

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

### MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

---

**Tema:** “ESTUDIO DE PÓRTICOS ARRIOSTRADOS CONCÉNTRICAMENTE EN V, V INVERTIDA Y ARRIOSTRAMIENTO EN K Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE UN EDIFICIO EN ACERO DE 7 PISOS”

---

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

**Modalidad de titulación:** Trabajo de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo

**Autor:** Ing. Edison Xavier Salinas Villegas.

**Director:** Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

**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. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg. e Ing Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ESTUDIO DE PÓRTICOS ARRIOSTRADOS CONCÉNTRICAMENTE EN V, V INVERTIDA Y ARRIOSTRAMIENTO EN K Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE UN EDIFICIO EN ACERO DE 7 PISOS”, elaborado y presentado por el Ing. Edison Xavier Salinas Villegas 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. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “ESTUDIO DE PÓRTICOS ARRIOSTRADOS CONCÉNTRICAMENTE EN V, V INVERTIDA Y ARRIOSTRAMIENTO EN K Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE UN EDIFICIO EN ACERO DE 7 PISOS”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Edison Xavier Salinas Villegas autor bajo la Dirección de Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Edison Xavier Salinas Villegas

**AUTOR**

-----  
Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

**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. Edison Xavier Salinas Villegas  
C.C: 1804572137

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	xv
DEDICATORIA .....	xvi
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvii
EXECUTIVE SUMMARY.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 General .....	3
1.3.2 Específicos .....	3
CAPITULO II .....	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	4
2.1 Estructuras Metálicas en Ecuador .....	4

2.2 El acero como material.....	4
2.3 Ventajas del acero como material de construcción.....	5
2.4 Losa Compuesta reforzada con lámina de acero.....	8
2.5 Comportamiento estructural.....	9
2.6 Tipos de pórticos en acero.....	9
2.7 Tipo de conexión.....	10
2.8 Comportamiento estructural de arriostramientos.....	11
2.9 Características de los pórticos con arriostramiento en V, V invertida y K.....	11
2.10 Disposiciones especiales para diagonales en marcos arriostrados en “K”, “V” o “V” invertida.....	12
2.11 Comportamiento estructural.....	15
2.12 Aplicaciones.....	15
2.13 Análisis estático.....	16
2.14 Análisis dinámico.....	16
2.15 Peligro Sísmico.....	18
2.16 Espectro elástico de diseño.....	19
2.17 Deriva.....	21
2.18 Relación daño-deriva.....	21
2.19 Formulación de las rotulas plásticas.....	21
CAPITULO III.....	23
MARCO METODOLÓGICO.....	23

3.1 Ubicación .....	23
3.2 Equipos y materiales .....	24
3.3 Tipo de investigación .....	25
3.4. Prueba de Hipótesis.....	25
3.5 Población o muestra:.....	26
3.6 Recolección de información:.....	26
3.7 Procesamiento de la información y análisis estadístico .....	28
3.7.1 Cargas sísmicas .....	30
3.7.2 Características de la zona sísmica .....	31
3.7.3 Características del suelo.....	32
3.7.4 Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs .....	32
3.7.5 Razón entre la aceleración espectral .....	34
3.7.6 Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R.....	34
3.7.7 Irregularidades y coeficientes de configuración estructural.....	35
3.7.8 Importancia de la estructura .....	37
3.7.9 Carga sísmica .....	38
3.7.10 Espectro.....	39
3.7.11 Combinaciones de carga .....	41
3.7.12 Prediseños de los elementos estructurales.....	42
3.7.13 Prediseño de columnas.....	44
3.7.14 Prediseño de vigas.....	46

3.7.15 Losa.....	48
3.7.16 Vigas secundarias.....	49
3.7.17 Arriostramientos.....	50
3.7.18 Modelado de la edificación en software.....	50
3.8 Variables respuesta o resultados alcanzados.....	60
CAPITULO IV.....	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1 ARRIOSTRAMIENTO EN V.....	62
4.1.1 Períodos de vibración.....	62
4.1.2 Chequeo de rotación.....	63
4.1.3 Derivas de piso.....	64
4.1.4 Validación del análisis dinámico.....	65
4.1.5 Diagrama de momentos.....	68
4.1.6 Centro de gravedad y rigidez de la estructura.....	68
4.2 ARRIOSTRAMIENTO EN V INVERTIDA.....	68
4.2.1 Períodos de vibración.....	69
4.2.2 Chequeo de rotación.....	70
4.2.3 Derivas de piso.....	71
4.2.5 Diagrama de momentos.....	74
4.2.6 Centro de gravedad y rigidez de la estructura.....	75
4.3 ARRIOSTRAMIENTO EN K.....	76



4.3.1 Períodos de vibración.....	76
4.3.4 Derivas de piso.....	78
4.3.4 Validación del análisis dinámico .....	79
4.3.5 Diagrama de momentos .....	82
4.3.6 Centro de gravedad y rigidez de la estructura.....	83
4.4 Cuadros de resumen .....	83
4.4.1 Periodo de vibración .....	83
4.4.2 Rotación .....	83
4.4.3 Participación del 90% de la masa en los modos de vibración.....	84
4.4.4 Derivas de piso.....	84
4.4.5 Validación del análisis dinámico .....	84
4.5 Análisis de costo .....	85
CAPÍTULO V .....	87
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS .....	87
5.1 Conclusiones .....	87
5.2 Recomendaciones.....	88
5.3 Bibliografía .....	90
ANEXOS .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Esfuerzo de fluencia para el acero ASTM A36 [5].	5
Tabla 2: Valores del factor Z [24]	20
Tabla 3: Especificaciones de los recursos materiales	25
Tabla 4: Resumen de cargas gravitacionales por cada piso	29
Tabla 5: Categoría de edificio y coeficiente de importancia I [24].	30
Tabla 6: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada [24].	31
Tabla 7: Clasificación del Suelo [24]	32
Tabla 8: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto [24].	32
Tabla 9: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca [24].	33
Tabla 10: Comportamiento no lineal de los suelos [24]	33
Tabla 11: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles [24].	34
Tabla 12: Irregularidades de configuración estructural [24].	35
Tabla 13: Coeficiente de irregularidad en planta [24].	36
Tabla 14: Tipo de uso e importancia de la estructura [24].	37
Tabla 15: Coeficiente que depende del tipo de estructura [24].	37
Tabla 16: Cortante basal	38
Tabla 17: Espectro elástico y de diseño	39
Tabla 18: Datos del perfil de prediseño en columnas	44
Tabla 19: Compacidad y esbeltez de la sección de las columnas de AISC 360-10.	45
Tabla 20: Datos del perfil de prediseño en las vigas	46
Tabla 21: Compacidad y esbeltez del perfil de la viga de AISC 360-10.	47
Tabla 22: Compacidad y esbeltez del perfil de la viga según AISC 341-10	47
Tabla 23: Dimensión de los tableros de losa con placa colaborante	49
Tabla 24: Prediseño de las vigas secundarias	50
Tabla 25: Prediseño de los arriostramientos	50
Tabla 26: Periodo de la estructura con arriostramiento en V	63
Tabla 27: Validación del análisis dinámico del arriostramiento en V	67
Tabla 28: Tabla de gravedad y rigidez de la estructura con arriostramiento en V	68

Tabla 29: Periodo de la estructura con arriostramiento en V invertida .....	69
Tabla 30: Validación del análisis dinámico del arriostramiento en V invertida.....	74
Tabla 31: Tabla de gravedad y rigidez de la estructura con arriostramiento en V invertida .....	76
Tabla 32: Periodo de la estructura con arriostramiento en K .....	77
Tabla 33: Validación del análisis dinámico del arriostramiento en K.....	81
Tabla 34: Tabla de gravedad y rigidez de la estructura con arriostramiento en K .....	83
Tabla 35: Resumen del periodo de vibración con los tres arriostramientos .....	83
Tabla 36: Resumen de la rotación en los tres arriostramientos .....	83
Tabla 37: Resumen de la participación de la masa de los tres arriostramientos.....	84
Tabla 38: Resumen de las derivas elásticas de los tres arriostramientos.....	84
Tabla 39: Resumen de las derivas inelásticas de los tres arriostramientos.....	84
Tabla 40: Resumen del cortante estático de los tres tipos de arriostramientos.....	84
Tabla 41: Resumen del cortante dinámico de los tres tipos de arriostramientos.....	85
Tabla 42: Validación del análisis dinámico en los tres tipos de arriostramientos .....	85
Tabla 43: Principales rubros para la edificación de 7 pisos con arriostramiento en V, V invertida y K .....	85
Tabla 44: Costo por m <sup>2</sup> de la estructura de 7 pisos con arriostramiento en V, V invertida y K .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfica de esfuerzo vs deformación para distintos tipos de acero estructural [5].....	5
Figura 2: Secciones Tipo W [5].....	8
Figura 3: Esquema de placa colaborante .....	9
Figura 4: Pandeo global del arriostramiento en V invertida [14]. .....	13
Figura 5: Pórticos arriostrados concéntricos [5]. .....	14
Figura 6: Arriostramiento en K, V invertida y V [15]. .....	15
Figura 7: Espectro sismo elástico de aceleración [20].....	20
Figura 8: Zonas sísmicas en Ecuador [20]. .....	20
Figura 9: Rótulas plásticas [23]. .....	22
Figura 10: Ubicación del proyecto.....	24
Figura 11: Implantación de edificio de 7 pisos.....	27
Figura 12: Fachada frontal del edificio de 7 pisos .....	27
Figura 13: Fachada lateral del edificio de 7 pisos .....	28
Figura 14: Zona Sísmica del Ecuador [24]. .....	31
Figura 15: Espectro elástico e inelástico para un periodo de retorno de 475 años .....	40
Figura 16: Área tributaria $N_v+0.18$ .....	42
Figura 17: Área tributaria $N_v+3.38$ ; $N_v+6.58$ ; $N_v+9.78$ ; $N_v+12.98$ ; $N_v+15.48$ ; $N_v+18.74$ ; $N_v+21.62$ .....	43
Figura 18: Área tributaria de vigas, todos los niveles.....	46
Figura 19: Identificación del $\Delta P$ más crítico .....	48
Figura 20: Detalle de losa de placa colaborante .....	49
Figura 21: Definición de materiales.....	51
Figura 22: Datos de las secciones de las columnas .....	52
Figura 23: Espectro de diseño de NEC 2015 .....	53
Figura 24: Definición de patrones de carga .....	54
Figura 25: Definición de patrones de carga del sismo x e y .....	54
Figura 26: Combinaciones de carga para la estructura .....	55

Figura 27: Modelamiento con arriostramiento con V invertida .....	56
Figura 28: Modelamiento con arriostramiento en V.....	57
Figura 29: Modelamiento con arriostramiento en K.....	58
Figura 30: Vista planta tipo .....	59
Figura 31: Cargas vivas de la estructura.....	59
Figura 32: Carga muerta de la estructura.....	60
Figura 33: Deriva elástica en “x” de la estructura con arriostramiento en V .....	64
Figura 34: Deriva elástica en “y” de la estructura con arriostramiento en V .....	65
Figura 35: Cortante estático en “x” de la estructura con arriostramiento en V .....	66
Figura 36: Cortante estático en “y” de la estructura con arriostramiento en V .....	66
Figura 37: Cortante dinámico en “x” de la estructura con arriostramiento en V.....	67
Figura 38: Cortante dinámico en “y” de la estructura con arriostramiento en V.....	67
Figura 39: Diagrama de momentos con arriostramiento en V.....	68
Figura 40: Deriva elástica en “x” de la estructura con arriostramiento en V invertida	71
Figura 41: Deriva elástica en “y” de la estructura con arriostramiento en V invertida	71
Figura 42: Cortante estático en “x” de la estructura con arriostramiento en V invertida .....	72
Figura 43: Cortante estático en “y” de la estructura con arriostramiento en V invertida .....	73
Figura 44: Cortante dinámico en “x” de la estructura con arriostramiento en V invertida .....	73
Figura 45: Cortante dinámico en “y” de la estructura con arriostramiento en V invertida .....	74
Figura 46: Diagrama de momentos de la estructura con arriostramiento en V invertida .....	75
Figura 47: Deriva elástica en “x” de la estructura con arriostramiento en K .....	78
Figura 48: Deriva elástica en “y” de la estructura con arriostramiento en K .....	79
Figura 49: Cortante estático en “x” de la estructura con arriostramiento en K .....	80
Figura 50: Cortante estático en “y” de la estructura con arriostramiento en K .....	80
Figura 51: Cortante dinámico en “x” de la estructura con arriostramiento en K.....	80

Figura 52: Cortante dinámico en “y” de la estructura con arriostramiento en K.....	81
Figura 53: Diagrama de momentos con arriostramiento en K.....	82
Figura 54: Planta Nv+9.78.....	96

## AGRADECIMIENTO

*A todas las personas que me brindaron su total apoyo en esta etapa de mi vida, a la Universidad Técnica de Ambato por ayudarme a adquirir el conocimiento necesario para mi desarrollo profesional y a mi tutor Ing. Segundo Espín un excelente profesional y persona que me brindó su conocimiento y apoyo incondicional en la elaboración de este proyecto.*

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por permitirme tener la capacidad, energía y fortaleza para desarrollar este objetivo, así como también a mi familia y a mis amigos por inculcarme cada mensaje y palabra de aliento para llegar hacia este gran logro. MIL GRACIAS A TODOS.*



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

**TEMA:**

**“ESTUDIO DE PÓRTICOS ARRIOSTRADOS CONCÉNTRICAMENTE EN V, V INVERTIDA Y ARRIOSTRAMIENTO EN K Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE UN EDIFICIO EN ACERO DE 7 PISOS”**

**AUTOR:** Ing. Edison Xavier Salinas Villegas

**DIRECTOR:** Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Ingeniería, Industria y Construcción

**FECHA:** febrero de 2022

**RESUMEN EJECUTIVO**

En este trabajo de investigación, se realizó una comparativa entre tres tipos de arriostramientos: en V, en V Invertida y en K de un edificio de 7 pisos con la posibilidad de aplicar en nuestro medio como es en la ciudad de Ambato y también para que pueda ser utilizado a nivel nacional ya que se utilizó la normativa tanto nacional como la americana. Se realizaron los prediseños de los elementos estructurales, tanto para las columnas, vigas principales y secundarias, placa colaborante, y los elementos de arriostramientos para luego realizar su respectivo diseño comprobando antes su compacidad y esbeltez en cada uno de sus elementos. Mediante la utilización de un software de elementos finitos se procedió al modelado de cada uno de los elementos estructurales ingresando propiedades y especificaciones a sus elementos, se realizó un análisis estático y dinámico, para ello se definieron las combinaciones de carga, y también el espectro de diseño, así como también las configuraciones de la estructura en planta y en elevación, además la zona sísmica según el proyecto que se está investigando, todo ello para que la estructura de 7 pisos sea sismorresistente y se realizó cada uno de los chequeos estipulados por la Norma

Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015). También se realizaron las comparativas con los tres diferentes tipos de arriostramientos y se analizó el precio de la estructura. Por último, se concluyó que el mejor tipo de estructura fue el arriostramiento en V invertida, debido a que presenta una deriva menor que los dos anteriores con valores menores al dos por ciento y tiene un buen comportamiento estructural frente a los demás chequeos realizados como en el análisis dinámico que cumple con un porcentaje mayor al 80 por ciento, los análisis rotacionales menores al 30 por ciento tanto en X como en Y; y la participación de la masa mayor al 90 por ciento.

Descriptores: acero, análisis, arriostramiento, deriva de piso, elementos estructurales, espectro de diseño, participación de masa, prediseño, rotacional, sismorresistente.

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

**TEMA:**

**“ESTUDIO DE PÓRTICOS ARRIOSTRADOS CONCÉNTRICAMENTE EN V, V INVERTIDA Y ARRIOSTRAMIENTO EN K Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE UN EDIFICIO EN ACERO DE 7 PISOS”**

**AUTHOR:** Ing. Edison Xavier Salinas Villegas

**DIRECTED BY:** Ing. Segundo Manuel Espín Lagos

**LINE OF RESEARCH:** Engineering, Industry and Construction

**DATE:** february, 2022

**EXECUTIVE SUMMARY**

In this research paper, a comparison was made between three types of bracing: in V, in Inverted V and in K of a 7-story building with the possibility of applying it in our environment as it is in the city of Ambato and also so that can be used at the national level since both national and American regulations were used. The pre-designs of the structural elements were made, both for the columns, main and secondary beams, collaborating plate, and the bracing elements to then carry out their respective design, first checking their compactness and slenderness in each of their elements. Through the use of finite element software, each of the structural elements was modeled, entering properties and specifications to its elements, a static and dynamic analysis was carried out, for which the load combinations were defined, and also the load spectrum. design, as well as the configurations of the structure in plan and elevation, in addition to the seismic zone according to the project that is being investigated, all this so that the 7-story structure is earthquake resistant and each of the checks stipulated by the Ecuadorian Construction Standard (NEC 2015). Comparisons were also made with the three different types of bracing and the price of the structure was analyzed. Finally, it

was concluded that the best type of structure was the inverted V bracing, because it has a lower drift than the previous two with values less than two percent and has a good structural behavior compared to the other checks carried out as in the dynamic analysis that complies with a percentage greater than 80 percent, the rotational analysis less than 30 percent in both X and Y; and the participation of the mass greater than 90 percent.

Descriptors: steel, analysis, bracing, story drift, structural elements, design spectrum, mass participation, pre-design, rotational, earthquake resistant.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Introducción

En Ecuador se ha tenido una posición importante la rama de la ingeniería civil especialmente en el área de las estructuras metálicas, más específicamente en la construcción de edificios, la tecnología de construcción innovadora, los diseños para mejorar las estructuras de acero y otras herramientas que hacen que las estructuras metálicas sean esencialmente útiles en diversos campos.

Las ventajas de las estructuras metálicas en la construcción de edificios han ganado mayor fuerza con el tiempo ya que tienen un mejor rendimiento, un módulo de elasticidad muy alto, con una resistencia relativamente alta, resistencia al calor, buena resistencia a la tracción, etc. Frente a todas estas importantes características, es necesario conocer que tienen las mismas características frente al comportamiento sísmico que en una estructura de hormigón armado, además del sustancial crecimiento de construcción con acero a nivel mundial.

Para garantizar el rendimiento de seguridad de los edificios de acero de gran altura, es necesario calcular la capacidad sísmica para lograr la estabilidad estática, para lograr esto es necesario recurrir a los arriostramientos en acero de las estructuras en la mayoría de los casos.

Es por ello que surge la necesidad de este proyecto de investigación, que consiste en el “Estudio de pórticos arriostrados concéntricamente en V, V invertida y arriostramiento en K y su incidencia en el diseño de un edificio de acero de 7 pisos” para lo cual se utilizará un programa de elementos finitos, se analizará cada uno de los sistemas, se concluirá cuál de los tres sistemas estudiados en este proyecto se podrá optimizar en nuestro medio para que también se logre una optimización económica en el diseño de

estructuras con pórticos arriostrados concéntricamente

## **1.2 Justificación**

La importancia de darle estabilidad y resistencia a edificaciones de gran magnitud es uno de los principales objetivos en el diseño y construcción de las estructuras, de tal manera que los diseñadores estructurales invierten gran cantidad de recursos investigando y calculando los diferentes sistemas para darle la suficiente estabilidad y seguridad a la estructura, que aseguren la vida e inversión de las personas y más aún cuando se trata de edificios que tenga una gran ocupación con un gran número de personas [1].

Por ser los sistemas arriostrados uno de los métodos que se puede utilizan para brindar a la estructura resistencia al momento de que está tenga una gran inestabilidad existe la necesidad de estudiar tres tipos de arrostramiento como son en V, V invertida y en K [2].

Sin embargo, un factor importante a la hora de seleccionar un sistema adecuado de arriostramiento es el tema económico, mediante el cual se determina si es viable o no para la construcción.

Este estudio es importante debido a que significa un aporte para estructuras que tengan la necesidad de utilizar arriostramientos, que permitan la protección adecuada de las edificaciones que se vayan a construir, además de que proveerá al diseñador estructural la información necesaria para la evaluación de diferentes estructuras, y el sistema de arriostramiento más adecuado para la misma [3].

Por lo antes mencionado se realizó un estudio técnico comparativo para una edificación entre los sistemas arriostrados, evaluando las ventajas y desventajas de cada sistema analizado por lo que para cada uno se estudió su comportamiento y eficiencia. Analizando el diseño de un edificio en acero con pórticos arriostrados concéntricamente

en V, V invertida y arriostramiento en K.

Este trabajo implica aspectos sociales y económicos, sociales ya que tendrá un gran aporte a la comunidad de ingeniería civil al momento de diseñar este tipo de estructuras con arriostramientos, que le permitirá escoger el más adecuado según su estructura, e implicará de manera económica ya que también se analizará cuál de los tres sistemas tratados permitirá obtener una optimización adecuada del material y por ende un ahorro económico.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Analizar el diseño comparativo de un edificio en acero con pórticos arriostrados concéntricamente en V, V invertida y arriostramiento en K en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

#### **1.3.2 Específicos**

- Realizar el diseño sismo resistente para los sistemas arriostrados concéntricamente en V, V invertida y k.
- Determinar el modelo estructural apropiado que satisfaga las solicitaciones requeridas para el adecuado diseño de una edificación.
- Comparar el desempeño estructural de los pórticos arriostrados concéntricamente en V, V invertida y K
- Realizar un análisis económico de los sistemas estructurales en acero estudiado, estableciendo ventajas y desventajas entre los tres sistemas constructivos.

## **CAPITULO II**

### **ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

#### **2.1 Estructuras Metálicas en Ecuador**

En la actualidad las estructuras metálicas son cada vez más utilizadas en la construcción de viviendas, edificios, centros comerciales, etc., en nuestro país esto se debe a algunas ventajas, tales como: gran luz, pequeña sección de columnas, peso estructural, fácil montaje y rápida ejecución.

La gran mayoría de las edificaciones en nuestro país están construidas con hormigón armado, y sus buenas propiedades estáticas han ocupado un lugar destacado en el campo de la construcción a lo largo del tiempo; pero en los últimos años, los constructores no han dudado en utilizar nuevos materiales como el acero y aprovechar estos. Los materiales ofrecen ventajas estructurales y arquitectónicas a las estructuras cambiantes.

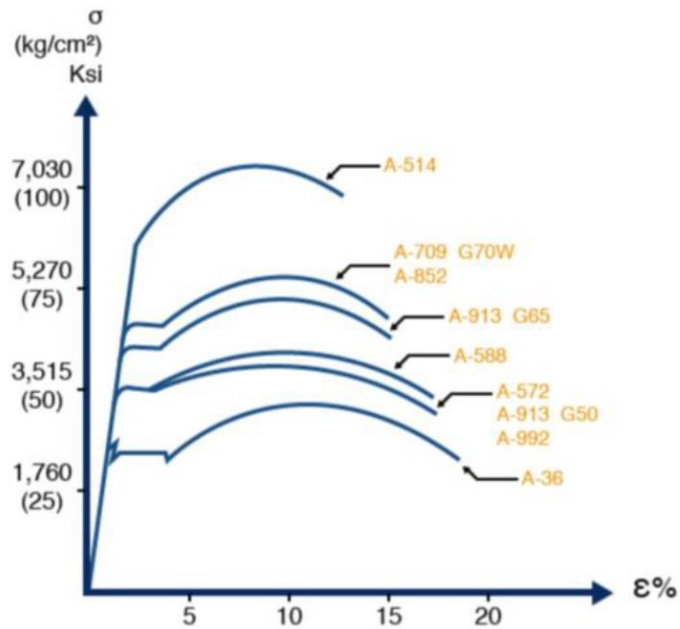
En la industria, el tiempo es un factor fundamental en su desarrollo, ya a la hora de realizar una obra, cuanto menor sea los rubros, mayor será el rendimiento y la ganancia.

El uso de estructuras metálicas en la construcción hace que la implementación de edificios prefabricados sea más industrial, por lo que es muy importante comenzar a calcular, diseñar y construir estructuras metálicas a gran escala [4].

#### **2.2 El acero como material**

Existen diferentes tipos de acero con los que se puede trabajar para las estructuras, entre ellos los más comunes son el acero ASTM A992, ASTM A572 y ASTM A36 [5].





**Figura 1:** Gráfica de esfuerzo vs deformación para distintos tipos de acero estructural [5].

**Tabla 1:** Esfuerzo de fluencia para el acero ASTM A36 [5].

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS, SEGÚN ASTM	LÍMITE ELÁSTICO		TENSIÓN DE ROTURA	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa
ASTM A36	36	250	58 - 80	400 - 550
ASTM A53 / Grado B	35	240	> 60	> 415

### 2.3 Ventajas del acero como material de construcción.

Teniendo en cuenta su alta resistencia, peso ligero, facilidad de fabricación y otras propiedades deseables, este metal puede ser el más versátil de todos los materiales de construcción, y su supuesta perfección parece más plausible.

Estas y otras ventajas del acero se describen a continuación:

Alta resistencia: La alta resistencia por unidad de peso del acero significa que la

estructura será relativamente liviana; esto es importante para puentes de gran luz, edificios de gran altura y estructuras con malas condiciones de cimentación.

Uniformidad: Las propiedades no cambian significativamente con el tiempo, al igual que las estructuras de hormigón armado.

Elasticidad: el acero se comporta más de cerca en su diseño que la mayoría de los materiales, gracias al hecho de que obedece la ley de Hooke bajo cargas bastante altas. El momento de inercia de las estructuras de acero se puede calcular con precisión, mientras que el momento de inercia de las estructuras de hormigón armado es relativamente inexacto.

Durabilidad: si las estructuras de acero se mantienen adecuadamente, durarán indefinidamente. Los estudios del acero moderno muestran que, bajo ciertas condiciones, no se requiere mantenimiento periódico de pintura.

Ductilidad: La ductilidad es la propiedad de un material para resistir grandes deformaciones bajo un alto esfuerzo de tracción sin fallar. Cuando el acero bajo en carbono se somete a pruebas de tracción, aparecerá una reducción significativa del área y una gran elongación en el punto de falla antes de que ocurra la fractura. Es probable que los materiales sin esta propiedad sean duros y quebradizos, y se romperán si se someten a un golpe repentino.

Para componentes normalmente cargados, aparecen altas concentraciones de tensión en varios puntos. La ductilidad del acero estructural ordinario le permite ceder localmente en estos lugares, evitando fallas prematuras. Otro beneficio de las estructuras dúctiles es que su gran deformación bajo sobrecarga proporciona una indicación visual de falla inminente.

Tenacidad: Los aceros estructurales son duros, lo que significa que son resistentes y dúctiles. Los elementos de acero sometidos a grandes deformaciones aún pueden

soportar grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante ya que significa que los elementos de acero pueden soportar muchas deformaciones durante su formación y montaje sin romperse, y pueden doblarse, martillarse, cortarse y taladrarse sin ningún daño apreciable. La propiedad de un material de absorber mucha energía se llama tenacidad.

Ampliaciones de estructuras existentes: Las estructuras de acero son ideales para posibles ampliaciones. Las estructuras de acero existentes se pueden complementar con nuevos compartimentos o incluso con alas enteras, y los puentes de acero a menudo se pueden alargar [6].

Para analizar el comportamiento de carga de los arriostramientos, es necesario considerar la eficiencia de su sección transversal. Las diagonales de sección cuadrada o circular presentan ciertas ventajas frente a las diagonales de sección en I o en U, principalmente económicas, ya que se reduce la cantidad de material utilizado, pero no necesariamente representa un mejor comportamiento estructural, además, de que su conexión es más compleja de realizar.

