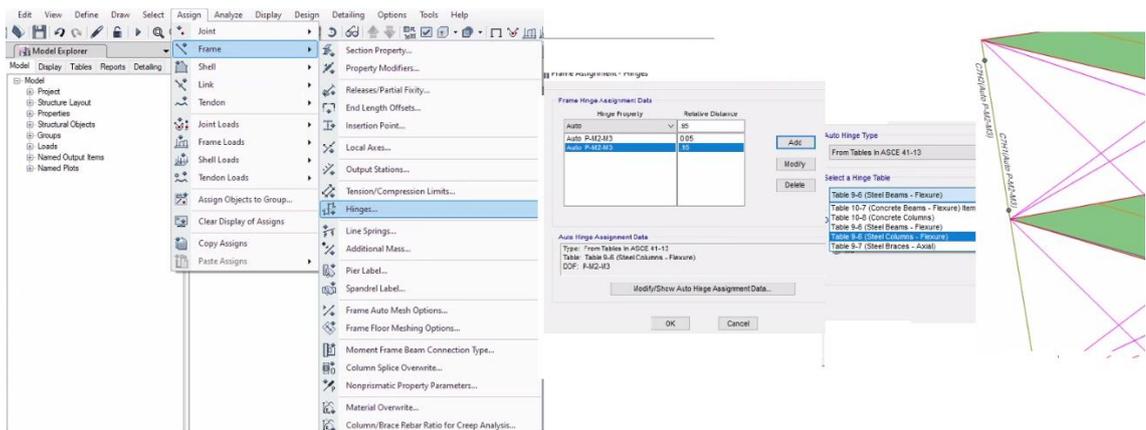
Figura 59.- Vista 3d de aplicación de carga



Para realizar el análisis estático no lineal (Pushover) se debe aplicar un patrón de carga de empuje que está directamente relacionado a las formas modales de los primeros dos modos de vibración que tiene la estructura. Al ser un patrón de empuje es suficiente con aplicar valores pequeños de carga lateral a la estructura. Se puede aplicar el patrón de carga a todos los nudos que unen vigas principales y columnas o se puede aplicar al pórtico frontal de la estructural. Los resultados a obtener con estas dos formas de aplicar el patrón de carga son similares. Para los modelos utilizados en este trabajo se ha considerado la primera opción.

- **Resultado análisis Pushover**
 - Definición de rotula plástica

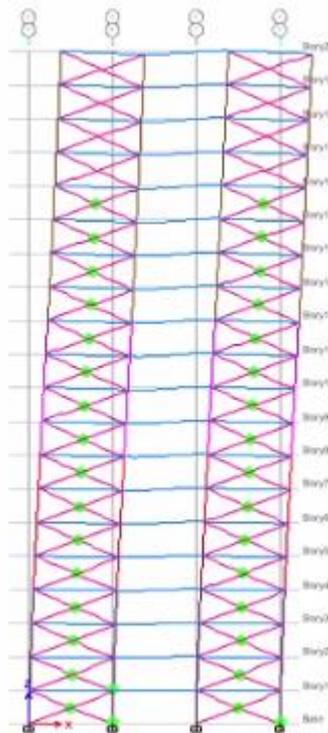
Figura 60.- Definición de rotula plástica



Fuente: Elaboración propia

Nota: La rotula plástica debe definirse en todos los elementos del modelamiento (vigas principales, columnas y diagonales)

Figura 61.- Formación de rotulas plásticas (diagonales concéntricas tipo X)



