

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

**Estudio de Alternativas de Diseño Sismo-resistente para Edificios de
Acero con Pórticos Resistentes a Momentos Usando Conexiones
Precalificadas y Pórticos Arriostrados Concéntricamente**

Proyecto de Investigación y Desarrollo

Oscar David Quinapallo Jami

**Pablo Andrés Torres Rodas, PhD.
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil, Mención Diseño y
Construcción de Estructuras Sismo Resistentes

Quito, 19 de mayo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Estudio de Alternativas de Diseño Sismo-resistente para Edificios de

Acero con Pórticos Resistentes a Momentos Usando Conexiones

Precalificadas y Pórticos Arriostrados Concéntricamente

Oscar David Quinapallo Jami

Nombre del Director del Programa:

Fernando Romo

Título académico:

Master of Science

Director del programa de:

Maestría en Ingeniería Civil

Nombre del Decano del colegio Académico:

Eduardo Alba

Título académico:

Doctor of Philosophy

Decano del Colegio:

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Nombre del Decano del Colegio de Posgrados:

Hugo Burgos

Título académico:

Doctor of Philosophy

Quito, 19 de mayo de 2021

© Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombre: Oscar David Quinapallo Jami

Código de Estudiante: 00215846

CI: 1720332392

Lugar, Fecha: Quito, 19 de mayo de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

DEDICATORIA

Este trabajo se la dedico a mi papá Aparicio quien fue la persona que me enseñó a decirlo todo sin decir nada.

A mi mamita Rosa quien me enseñó que Dios nos da más de una madre en la vida.

A mi mamita María quien me dio identidad, me gusta mi segundo nombre.

Y finalmente a mi papá y mamá que aún me siguen enseñando como ser una persona conforme al corazón de Dios.

AGRADECIMIENTOS

Nunca me cansaré de agradecer a Dios que por gracia me ha dado la salvación, que aún sin merecerlo ha decidido ver lo poco de bueno que hay en mí y ha ignorado lo mucho que me hace falta mejorar.

El señor ha sido siempre fiel y justo con mi familia, estoy agradecido por todo, gracias por darnos fuerzas cuando no teníamos ninguna, por darnos esperanza cuando no había ninguna y por darnos paciencia cuando perdíamos la cabeza.

RESUMEN

El documento actual presenta el desarrollo y la comparación de dos sistemas estructurales sismorresistentes en acero de un edificio de 15 pisos con un área total de construcción de 8640 m², con pórticos resistentes a momentos (PRM) y pórticos arriostrados concéntricamente (PAC) tanto en su desarrollo como en sus resultados.

El diseño los diferentes sistemas se centrarán en utilizar criterios adecuados para poder elegir miembros estructurales que satisfagan las demandas a las cuales están sometidos considerando las diferentes etapas de construcción, los diferentes sistemas estructurales y su correcto desempeño en las conexiones. Los sistemas a diseñar son el sistema a gravedad, el sistema de piso y los sistemas sismorresistentes aquí propuestos.

Los resultados a comparar son las derivas, el peso y el costo aproximado de cada sistema estructural, esto con la finalidad de ofrecer conclusiones que demuestren cuales son las ventajas y desventajas de usar cada uno de estos sistemas.

Palabras Clave:

Pórtico Arriostrado Concéntrico, Pórtico Resistente a Momentos, Conexión, Comparación Derivas, Comparación Peso Estructural, Sistema a Gravedad, Sistema Sismo Resistente.

ABSTRACT

The current document presents the development and comparison of two earthquake-resistant steel structural systems of a 15-story building with a total construction area of 8640 m², with special moment frames (SMF) and special concentrically braced frames (SCBF) both in their development as in its results.

The design of the different systems will focus on using adequate criteria to be able to choose structural members that satisfy the demands to which they are subjected, considering the different construction stages, the different structural systems and their correct performance in the connections. The systems to be designed are the gravity system, the floor system and the earthquake resistant systems proposed here.

The results to be compared are the drifts, the weight and the approximate cost of each structural system, this in order to offer conclusions that show what are the advantages and disadvantages of using each of these systems.

Keywords:

Special Concentrically Braced Frames, Special Moment Frames, Connection, Drift Comparison, Structural Weight Comparison, Gravity System, Earthquake Resistant System.