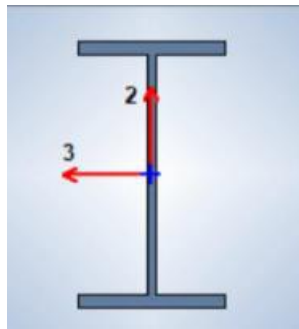
También es importante analizar la compacidad de la sección, que se mide por el alargamiento, parámetro que está directamente relacionado con posibles problemas de pandeo en el pilar, por lo que elementos más compactos tienen mayor capacidad de disipación de energía y evitan el pandeo debido por lo que evitan grandes deformaciones y fracturas [7].

### **Secciones tipo W**

Las secciones tipo "W" debido a sus propiedades geométricas tienen la cualidad de proporcionar una alta resistencia a la flexión, axial o cortante. Para utilizar estas secciones deben cumplir con los requisitos de compacidad del alma y del ala de la norma AISC 360-16 en la Sección B4, el hecho de que las secciones no sean compactas permite que se genere pandeo local en cualquiera de sus componentes. También es

importante enfatizar que todas las secciones "W" de este diseño deben ser consideradas para laminación en caliente, si se utilizan secciones "combinadas", los requisitos de AISC 341-16 cambiarán. El pandeo local provoca una rápida disminución de la resistencia de la sección a las cargas axiales y de flexión, y también produce grandes deformaciones locales que pueden conducir a la fractura debido a la deformación inelástica bajo carga cíclica.

Esto debe evitarse a toda costa, ya que los elementos que aportan rigidez lateral en el caso de pórticos arriostrados concéntricamente son los arriostramientos de rigidización, que pueden llegar a fallar si no se puede evitar el pandeo local y limitar su uso a perfiles compactos la estructura colapsaría porque el arriostramiento en este caso, es el que proporciona rigidez a todo el edificio o estructura [5].



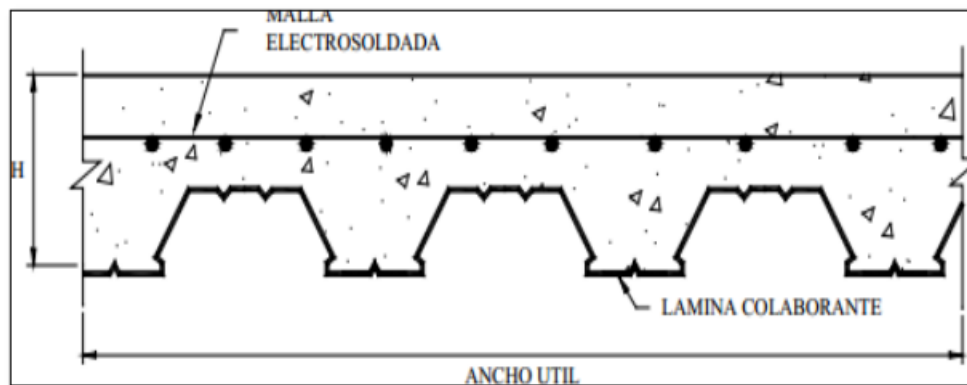
**Figura 2:** Secciones Tipo W [5].

#### **2.4 Losa Compuesta reforzada con lámina de acero**

Según Jara, J (2016), este método forma parte de un sistema de forjado de entrepiso formado por placas de acero conformadas en frío y losas de hormigón armado coladas sobre dichas placas de acero, que actúan como un todo y forman una pieza compuesta. Las placas de acero se utilizan como encofrado para el vertido de losas de hormigón, así como refuerzo positivo para las losas una vez fraguado el hormigón. Por eso se llama palcas colaborantes. La colocación de la malla de refuerzo tiene como finalidad absorber los efectos de la retracción de fraguado del hormigón y los cambios térmicos que se producen en el sistema. La malla es efectiva en el control de grietas, especialmente si está cerca de la superficie superior de la losa.

## 2.5 Comportamiento estructural

Según Jara, J (2016), las placas colaborativas constituyen el refuerzo positivo de la losa de piso. Una vez endurecido, el concreto y la losa trabajan juntos para resistir la carga. La interacción de los elementos está formada por la unión adhesiva de la superficie entre el concreto y el acero; así mismo, las restricciones impuestas por la forma de la placa colaborante a través de prominencias en las superficies, hendiduras o dispositivos de transferencia de corte, como pernos espaciados uniformemente o líneas de intersección, el mecanismo produce otras interacciones. Además, en una la losa de placa colaborante, ya sea las vigas de acero o de hormigón armado que la sostienen deben conectarse fácilmente entre sí mediante conectores de cortante para producir una sola unidad estructural curva [8].



**Figura 3:** Esquema de placa colaborante

## 2.6 Tipos de pórticos en acero

Pórticos Especiales de Momento (SMF): Están diseñados para que puedan incursionar en el rango inelástico con alta disipación de energía y ductilidad y, para lo cual se requiere un estricto control de fallas frágiles, presentando los detalles sísmicos más exigentes según los estándares utilizados en áreas de alta ductilidad.

Marcos de Momento Intermedio (IMF): Están diseñados para poder entrar en el rango inelástico con ductilidad y disipación de energía moderadas, por lo que es necesario

limitar la creación de fallas frágiles. Se utiliza en áreas con actividad sísmica moderada.

Marcos de momento arriostrados concéntricos especiales (SCBF): están diseñados para ser estables en el rango inelástico con ductilidad moderada y disipación de energía requerida para limitar el inicio de falla frágil, de acuerdo con el estándar.

Un aspecto fundamental de este tipo de pórticos es que se logra una deformación esencialmente controlada mediante el corte del marco, presentando pandeo en las riostras de compresión, las cuales deben poder recuperarse para obtener una tracción adecuada bajo cargas alternas.

Marco con arriostramiento de pandeo restringido: Un arriostramiento de pandeo restringido está formado por una barra central con un revestimiento deslizante o antiadherente, este elemento se inserta en un tubo exterior que actúa como una cubierta metálica rellena con mortero de cemento (lechada). De esta manera, el pandeo local y global del núcleo central puede restringirse tanto en tracción como en compresión.[9]

## **2.7 Tipo de conexión**

Según el Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC, 2016), el comportamiento y tipo de conexión se define generalmente por una relación momento-rotación. Los códigos AISC clasifican las conexiones según su relación momento-rotación.

a) Conexión simples. - aquellos que no transmiten momentos y deben permitir la rotación relativa de los miembros de conexión.

b) Conexión de momento. - Estas conexiones, como su nombre lo indica, son capaces de transferir momentos entre elementos conectados, los cuales se clasifican en:

➤ Completamente restringido (FR). - Son conexiones lo suficientemente rígidas y con un grado de sujeción tal que no permiten la rotación entre los componentes conectados.

- Parcialmente Restringido (PR). - Esta conexión transmite momentos, pero no es lo suficientemente rígida para mantener la rotación o ángulo original entre los elementos conectados [10].

## **2.8 Comportamiento estructural de arriostramientos**

Los apoyos concéntricos son componentes estructurales utilizados para disipar energía mediante el desarrollo de deformaciones de tipo inelástico. Es importante comprender el comportamiento de estos elementos bajo cargas axiales cíclicas, examinando las respuestas que se dan en términos de carga axial, desplazamiento axial y desplazamiento lateral en el centro del apoyo [11].

Según lo señalado por Ugel R. [12], El uso de pórticos concéntricos representa una muy buena solución estructural para proporcionar resistencia y rigidez lateral en edificios de baja y mediana altura. Las acciones laterales de los sismos generan fuerzas axiales en los miembros del marco de arriostramiento. En estos sistemas, es conocido por su alta rigidez lateral, lo que permite un control suficiente del desplazamiento lateral para cumplir con los requisitos de diseño. En los códigos de diseño modernos, se considera que el arriostramiento se deforma inelásticamente en caso de un sismo severo, de modo que cuando ocurre un sismo, la estructura tiene la capacidad de disipar energía a través de ciclos sucesivos de fluencia causada por tensión y pandeo en compresión, es decir, la formación de rótulas plásticas en la región central y en los extremos de los soportes [12].

## **2.9 Características de los pórticos con arriostramiento en V, V invertida y K**

- Cuando la estructura responde en un estado elástico, las fuerzas axiales en los arriostramientos y vigas permanecen equilibradas.
- Cuando un arriostramiento de compresión se pandea, su resistencia disminuye en una cantidad y la fuerza axial en el tirante aumenta, creando una fuerza vertical en la viga. Los marcos con soportes en V invertidos son más desfavorables ya que las

fuerzas verticales resultantes aumentan los efectos de las cargas de gravedad, mientras que, en los pórticos con arriostramientos en V, dichas fuerzas se contrarrestan.

➤ Por lo tanto, fortalecer los marcos en V con vigas débiles puede causar serios problemas bajo terremotos severos. Esto se debe a la presencia de rótulas plásticas en la viga y es lo que debe evitarse en el diseño antisísmico.

➤ Es necesario recalcar que debemos tener una viga resistente que pueda soportar las fuerzas creadas por la acción sísmica y la carga gravitatoria sin plastificarse [13].

## **2.10 Disposiciones especiales para diagonales en marcos arriostrados en “K”, “V” o “V” invertida**

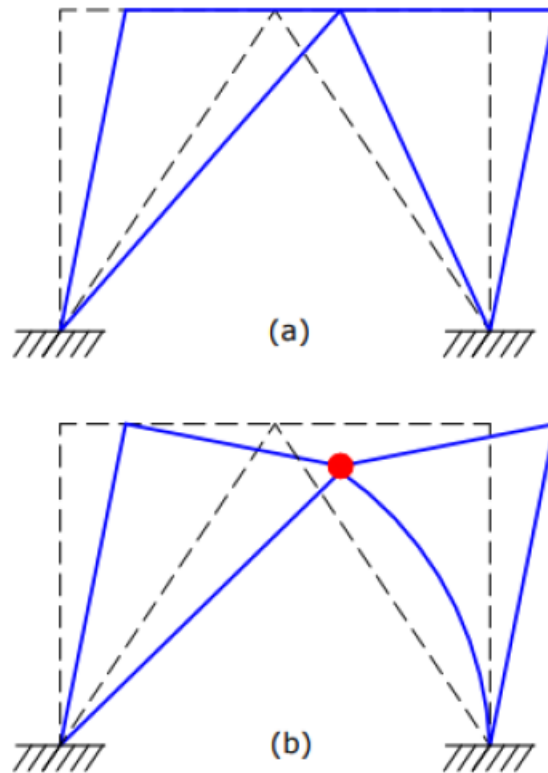
Las configuraciones de arriostramiento dispuestas en "K", "V" o "V" invertida (esta última también conocida como tipo Chevron) son muy utilizadas en edificaciones y estructuras industriales, aunque tienen algunas propiedades que deben ser consideradas en el diseño. Los vértices del arriostramiento no coinciden con uno de los nudos viga-columna del pórtico, sino que se conectan en la zona central de la viga. Cuando la estructura responde en el rango elástico, los valores absolutos de los esfuerzos axiales en los apoyos son iguales, como se muestra en la Figura 4.

Sin embargo, cuando el puntal de compresión se tuerce, su capacidad de resistencia disminuye, mientras que la fuerza axial en el puntal de tensión aumenta, creando una fuerza vertical en la viga. Una vez determinadas las fuerzas diagonales de tracción y compresión, podemos obtener la fuerza que llega a la viga simplemente aplicando la ecuación [1].

$$P_{un} = (P_t - P_c) * \text{sen } \alpha \quad \text{Ec. 1}$$

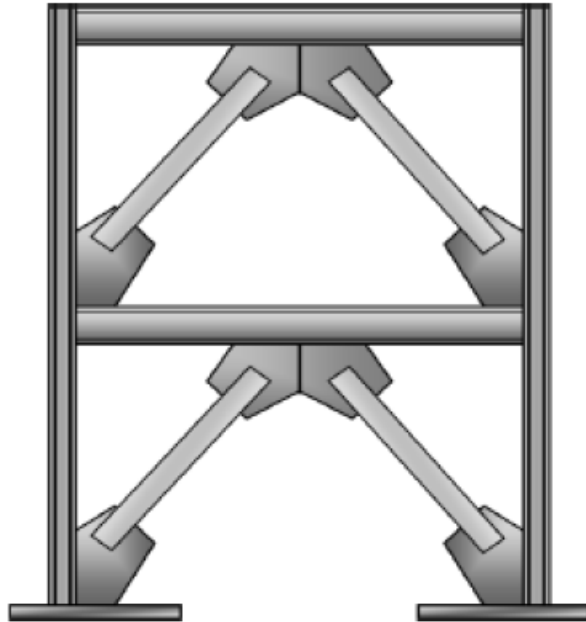
Donde  $\alpha$  es el ángulo de la inclinación de los dos miembros arriostrados respecto al eje horizontal.





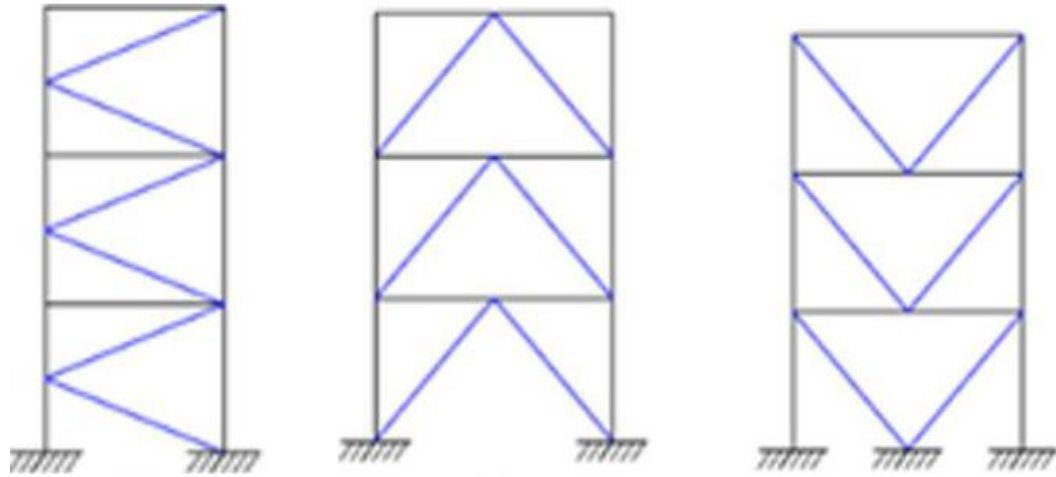
**Figura 4:** Pandeo global del arriostramiento en V invertida [14].

Según Borbor J., los sistemas estructurales se caracterizan por una alta rigidez lateral que permite un control adecuado del desplazamiento, y este tipo de pórtico se considera una solución efectiva para edificios de hasta 30 pisos. Las acciones sísmicas y de viento lateral inducen principalmente tensión axial y compresión en la estructura. El marco de arriostramiento se comporta como una viga de celosía en voladizo. Las columnas actúan como cordones de celosía y resisten principalmente momentos de volteo causados por cargas laterales. La viga y la diagonal actúan como el “alma” de la viga, resistiendo esfuerzos cortantes horizontales [15].



**Figura 5:** Pórticos arriostrados concéntricos [5].

Las diagonales se pueden organizar de acuerdo con diferentes configuraciones, como se muestra en la Figura 6. El marco especial arriostrado concéntricamente (SCBF) está diseñado para producir deformaciones inelásticas significativas, por lo que la disipación de energía puede ocurrir a través de la fluencia del refuerzo de tensión y el pandeo del refuerzo de compresión formando una rótula plástica en esta área. El comportamiento sísmico de las diagonales concéntricas se ve afectado por el pandeo del arriostramiento en compresión. La norma (ANSI/AISC 341-10) establece que la diagonal de tracción debe estar diseñada para resistir del 30% al 70% de las fuerzas sísmicas que actúan en un plano determinado [15].



**Figura 6:** Arriostramiento en K, V invertida y V [15].

### 2.11 Comportamiento estructural

Durante un evento sísmico, la aparición de grandes fuerzas horizontales provoca el comportamiento plástico en la estructura. Por ello depende mucho de la dirección de la carga, para que el arriostramiento actúe ya sea a tracción como a compresión, mismas que tienen mayor capacidad a tracción que a compresión. El desempeño deseado del sistema SCBF se basa en proporcionar un alto nivel de ductilidad del soporte para lograr una adecuada deriva inelástica. Estos marcos utilizan un diseño volumétrico, con los soportes actuando como el fusible del sistema. El SCBF desarrolla la resistencia y la rigidez lateral necesarias para garantizar el rendimiento estructural en terremotos pequeños y frecuentes, y además brinda las deformaciones inelásticas necesarias para garantizar la seguridad de las personas al evitar que la estructura se derrumbe durante los eventos sísmicos, las cuales están controlados por la fluencia por tracción, el pandeo y el pandeo de los soportes después de la deformación [16].

### 2.12 Aplicaciones

Por su gran capacidad de disipación de energía y rigidez lateral, se utilizan en ciudades con alto riesgo sísmico. Se puede aplicar a todas las geometrías posibles con grandes alturas. Se puede utilizar para la reparación de estructuras existentes, ya que se pueden ensamblar componentes de tamaño y peso relativamente pequeños. Son efectivos

alrededor de los perímetros de los edificios para controlar la respuesta torsional del edificio a los terremotos [16].

### **Ventajas**

- Moderada capacidad de disipar energía ante sismos.
- El arriostramiento de acero concéntrico se utiliza para la reparación sísmica de estructuras mediante la colocación de arriostramientos en estructuras de acero o de hormigón armado existentes.
- Poseen alta rigidez elástica [16].

### **2.13 Análisis estático**

El método estático consiste en diagramar la excitación sísmica a través de un sistema de fuerzas estáticas proporcionales a la carga gravitacional. El cálculo de la excentricidad estática requiere la determinación de las coordenadas del centro de rigidez, pero es difícil de determinar para edificios de varios pisos porque los programas comerciales existentes generalmente no implementan este método y fórmula matemática.

Hay otras simplificaciones que requieren un modelo equivalente que represente la estructura como por ejemplo en la Norma NEC-15 se señala que, para el cálculo de estructuras convencionales, ya sea en planta o ya sea en elevación, se puede utilizar el método estático para determinar el esfuerzo cortante. Para todas las estructuras, el uso de un enfoque basado en estática se considera un requisito mínimo.

### **2.14 Análisis dinámico**

El análisis dinámico implica analizar las fuerzas, velocidades, desplazamientos, y aceleraciones que ocurren en una estructura debido a las deformaciones que ocurren en la estructura.

Mencionado en la NEC-15, describe los métodos mediante los cuales se pueden obtener

fuerzas de corte estáticas o dinámicas para calcular estructuras en el cual el método elegido depende de la configuración estructural de la planta y el alzado.

Los métodos dinámicos se utilizan para calcular irregularidades en vistas en planta y en elevación. El espectro de diseño para la aceleración  $S_a(T)$  está determinado por la aceleración sísmica máxima del suelo. Este procedimiento debe ser utilizado para todo tipo de estructuras irregulares [17].

En la actualidad ha venido cobrando importancia la posibilidad de estudiar la respuesta de las estructuras cuando estas incursionan en la respuesta no lineal. A medida que los procesadores han permitido un análisis más veloz, se han podido desarrollar aplicaciones que permiten incorporar la no linealidad tanto geométrica como constitutiva de las estructuras. Entre los modelos de no linealidad, los modelos que consideran esta de forma distribuida a lo largo de los elementos han ido sustituyendo progresivamente los modelos de no linealidad concentrada, basados principalmente en la definición de nodos con comportamiento especial conocidos como rotulas plásticas [18].

Según Faddoul E, el diseño sísmico es uno de los factores más importantes a considerar cuando se diseña una estructura. Los esfuerzos generados por estos fenómenos pueden afectar a la estructura, provocando grandes deformaciones que pueden llegar al colapso. Para evitar este problema, se desarrollaron miembros denominados arriostramientos, que son componentes estructurales que se utilizan para aumentar la rigidez de la estructura y su capacidad de soportar cargas laterales, reduciendo así la deformación de sus miembros.

Aunque las normas venezolana y estadounidense tienen secciones dedicadas al diseño de arriostramientos, no recomiendan ni especifican qué tipo de arriostramiento se debe usar en cada caso. Por estas razones, el objetivo principal de esta especialización fue estudiar el papel del arriostramiento en las estructuras de marcos de acero para sacar conclusiones y recomendaciones que ayuden a los ingenieros estructurales a diseñar

estructuras de marcos de acero de manera correcta y eficiente para garantizar su estabilidad lateral. Para lograr el objetivo, se definió como un estudio de literatura, basado en una revisión de la literatura técnica sobre el diseño y comportamiento de estructuras de acero según el método de estado límite y las normas sísmicas correspondientes, teniendo también en cuenta los problemas de arriostramiento, varios artículos técnicos y bibliografía técnica sobre el tema, recopilación de información necesaria para el desarrollo conceptual de TEG y varios ejemplos que detallaron el efecto del arriostramiento en estructuras de marco de acero [19].

### **2.15 Peligro Sísmico**

En Ecuador, las estructuras están expuestas a un alto riesgo sísmico, existiendo dos fuentes principales de riesgo sísmico, la subducción de placas o el fallamiento cortical; según Ochoa (2020), esto se debe a que el país se ubica en la microplaca “Bloque Andino”, forma parte de la placa sudamericana, que a su vez interactúa con las placas de Nazca, Cocos y Caribe, además menciona que el movimiento en esta zona es de unos 50/60 mm por año. Por otro lado, la parte sur del país se encuentra sobre la Placa Sudamericana, que interactúa con la Placa de Nazca. Este proceso en la zona sur del país se da por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, tanto en diferentes momentos en la zona norte como en la zona sur del país, fenómenos naturales que liberan energía de manera repentina, produciendo sismos de diferentes magnitudes.

Por estas razones mencionadas anteriormente, se utiliza el espectro de diseño proporcionado por NEC-15 como una herramienta básica y autorizada para establecer las condiciones necesarias para el diseño de espectro en el país. Finalmente, para el diseño de estructuras, dado que se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico y puede verse afectada por fenómenos de subducción o fallas corticales, solo se permite el tipo SCBF (Special Concentric Braced Frame), ya que también incluye la presencia de marco OCBF (Marco Arriostrado Concéntrico Ordinario), pero estos no requieren mucha deformación inelástica de los arriostramientos, por lo que se omitieron como una opción de diseño [5].

Según indica Vielma, J estudió los proyectos sísmicos que han permitido adaptar herramientas se pueden caracterizar y estudiar con más detalle el comportamiento de diferentes edificios durante eventos sísmicos y conlleva al diseño de edificios con susceptibilidad reducida a los terremotos, lo que se entiende como un factor de riesgo interno para edificios en zonas sísmicas. Obviamente, el nivel de los estándares de diseño tiene un impacto crucial en la vulnerabilidad sísmica del edificio del proyecto. El uso de técnicas computacionales aumenta la velocidad y la precisión de los estudios de construcción para cumplir con los requisitos reglamentarios de resistencia y desplazamiento máximo. Al incluir un espectro de diseño basado en un factor de reducción, la estructura se puede calcular asumiendo un comportamiento lineal. Este análisis correspondió a la primera fase de proyecto, que permite definir la geometría de los elementos constructivos [18].

### **2.16 Espectro elástico de diseño**

El espectro de diseño para un sismo con un tiempo de recurrencia de 475 años, se representa con una probabilidad mayor al 10% en 50 años, es calculado y graficado de acuerdo a la norma ecuatoriana de construcción NEC 2015, que a su vez se basó en la norma americana ASCE 7 -10. En cuanto a la componente horizontal, se puede señalar que el espectro de respuesta elástica de la aceleración  $S_a$ , expresada como un segmento de la aceleración gravitacional al nivel sísmico de diseño, también debe ser consistente con el factor de zona sísmica  $Z$ , el valor del suelo y factores de amplificación del suelo de la estructura. En la figura N°9 se puede apreciar el sismo de diseño formado por la fracción de aceleración de la gravedad en su eje vertical, mientras que el período en su eje horizontal que ayudó en el análisis del diseño de la estructura lo que se utilizó para analizar la estructura [20].

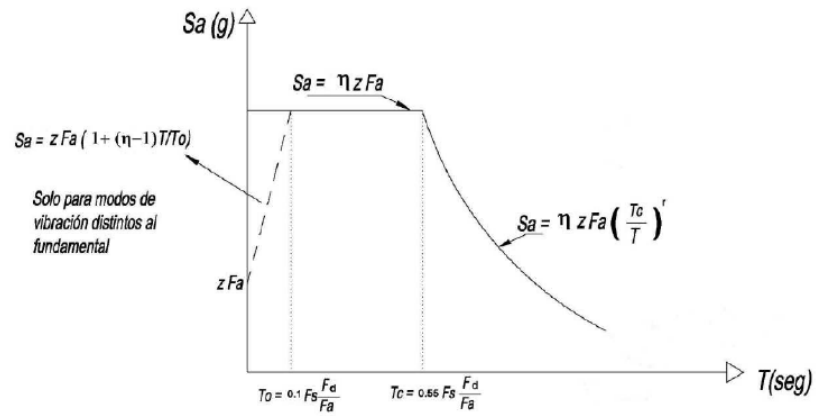


Figura 7: Espectro sismo elástico de aceleración [20].

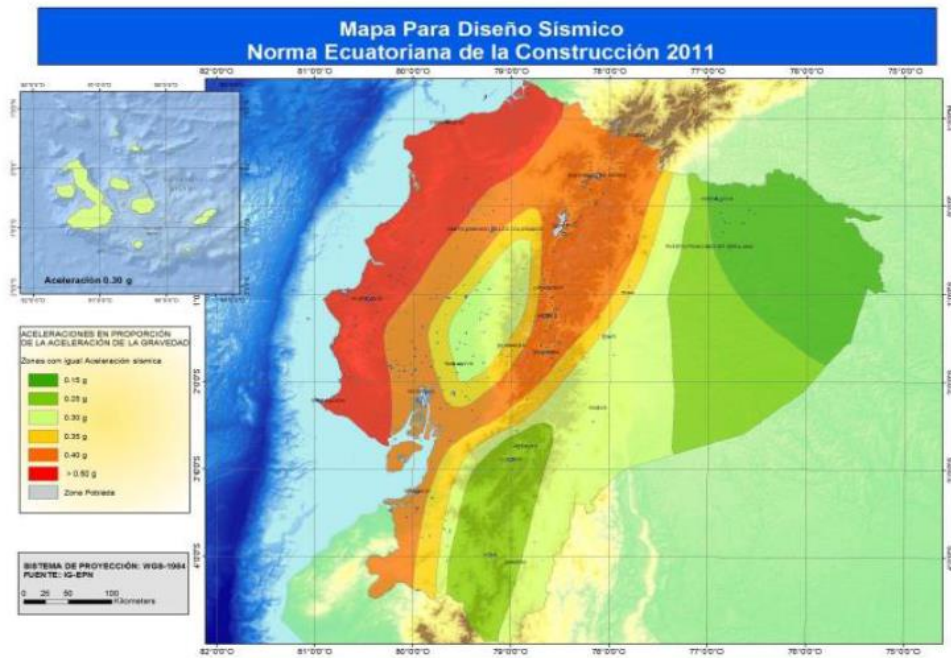


Figura 8: Zonas sísmicas en Ecuador [20].