Fuente: Elaboración Propia

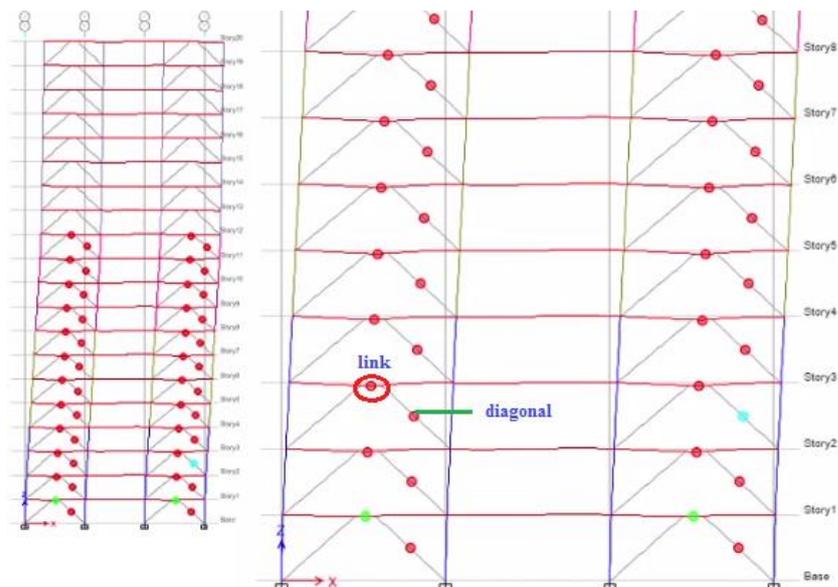
Figura 62.- Curva estática de pushover (diagonales concéntricas tipo X)



Fuente: Propia

La curva de capacidad presenta como resultado la resistencia que tiene la estructura con el sistema estructural considerado antes de llegar a la falla. La curva de capacidad presenta caídas de resistencia. Cada caída de resistencia indica que una diagonal ha fallado. La carga se sigue aplicando y los esfuerzos se redistribuyen a los elementos que todavía pueden resistir carga hasta llegar al punto de tener nuevamente una caída de resistencia por la falla de una nueva diagonal del sistema estructural. El proceso continúa hasta que se alcanza el mecanismo de falla de la estructura y, por lo tanto, la estructura pierde su resistencia.

Figura 63.- Formación de rotulas plásticas (diagonales excéntricas)



Fuente: Elaboración Propia

El diseño sísmo resistente de pórticos resistentes a momento con diagonales excéntricas tiene como objetivo que los elementos que fallan en primer lugar son los elementos “Enlace” (“Link”). Son los elementos con menor resistencia dentro del sistema estructural. Estos son los elementos que se encargan de disipar energía en las primeras instancias del sismo. Estos elementos son diseñados para resistir rotaciones normativas antes de alcanzar la falla. Posteriormente, empiezan a fallar las diagonales, ya que los elementos “Link” han fallado y no son capaces de disipar mayor cantidad de energía. Las vigas principales y las columnas fallan posteriormente.

Figura 64.- Curva estática de pushover (diagonales concéntricas tipo X)



Fuente: Elaboración Propia

La curva de capacidad presenta como resultado la resistencia que tiene la estructura con el sistema estructural considerado antes de llegar a la falla. La curva de capacidad presenta caídas de resistencia. Cada caída de resistencia indica que un elemento “Enlace” ha fallado. La carga se sigue aplicando y los esfuerzos se redistribuyen a los elementos que todavía pueden resistir carga hasta llegar al punto de tener nuevamente una caída de resistencia por la falla de un nuevo elemento “Link” del sistema estructural. El proceso continúa hasta que se alcanza el mecanismo de falla de la estructura y, por lo tanto, la estructura pierde su resistencia. Como se puede observar en la imagen, este sistema estructural resiste mayores deformaciones antes de fallar. Comparado con el sistema de diagonales concéntricas, el sistema de diagonales excéntricas tiene mayor ductilidad

CAPITULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones

- El empleo de diagonales excéntricas y concéntricas en edificaciones de acero de mediana altura permiten obtener un mejor desarrollo ante las fuerzas sísmicas, proporcionando una mayor rigidez y estabilidad a la estructura.
- En las diagonales excéntricas se utilizó una longitud de enlace de un metro, obteniendo una estructura en condiciones apropiadas.
- En esta investigación se planteó que las diagonales concéntricas como excéntricas estén ubicadas de forma simétrica en la estructura, lo que permite obtener comportamiento y resultados similares en las dos direcciones X y Y.
- Del modelamiento realizado con el uso de diagonales concéntricas en x se obtuvo un periodo de vibración de 2.037 segundos, en el pórtico con diagonales excéntricas se tiene un periodo de 1.921 segundos.
- La deriva de piso inelástica para diagonales concéntricas en x se obtuvo un valor de 0.0129 mm y 0.0118 mm en diagonales excéntricas, cumpliendo con el requerimiento establecido en la norma NEC, donde se establece que la deriva máxima permitida es de 0.020.
- En el cálculo de cortante estático y dinámico empleando diagonales concéntricas tipo x se obtuvo como resultado 580.78 y 464.62 respectivamente; mientras que para el modelo con diagonales excéntricas se obtuvo un valor de 615.868 en cortante estático y 492.695 para el cortante dinámico.
- En el análisis estático no lineal (Pushover) se aplica un patrón de carga que se encuentra relacionado a las formas modales de los primeros dos modos de vibración de la estructura para este trabajo se aplicó el patrón de carga a todos los nudos que unen vigas principales y columnas.
- En el análisis pushover en el modelo con diagonales concéntricas tipo X, se pudo observar que la formación de rotulas plásticas se da principalmente en las diagonales ya que son los elementos más “débiles” dentro del sistema estructural, considerando que son los elementos que se encargan de disipar la energía en las primeras instancias del sismo, para posteriormente fallar vigas principales y por ultimo las columnas.

- En el análisis pushover en el modelo con diagonales excéntricas las rotulas plásticas se forman inicialmente en el elemento de “enlace” (“link”), son los elementos que se encargan de disipar la energía, están diseñados para resistir rotaciones normativas antes de alcanzar la falla, posteriormente empieza a fallar las diagonales considerando que el elemento “link” ya no es capaz de disipar mayor cantidad de energía.
- En la curva de capacidad estática del modelo con diagonales concéntricas tipo X, presenta como resultado la resistencia que tiene la estructura con el sistema estructural considerando antes de fallar, se observa que presenta caídas de resistencia, es decir cada caída de resistencia indica que una diagonal ha fallado.
- En la curva de capacidad estática del modelo con diagonales excéntricas se pudo observar que en los dos modelamientos empleando diagonales concéntricas así como diagonales excéntricas el resultado es muy similar en cuanto se presenta caídas de resistencia, en donde cada caída indica que un elemento “enlace” ha fallado, sin embargo comparado con el sistema de diagonales concéntricas, el sistema de diagonales excéntricas tiene mayor ductilidad.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que se renueve el sistema de construcción en el país, por estructura metálica considerando las propiedades físicas y mecánicas, así como la versatilidad en la construcción de las edificaciones, dando cumplimiento a la normativa nacional como internacional.
- Se recomienda revisar el plan de ordenamiento territorial de los diferentes Gads en donde se permita la construcción de edificaciones de mediana y gran altura considerando el crecimiento poblacional del país.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Karamodin and A. Zanganeh, “Seismic design and performance of dual moment and eccentrically braced frame system using PBPD method,” *Lat. Am. J. Solids Struct.*, vol. 14, no. 3, pp. 441–463, 2017, doi: 10.1590/1679-78253425.
- [2] B. Cagua, R. Aguiar, and J. Pilatasig, “Coupling Opensees With Ceinci-Lab To Perform Non-Linear Static Analysis . First Part : Seismic Reinforcement With Steel Braces,” *Rev. Int. Ing. Estructuras.*, vol. 25, no. 3, pp. 367–420, 2020, doi: 10.24133/riie.v25i3.1691.
- [3] D. S. OLIVEIRA and R. CARRAZEDO, “Numerical modeling of circular, square and rectangular concrete columns wrapped with FRP under concentric and eccentric load,” *Rev. IBRACON Estructuras y Mater.*, vol. 12, no. 3, pp. 518–550, 2019, doi: 10.1590/s1983-41952019000300006.
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), “Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED),” *Encuesta Edif.*, p. 23, 2019, [Online]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2019/2.2019_ENED_Principales_resultados.pdf.
- [5] W. A. Castillo, G. A. Palma, and H. C. Moncayo, “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto (Nariño, Colombia). Caso Teatro Imperial – Ingeniería y Patrimonio,” vol. 12, no. 24, pp. 77–88, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.3816>.
- [6] T. Ribeiro and A. Sousa, “Methods for conceptual and preliminary seismic design of buildings with steel structure,” *ACI Struct. J.*, vol. 11, no. 17, pp. 390–405, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v11i2.1350>.
- [7] C. Medina and S. Medina, “Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión en Estructuras Irregulares,” *Rev. Politécnica*, vol. 39, no. 2, pp. 51–60, 2017, doi: 10.33333/rp.v39i2.763.
- [8] INEC, “Fascículo Provincial Tungurahua,” *Inec*, pp. 1–8, 2010, [Online]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/tungurahua.pdf>.
- [9] K. Pazmiño, Esteban; Espinoza, “Evaluación experimental de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, a-36, a-572 y a-588, para la obtención de los diagramas de esfuerzo-deformación,” Pontificie Universidad Católica del Ecuador, 2019.
- [10] J. Marquez, A; Lobo, Q; Vielma, “Comportamiento de edificios de acero con diagonales concéntricas y excéntricas,” *Rev. Ing. Civ.*, vol. 1, no. October, pp. 1–11, 2015, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/286919701_ESTRUCTURAS_DE_ACERO_COMPORTAMIENTO_DE_EDIFICIOS_DE_ACERO_CON_DIAGONALES_CONCENTRICAS_Y_EXCENTRICAS.
- [11] R.-D. Ugel and R.-I. Herrera, “Comparative study of earthquake-resistant response of high rise steel building with two types of braced frames,” *Rev. Ing. UC*, vol. 22, no. 3, pp. 7–18, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.3816>.
- [12] D. Siva, P. Reddy, and M. M. Ahmed, “Seismic Design of Multistoried and Multibay Steel Building Frame,” 2017, Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://ijsetr.com/uploads/142635IJSETR13625-145.pdf>.