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN	20
1.1	Alcance	20
1.2	Justificación	20
1.3	Objetivos.....	21
1.4	Antecedentes.....	22
2	INFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA	23
2.1	Resumen General.....	23
2.2	Dimensiones	23
2.2.1	Pórticos Especiales Resistentes a Momentos	25
2.2.2	Pórticos Arriostrados Concéntricamente	26
2.3	Revisiones Global de los sistemas.....	27
2.3.1	Pórticos Especiales Resistentes a Momentos	27
2.3.2	Pórticos Arriostrados Concéntricamente	27
3	DISEÑO DEL SISTEMA A GRAVEDAD	28
3.1	Diseño del Sistema de Piso.....	31
3.1.1	Diseño del Panel Steel Deck.....	31
3.1.1.1	Cargas en Etapa Constructiva en Steel Deck	32
3.1.1.2	Control de Deflexión en Steel Deck	32
3.1.2	Refuerzo Mínimo por Temperatura.....	33
3.1.3	Diseño de Vigas y Viguetas.....	34
3.1.3.1	Carga constructiva en Vigas y Viguetas	34
3.1.3.2	Resistencia al Pandeo Lateral Torsional	35
3.2	Diseño de Losa como Sistema Compuesto	37
3.2.1	Diseño de los Conectores de Corte.....	38
3.2.2	Diseño del Sistema de Piso Compuesto	40

3.2.3	Diseño a Deflexión del Sistema Compuesto	41
3.2.4	Diseño por Vibración del Sistema de Compuesto	42
3.3	Diseño de Columnas a Gravedad.....	44
3.3.1	Carga Gravitacional en Columnas	46
4	DISEÑO DEL SISTEMA SISMO RESISTENTE	48
4.1	Diseño del Sistema con Pórticos Resistentes a Momentos (PRM)	48
4.1.1	Espectro de Respuesta del PRM.....	48
4.1.1.1	Primer Modo fundamental de Vibración.....	48
4.1.1.2	Coefficientes de amplificación espectral.....	50
4.1.1.3	Espectro de Aceleración	51
4.1.2	Coefficientes Sísmicos.....	51
4.1.3	Cortante Basal	52
4.1.4	Distribución del Cortante Basal.....	53
4.1.5	Propiedades de Vigas y Columnas	53
4.1.6	Propiedades de los miembros estructurales	54
4.1.7	Compacidad de Elementos	54
4.1.8	Área Cooperante	55
4.1.9	Definición de Cargas Gravitacionales	56
4.1.10	Dimensiones de las Estructura plástica	56
4.1.11	Cargas en Conexión.....	57
4.1.12	Cortante sísmico	58
4.1.13	Resistencia al corte en Vigas	60
4.1.14	Capacidad de la conexión	60
4.1.15	Cortante en Zona de Panel.....	61
4.1.16	Desgarre del Alma de la Columna.....	63
4.1.17	Resistencia de las Alas de la Columna a Flexión	64
4.1.18	Dimensiones permitidas para la conexión WUF-W	67

4.2	Diseño del Sistema con Pórticos Arriostrados Concéntricamente (PAC).....	68
4.2.1	Espectro de Respuesta PAC	68
4.2.1.1	Primer Modo fundamental de Vibración.....	68
4.2.1.2	Coefficientes de amplificación espectral.....	68
4.2.1.3	Espectro de Aceleración	69
4.2.2	Coefficientes Sísmicos.....	70
4.2.3	Cortante Basal	70
4.2.4	Distribución del Cortante Basal.....	71
4.2.5	Riostras del PAC	72
4.2.5.1	Propiedad de las Riostras	72
4.2.5.2	Selección de Riostras por Piso	72
4.2.5.2.1	Condición 1: Fuerza Sísmica de Riostra.....	75
4.2.5.2.2	Condición 2: Fuerza Sísmica en Riostra.....	76
4.2.5.2.3	Carga Máxima en Columnas 1 , 2 más carga de gravedad	77
4.2.6	Columnas del PAC	77
4.2.6.1	Propiedades de las Columnas.....	77
4.2.6.2	Carga Gravitacional en Columnas del PAC.....	78
4.2.6.3	Análisis de Capacidad de Columnas.....	78
4.2.7	Vigas del PAC	80
4.2.7.1	Propiedades de las vigas	80
4.2.7.2	Carga Gravitacional de Vigas del PAC.....	80
4.2.7.3	Selección de Vigas por piso.....	80
4.2.7.4	Esfuerzo elástico para carga axial.....	81
4.2.7.5	Carga Axial en Vigas por Redistribución de Fuerzas [kN].....	81
4.2.7.6	Carga Axial en Vigas por Diagrama de Cuerpo Libre [kN].....	82
4.2.7.7	Capacidad a Carga Axial de las Vigas	82
4.2.7.8	Capacidad a Carga Axial y Momento de las Vigas de los PAC.....	83
5	MODELO ESTRUCTURAL PRM CONEXIÓN WUF-W	84