Tabla 2: Valores del factor Z [24]

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta



## 2.17 Deriva

Para controlar el desplazamiento lateral se suele utilizar el desplazamiento relativo de la planta, que se define como la diferencia entre los últimos desplazamientos horizontales correspondientes a las plantas superior e inferior de la planta. Por lo tanto, el desplazamiento relativo del piso “i” de la estructura viene dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1} \quad \text{Ec. 2}$$

donde  $\delta_i$  y  $\delta_{i-1}$  corresponden a los desplazamientos laterales límite de las plantas superior e inferior de la i-ésima planta, respectivamente. Así nació el concepto de deriva de piso, que se utiliza para controlar el desplazamiento lateral, ya que su valor suele estar limitado en las normas de diseño sísmico de todo el mundo. La deriva de la i-ésima planta se define como sigue:[21]

$$\text{Drift}_i = \frac{\Delta_i}{h_i} \quad \text{Ec. 3}$$

## 2.18 Relación daño-deriva

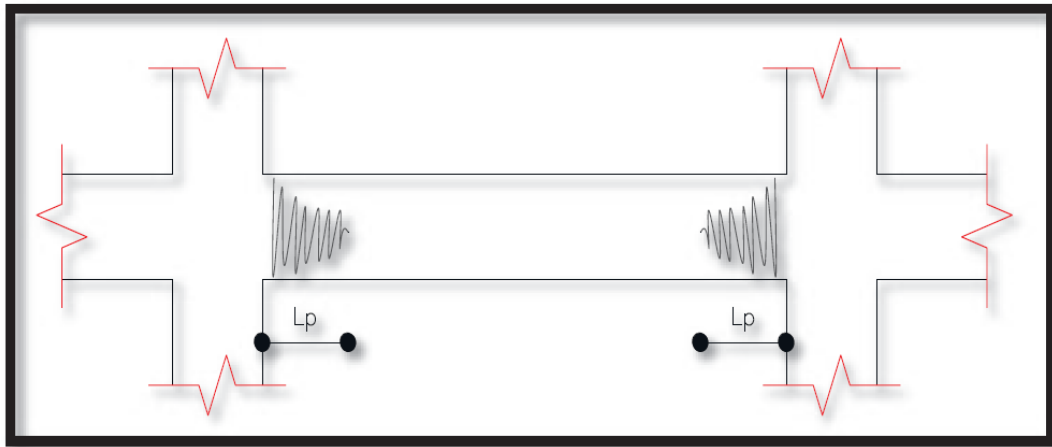
Según Navarro, 2017, se ha demostrado que los daños a los edificios son principalmente en función del desplazamiento más que a de la fuerza. De esto se deduce que a medida que la estructura entra en el rango inelástico, el aumento del daño se debe al aumento del desplazamiento, incluso con las fuerzas que actúan sobre ella se mantiene constante. La experiencia sísmica acumulada en los últimos años ha demostrado que cuanto mayor es el desplazamiento inelástico en la estructura, mayor es el daño, así como también son las probabilidades de colapsar [22].

## 2.19 Formulación de las rotulas plásticas

Cuando ocurre un evento sísmico, se estima que el comportamiento inelástico en las estructuras formadas por rótulas plásticas suele concentrarse en las regiones donde se presenta un alto esfuerzo sísmico y corresponde a las regiones adyacentes de las vigas en los nudos.

Normalmente se considera la zona de daño equivalente donde se concentran todas las deformaciones elásticas. Esta región se denomina rótula plástica y corresponde a la longitud " $L_p$ ", como se muestra en la Figura 1.3, la longitud efectiva " $L_p$ " se aproxima a 0,4 a 0,5 veces la profundidad del elemento, y también se supone que la curvatura es constante sobre esta longitud.

Para el modelo matemático analizado en este proyecto, las rótulas plásticas para elementos viga-columna se definen como el 5% y el 95% de la longitud total del elemento, respectivamente. El supuesto que debe satisfacer el modelo es que las conexiones viga-columna no han fallado [23].



**Figura 9:** Rótulas plásticas [23].

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Ubicación

El proyecto se realizó en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi en Ambato, Ecuador

Debido a que el proyecto se realizó en la ciudad de Ambato, cabe recalcar algunos aspectos importantes de la ciudad, misma que es la capital de la provincia de Tungurahua, está ubicada a 2.600 metros sobre el nivel del mar en una hondonada formada por seis mesetas de Píllaro, Quisapincha, Tisaleo, Quero, Huambalo y Cotaló. La ciudad es conocida como Jardín del Ecuador, Tierra de las Flores y de las Frutas del Ecuador, también conocida como la Ciudad de los tres Juanes por ser la cuna de Juan León Mera, Juan Montalvo y Juan Benigno Vela. Después de un gran terremoto en 1949, Ambato tuvo que ser reconstruida casi por completo, para después de aquello dar comienzo a la Fiesta de las Flores y de las Frutas, para celebrar las luchas de sus habitantes después de aquel terremoto, y hoy es una de las fiestas más importantes del Ecuador, a la que asisten delegaciones de varios países.

Con referente al clima de la ciudad de Ambato, es un clima templado ya que se encuentra en un estrecho valle andino; la ciudad se divide en 3 regiones; Sur, Centro y Norte; y su temperatura va de 10 y 25 °C

En el censo de 2010 contaba con 165.185 habitantes, lo que la convertía en la décima ciudad más poblada del país. La ciudad de Ambato es la capital de la provincia de Tungurahua, que también se compone de parroquias tanto urbanas como rurales. La provincia con 489.537 habitantes, ocupa el quinto lugar entre las provincias del Ecuador.



**Figura 10:** Ubicación del proyecto

### **3.2 Equipos y materiales**

Para el cálculo y diseño de las estructuras se utilizó un software especializado en el análisis de estructuras conforme a la normativa NEC 2015 y la AISC 360-10.

#### **Recursos Materiales**

- Internet.
- Computadora.
- Software especializado en estructuras.
- Normativas.

**Tabla 3:** Especificaciones de los recursos materiales

<b>Recursos Materiales</b>	<b>Especificaciones</b>
Computadora.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tarjeta de Vídeo: 16 GB</li><li>• Capacidad de disco duro: 2000 GB</li><li>• Modelo del procesador: i7</li></ul>
Software especializado en estructuras	<ul style="list-style-type: none"><li>• Software especializado</li></ul>
Normas.	<ul style="list-style-type: none"><li>• NEC 2015</li><li>• Norma ANSI/AISC 360</li></ul>

### **3.3 Tipo de investigación**

#### **Tecnológico:**

El tipo de investigación es tecnológico ya que se utilizó un software especializado en estructuras para poder obtener los resultados deseados conforme a la normativa NEC 2015 y AISC 360

#### **Aplicada:**

El tipo de investigación también fue aplicada ya que se requirió de conocimientos basados en estructura metálica específicamente en el área de pórticos arriostrados concéntricamente de acuerdo a las normativas mencionadas anteriormente y que dicha información importante pueda ser utilizada por los mismos profesionales.

### **3.4. Prueba de Hipótesis**

¿El estudio de pórticos arriostrados concéntricamente en V, V invertida y arriostramiento en K incide en el diseño de un edificio en acero de 7 pisos?

### **3.5 Población o muestra:**

#### **Población:**

Estructuras arriostradas concéntricamente

#### **Muestra:**

Las estructuras arriostradas concéntricamente son de vital importancia, son empleados en edificios de gran altura, ya que nos permite disminuir la excentricidad, además de brindar rigidez a la estructura pudiendo controlar los desplazamientos.

Es por ello que se escogió tres tipos arriostramientos concéntricos.

- Arriostrados concéntricamente en V.
- Arriostrados concéntricamente en V invertida.
- Arriostrados concéntricamente en K.

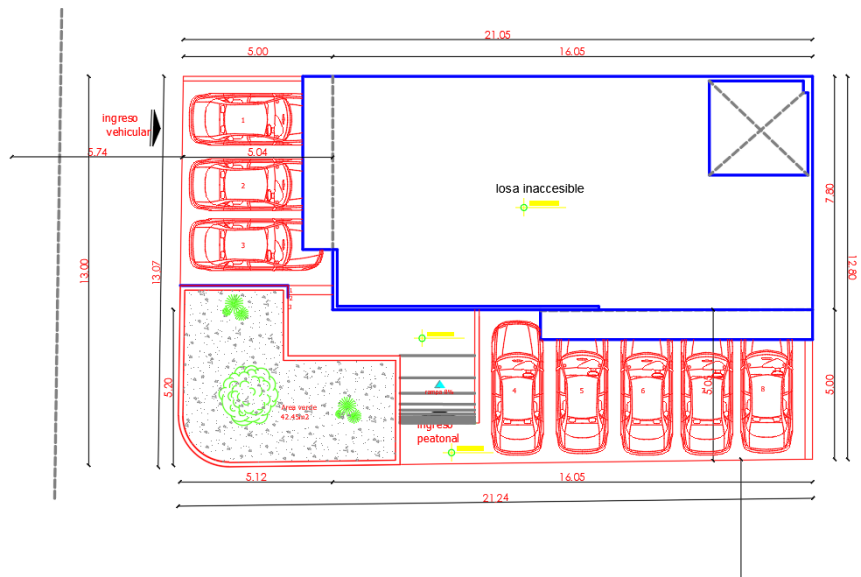
### **3.6 Recolección de información:**

El presente trabajo de investigación se sustentó mediante la aplicación de normas ecuatorianas y extranjeras que rigen nuestro país:

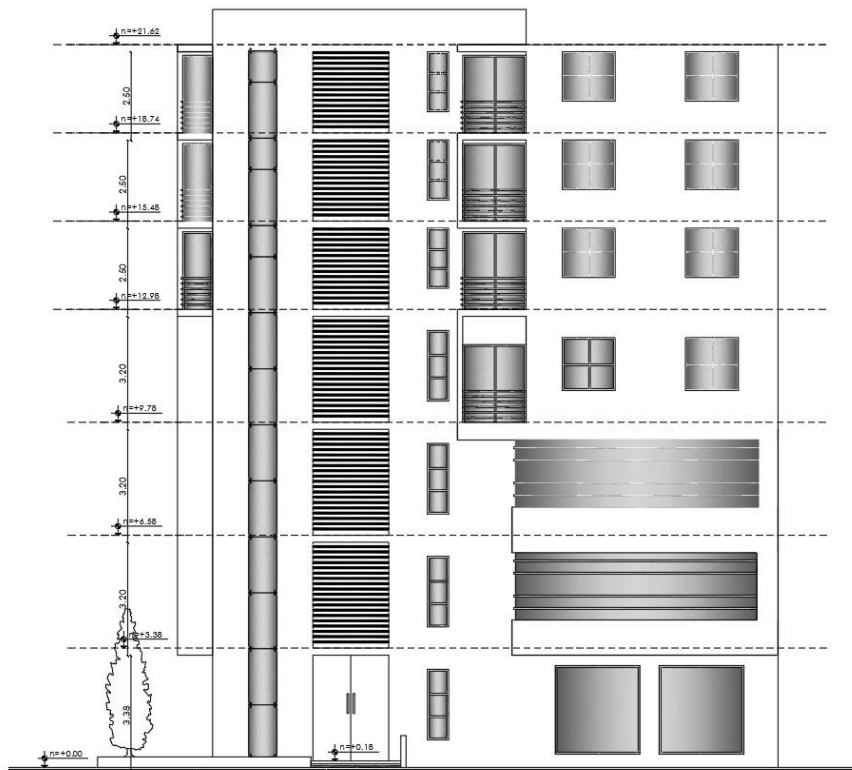
La recolección de información se utilizó a través de las siguientes normativas:

- NEC-SE-AC 2015: Norma Ecuatoriana de la construcción. Estructuras de acero.
- ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings.

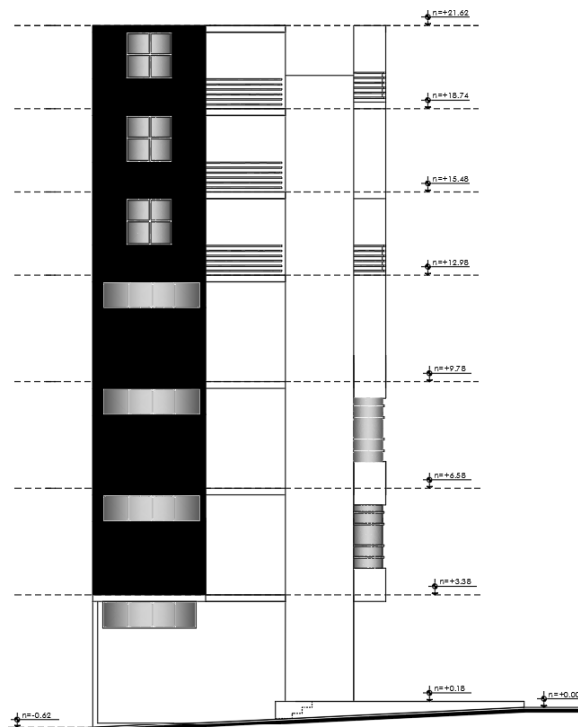
Para partir de un análisis estructural, es necesario comprender los conceptos, normativas antes mencionadas, antecedentes y toda la información bibliográfica requerida para el diseño sísmico, con énfasis en estructuras metálicas, considerando los conceptos más relevantes que se utilizó en este trabajo de investigación. Con el objetivo de potenciar un buen diseño para que las estructuras tengan el comportamiento sísmico correcto es necesario obtener el plano de planta del edificio que nos permita ver la propuesta, conocer la ubicación y sección de los elementos estructurales, así como la ubicación de los elementos no estructurales. A continuación, se adjunta la implantación y la elevación del edificio; sin embargo, los planos del edificio, las secciones y más detalles se adjuntan en el Anexo 2.



**Figura 11:** Implantación de edificio de 7 pisos



**Figura 12:** Fachada frontal del edificio de 7 pisos



**Figura 13:** Fachada lateral del edificio de 7 pisos

### 3.7 Procesamiento de la información y análisis estadístico

En los planos arquitectónicos se puede apreciar su funcionalidad arquitectónica y los impedimentos estructurales, conociendo su implantación en el terreno, se propone utilizar estructura metálica en la edificación. Debido a que el acero es más liviano que el hormigón y debido también a que la estructura debe ser sismorresistente en su diseño estructural, se opta en el uso de arriostramientos concéntricos con la finalidad de aportar mayor rigidez y controlar las derivas de piso en dicha estructura

Es necesario ser conservador al momento de cuantificar cargas debido a que juegan un papel fundamental a la hora de diseñar la estructura, la edificación tiene un buen comportamiento estructural cuando estas cargas son transmitidas adecuadamente hasta el suelo. Como se puede observar en los planos arquitectónicos (Anexo 2) cada nivel tiene una ocupación, área y distribución de ambientes diferente por lo cual en cada piso se tienen diferentes valores de cargas vivas, cargas muertas y adicionales de cargas, en la Tabla 14, se encuentra un resumen de las cargas gravitacionales que se



utilizan para realizar el análisis lineal del edificio mediante el software.

Para la cuantificación de la carga muerta se considera el peso de la losa, paredes, instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, instalaciones de agua potable, muebles y accesorios, por otro lado, se utiliza la tabla 9, de la NEC-SE-CG-15 para la cuantificación de carga viva que el edificio soportará. La memoria de cálculo de cargas se encuentra en el Anexo 3.

Se debe ser conservador en la cuantificación de las cargas ya que juegan un papel fundamental en el diseño de la estructura, los edificios tienen buen comportamiento estructural cuando estas cargas se distribuyen correctamente al suelo. Como se puede ver en el plano del edificio (Anexo 2), cada piso tiene una ocupación, área y distribución diferentes, y cada piso tiene una carga viva, una carga muerta y un aumento de carga diferentes. La Tabla 14, muestra un resumen de las cargas de muertas y vivas calculadas para un análisis lineal del edificio utilizando el software. Para la cuantificación de las cargas muertas se consideran los pesos de pisos y paredes, en cambio para la carga viva se utiliza la Tabla 9 de la NEC-SE-CG-15

Tabla 4: Resumen de cargas gravitacionales por cada piso

Peso de losa nervada por m <sup>2</sup> (carga muerta)	432,6	kg/m <sup>2</sup>
Peso de paredes de ladrillo por metro lineal	556,8	kg/m
Longitud de paredes por metro lineal	105	m
Área de construcción	137,16	m <sup>2</sup>
Carga muerta adicional por m <sup>2</sup> (entrepisos)	426,4	kg/m <sup>2</sup>
Carga muerta adicional (Terraza)	50	kg/m <sup>2</sup>
Carga viva	200	kg/m <sup>2</sup>
Carga viva de terraza	80	Kg/m <sup>2</sup>

### 3.7.1 Cargas sísmicas

El edificio es considerado como una estructura especial que se ubica en una zona de alta peligrosidad sísmica por lo que se debe realizar un diseño sismo resistente, aplicando un espectro de diseño con un periodo de retorno de 475 años ver la Figura 43, en la Tabla 15, se detalla los valores asumidos que establece NEC-SE-DS 2015 (peligros sísmicos) para el cálculo del diseño, donde considera la ubicación, zona sísmica, tipo de suelo, factores y coeficientes, la memoria de cálculo se encuentra en el Anexo 5.

El edificio en estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Ambato, que es una zona de alto riesgo sísmico, y por lo tanto deben ser diseñadas para resistencia sísmica, se aplicó un espectro de diseño con un período de retorno de 475 años ver la figura 43, y en la tabla 15, se detalla los valores tomados de la NEC-SE-DS 2015 (peligros sísmicos) para el cálculo del diseño, que considera la ubicación, zona sísmica, coeficientes y factores del tipo de suelo que se detallan a continuación.

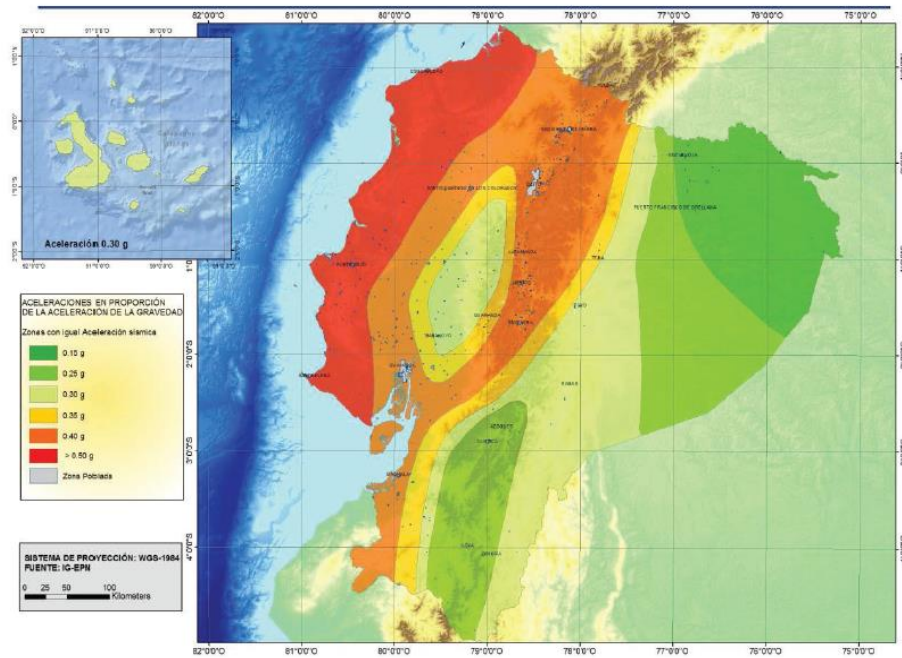
**Tabla 5:** Categoría de edificio y coeficiente de importancia I [24].

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente 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 anti-incendio. 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

$$I=1$$

En la tabla dada por la NEC, es necesario identificar la categoría del edificio, para posteriormente identificar el coeficiente I (Importancia), en el caso del edificio de estudio se trata de una categoría de “Otras estructuras”, por lo tanto, tiene un coeficiente I de 1.0, debido a que en la mayoría de los pisos se trata de departamentos.

### 3.7.2 Características de la zona sísmica



**Figura 14:** Zona Sísmica del Ecuador [24].

**Tabla 6:** Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada [24].

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

$$Z=0,4$$

El valor de Z asignado es de 0,4 debido a que Ambato se encuentra en una alta zona sísmica según las gráficas y las tablas mostradas anteriormente.

### 3.7.3 Características del suelo

**Tabla 7:** Clasificación del Suelo [24]

Tipo de perfil	Descripción	Definición
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$

Tipo de perfil= C

El tipo de perfil adoptado para el Proyecto, es el tipo C debido a que en Tungurahua es muy usual este tipo de suelos

### 3.7.4 Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs

**Tabla 8:** Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto [24].

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

**Tabla 9:** Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca [24]

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

$$F_d = 1,11$$

El factor  $F_d$  se escoge de acuerdo al factor  $Z$  y al tipo de perfil del suelo.

**Tabla 10:** Comportamiento no lineal de los suelos [24]

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	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
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

$$F_s = 1,11$$

El factor  $F_s$  se escoge de acuerdo al factor  $Z$  y al tipo de perfil del suelo.

### 3.7.5 Razón entre la aceleración espectral

n=1,80: Provincias de la Costa (Excepto Esmeraldas)

n=2,48: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

n=2,60: Provincias del Oriente [23].

Se opta por un valor de n=2,48 debido a que la región de la Sierra tiene un valor 2,48

### 3.7.6 Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R

**Tabla 11:** Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles [24].

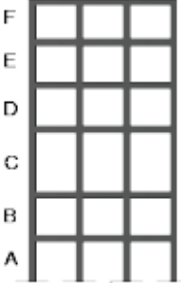
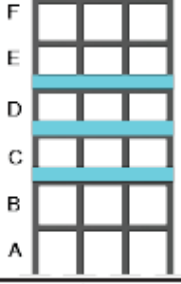
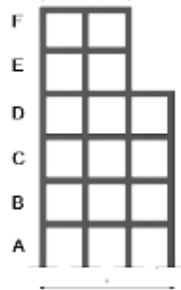
Sistemas Estructurales Dúctiles	R
<b>Sistemas Duales</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
<b>Pórticos resistentes a momentos</b>	
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
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
<b>Otros sistemas estructurales para edificaciones</b>	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

$$R=8$$

El coeficiente de “R” para el proyecto es de 8 debido a que es un pórtico especial sismo resistente con diagonales concéntricas como la especifica la tabla 11.

### 3.7.7 Irregularidades y coeficientes de configuración estructural

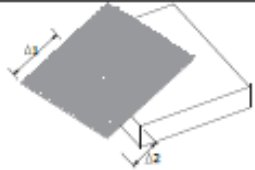
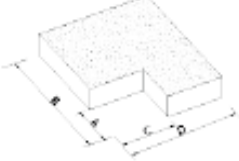
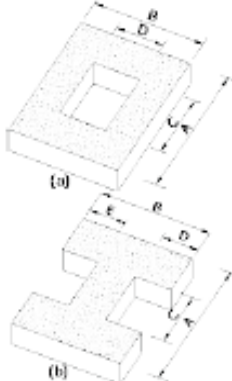

**Tabla 12:** Irregularidades de configuración estructural [24].

<p><b>Tipo 1 - Piso flexible</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  Rigidez <math>K_c &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_D</math>  Rigidez <math>&lt; 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Distribución de masa</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  <math>m_D &gt; 1.50 m_E</math> ó  <math>m_D &gt; 1.50 m_C</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Irregularidad geométrica</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  <math>a &gt; 1.3 b</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

$$\phi_E=1$$

Debido a que no existe irregularidad en elevación se toma el valor de 1.

**Tabla 13:** Coeficiente de irregularidad en planta [24].

<p><b>Tipo 1 - Irregularidad torsional</b>  <math>\phi_T=0.9</math>  <math>\Delta &gt; 1.2 \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}</math></p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas</b> <math>\phi_T=0.9</math>  <math>A &gt; 0.15B</math> y <math>C &gt; 0.15D</math></p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso</b>  <math>\phi_T=0.9</math>  a) <math>C \times D &gt; 0.5A \times B</math>  b) <math>[C \times D + C \times E] &gt; 0.5A \times B</math></p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p><b>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos</b>  <math>\phi_T=0.9</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

$$\phi = 1$$

Debido a que no existe irregularidad en planta su coeficiente es igual a 1



### 3.7.8 Importancia de la estructura

**Tabla 14:** Tipo de uso e importancia de la estructura [24].

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente 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 anti-incendio. 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

$$I=1$$

Se opta por el valor de importancia 1 debido a que se trata de una categoría de otras estructuras.