- [13] H. Solanki, “Comparative Seismic Performance and Evaluation of X-Bracing and Off-Diagonal Bracing Systems in RC Buildings,” no. June, pp. 91–95, 2017, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Hardik-Solanki-4/publication/317956103_Comparative_Seismic_Performance_and_Evaluation_of_X-Bracing_and_Off-Diagonal_Bracing_Systems_in_RC_Buildings/links/595376be458515a2070287f1/Comparative-Seismic-Performance-and-Eva.
- [14] A. H. Ali, “Performance of diagonals in high rise steel structures,” *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 1082–1092, 2019, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Ali-Ali-116/publication/332627062_Article_ID_IJCIET_10_02_104_Cite_this_Article_Ali_Hussein_Ali_Performance_of_Diagonals_in_High_Rise_Steel_Structures/links/5cc0c926299bf120977d7459/Article-ID-IJCIET-10-02-104-Cite-thi.
- [15] K. Mantilla, “ESTUDIO COMPARATIVO DE EDIFICIOS DE ACERO DE GRAN ALTURA CON DIAGONALES EXCÉNTRICAS, CONCÉNTRICAS Y DIAGONALES CON AMORTIGUADORES EN LA CIUDAD DE QUITO.,” 2016.
- [16] M. Herrera *et al.*, “Space Seismal Analysis of Structures Reinforced With Steel Diagonals Using Ceinci-Lab Reforzadas Con Diagonales De Acero Utilizando Ceinci-Lab,” *Rev. Int. Ing. Estructuras.*, vol. 24, pp. 343–363, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v24i4.1572>.
- [17] F. Crisafulli and D. Ph, “Diseño sismorresistente de construcciones de acero,” *Asociacion Latinoamericana del Acero*, vol. 5ta edicio, Santiago de Chile, p. 214, 2018.
- [18] K. S. M. Mir, M, “Advances in Structural Systems for Tall Buildings: Emerging Developments for Contemporary Urban Giants,” *Buildings*, vol. 8, pp. 1–34, 2018, doi: 10.3390/buildings8080104.
- [19] D. Guerra, “Estudio de la incidencia del enlace (link) en edificios sismo resistentes de acero con diagonales excéntricas, para: 20, 25, 30 y 40 pisos. Caso aplicado a la ciudad de Quito.,” Pontificia Universidad Catolica del Ecuador, 2021.
- [20] J. Pilatasig, R. Aguiar, B. Cagua, O. Andachi, and P. Ceron, “Analysis of the Reinforcement of a Steel Structure With Concentric Diagonals. Manta Uvc Case,” *Rev. Ing. Construcción*, vol. 36, pp. 294–310, 2021, doi: 10.7764/ric.00004.21.