**Tabla 15:** Coeficiente que depende del tipo de estructura [24].

Tipo de estructura	$C_t$	$\alpha$
<b>Estructuras de acero</b>		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

El valor de  $C_t=0,073$  y  $\alpha =0,75$  ya que se trata de una estructura de acero con arriostramientos

### 3.7.9 Carga sísmica

#### Cortante basal

**Tabla 16:** Cortante basal

DATOS PARA V					
Z (g)	0,4				
I	1				
R	8				
$\Phi_p$	1				
$\Phi_e$	0,9				
Ct	0,073				
$\alpha$	0,75				
hn (m)	22,98				
$\eta$	2,48				
Fa	1,2				
Fd	1,11				
Fs	1,11				
r	1				
Tc	0,5647				
To	0,1027				
T	0,7662	Tmax (1.3T)	0,996	Tmodal (s)	0,312
Sa (T)	<b>0,8774</b>	Sa (Tmax)	<b>0,6749</b>	Sa (Tmodal)	<b>1,1904</b>
V	<b>0,1219</b>	V (Tmax)	<b>0,0937</b>	V (Tmodal)	<b>0,1653</b>
k	1,133	k(max)	1,248	k(modal)	1,000

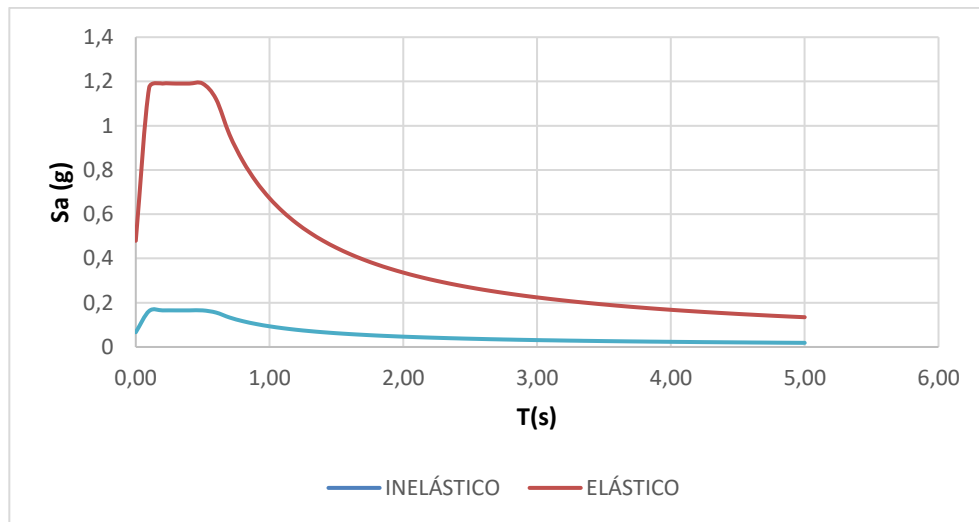
### 3.7.10 Espectro

**Tabla 17:** Espectro elástico y de diseño

<b>ESPECTROS ELÁSTICO Y DE DISEÑO SEGÚN NEC-SE-DS</b>				
<b>ESPECTRO ELÁSTICO</b>		<b>ESPECTRO REDUCIDO (PARA DISEÑO)</b>		
<b>T (s)</b>	<b>Sa (g)</b>	<b>Sa (g)</b>	<b>T (s)</b>	<b>Sa (g)</b>
0,00	0,4800	0,0667	0	0,0666
0,10	1,1719	0,1628	0,1	0,1627
0,20	1,1904	0,1653	0,2	0,1653
0,30	1,1904	0,1653	0,3	0,1653
0,40	1,1904	0,1653	0,4	0,1653
0,50	1,1904	0,1653	0,5	0,1653
0,60	1,1204	0,1556	0,6	0,1556
0,70	0,9603	0,1334	0,7	0,1333
0,80	0,8403	0,1167	0,8	0,1167
0,90	0,7469	0,1037	0,9	0,1037
1,00	0,6722	0,0934	1	0,0933
1,10	0,6111	0,0849	1,1	0,0848
1,20	0,5602	0,0778	1,2	0,0778
1,30	0,5171	0,0718	1,3	0,0718
1,40	0,4802	0,0667	1,4	0,0666
1,50	0,4482	0,0622	1,5	0,0622
1,60	0,4201	0,0584	1,6	0,0583
1,70	0,3954	0,0549	1,7	0,0549
1,80	0,3735	0,0519	1,8	0,0518
1,90	0,3538	0,0491	1,9	0,0491
2,00	0,3361	0,0467	2	0,0466
2,10	0,3201	0,0445	2,1	0,0444
2,20	0,3056	0,0424	2,2	0,0424
2,30	0,2923	0,0406	2,3	0,0405
2,40	0,2801	0,0389	2,4	0,0389
2,50	0,2689	0,0373	2,5	0,0373
2,60	0,2586	0,0359	2,6	0,0359
2,70	0,2490	0,0346	2,7	0,0345
2,80	0,2401	0,0333	2,8	0,0333
2,90	0,2318	0,0322	2,9	0,0321
3,00	0,2241	0,0311	3	0,0311
3,10	0,2168	0,0301	3,1	0,0301
3,20	0,2101	0,0292	3,2	0,0291
3,30	0,2037	0,0283	3,3	0,0282

**Tabla 17:** Espectro elástico y de diseño (Continuación)

3,40	0,1977	0,0275	3,4	0,0274
3,50	0,1921	0,0267	3,5	0,0266
3,60	0,1867	0,0259	3,6	0,0259
3,70	0,1817	0,0252	3,7	0,0252
3,80	0,1769	0,0246	3,8	0,0245
3,90	0,1724	0,0239	3,9	0,0239
4,00	0,1681	0,0233	4	0,0233
4,10	0,1640	0,0228	4,1	0,0227
4,20	0,1601	0,0222	4,2	0,0222
4,30	0,1563	0,0217	4,3	0,0217
4,40	0,1528	0,0212	4,4	0,0212
4,50	0,1494	0,0207	4,5	0,0207
4,60	0,1461	0,0203	4,6	0,0202
4,70	0,1430	0,0199	4,7	0,0198
4,80	0,1400	0,0195	4,8	0,0194
4,90	0,1372	0,0191	4,9	0,019
5,00	0,1344	0,0187	5	0,0186



**Figura 15:** Espectro elástico e inelástico para un periodo de retorno de 475 años

### 3.7.11 Combinaciones de carga

**Combinación 1:**

$$1.4 D$$

**Combinación 2:**

$$1.2 D+1.6 L+0,5 \max [Lr; S; R]$$

**Combinación 3:**

$$1,2 D+1,6 \max [Lr; S; R]+\max [L; 0,5W]$$

**Combinación 4:**

$$1,2 D+1,0 W+L+0,5 \max [L; S; R]$$

**Combinación 5:**

$$1,2 D+1,0 E+L+0,2 S$$

**Combinación 6:**

$$0,9 D + 1,0 W$$

**Combinación 7:**

$$0,9 D+1,0 E$$

Donde:

D= Carga permanente

E=Carga de sismo

L=Sobrecarga (carga viva)

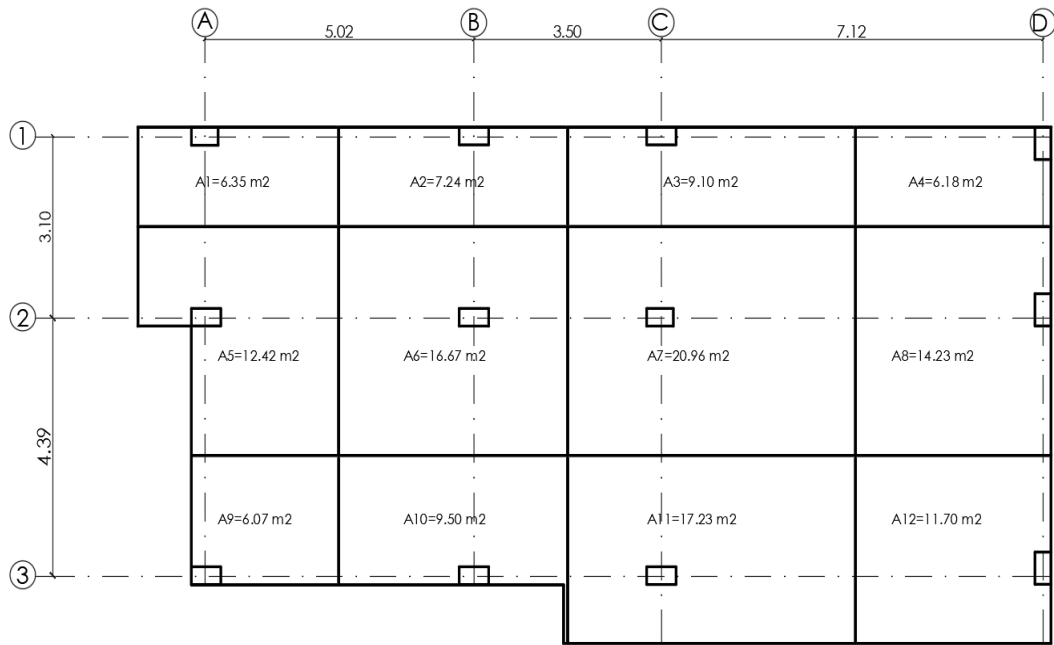
Lr=Sobrecarga cubierta (carga viva)

S= Carga de granizo

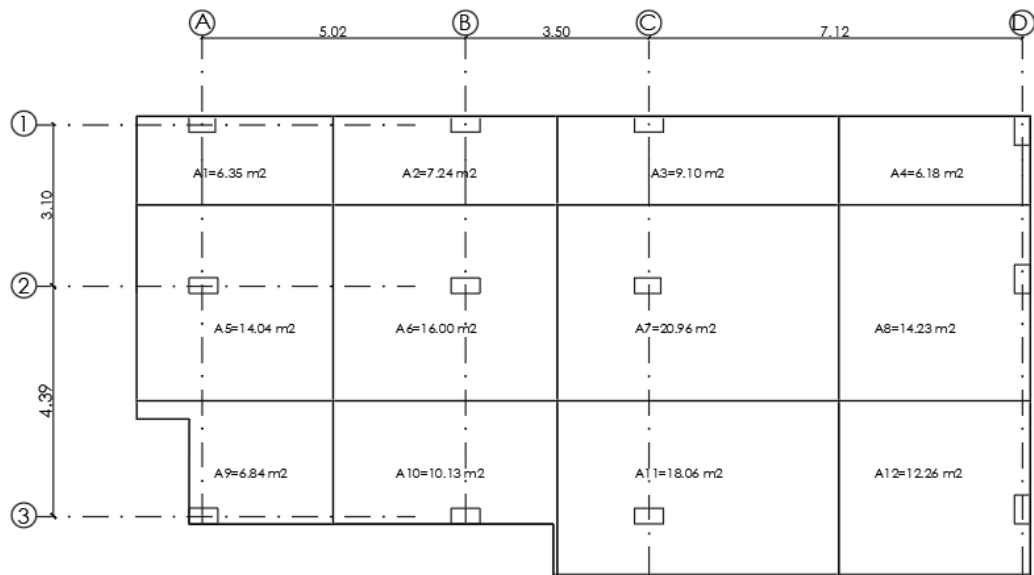
W= Carga de viento

### 3.7.12 Prediseños de los elementos estructurales

Se realiza el cálculo del predimensionamiento de los diferentes elementos estructurales como son las vigas, losas, columnas, vigas secundarias y los elementos de arriostramientos mediante la combinación  $1.2D+1.6L$ , para que, con esos valores, ingresarlos al programa.



**Figura 16:** Área tributaria  $N_v+0.18$



**Figura 17:** Área tributaria Nv+3.38; Nv+6.58; Nv+9.78; Nv+12.98; Nv+15.48;  
Nv+18.74; Nv+21.62

### 3.7.13 Prediseño de columnas

Nv+0.18 (Planta más crítica)

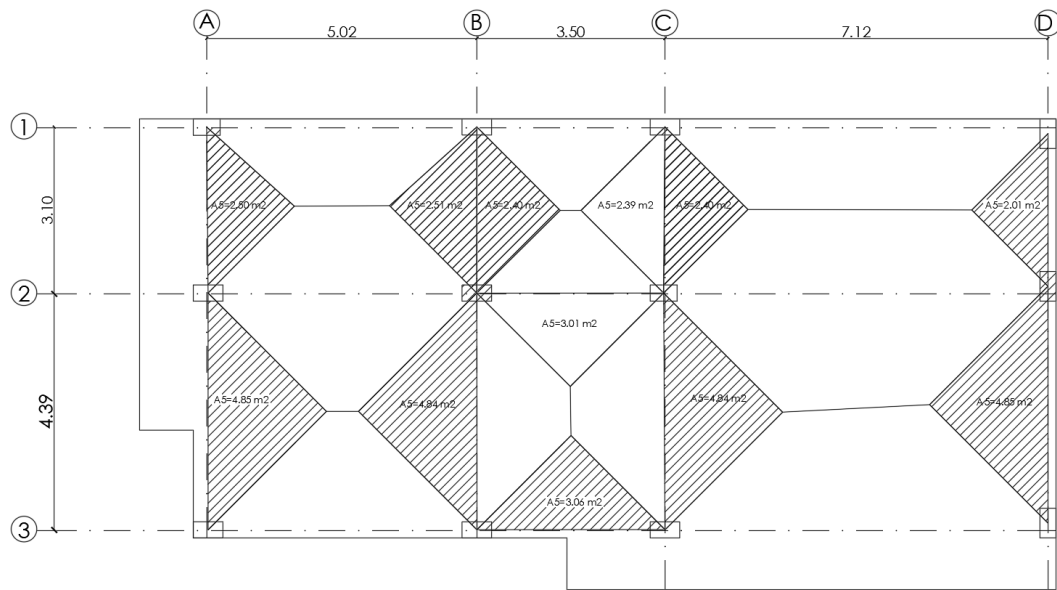
**Tabla 18:** Datos del perfil de prediseño en columnas

<b>DATOS</b>				
<b>Carga muerta</b>	426,4	kg/m <sup>2</sup>	Tabla 14	
<b>Carga Viva (CV)</b>	200	kg/m <sup>2</sup>	Tabla 14	
<b>Número de pisos</b>	7		Planos (Anexo 2)	
<b>(KL/r)</b>	50		AISC TABLA 4-22	
<b>Øc Fcr</b>	28,4	ksi	AISC TABLA 4-22	
<b>Tipo de acero</b>	ASTM A36		NEC 2015	
<b>Esfuerzo de fluencia</b>	2531,77	kgf/cm <sup>2</sup>	NEC 2015	
<b>COLUMNA CENTRAL (C2)</b>				
<b>Área tributaria</b>	36,75	m <sup>2</sup>	 <p>C2 A7=20.96 m2</p>	
<b>Cu=1.2CM+1.6CV</b>	0,83	ton/m <sup>2</sup>		
<b>Carga última (Pu)</b>	213,95	ton		
<b>Carga de diseño</b>	278,13	ton		
<b>Área requerida</b>	139,31	cm <sup>2</sup>		
<b>Perfil de prediseño (tipo HEB 350)</b>	<b>bf</b>	403,9		mm
	<b>d</b>	1117,6		mm
	<b>tw</b>	26,2		mm
	<b>tf</b>	45		mm
<b>Área del perfil</b>	635,5	mm <sup>2</sup>		
<b>EL PERFIL SI CUMPLE CON EL PREDISEÑO</b>				



**Tabla 19:** Compacidad y esbeltez de la sección de las columnas de AISC 360-10

<b>Perfil (mm)</b>	<b>Dimensiones</b>	bt	403,9
		h	1117,6
		d	1027,6
		tw	26,2
		tf	45
	<b>Relación</b>	b/tf	4,488
		d/tw	39,22
	<b>Esbeltez ala</b>	$\lambda_r$	15,74
		Chequeo	NO ESBELTA
	<b>Esbeltez alma</b>	$\lambda_r$	42,91
		Chequeo	NO ESBELTA
	<b>Compacidad en alas</b>	$\lambda_p$	10,94
		$\lambda_r$	28,80
		Chequeo	COMPACTA
	<b>Compacidad en almas</b>	$\lambda_p$	69,70
$\lambda_r$		164,16	
Chequeo		COMPACTA	



**Figura 18:** Área tributaria de vigas, todos los niveles

### 3.7.14 Prediseño de vigas

**Tabla 20:** Datos del perfil de prediseño en las vigas

PRELIMINAR DE DISEÑO DE VIGAS PRINCIPALES "X" Y "Y"					
Tipo de perfil	Dimensiones (mm)				
	bf	h	d	tw	tf
W30X148	266,7	779,8	719,8	16,5	30

El diagrama muestra un perfil de acero W30X148 con ejes 2 y 3. El eje 2 apunta hacia arriba y el eje 3 apunta hacia la izquierda.

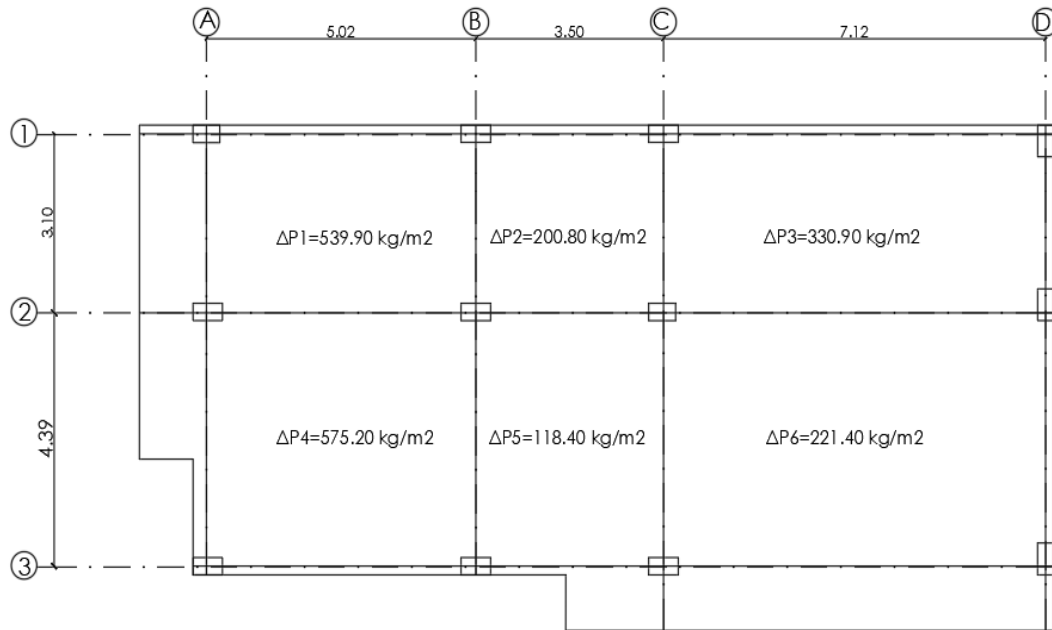
**Tabla 21:** Compacidad y esbeltez del perfil de la viga de AISC 360-10

<b>Perfil (mm)</b>	<b>Dimensiones</b>	bt	266,7
		h	779,8
		d	719,8
		tw	16,5
		tf	30
	<b>Relación</b>	b/tf	4,45
		d/tw	43,62
	<b>Esbeltez ala</b>	$\lambda_r$	39,63
		Chequeo	NO ESBELTA
	<b>Esbeltez alma</b>	$\lambda_r$	42,91
		Chequeo	NO ESBELTA
	<b>Compacidad en alas</b>	$\lambda_p$	10,94
		$\lambda_r$	28,80
		Chequeo	COMPACTA
	<b>Compacidad en almas</b>	$\lambda_p$	69,70
$\lambda_r$		164,16	
Chequeo		COMPACTA	

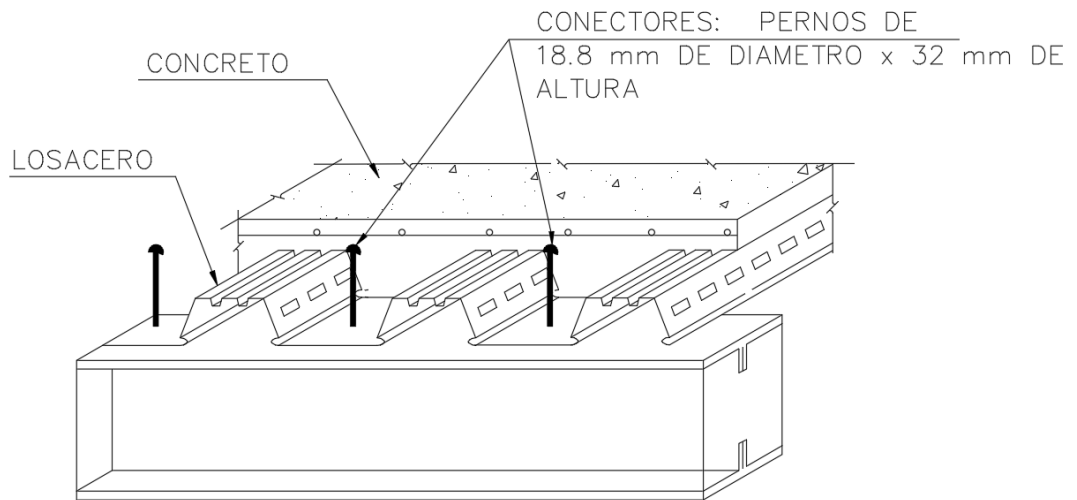
**Tabla 22:** Compacidad y esbeltez del perfil de la viga según AISC 341-10

<b>Perfil (mm)</b>	<b>Dimensiones</b>	bt	266,7
		h	779,8
		d	719,8
		tw	16,5
		tf	30
	<b>Relación</b>	bt/tf	4,45
		d/tw	43,62
	<b>Esbeltez ala</b>	$\lambda_{hd}$	39,73
		Chequeo	NO ESBELTO
	<b>Esbeltez alma</b>	$\lambda_r$	42,28
		Chequeo	NO ESBELTO
	<b>Compacidad en alas</b>	$\lambda_{hd}$	8,51
		$\lambda_{md}$	10,78
		Chequeo	ALTAMENTE
	<b>Compacidad en almas</b>	$\lambda_{hd}$	61,44
		$\lambda_{md}$	70,02
		Chequeo	ALTAMENTE
		$\lambda_{hd}$	61,27
		$\lambda_{md}$	70,05
Chequeo	ALTAMENTE		

### 3.7.15 Losa



**Figura 19:** Identificación del ΔP más crítico



**Figura 20:** Detalle de losa de placa colaborante

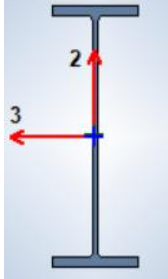
**Tabla 23:** Dimensión de los tableros de losa con placa colaborante

<b>Tablero</b>	<b>h (cm)</b>
<b>Con mayor dimensión</b>	11
<b>Con mayor <math>\Delta P</math></b>	10

### 3.7.16 Vigas secundarias

Para el prediseño de las vigas secundarias se selecciona del prediseño de los tableros de la losa de los cálculos anteriores, para ello se escoge un perfil que tenga una sección suficiente que ayude al soporte de la placa colaborante, sin embargo, no se necesita que cumpla con los requerimientos de compacidad.

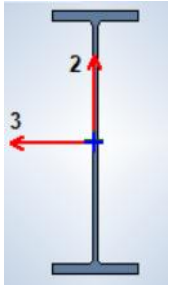
**Tabla 24:** Prediseño de las vigas secundarias

<b>PREDISEÑO DE LAS VIGAS SECUNDARIAS</b>						
<b>Tipo de perfil</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>					
	<b>bf</b>	<b>h</b>	<b>d</b>	<b>tw</b>	<b>tf</b>	
W14x68	254	355,6	319	10,5	18,3	

### 3.7.17 Arriostramientos

Al igual que en las vigas secundarias, los arriostramientos no necesitan que cumpla con los requerimientos de compacidad y se describe sus especificaciones en la siguiente tabla.

**Tabla 25:** Prediseño de los arriostramientos

<b>PREDISEÑO DE LOS ARRIOSTRAMIENTOS EN V, V INVERTIDA Y K</b>						
<b>Tipo de perfil</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>					
	<b>bf</b>	<b>h</b>	<b>d</b>	<b>tw</b>	<b>tf</b>	
W30x124	266,7	767,1	719,9	14,9	23,6	

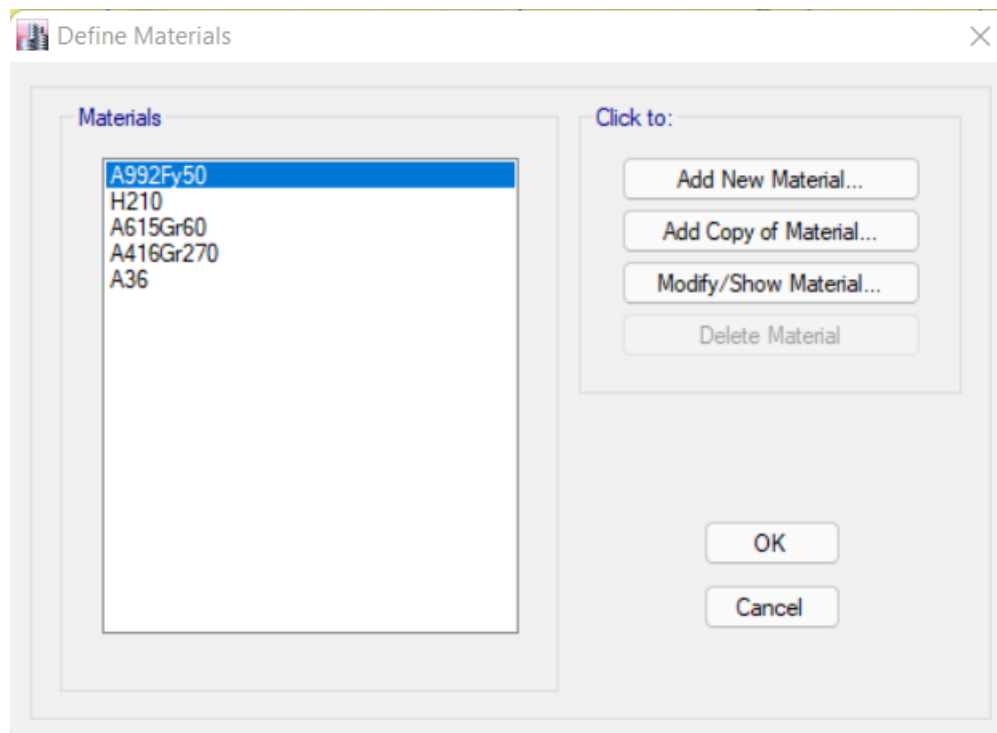
### 3.7.18 Modelado de la edificación en software

Una vez conocido el sistema estructural, las secciones prediseñadas de los miembros estructurales, las luces, las ubicaciones de los miembros estructurales, las cargas a aplicar y el sismo de diseño con un período de retorno de 475 años, la estructura modelada debe acercarse a lo más real posible, introduciendo los datos de los elementos, ejes y entrepisos del plano del edificio, así como también la altura, que son factores muy importantes en la condición del edificio, que nos ayudó al cálculo de la

estructura.

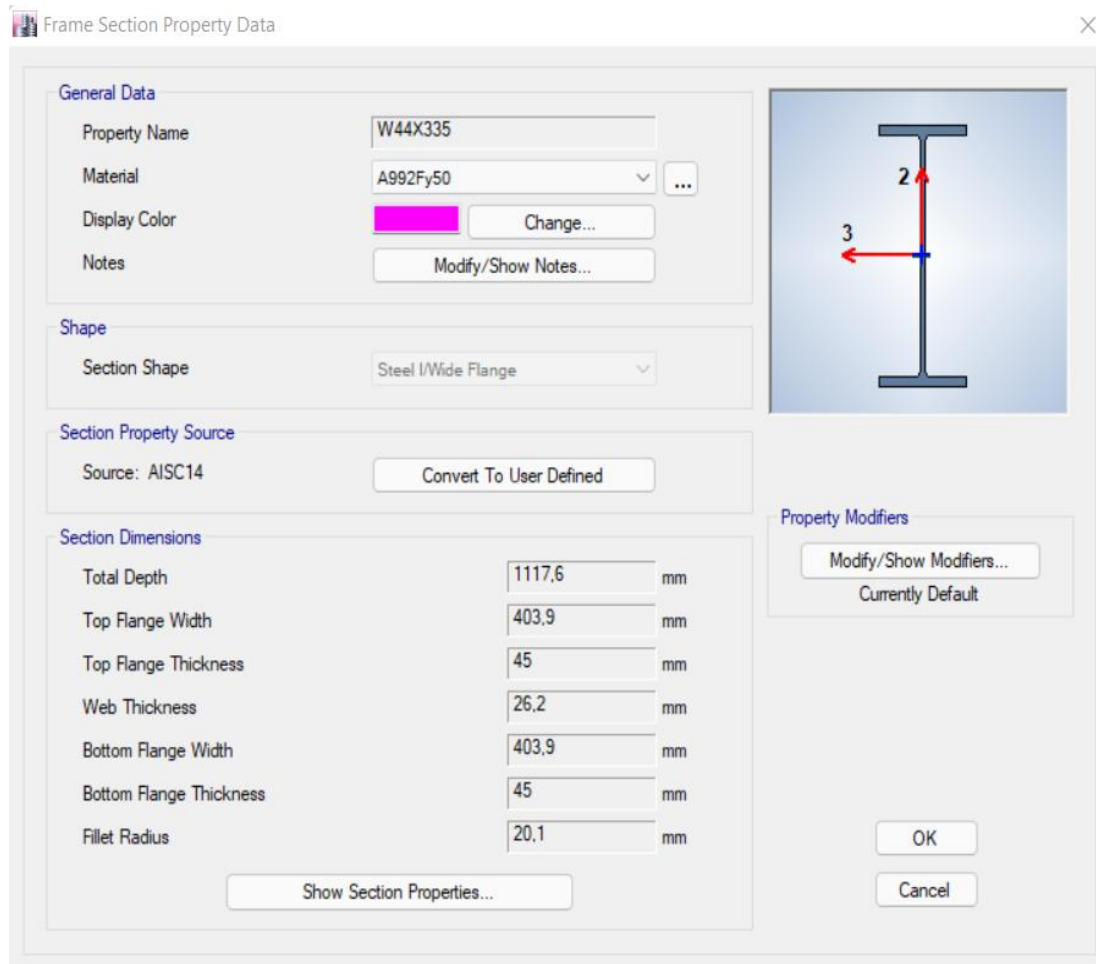
Después de un largo proceso de diseño, el modelado estructural propuesto en este trabajo, la estructura cumple con todas las comprobaciones estipuladas por NEC-2015, y luego se describe los principales pasos del modelamiento del programa.

Se comienza definiendo el material, como el tipo de acero A36 a utilizar, a continuación, también se define el hormigón a utilizar para la losa de placa colaborante y también el acero de la placa colaborante.



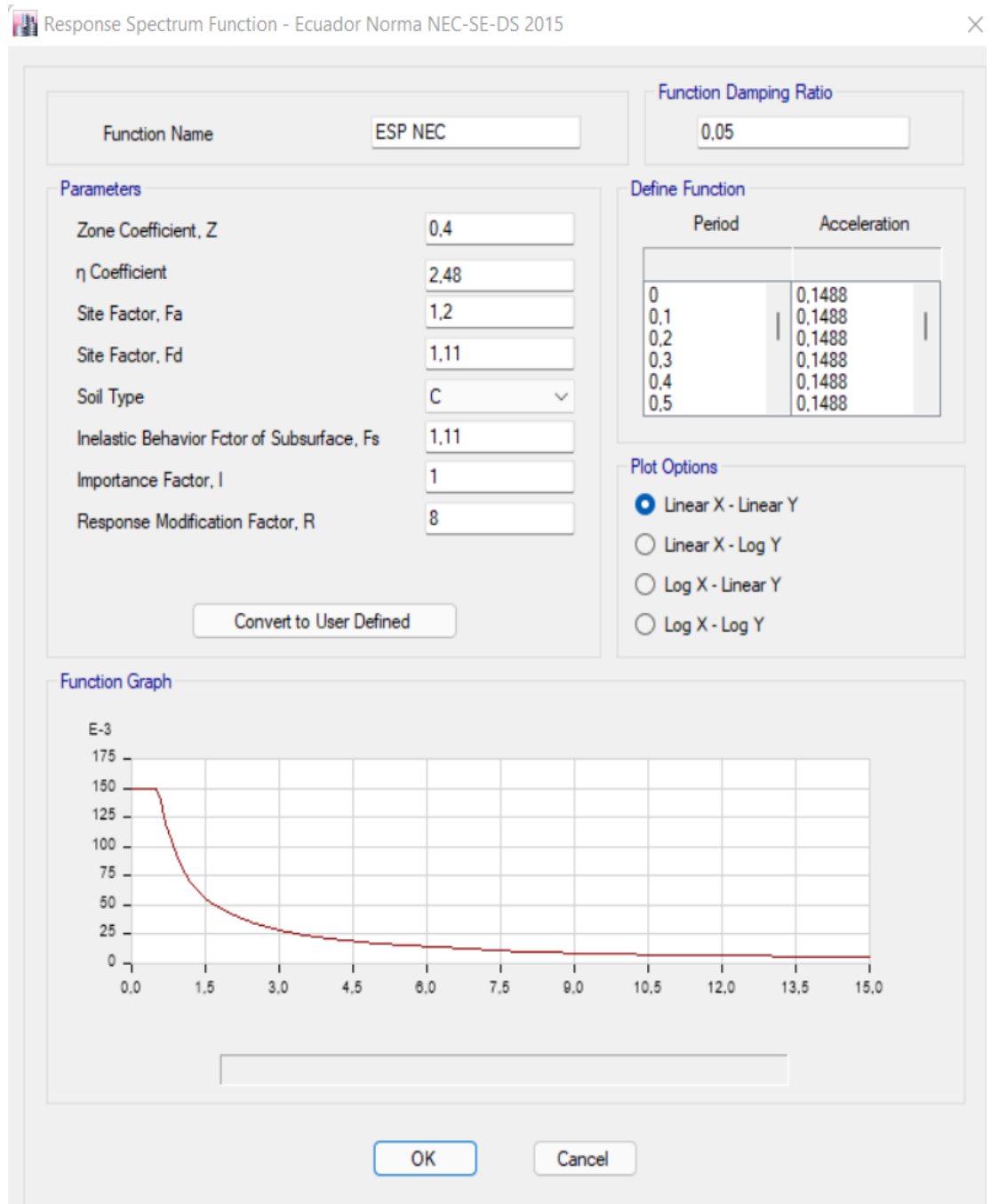
**Figura 21:** Definición de materiales

A continuación, se añade los elementos estructurales según el prediseño realizado en las diferentes secciones, se utiliza como material el acero A36 para los elementos de columnas, vigas principales y vigas secundarias, y para la losa se utiliza el material de placa colaborante (Losa Deck). En la figura 24, se indica un ejemplo de los datos utilizados en los elementos estructurales. Después se define el espectro de diseño, con un periodo de retorno de 475 años, el cual influirá en el modo de vibración de la estructura, así como también en la carga muerta de la misma. Dicho proceso también será representado a continuación en la figura 25.



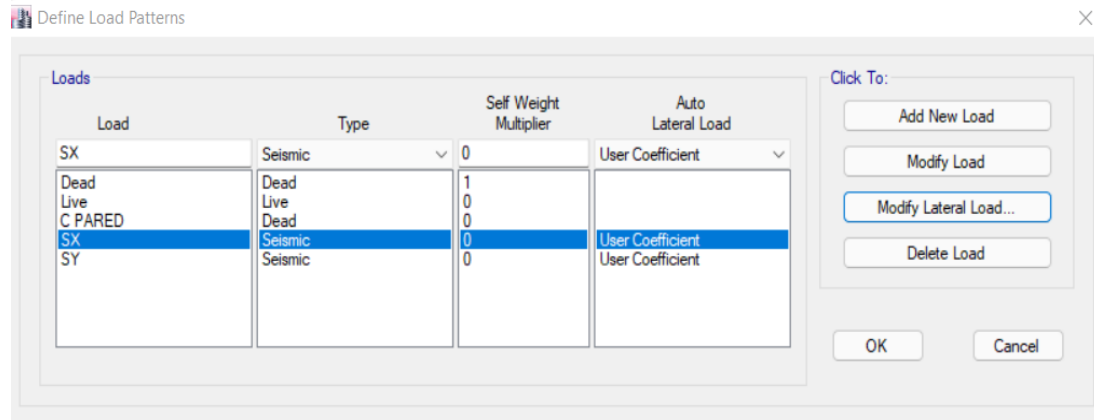
**Figura 22:** Datos de las secciones de las columnas



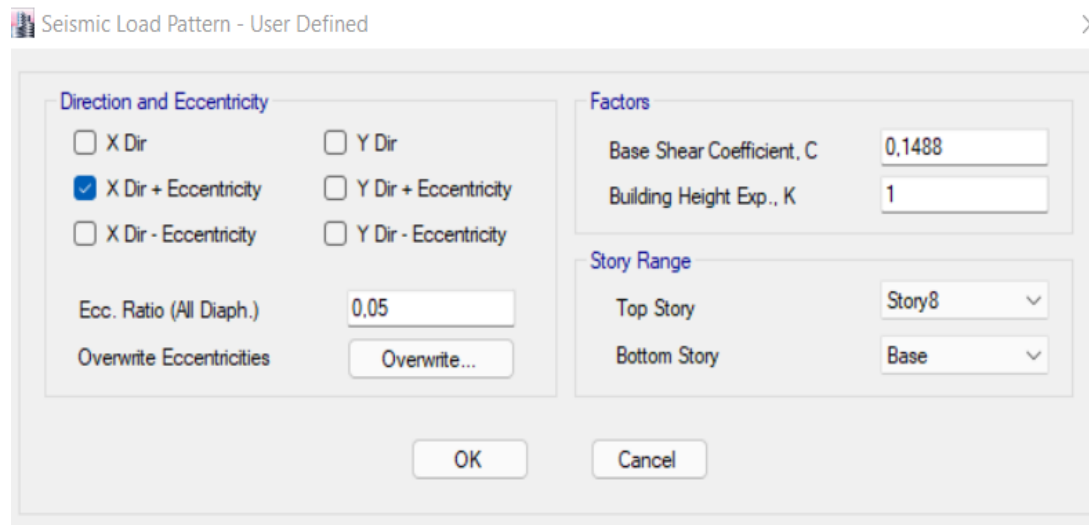


**Figura 23:** Espectro de diseño de NEC 2015

Es fundamental introducir los patrones de carga como son la carga viva, la carga muerta, el sismo en x y el sismo en y, en los dos últimos patrones se deberá utilizar coeficientes, como se indica en la Figura 26.

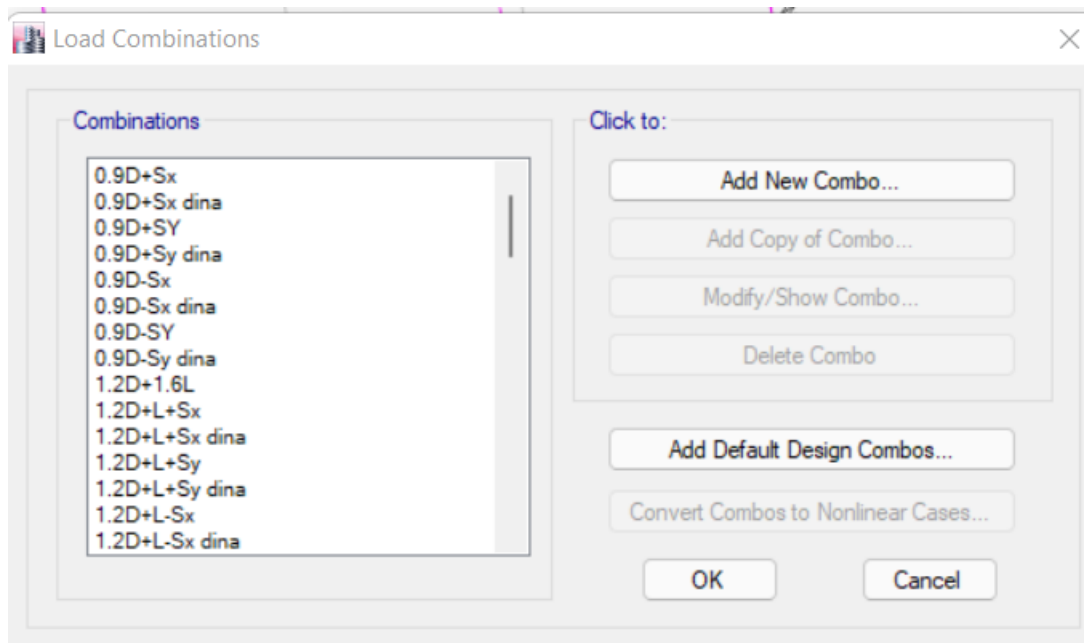


**Figura 24:** Definición de patrones de carga



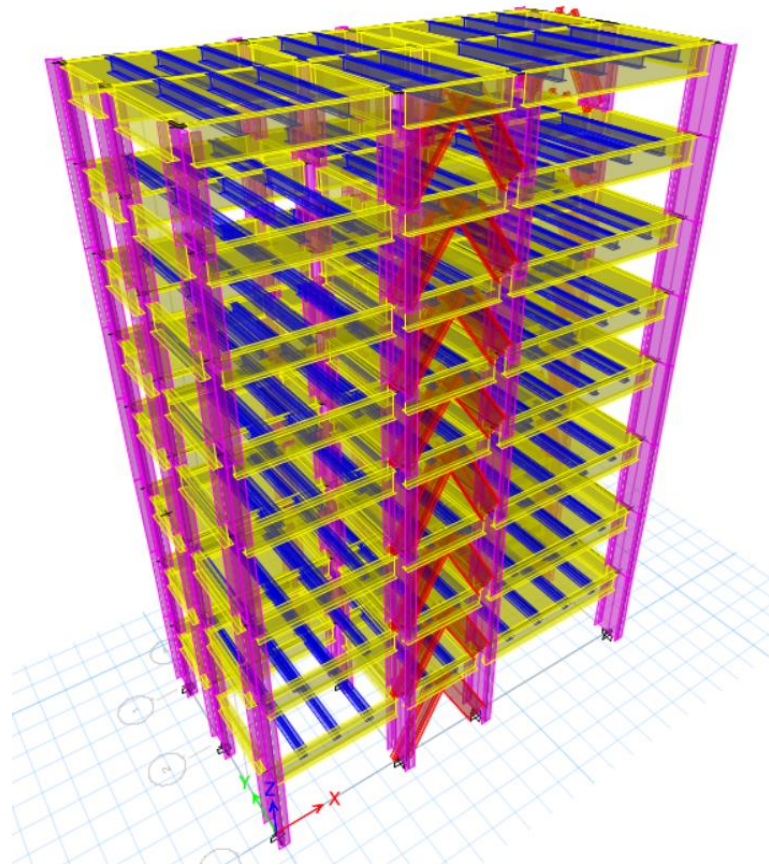
**Figura 25:** Definición de patrones de carga del sismo x e y

Otro aspecto fundamental a considerar en el modelamiento, es la introducción de las combinaciones de carga, basado en la NEC-SE-CG, en la misma que resulta 18 combinaciones a considerar en el programa, que se detallan a continuación.

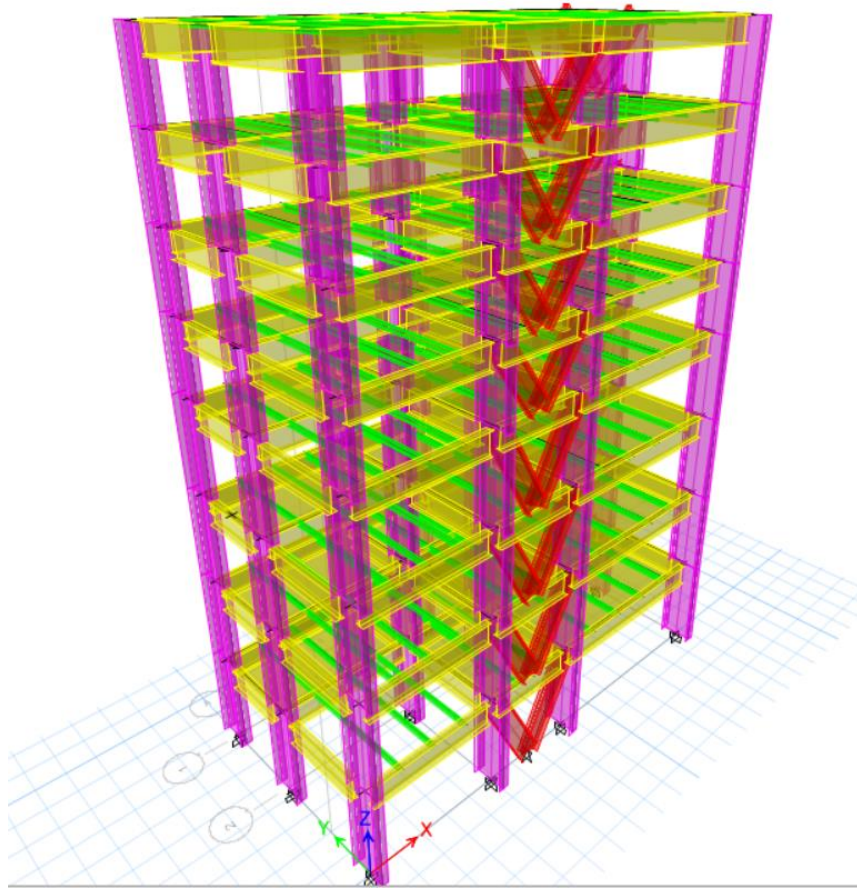


**Figura 26:** Combinaciones de carga para la estructura

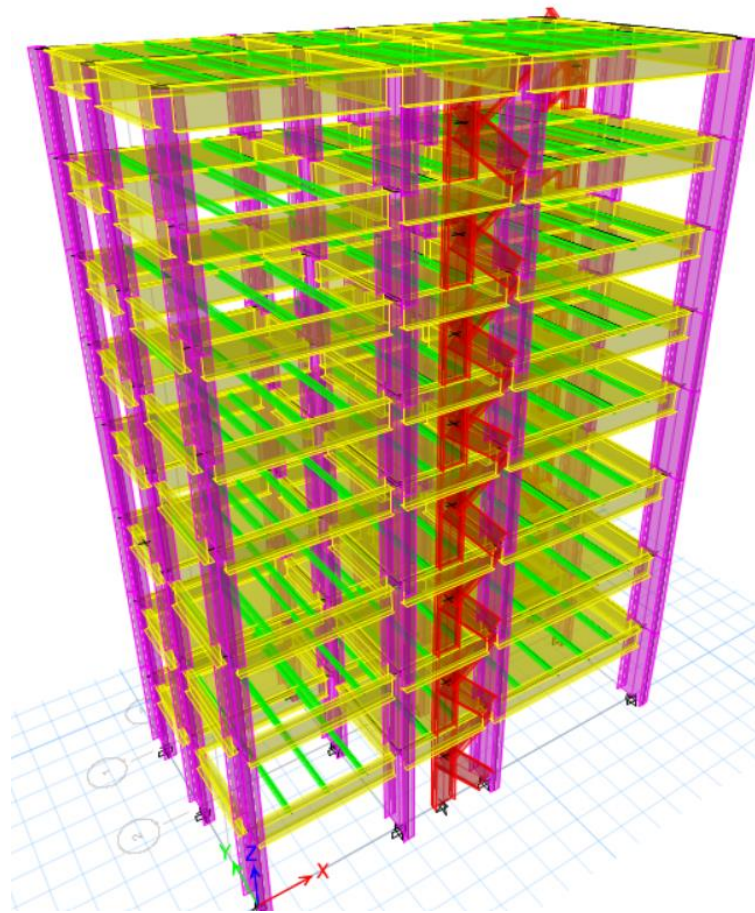
Una vez finalizada la definición de los parámetros requeridos para el diseño en el programa, se procede a dibujar en el software, de manera que la estructura se acerque lo más posible a la realidad del plano arquitectónico (Anexo 2), teniendo en cuenta que el sistema estructural elegido es el marco de soporte concéntrico (PEAC) del modelo, los arriostramientos juegan un papel importante en este tipo de sistema estructural, ya que imparten rigidez a la estructura y controlan las derivas de piso, estos arriostramientos se han colocado estratégicamente para no afectar la distribución del edificio en cada caso de arriostramiento en V, V invertida y en K. Las vigas secundarias en el modelamiento se deberán desconectar los momentos, puesto que dichas vigas solo aportarán soporte de la placa colaborante.



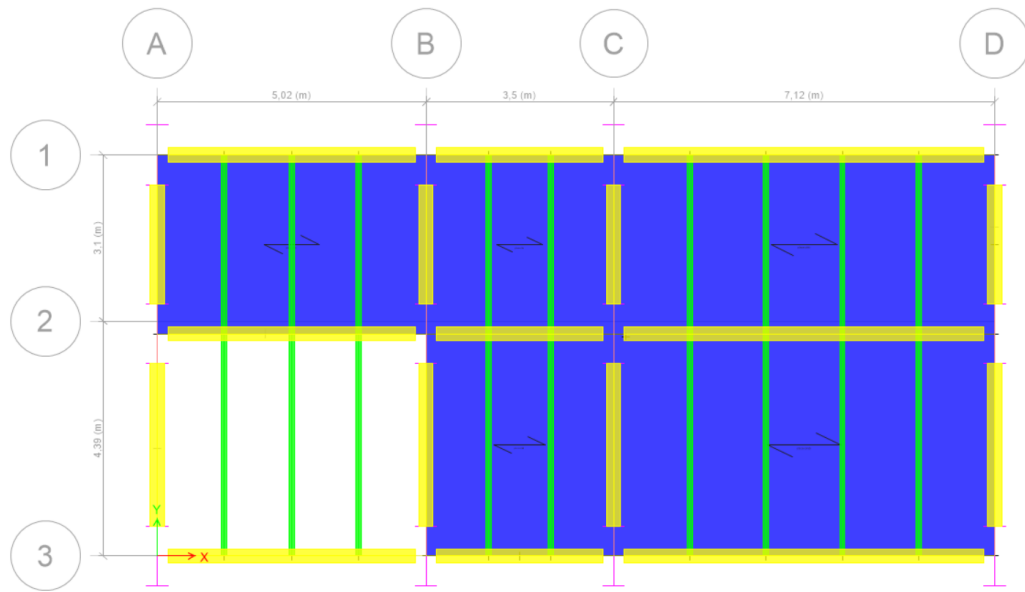
**Figura 27:** Modelamiento con arriostramiento con V invertida



**Figura 28:** Modelamiento con arriostramiento en V

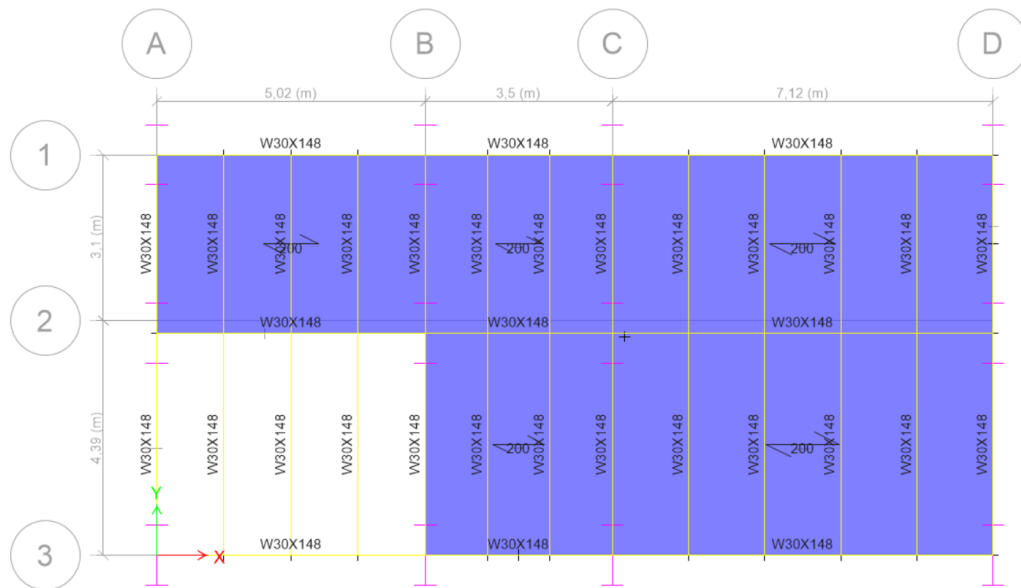


**Figura 29:** Modelamiento con arriostramiento en K

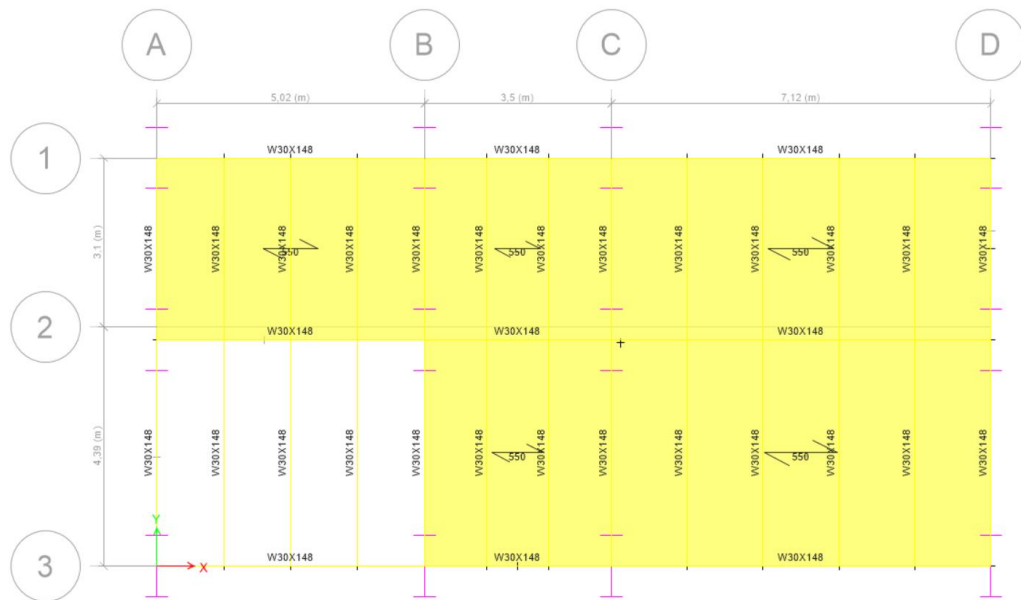


**Figura 30:** Vista planta tipo

Una vez que se modela la estructura en el programa, por último, se introduce las cargas, tanto vivas como muertas (Carga adicional de pared) para después de aquello, analizar la estructura en cada arriostramiento.



**Figura 31:** Cargas vivas de la estructura



**Figura 32:** Carga muerta de la estructura

### 3.8 Variables respuesta o resultados alcanzados

Cuando el modelado de la estructura está listo, se diseña un análisis lineal, que incluye verificar que las secciones de los elementos estructurales utilizados sean una elección óptima de la estructura para que exista ductilidad durante los sismos, para lo cual debe cumplir con los requerimientos, requisitos sísmicos y límites de deriva propuestos por NEC-SE-DS 2015, AISC 341-16, AISC 360-16, AISC 358-16. Los resultados de los controles de modelado y cumplimiento se detallan en el Capítulo 4 (Resultados y Discusión)

Los controles que se deben cumplir son los siguientes:

- El periodo de vibración de la estructura debe estar entre  $T$  y  $1.3T$ .
- El primer y segundo modo de vibración tiene que ser traslacional
- El modo de vibración 3 tiene que ser traslacional
- Comprobar la validez del análisis dinámico. Confirmar que el porcentaje de participación de la masa alcanza el 90%.
- Comprobar que la deriva inelástica sea inferior al 2%.



## **Diseño estructural**

Una vez que se ha realizado el análisis lineal de la estructura y cumple con todas las verificaciones mencionadas anteriormente, se procede a diseñar los elementos que conforman la estructura modelada como son las columnas, vigas principales, vigas secundarias, viguetas, losas y diagonales, así como también otros elementos que son de gran importancia, pero no se encuentran en el modelo del software como son las cimentaciones, conexiones precalificadas y placas base. Estos diseños se realizan mediante softwares especializados en calculo estructural basado en los resultados obtenidos en el software y deben cumplir con los parámetros indicados en la normativa para cada elemento según corresponda. Cada diseño se detalla en el **Capítulo IV (Resultados y Discusión)**.

Una vez analizada linealmente la estructura y cumplidas todas las verificaciones anteriores, se procede al diseño de los elementos que componen la estructura tales como columnas, losas, vigas principales y secundarias, y los elementos de arriostramiento ya sea en V, V invertida y en K Cada diseño se describe en detalle en el Capítulo IV (Resultados y Discusión)

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ARRIOSTRAMIENTO EN V

##### 4.1.1 Períodos de vibración

Verificar los períodos de vibración de la estructura es el primer paso que se realiza para verificar los chequeos en la estructura.

Mediante la fórmula del periodo obtenemos los rangos en los que se debería encontrar el periodo y obtenemos el periodo real del programa y analizamos si está dentro del rango, si no se encuentra en el rango se deberá rediseñar los elementos estructurales hasta que cumpla dicha condición.

Período aproximado calculado de la estructura	0,766 s
Periodo real (software)	0,802 s
1.3 T	0,996 s
0,766 < 0,802 < 0,996	“OK”

Mediante los valores se verifica que está dentro del rango y se procede a realizar los siguientes chequeos en la estructura como es la verificación de la rotación.

##### **Rotación**

Para este chequeo se establece que el primer modo de vibración debe existir un desplazamiento en “X”, para el segundo modo de vibración el desplazamiento debe ser en “Y”, mientras que para el tercer modo de vibración deberá ser rotacional o como se explica en la siguiente ecuación:

$$\frac{Rz}{Ux} * 100 < 30\%$$

Ec. 4

**Tabla 26:** Periodo de la estructura con arriostamiento en V

Modo	Periodo	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ
	seg									
1	0,802	0,822	2E-04	0	0,82	0	0	0	0,166	0,023
2	0,743	7E-04	0,786	0	0,82	0,79	0	0,23	1E-04	0,002
3	0,568	0,024	0,003	0	0,85	0,79	0	0	0,005	0,778
4	0,435	0,102	1E-05	0	0,95	0,92	0	0	0,656	0,004
5	0,39	1E-04	0,131	0	0,95	0,92	0	0,52	4E-04	2E-05
6	0,277	0,033	4E-04	0	0,98	0,92	0	0	0,088	0,002
7	0,172	3E-04	0,001	0	0,98	0,92	0	0	0,005	0,118
8	0,051	0,012	1E-04	0	0,99	0,92	0	0	0,058	4E-04
9	0,046	0	0,043	0	0,99	0,96	0	0,12	1E-05	9E-04

### 1er modo de vibración

Desplazamiento de la Masa en X =	82,2	%
Rotación en X =	2,28	%

### 2do modo de vibración

Desplazamiento en Y	78,6	%
Rotación en Y	2,3	%

### 3er modo de vibración

Desplazamiento en X =	2,42	%
Desplazamiento en Y =	0,33	%
Rotación	2,3	%

### 4.1.2 Chequeo de rotación

Con respecto a x

$$\frac{Rz}{Ux} < 30\%$$

$$2,78 < 30 \quad \% \quad \text{OK}$$

Con respecto a y

$$\frac{Rz}{Ux} < 30\%$$

$$0,29 < 30 \quad \% \quad \text{OK}$$

De acuerdo a los datos representados en el análisis y en los cálculos realizados, mediante las tablas obtenidas del programa, el chequeo de la rotación cumple con el chequeo, por lo que se procede a realizar el siguiente chequeo.

**Participación del 90 % de la masa en los modos de vibración.**

La participación de la masa en los modos 4 y 5 deberá ser mayor al 90%

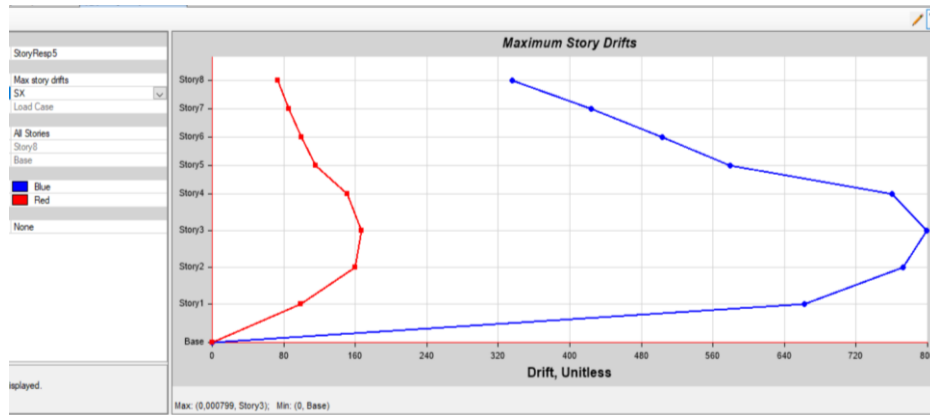
modo 4	Sum UY =	91,93	%	OK
Modo 5	Sum UX =	94,89	%	OK

La participación de la masa es mayor al 90% en los modos 4 y 5 por lo que el chequeo cumple con el arriostamiento en V por lo que se analiza la deriva de piso.

**4.1.3 Derivas de piso**

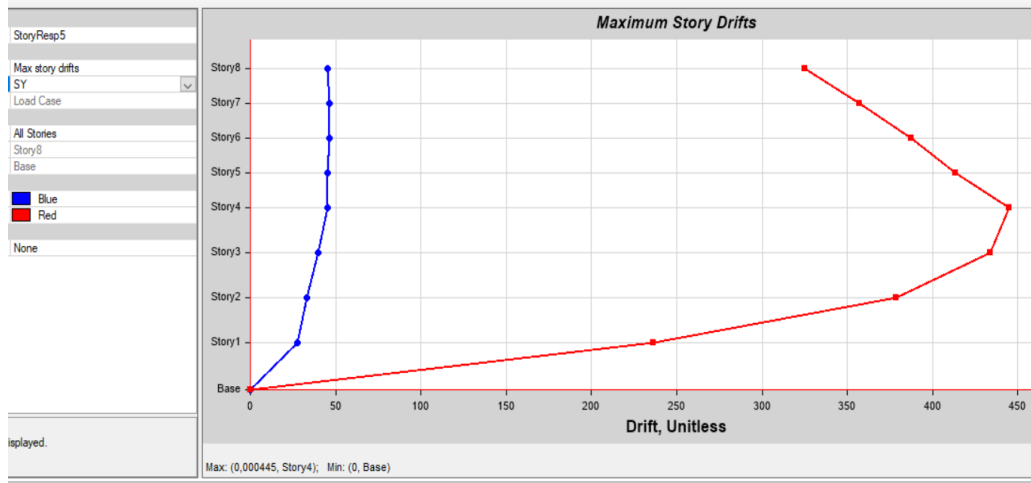
Las derivas elásticas se la obtienen del programa tanto en el sentido “X” como en “Y”, y con estas derivas elásticas obtenemos las derivas inelásticas mediante la fórmula, la cual debe ser menor al 2% para que cumpla con este chequeo.

**Sismo en x**



**Figura 33:** Deriva elástica en “x” de la estructura con arriostamiento en V

## Sismo en Y



**Figura 34:** Deriva elástica en “y” de la estructura con arriostramiento en V

### Derivas elásticas $\Delta$ (software)

$$\begin{aligned} X &= 0,002465 \\ Y &= 0,002111 \end{aligned}$$

### Deriva Inelástica:

$$\Delta 0.75 R < 2 \%$$

Ec. 5

$$\begin{aligned} X &= 1,479 < 2 \% \text{ ok} \\ Y &= 1,267 < 2 \% \text{ ok} \end{aligned}$$

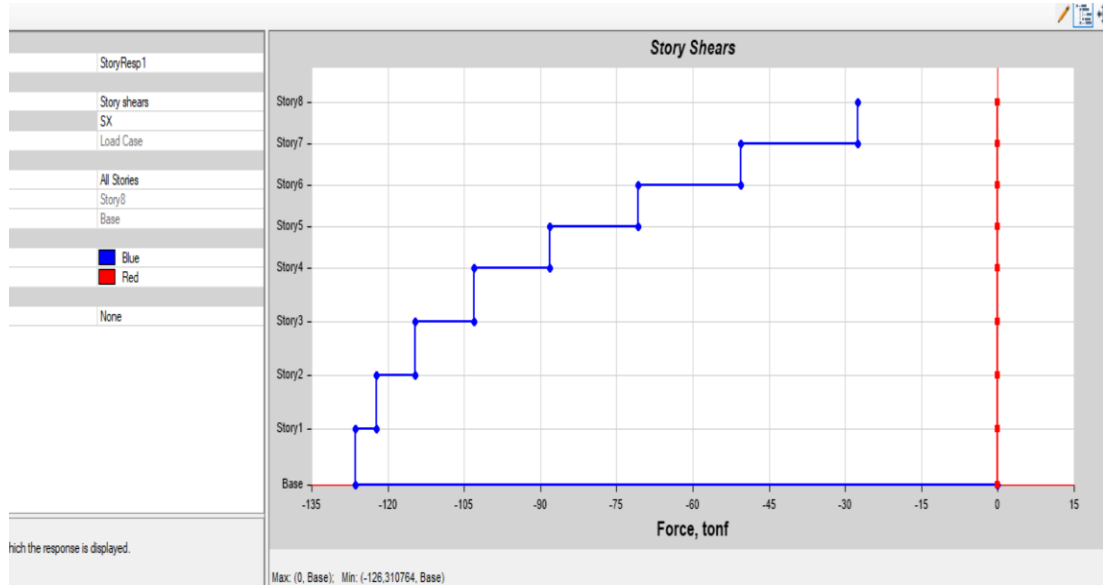
Tanto en X como en Y se cumple el chequeo de la deriva inelástica, ya que las derivas inelásticas cumplen con que sea menor al 2%

### 4.1.4 Validación del análisis dinámico

En la validación del análisis dinámico se debe tener en cuenta que la relación entre el mayor cortante dinámico y el cortante estático debe ser mayor al 80% cuando la estructura es regular y mayor al 85% cuando la estructura es irregular. En este caso bastará con que sea mayor al 80% ya que se considera como una estructura regular.

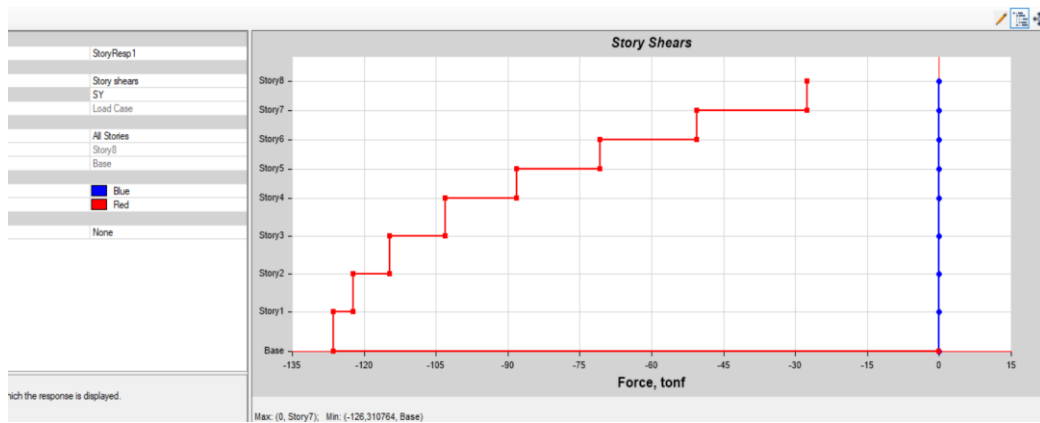
- Cortante dinámico mayor al 80 % del cortante estático (Estructuras Regulares)
- Cortante dinámico mayor al 85% del cortante estático (Estructuras Irregulares)

### Sismo en x



**Figura 35:** Cortante estático en “x” de la estructura con arriostramiento en V

### Sismo en y



**Figura 36:** Cortante estático en “y” de la estructura con arriostramiento en V

## Espectro x

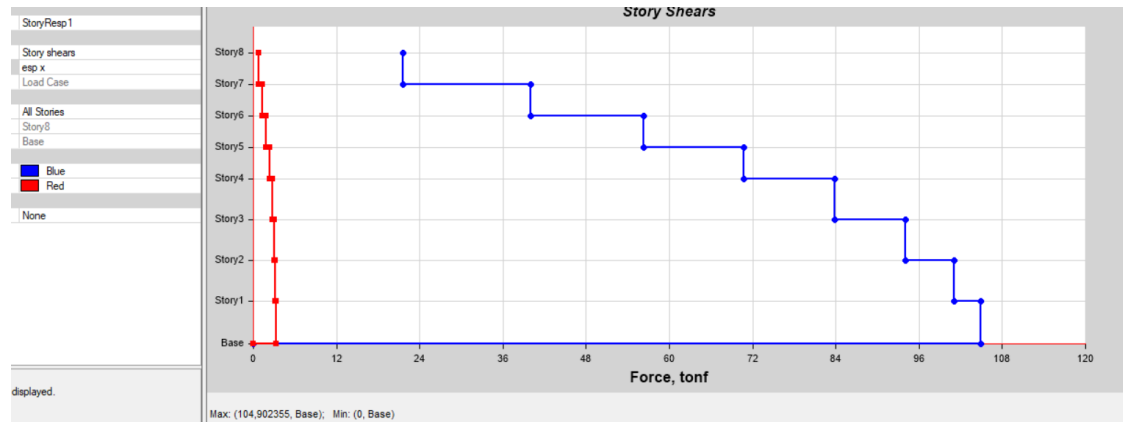


Figura 37: Cortante dinámico en “x” de la estructura con arriostramiento en V

## Espectro Y

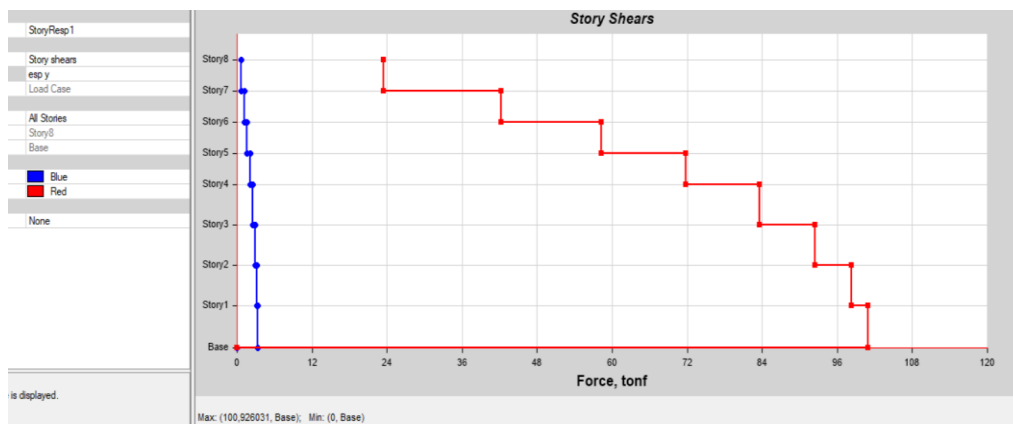


Figura 38: Cortante dinámico en “y” de la estructura con arriostramiento en V

$$\frac{\text{Cortante Dinámico}}{\text{Cortante Estático}} \times 100 > 80 \%$$

Ec. 6

Tabla 27: Validación del análisis dinámico del arriostramiento en V

Cortante Estático	Cortante Dinámico	Cálculo
126,31 ton	104,9 ton	83,0 % > 80 % ok
126,31 ton	104,7 ton	82,9 % > 80 % ok

Para el análisis dinámico se obtiene que tanto en “X” como en “Y” cumple con un porcentaje mayor al 80%.

Una vez realizado todos los chequeos se concluye que la estructura con arriostramiento en V, cumple con el análisis tanto lineal como dinámico

#### 4.1.5 Diagrama de momentos

Se analiza el diagrama de momentos que se obtiene mediante el programa, para comprobar que no haya ningún error en los datos calculados e ingresados.

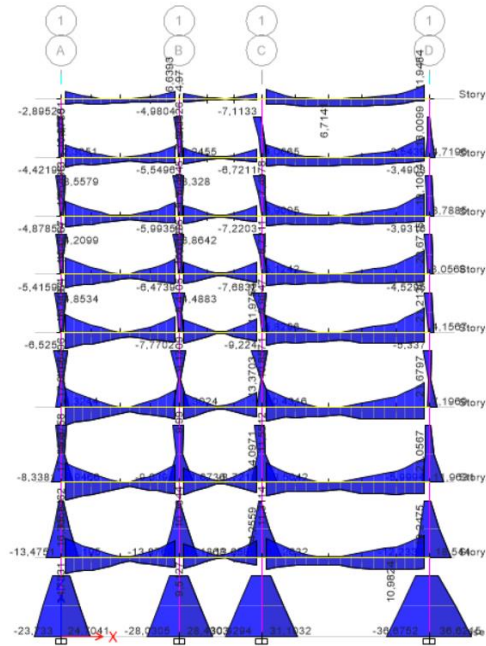


Figura 39: Diagrama de momentos con arriostramiento en V

#### 4.1.6 Centro de gravedad y rigidez de la estructura

También es importante obtener el centro de masa tanto en “X” como en “Y”, así como también la rigidez de la estructura en el arriostramiento en V

Tabla 28: Tabla de gravedad y rigidez de la estructura con arriostramiento en V

Story	Diaphragm	Mass X tonf·s <sup>2</sup> /m	Mass Y tonf·s <sup>2</sup> /m	XCM m	YCM m	Cumulative X tonf·s <sup>2</sup> /m	Cumulative Y tonf·s <sup>2</sup> /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story1	D1	10.78829	10.78829	8.7475	4.0893	10.78829	10.78829	8.7475	4.0893		
Story2	D2	10.73191	10.73191	8.7498	4.0893	10.73191	10.73191	8.7498	4.0893		
Story3	D3	10.73191	10.73191	8.7498	4.0893	10.73191	10.73191	8.7498	4.0893		
Story4	D4	10.5135	10.5135	8.7592	4.0891	10.5135	10.5135	8.7592	4.0891		
Story5	D5	10.29508	10.29508	8.769	4.0889	10.29508	10.29508	8.769	4.0889		
Story6	D6	10.29508	10.29508	8.769	4.0889	10.29508	10.29508	8.769	4.0889		
Story7	D7	10.29508	10.29508	8.769	4.0889	10.29508	10.29508	8.769	4.0889		
Story8	D8	11.22603	11.22603	7.805	3.758	11.22603	11.22603	7.805	3.758		

#### 4.2 ARRIOSTRAMIENTO EN V INVERTIDA

Se realiza el mismo procedimiento que se realizó con la estructura con arriostramiento en V.



#### 4.2.1 Períodos de vibración

Periodo aproximado calculado de la estructura	0,766 s
Periodo real (software)	0,782 s
1.3 T	0,996 s

$$0,766 < 0,782 < 0,996 \quad \text{"OK"}$$

El periodo de la estructura con arriostramiento en V invertida, cumple con el chequeo por lo que se puede realizar el siguiente chequeo.

#### Rotación:

Se realiza el mismo procedimiento que se realizó con la estructura con arriostramiento en V.

1er modo de vibración =Desplazamiento en x o y

2do Modo de vibración =Desplazamiento en x o y

3er modo de vibración =Rotacional

Porcentaje de que se mueve en rotación / porcentaje de la masa en traslación menor al 30 %

**Tabla 29:** Periodo de la estructura con arriostramiento en V invertida

Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ
	sec									
1	0,462	0,809	2E-04	0	0,81	0	0	0	0,175	0,026
2	0,334	4E-04	0,78	0	0,81	0,78	0	0,24	3E-04	0,003
3	0,258	0,027	0,002	0	0,84	0,78	0	0	0,006	0,765
4	0,135	0,107	1E-05	0	0,94	0,90	0	0	0,641	0,004
5	0,089	2E-04	0,133	0	0,94	0,92	0	0,5	8E-04	2E-04
6	0,079	0,036	3E-04	0	0,98	0,92	0	0	0,084	5E-04
7	0,071	9E-04	0,003	0	0,98	0,92	0	0	0,007	0,124
8	0,053	0,014	3E-05	0	0,99	0,92	0	0	0,063	2E-04
9	0,045	3E-06	0,044	0	0,99	0,96	0	0,12	0	0,001

### 1er modo de vibración

Desplazamiento de la Masa en X	80,9 % ok
Rotación en X	2,57 % ok

### 2do modo de vibración

Desplazamiento en Y =	78,0% ok
Rotación en Y	3,4% ok

### 3do modo de vibración

Desplazamiento en X =	2,67% ok
Desplazamiento en Y =	0,21% ok

### 4.2.2 Chequeo de rotación

$$\frac{Rz}{Ux} < 30 \%$$

$$3,18 < 30 \quad \% \quad \text{OK}$$

$$\frac{Rz}{Uy} < 30 \%$$

$$0,44 < 30 \quad \% \quad \text{OK}$$

La estructura con arriostramiento en V invertida cumple con este chequeo por lo que se puede proseguir con el siguiente chequeo.

### Participación del 90 % de la masa en los modos de vibración

$$\text{modo 4} \quad \text{Sum UY} = 90,20 \quad \% \quad \text{OK}$$

$$\text{Modo 5} \quad \text{Sum UX} = 94,35 \quad \% \quad \text{OK}$$

La participación de la masa tanto en "X" como en "Y" para el arriostramiento en V invertida cumple con el 90%.

### 4.2.3 Derivas de piso

#### Sismo en x (Sx)

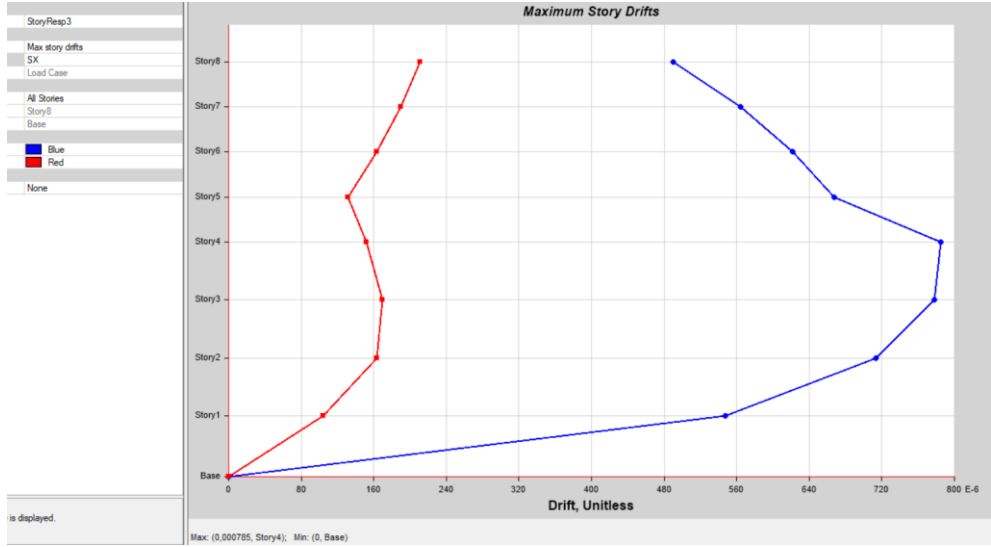


Figura 40: Deriva elástica en “x” de la estructura con arriostramiento en V invertida

#### Sismo en Y (Sy)

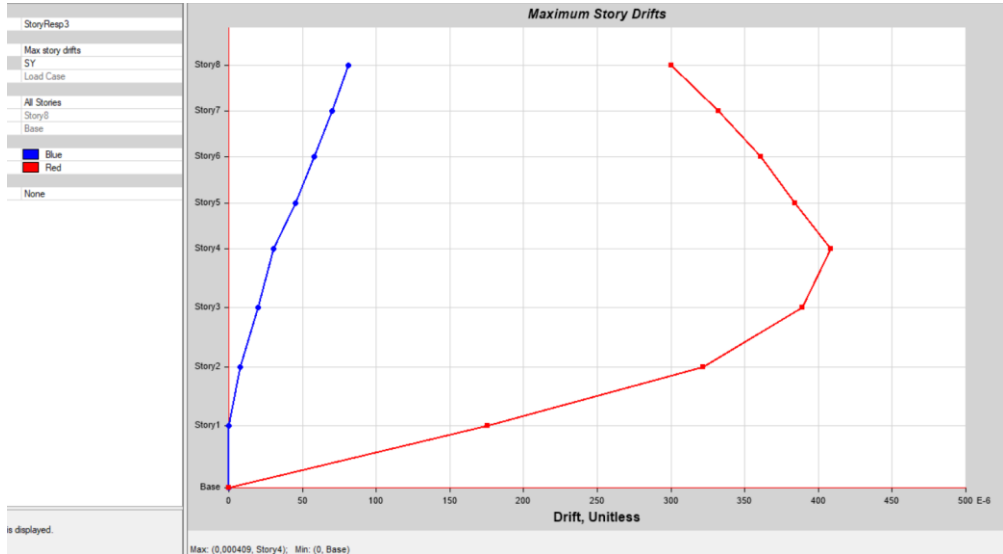


Figura 41: Deriva elástica en “y” de la estructura con arriostramiento en V invertida

#### Derivas elásticas Δ (software)

$$X = 0,002452$$

$$Y = 0,002075$$

**Deriva Inelástica:**

$$\Delta * 0.75 * R < 2 \%$$

Ec. 7

$$X = 1,471 < 2 \% \text{ ok}$$

$$Y = 1,245 < 2 \% \text{ ok}$$

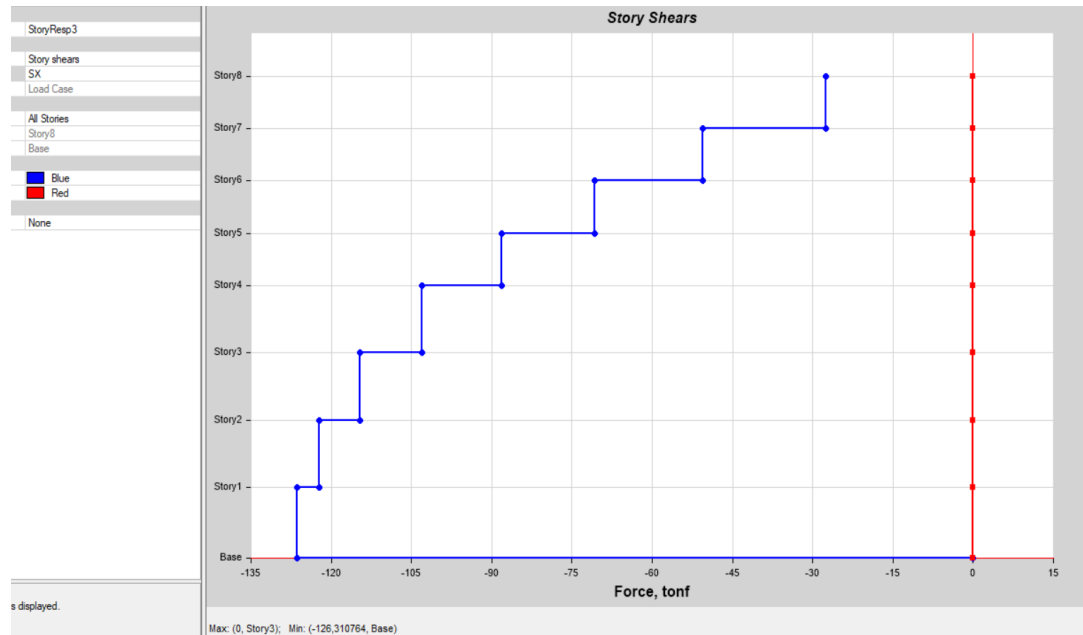
Las derivas inelásticas cumplen con el porcentaje que debe ser menor al 2% para la estructura con arriostramiento en V invertida por lo que se procede a realizar el siguiente chequeo.

#### 4.2.4 Validación del análisis dinámico

Cortante dinámico mayor al 80 % del cortante estático (Estructuras Regulares).

Cortante dinámico mayor al 85% del cortante estático (Estructuras Irregulares).

#### Sismo en x (Sx)



**Figura 42:** Cortante estático en "x" de la estructura con arriostramiento en V invertida

## Sismo en Y (Sy)

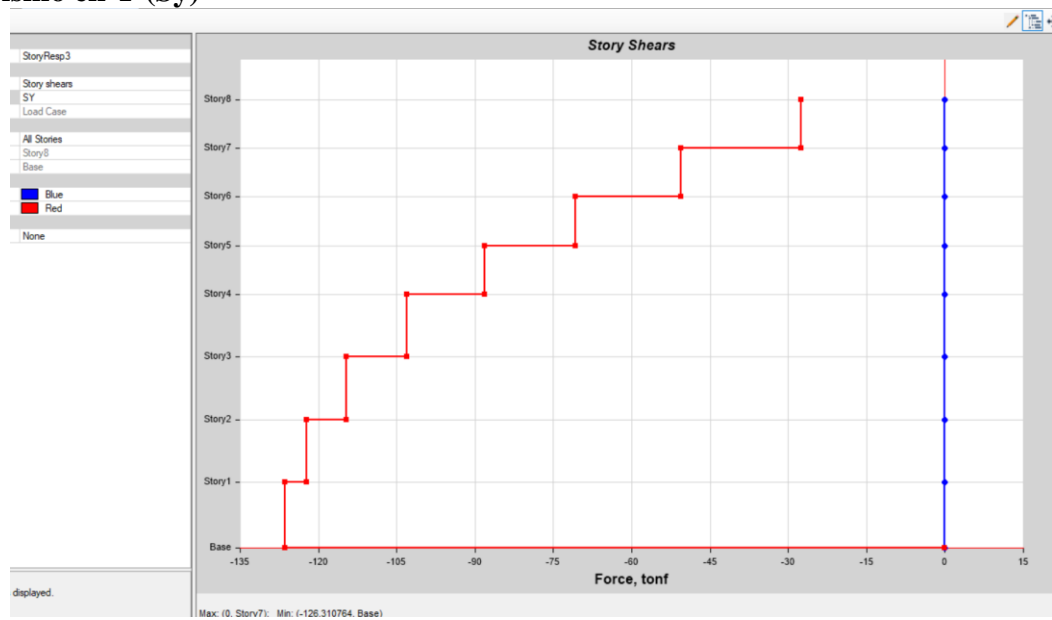


Figura 43: Cortante estático en “y” de la estructura con arriostramiento en V invertida

## Espectro x

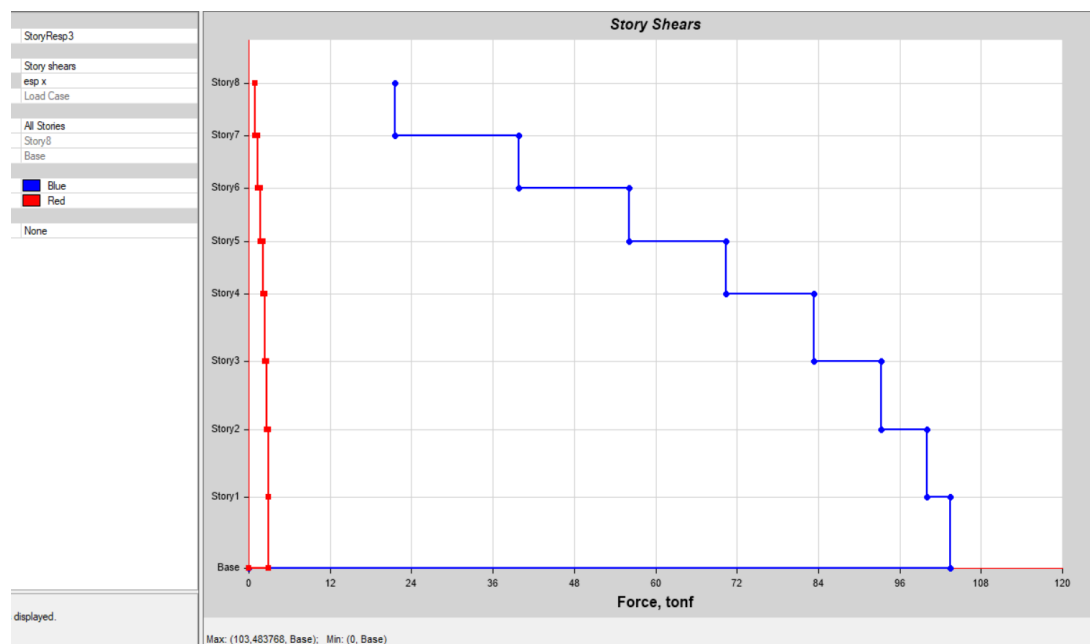
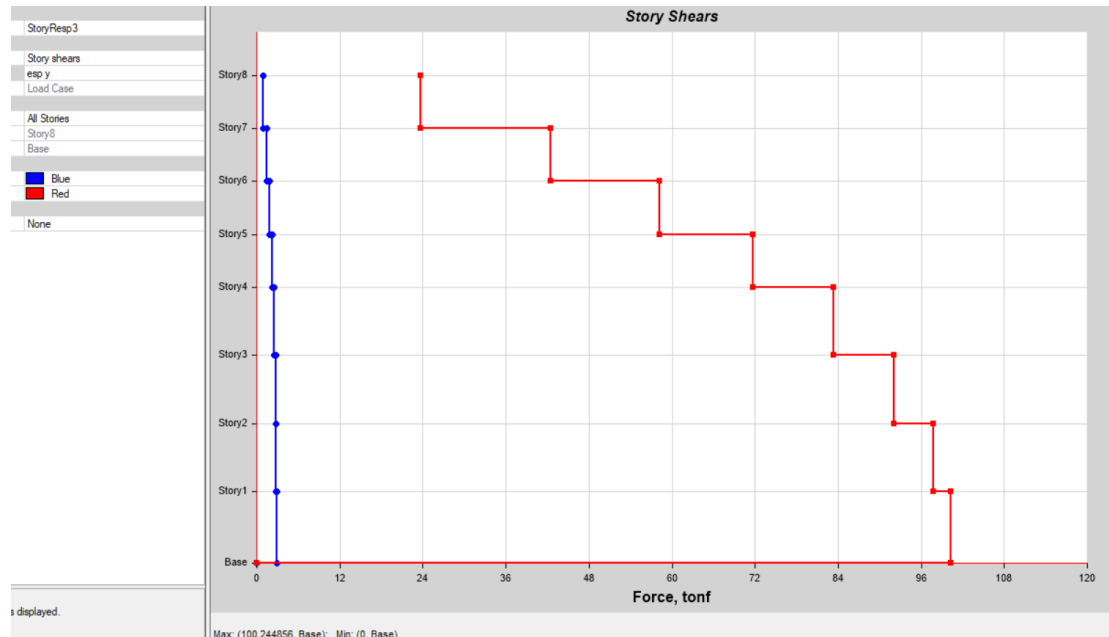


Figura 44: Cortante dinámico en “x” de la estructura con arriostramiento en V invertida

## Espectro Y



**Figura 45:** Cortante dinámico en “y” de la estructura con arriostramiento en V invertida

$$\frac{\text{Cortante Dinámico}}{\text{Cortante Estático}} \times 100 > 80 \%$$

Ec. 8

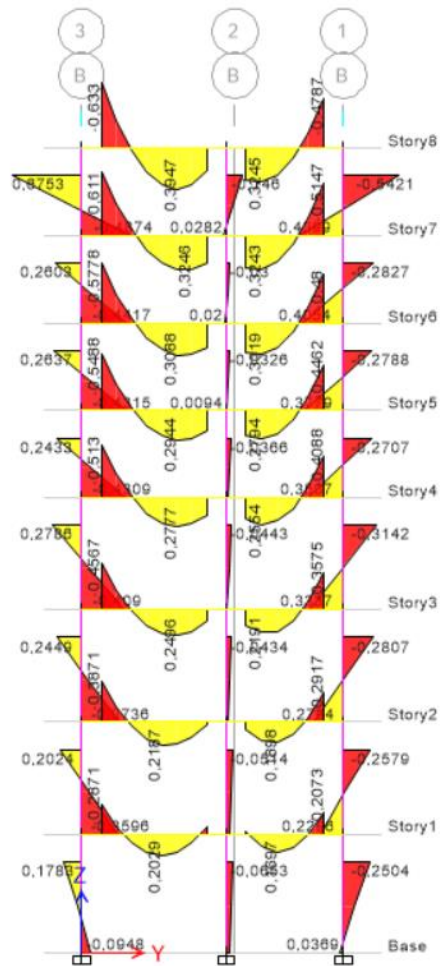
Tabla 30: Validación del análisis dinámico del arriostramiento en V invertida

Cortante Estático	Cortante Dinámico	Cálculos
126,31 ton	103,48 ton	81,9 % > 80 % ok
126,31 ton	104,33 ton	82,6 % > 80 % ok

El análisis dinámico tanto en “X” como en “Y” cumple con el chequeo el cual debe ser mayor al 80% por ser una estructura regular

### 4.2.5 Diagrama de momentos

Se analiza también el diagrama de momentos, que además nos sirve para comparar entre un arriostramiento y otro.



**Figura 46:** Diagrama de momentos de la estructura con arriostramiento en V invertida

#### 4.2.6 Centro de gravedad y rigidez de la estructura

De la misma manera es importante comparar el centro de masas entre un arriostramiento y otro, para que con ello lograr sacar las comparativas y conclusiones.

**Tabla 31:** Tabla de gravedad y rigidez de la estructura con arriostramiento en V invertida

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s <sup>2</sup> /m	Mass Y tonf-s <sup>2</sup> /m	XCM m	YCM m	Cumulative X tonf-s <sup>2</sup> /m	Cumulative Y tonf-s <sup>2</sup> /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story1	D1	10,78829	10,78829	8,7475	4,0893	10,78829	10,78829	8,7475	4,0893		
Story2	D2	10,73191	10,73191	8,7498	4,0893	10,73191	10,73191	8,7498	4,0893		
Story3	D3	10,73191	10,73191	8,7498	4,0893	10,73191	10,73191	8,7498	4,0893		
Story4	D4	10,5135	10,5135	8,7592	4,0891	10,5135	10,5135	8,7592	4,0891		
Story5	D5	10,29508	10,29508	8,769	4,0889	10,29508	10,29508	8,769	4,0889		
Story6	D6	10,29508	10,29508	8,769	4,0889	10,29508	10,29508	8,769	4,0889		
Story7	D7	10,29508	10,29508	8,769	4,0889	10,29508	10,29508	8,769	4,0889		
Story8	D8	11,22603	11,22603	7,805	3,758	11,22603	11,22603	7,805	3,758		

### 4.3 ARRIOSTRAMIENTO EN K

#### 4.3.1 Períodos de vibración

Periodo aproximado calculado de la estructura 0,766 s

Periodo real (software) 0,951 s

1.3 T 0,996 s

$$0,766 < 0,951 < 0,996 \quad \text{“OK”}$$

Con el arriostramiento en K se procede a realizar el mismo procedimiento, que, en los arriostramientos anteriores, y mediante la obtención del periodo real en el programa, se permite analizar que está dentro del rango de valores por lo que se pasa al siguiente chequeo de la estructura en estudio.

#### Rotación

Mediante los cálculos realizados en los arriostramientos anteriores, con el arriostramiento en K, efectuamos la misma acción para verificar si cumple o no con este requerimiento. Así mismo cabe recalcar que si no se cumpliría con dicho chequeo, se tendría que rediseñar nuevamente los elementos estructurales hasta que cumpla con los mismos.

1er modo de vibración = Desplazamiento en x

2do Modo de vibración =Desplazamiento en y

3er modo de vibración =Rotacional

Porcentaje de que se mueve en rotación / porcentaje de la masa en traslación menor al 30 %.



**Tabla 32:** Periodo de la estructura con arriostramiento en K

Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ
	sec									
1	0,511	0,838	4E-04	0	0,84	0	0	0	0,162	0,012
2	0,35	0,002	0,771	0	0,84	0,77	0	0,22	1E-04	0,018
3	0,28	0,011	0,02	0	0,85	0,79	0	0,01	0,003	0,775
4	0,146	0,094	2E-04	0	0,95	0,92	0	0	0,666	0,002
5	0,094	3E-04	0,124	0	0,95	0,92	0	0,5	0,001	0,003
6	0,084	0,033	3E-04	0	0,98	0,92	0	0	0,071	1E-05
7	0,078	7E-04	0,002	0	0,98	0,92	0	0,01	0,005	0,112
8	0,056	0,014	0	0	0,99	0,92	0	0	0,065	2E-04
9	0,047	1E-05	0,044	0	0,99	0,96	0	0,12	2E-05	8E-04

### 1er modo de vibración

Desplazamiento de la Masa en X                      83,8 % ok

Rotación en X    1,15 % ok

### 2do modo de vibración

Desplazamiento en Y                                      77,1 % ok

Rotación en Y    18,3 % ok

### 3er modo de vibración

Desplazamiento en X                                      1,11% ok

Desplazamiento en Y                                      2,01% ok

Rotación    1,2 % ok

### 4.3.2 Chequeo de rotación

$$\frac{Rz}{Ux} < 30 \%$$

$$1,37 < 30 \quad \% \quad \text{OK}$$

$$\frac{Rz}{Uy} < 30 \%$$

$$2,37 < 30 \quad \% \quad \text{OK}$$

Se cumple con el chequeo, en el cual nos indica que debe ser menor al 30% por lo que se puede analizar el siguiente chequeo.

**Participación del 90 % de la masa en los modos de vibración**

modo 4                      Sum UY = 92,20 %      OK

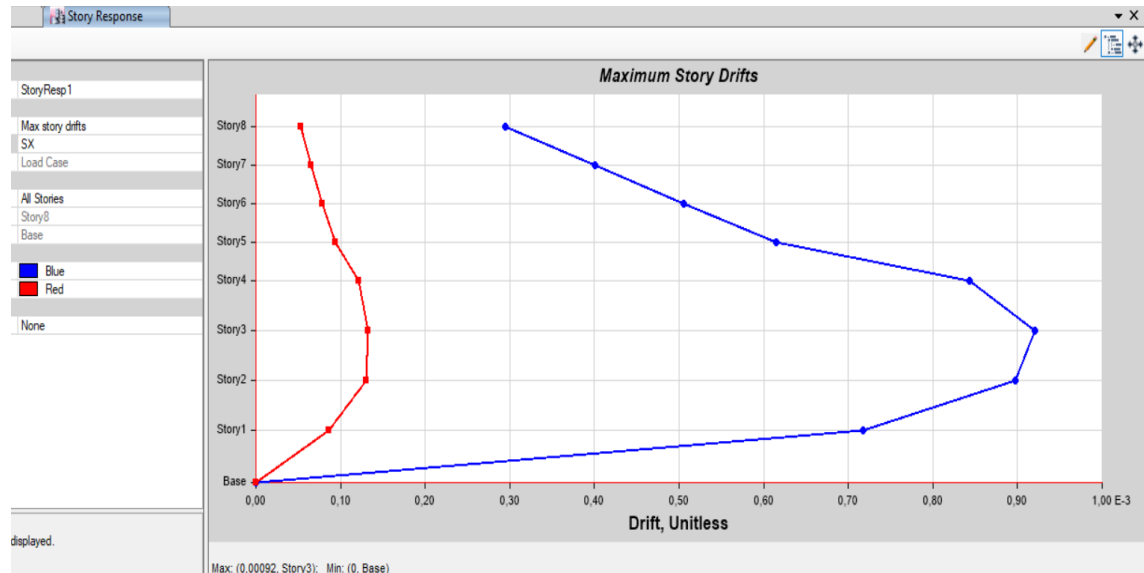
Modo 5                      Sum UX = 94,53 %      OK

La estructura analizada cumple con la participación de la masa mayor al 90% en los modos 4 y 5 para una estructura que tiene arriostramientos tipo K

**4.3.4 Derivas de piso**

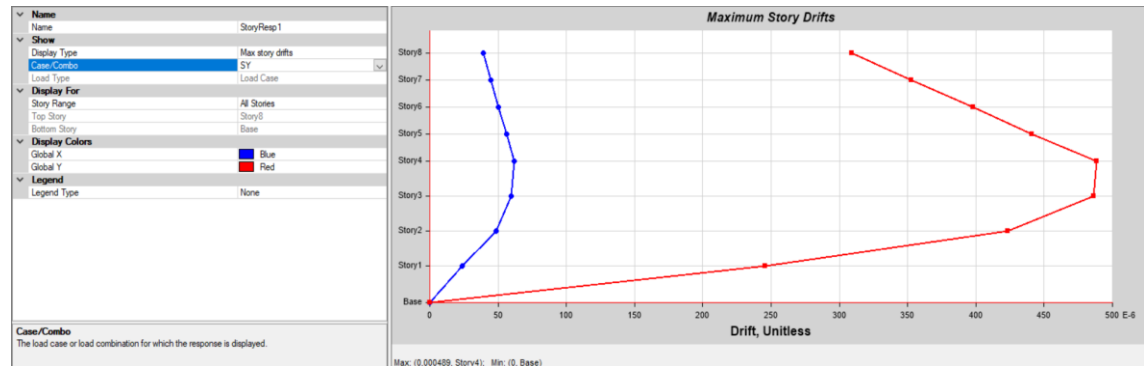
**Sismo en X (Sx)**

Mediante las gráficas y tablas que se obtiene en el programa se puede ver los valores de las derivas elásticas, misma que con los cálculos respectivos, se convierten en derivas inelásticas, las cuales deben cumplir con el requerimiento de ser menor al 2%.



**Figura 47:** Deriva elástica en “x” de la estructura con arriostramiento en K

## Sismo en Y (Sy)



**Figura 48:** Deriva elástica en “y” de la estructura con arriostramiento en K

### Derivas elásticas $\Delta$ (software)

$$X = 0,002587$$

$$Y = 0,002155$$

### Deriva Inelástica:

$$\Delta * 0.75 * R < 2 \%$$

Ec. 9

$$X = 1,552 < 2 \% \text{ ok}$$

$$Y = 1,293 < 2 \% \text{ ok}$$

La deriva inelástica tanto en el sentido “X” como “Y” para una estructura con arriostramiento en “K” cumplen con el porcentaje menor al 2%

### 4.3.4 Validación del análisis dinámico

Mediante el análisis realizado en programa, se puede obtener los valores tanto del cortante dinámico, como del cortante estático, la cual, mediante una relación entre estos dos valores, será mayor al 80%, ya que la estructura es considerada como regular, al no tener mayor problema en planta

Cortante dinámico mayor al 80 % del cortante estático (Estructuras Regulares)

Cortante dinámico mayor al 85% del cortante estático (Estructuras Irregulares)

## Sismo en x

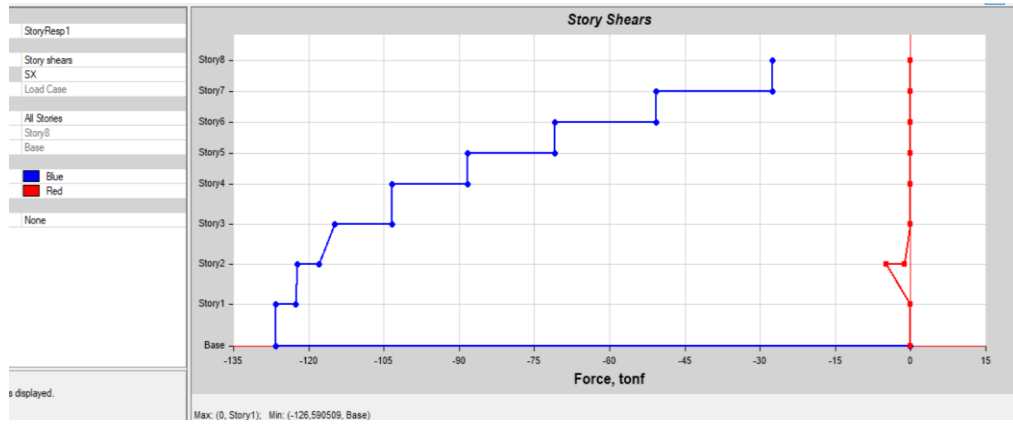


Figura 49: Cortante estático en “x” de la estructura con arriostramiento en K

## Sismo en y

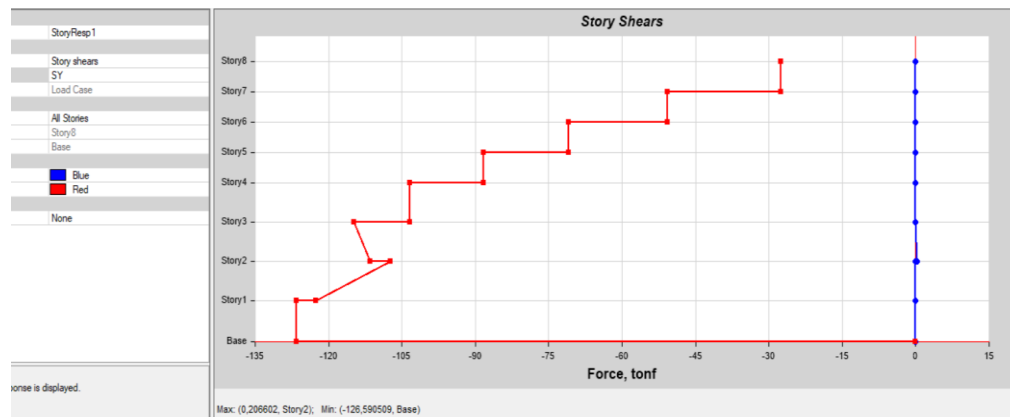


Figura 50: Cortante estático en “y” de la estructura con arriostramiento en K

## Espectro x

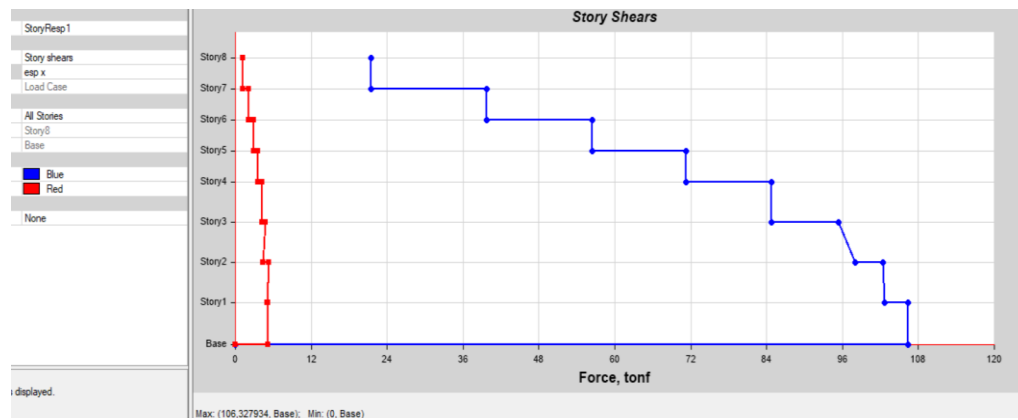
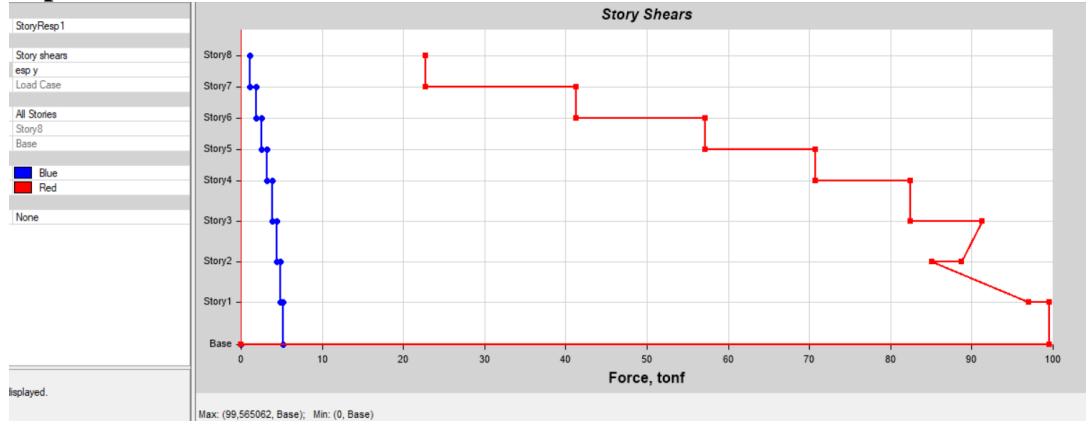


Figura 51: Cortante dinámico en “x” de la estructura con arriostramiento en K

## Espectro Y



**Figura 52:** Cortante dinámico en “y” de la estructura con arriostramiento en K

$$\frac{\text{Cortante Dinámico}}{\text{Cortante Estático}} \times 100 > 80 \% \quad \text{Ec. 10}$$

Tabla 33: Validación del análisis dinámico del arriostramiento en K

Cortante Estático		Cortante Dinámico		
126,59	106,33	84,0 %	> 80 %	ok
126,59	102,03	80,6 %	> 80 %	ok

La estructura con arriostramiento en K cumple con el análisis dinámico y en general con todos los chequeos estáticos y dinámicos con dicho arriostramiento por lo que después de aquello obtenemos el diagrama de momentos y los valores de centro de masa tanto en “X” como en “Y” así como también su rigidez, siendo fundamental para comparar la estructura, con los arriostramientos anteriores.



### 4.3.6 Centro de gravedad y rigidez de la estructura

**Tabla 34:** Tabla de gravedad y rigidez de la estructura con arriostramiento en K

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s <sup>2</sup> /m	Mass Y tonf-s <sup>2</sup> /m	XCM m	YCM m	Cumulative X tonf-s <sup>2</sup> /m	Cumulative Y tonf-s <sup>2</sup> /m	XCCM m	YCCM m
Story1	D1	10,81065	10,81065	8,7582	4,093	10,81065	10,81065	8,7582	4,093
Story2	D2	10,73718	10,73718	8,75	4,087	10,73718	10,73718	8,75	4,087
Story3	D3	10,75888	10,75888	8,7639	4,0932	10,75888	10,75888	8,7639	4,0932
Story4	D4	10,54108	10,54108	8,7708	4,0916	10,54108	10,54108	8,7708	4,0916
Story5	D5	10,32066	10,32066	8,7816	4,0922	10,32066	10,32066	8,7816	4,0922
Story6	D6	10,32066	10,32066	8,7816	4,0922	10,32066	10,32066	8,7816	4,0922
Story7	D7	10,32066	10,32066	8,7816	4,0922	10,32066	10,32066	8,7816	4,0922
Story8	D8	11,23882	11,23882	7,8119	3,7599	11,23882	11,23882	7,8119	3,7599

### 4.4 Cuadros de resumen

Al haber calculado y analizado las tres estructuras con diferentes arriostramientos, después de obtener diferentes valores en las estructuras, para tener un mayor entendimiento y comprensión en los datos, se realiza una tabla resumen, el cual facilitará en el análisis y para las conclusiones que se indicará más adelante.

#### 4.4.1 Periodo de vibración

**Tabla 35:** Resumen del periodo de vibración con los tres arriostramientos

Periodo de vibración	
Tipo de arriostramiento	Periodo (T)(s)
Arriostramiento en v	0,802
Arriostramiento en v invertida	0,782
Arriostramiento en k	0,951

#### 4.4.2 Rotación

**Tabla 36:** Resumen de la rotación en los tres arriostramientos

	Arriostramiento en V	Arriostramiento en V invertida	Arriostramiento en k
$\frac{Rz}{Ux} < 30 \%$	2,78	3,18	1,37
$\frac{Rz}{Uy} < 30 \%$	0,29	0,44	2,37

#### 4.4.3 Participación del 90% de la masa en los modos de vibración

**Tabla 37:** Resumen de la participación de la masa de los tres arriostramientos

		Arriostramiento en V	Arriostramiento en V invertida	Arriostramiento en k
modo 4	Sum UY	91,93%	90,20%	92,20%
modo 5	Sum UX	94,90%	94,40%	94,50%

#### 4.4.4 Derivas de piso

**Tabla 38:** Resumen de las derivas elásticas de los tres arriostramientos

Derivas elásticas		
	x	y
Arriostramiento en V	0,000799	0,000445
Arriostramiento en V invertida	0,000785	0,000409
Arriostramiento en k	0,00092	0,000489

**Tabla 39:** Resumen de las derivas inelásticas de los tres arriostramientos

Derivas inelásticas		
	x (%)	y (%)
Arriostramiento en V	0,4794	0,267
Arriostramiento en V invertida	0,471	0,2454
Arriostramiento en k	0,552	0,2934

#### 4.4.5 Validación del análisis dinámico

**Tabla 40:** Resumen del cortante estático de los tres tipos de arriostramientos

Cortante estático		
	x	y
Arriostramiento en V	126,31	126,31
Arriostramiento en V invertida	126,31	126,31
Arriostramiento en k	126,59	126,59



**Tabla 41:** Resumen del cortante dinámico de los tres tipos de arriostramientos

<b>Cortante dinámico</b>		
	<b>x</b>	<b>y</b>
Arriostramiento en V	104,9	100,93
Arriostramiento en V invertida	103,48	100,48
Arriostramiento en k	106,33	100,48

**Tabla 42:** Validación del análisis dinámico en los tres tipos de arriostramientos

<b>Validación análisis dinámico mayor al 80%</b>		
	<b>x</b>	<b>y</b>
Arriostramiento en V	83,05	82,91
Arriostramiento en V invertida	81,93	82,55
Arriostramiento en k	84,00	80,66

#### 4.5 Análisis de costo

Debido a que la misma estructura se analizó y diseño en un mismo pórtico y se utilizó arriostramiento en los 7 niveles, el análisis de precios para las tres estructuras se presenta en la tabla a continuación y posteriormente se presenta una tabla final del precio por metro cuadrado de la edificación con los tres arriostramientos.

**Tabla 43:** Principales rubros para la edificación de 7 pisos con arriostramiento en V, V invertida y K

<b>Principales rubros utilizados en el edificio de 7 pisos con arriostramiento V, V invertida y K</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>P. Unitario</b>
Perfiles en acero estructural, suministro y montaje	Kg	3,55
Suministro e instalación de placa colaborante (e=0.75 mm)	m <sup>2</sup>	23,12
Suministro y colocación de malla electro soldada (15x15 cm, d=5.5 mm)	m <sup>2</sup>	5,51
Hormigón para la losa $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> (Material, mano de obra y equipo)	m <sup>3</sup>	152,25
Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm <sup>2</sup>	Kg	2,58

**Tabla 44:** Costo por m2 de la estructura de 7 pisos con arriostramiento en V, V invertida y K

<b>Arriostramiento</b>	<b>Costo por m2</b>
En V	\$238,17
V Invertida	
K	

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

#### 5.1 Conclusiones

- Se realizó el cálculo de los periodos de las tres diferentes estructuras en las cuales las tres cumplieron estar dentro del rango adecuado, siendo el menor valor que se obtuvo el arriostamiento en V invertida con un valor de 0,782 s, seguido del arriostamiento en V con un valor de 0.802 s y por último y con un valor más alto que los anteriores, el arriostamiento en K con 0,951 s.
- En el análisis de chequeo de rotación, así mismo la estructura cumplió su rotación menor al 30% con los tres tipos de arriostamientos propuestos en este trabajo, por lo que se obtuvo menores rotaciones en V y en V invertida, mientras que en K se obtuvo mayores rotaciones. Con un valor de 2,78% en X y 0,29% en Y para el arriostamiento en V; con un valor de 3,18 en X y 0,44 en Y para un arriostamiento en V invertida, y finalmente con un valor de 1,37 en X y 2,37 para un arriostamiento en K.
- En el porcentaje de participación de la masa mayor al 90% se obtuvo un mayor porcentaje en el arriostamientos en K con 92,20% en X y 94,50% en Y, después estuvo el arriostamiento en V con 91,93% en X y 94,90% en Y, por último, con menor porcentaje el arriostamiento en V invertida con 90,20% en X y 94.40% en Y.
- En los cálculos de las derivas de piso se concluyó con un menor porcentaje menor al 2% al arriostamiento en V invertida con 1,471% en X y 1,245% en Y, le sigue el arriostamiento en V con 1,479% en X y 1,267% en Y. Por último, con valores más altos de derivas tenemos al arriostamiento en K con 1,552 en X y 1,293 en Y

- En el análisis dinámico, el que obtuvo un mejor desempeño en este caso fue el arriostramiento en V debido a que su validación de su análisis está en un 83,05% en X y 82,91% en Y, le sigue el arriostramiento en V invertida con 81,93 en X y 82,55 en Y; y por el último en K se obtiene 84,00% en X y 80,66% en Y.
- Por último, se concluye que el mejor arriostramiento para este tipo de estructura es el arriostramiento en V invertida, ya que, por sus chequeos para el análisis lineal y dinámico, fue el que mejor comportamiento tiene ante las solicitaciones y cargas aplicadas, además de ser el más óptimo al momento de analizar su economía.
- Se realizó el análisis de precios para lo cual la estructura con los tres tipos de arriostramiento representa un costo final de \$238,17 por m<sup>2</sup> por lo que se concluye que las tres estructuras tendrían el mismo valor

## **5.2 Recomendaciones**

- Para realizar el diseño de una estructura metálica ya sea de pequeña o gran magnitud es necesario estudiar la normativa vigente tanto en el país como la norma americana, esto es necesario para no cometer errores que incumplan con los chequeos requeridos
- Es necesario estudiar la implantación arquitectónica en los proyectos, para con esto saber, el tipo de arriostramientos que se le pueda aplicar a la estructura, de acuerdo a su viabilidad y funcionalidad.
- Para estos tipos de estructuras se recomienda utilizar sistemas de pórticos arriostrados debido a que tienen un comportamiento más dúctil que los pórticos que no son arriostrados
- Se recomienda también en la construcción de estas estructuras, llevar un estricto control de calidad, para que la estructura tenga un comportamiento igual que a

la de los cálculos.

- Seleccionar perfiles que cumplan con las normativas anteriormente mencionadas, para que tenga un buen desarrollo después de un evento sísmico.

### 5.3 Bibliografía

- [1] A. Sarmanho, Steel Framing: Arquitectura, Santiago de Chile : ILAFA, 20017
- [2] Instituto Técnico de la Estructura de Acero, “Construcción en acero factores económico y comerciales”, 2020
- [3] A. Mittal, Steel Buildings In Europe, Estados Unidos: CTICM y SCI , 2019
- [4] Guerrero, D., 2017. Evaluación térmica económica del diseño por desempeño de edificios con estructura de acero utilizando diversos tipos de arriostramientos laterales. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- [5] Ochoa, K., 2020. Diseño Sismorresistente de los Elementos que Conforman los Pórticos Arriostrados Concéntricamente. 1st ed. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
- [6] merino, w., 2019. Influencia del diseño de estructuras tipo marco con dispositivos de control para el mejoramiento del comportamiento sísmico en edificaciones de la Urb. San Isidro y etapa, Distrito de Trujillo, 2019. 1st ed. Trujillo, Perú: Universidad privada del norte.
- [7] Aguilar, K., 2019. Estudio comparativo de edificios de acero de gran altura con diagonales excéntricas, concéntricas y diagonales con amortiguadores en la ciudad de quito. 1st ed. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- [8] Jara, J. (2016). Estado del arte sobre dispositivos para reducir daños provocados por temblores. Revista de Ingeniería Sísmica, vol. (37). Pg. 25-79. Recuperado en línea el 17 de abril del 2019 en <http://www.smis.mx/index.php/RIS/article/viewfile/277/210>

[9] López, B., 2019. Diseño de edificios de acero de ocho niveles con sistemas de marcos arriostrados concéntricamente (SCBF). 1st ed. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.

[10] Tume, P., 2019. Análisis comparativo estructural y económico al diseñar un edificio multifamiliar de seis pisos de concreto armado y acero, ubicados en la ciudad de Piura. 1st ed. Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura.

[11] Cuasapaz, D., 2022. Análisis técnico y económico del diseño por desempeño de edificios con estructura de acero utilizando arriostramientos concéntricos. [online] redalyc.org. available at: <<https://www.redalyc.org/journal/5703/570362487004/>>

[12] Ugel Garrido, R., Herrera González, R., Pérez Colmenares, S. and López Machado, L., 2017. revisión paramétrica del comportamiento sismo-resistente de edificios de acero de gran altura con diferentes configuraciones de rigidizadores laterales. [online] ve.scielo.org. available at: <[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1315-01622016000200010](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1315-01622016000200010)>

[13] Tosoni, R., 2017. Recuperación de edificios mediante dispositivo independiente "bielas vinculantes" del tipo histerético para protección sísmica. 1st ed. Bogotá, Colombia, 2020.

[14] Andachi, O., 2021. Disposiciones especiales para el diseño de estructuras de acero con diagonales concéntricas. 1st ed. Latacunga, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.

[15] Borbor, J., 2020. Estudio comparativo entre sistemas estructurales de pórticos especiales arriostrados concéntricos y excéntricos, y pórticos sin arriostramientos para edificaciones con estructuras de acero. 1st ed. La Libertad, Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena.

**[16] Andrade, J., 2017. análisis comparativo entre sistemas estructurales sismos resistentes para edificios utilizando sistemas combinados con pórticos, muros o diagonales en hormigón y acero. 1st ed. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.**

[17] García, L., 2021. Análisis de Reforzamiento Sísmico del Edificio de Docentes N°1 de la Universidad Técnica de Manabí. 1st ed. Manabí, Ecuador: Revista Riemat.

[18] Vielma, J. and Mendoza, C., 2018. Respuesta sísmica de pórticos de acero con diagonales concéntricas tipo V invertida diseñados conforme a las normas venezolanas. 1st ed. Valencia, Venezuela.

[19] Faddoul, E., 2017. Efecto de los arriostramientos en estructuras aporticadas de acero. 1st ed. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.

[20] Herrera, R., 2017. Análisis estructural y respuesta sísmica del edificio Torre 4 del Estadio Capwell- estudio de métodos de proyección sísmica para la estructura. 1st ed.

Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

[21] Durán, A., 2017. Estado del arte de arriostramiento en estructuras de acero. 1st ed. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

[22] Vielma, J., 2021. Vulnerabilidad de edificios de acero con diagonales concéntricas tipo V invertida. 1st ed. Chile: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

[23] Navarro, F. (2017). Comparación de las respuestas dinámicas en estructuras con y sin disipadores de energía pasivos de fluido viscoso en la zona sísmica cuatro (Tesis de bachiller). Universidad Nacional De Piura. Perú. Recuperado el 21 de abril del 2019.

[24] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “Peligro Sísmico Diseño Sismo



Resistente”, Quito, 2014.

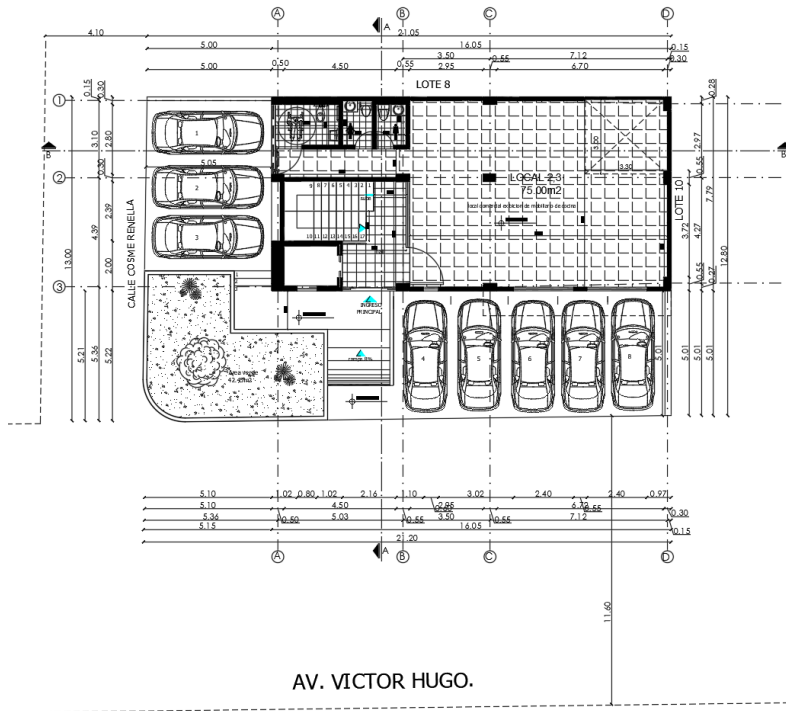
[25] ANSI/AISC-360, “Specification for Structural Steel Buildings”, Estados Unidos, 2016

## ANEXOS

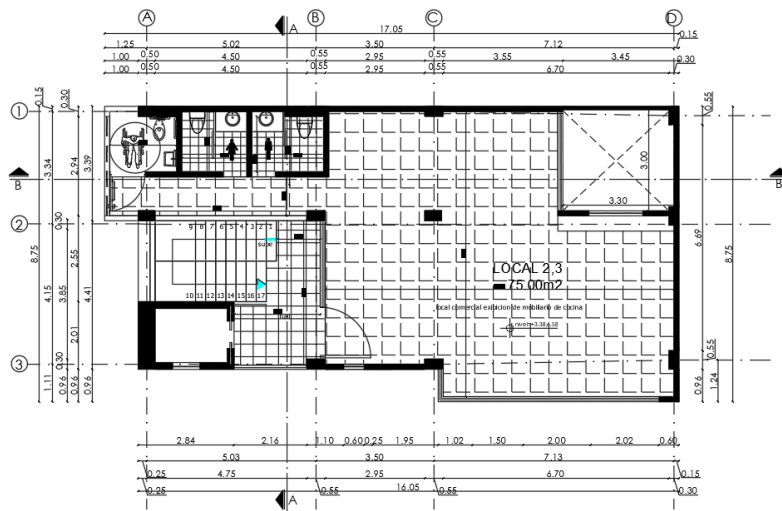
Anexo 1: Esfuerzo crítico para miembros a compresión [25].

<b>Compression Members</b>														
$F_y = 35$ ksi			$F_y = 36$ ksi			$F_y = 42$ ksi			$F_y = 46$ ksi			$F_y = 50$ ksi		
$\frac{KL}{r}$	$F_{cr}/\Omega_c$	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	$F_{cr}/\Omega_c$	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	$F_{cr}/\Omega_c$	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	$F_{cr}/\Omega_c$	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	$F_{cr}/\Omega_c$	$\phi_c F_{cr}$
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi
	ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD
41	19.2	28.9	41	19.7	29.7	41	22.7	34.1	41	24.6	37.0	41	26.5	39.8
42	19.2	28.8	42	19.6	29.5	42	22.6	33.9	42	24.5	36.8	42	26.3	39.5
43	19.1	28.7	43	19.6	29.4	43	22.5	33.7	43	24.3	36.6	43	26.2	39.3
44	19.0	28.5	44	19.5	29.3	44	22.3	33.6	44	24.2	36.3	44	26.0	39.1
45	18.9	28.4	45	19.4	29.1	45	22.2	33.4	45	24.0	36.1	45	25.8	38.8
46	18.8	28.3	46	19.3	29.0	46	22.1	33.2	46	23.9	35.9	46	25.6	38.5
47	18.7	28.1	47	19.2	28.9	47	22.0	33.0	47	23.8	35.7	47	25.5	38.3
48	18.6	28.0	48	19.1	28.7	48	21.8	32.8	48	23.6	35.4	48	25.3	38.0
49	18.5	27.9	49	19.0	28.5	49	21.7	32.6	49	23.4	35.2	49	25.1	37.7
50	18.4	27.7	50	18.9	28.4	50	21.6	32.4	50	23.3	35.0	50	24.9	37.5
51	18.3	27.6	51	18.8	28.3	51	21.4	32.2	51	23.1	34.8	51	24.8	37.2
52	18.3	27.4	52	18.7	28.1	52	21.3	32.0	52	23.0	34.5	52	24.6	36.9
53	18.2	27.3	53	18.6	28.0	53	21.2	31.8	53	22.8	34.3	53	24.4	36.7
54	18.1	27.1	54	18.5	27.8	54	21.0	31.6	54	22.6	34.0	54	24.2	36.4
55	18.0	27.0	55	18.4	27.6	55	20.9	31.4	55	22.5	33.8	55	24.0	36.1
56	17.9	26.8	56	18.3	27.5	56	20.7	31.2	56	22.3	33.5	56	23.8	35.8
57	17.7	26.7	57	18.2	27.3	57	20.6	31.0	57	22.1	33.3	57	23.6	35.5
58	17.6	26.5	58	18.1	27.1	58	20.5	30.7	58	22.0	33.0	58	23.4	35.2
59	17.5	26.4	59	17.9	27.0	59	20.3	30.5	59	21.8	32.8	59	23.2	34.9
60	17.4	26.2	60	17.8	26.8	60	20.2	30.3	60	21.6	32.5	60	23.0	34.6
61	17.3	26.0	61	17.7	26.6	61	20.0	30.1	61	21.4	32.2	61	22.8	34.3
62	17.2	25.9	62	17.6	26.5	62	19.9	29.9	62	21.3	32.0	62	22.6	34.0

## Anexo 2: Planos arquitectónicos Nivel 1



## Anexo 3: Planos arquitectónicos Nivel 2



### Anexo 4: Planos arquitectónicos Nivel 3

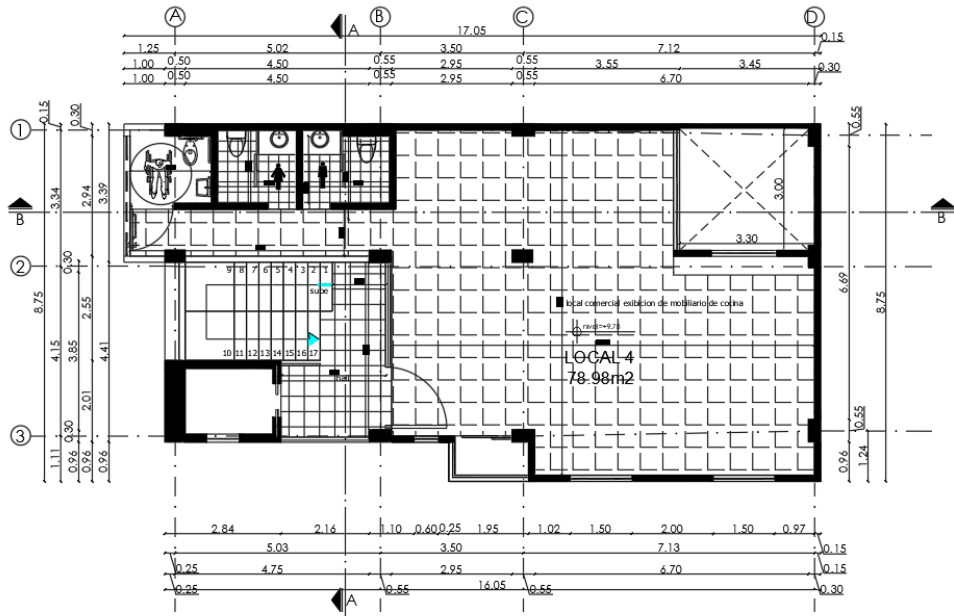
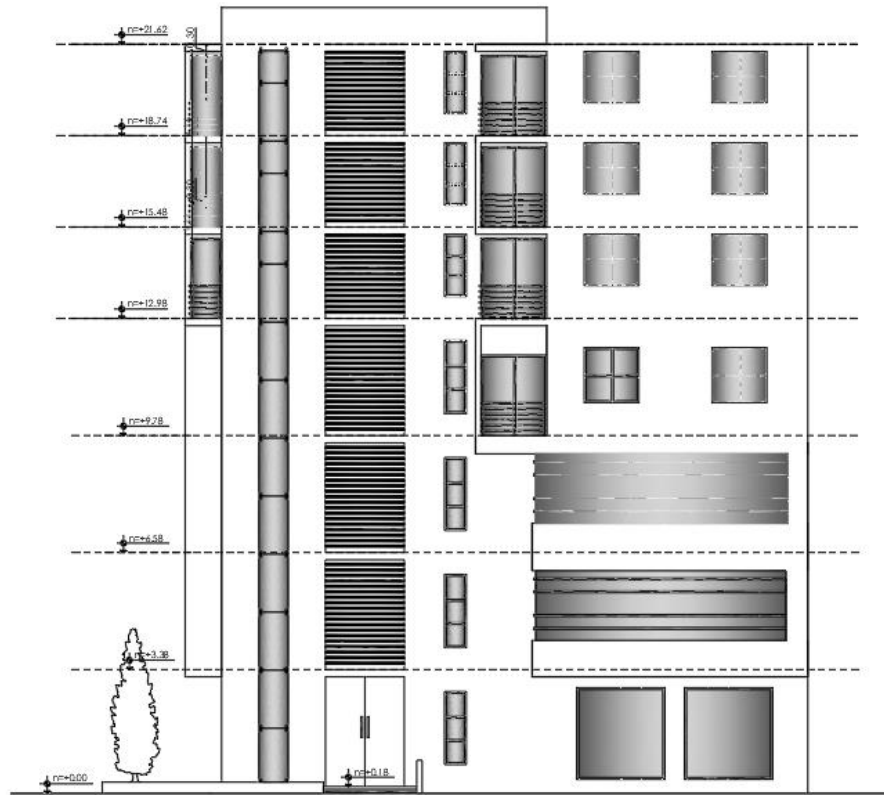


Figura 54: Planta Nv+9.78

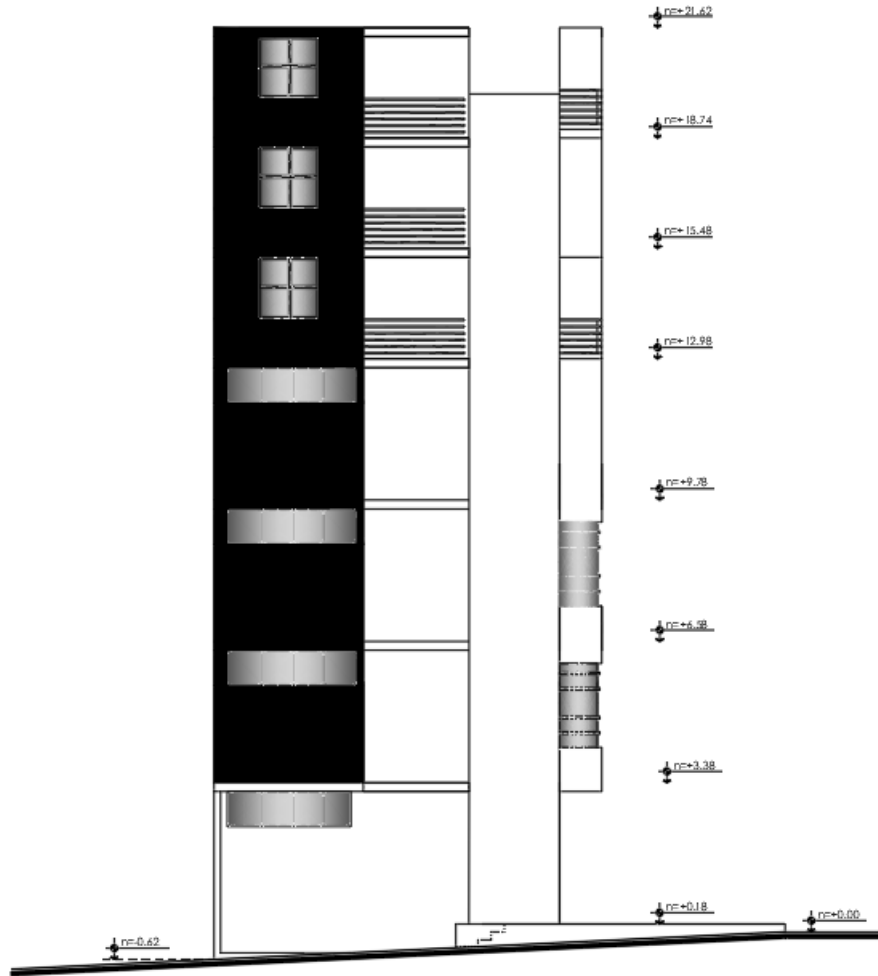
**Anexo 5: Planos arquitectónicos Nivel 4, 5, 6 y 7**



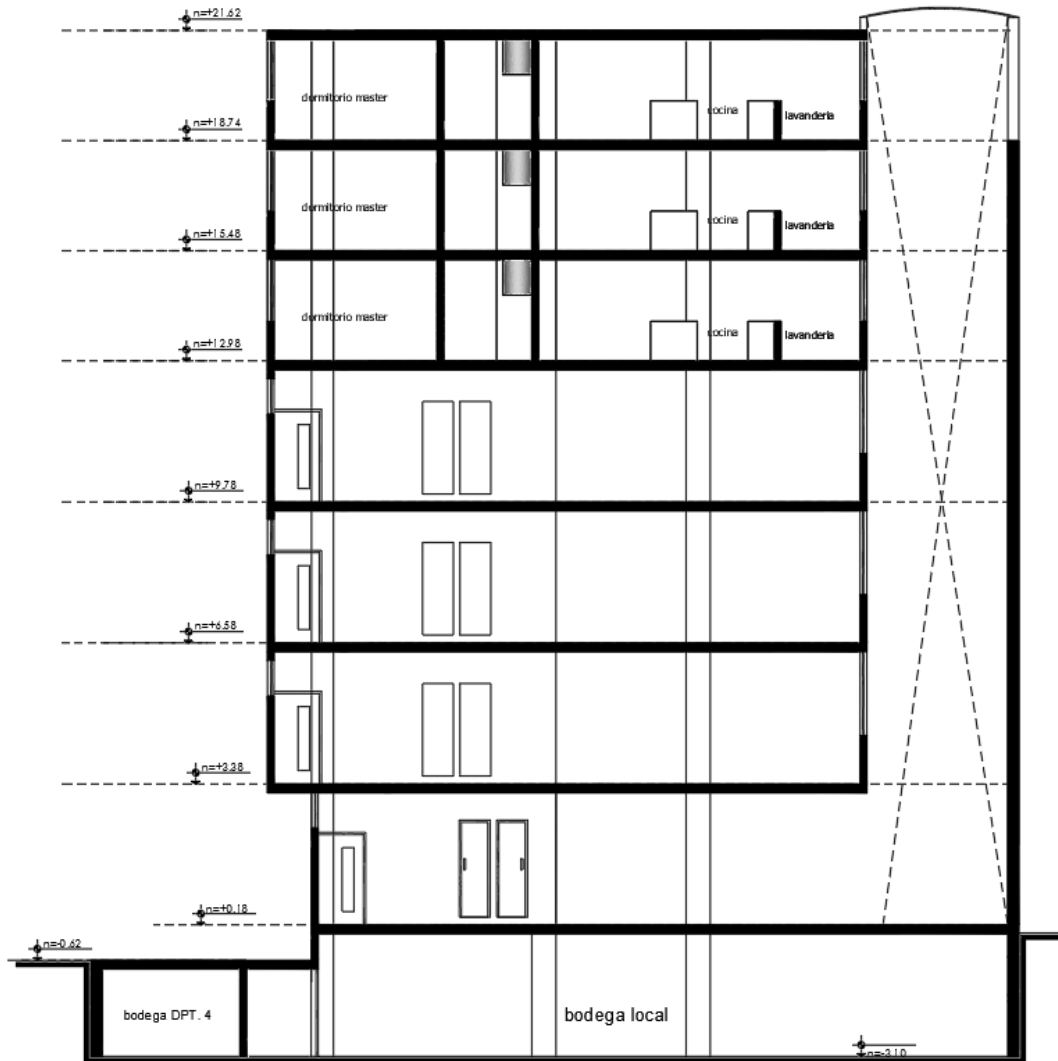
Anexo 6: Fachada frontal



## Anexo 7: Fachada lateral



## Anexo 8: Corte B-B





Anexo 9: Corte A-A