5.1	Definición de Materiales	85
5.1.1	Acero	85
5.1.2	Hormigón.....	86
5.2	Definición de Secciones	86
5.2.1	Sistema a Gravedad	86
5.2.1.1	Vigas	87
5.2.1.2	Columnas	87
5.2.2	Sistema Sismo Resistente	90
5.2.2.1	Vigas	90
5.2.2.2	Columnas	90
5.3	Definición de Losa.....	93
5.4	Patrón de Cargas	93
5.5	Definición de Cargas	94
5.6	Combinaciones de Carga	95
5.7	Participación de Masas	96
5.8	Modos de Vibración	96
5.9	Distribución en elevación	98
5.10	Resultados.....	99
5.10.1	Derivas.....	99
5.10.2	Derivas de 2do Orden	100
6	MODELO ESTRUCTURAL PAC	101
6.1	Definición de Materiales	102
6.2	Definición de Secciones	102
6.2.1	Secciones del Sistema a Gravedad	102
6.2.2	Sistema Sismo Resistente	102
6.2.2.1	Vigas del PAC	102
6.2.2.2	Columnas del PAC.....	103

6.2.2.3	Riostras del PAC.....	105
6.3	Definición de Losa.....	107
6.4	Participación de Masas	107
6.5	Modos de Vibración	107
6.6	Distribución en Elevación	109
6.7	Resultados.....	110
6.7.1	Derivas.....	110
6.7.2	Análisis de 2do Orden	111
7	COMPARACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	112
7.1	Periodos	112
7.2	Derivas.....	113
7.3	Material.....	115
7.3.1	Peso por Sistema Sismo Resistente	115
7.3.2	Peso por Sistema Estructural Completo	116
7.4	Costo.....	117
7.4.1	Costo por Sistema Sismo Resistente	117
7.4.2	Costo por Sistema Estructural Completo	117
8	CONCLUSIONES	119
9	BIBLIOGRAFÍA	124

Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen General Estructura PRM y PAC	23
Tabla 2: Dimensiones del Edificio	23
Tabla 3: Resumen de PRM.....	25
Tabla 4: Resumen de PAC	27
Tabla 5: Tabla de resumen de resultados del PRM	27
Tabla 6: Tabla de resumen de resultados del PAC	27
Tabla 7: Propiedades mecánicas del sistema a gravedad.....	29
Tabla 8: Propiedades físicas del sistema a gravedad	29
Tabla 9: Medidas de elementos y relación ancho-espesor.....	29
Tabla 10: Estados límites de elementos a compresión de miembros a flexión	30
Tabla 11: Medidas del área a gravedad	30
Tabla 12: Propiedades del hormigón	30
Tabla 13: Tipo de Steel Deck	31
Tabla 14: Propiedades de Steel deck Novacero.....	31
Tabla 15: Propiedades de Steel deck utilizadas	31
Tabla 16: Cargas en Etapa Constructiva en Steel Deck.....	32
Tabla 17: Resistencia a la flexión del Steel Deck en etapa constructiva	32
Tabla 18: Máxima deflexión en el Steel deck	32
Tabla 19: Deflexión máxima permitida del Steel Deck.....	33
Tabla 20: Dimensiones de la losa	33
Tabla 21: Propiedades de la malla por temperatura.....	34
Tabla 22: Tipos de malla electrosoldada	34
Tabla 23: Cargas y Combinaciones de servicio.....	34
Tabla 24: Cargas Máximas	35
Tabla 25: Propiedades geométricas y mecánicas de vigas.....	35
Tabla 26: Propiedades de Arriostramiento	36
Tabla 27: Capacidad nominal de las secciones.....	36
Tabla 28: Resistencia en la Etapa Constructiva.....	37
Tabla 29: Fuerzas Internas.....	38
Tabla 30: Tipos y Propiedades de Conectores de Corte	38
Tabla 31: Propiedades Mecánicas de los tipos de Conectores tipo Stud	39
Tabla 32: Propiedades Mecánicas y Geométricas del Conector tipo Stud	39
Tabla 33: Fuerzas de conexión	40
Tabla 34: Número de Conectores	40
Tabla 35: Compresión de la losa	40
Tabla 36: Resistencia a la flexión de la viga compuesta	40
Tabla 37: Resistencia al Corte	41

Tabla 38: Relación entre módulos de Elasticidad.....	41
Tabla 39: Inercia Transformada	42
Tabla 40: Información para cálculo de deflexiones.....	42
Tabla 41: Deflexión máxima permitida.....	42
Tabla 42: Propiedades equivalentes	42
Tabla 43: Ancho efectivo de miembros estructurales.....	43
Tabla 44: Cargas en losa colaborante	43
Tabla 45: frecuencia de las secciones compuestas	43
Tabla 46: Dimensiones equivalentes en losa colaborante	43
Tabla 47: Fuerza de vibración	43
Tabla 48: vibración y fuerza del sistema compuesto.....	44
Tabla 49: Amortiguamiento del sistema según su uso.	44
Tabla 50: Amortiguamiento del sistema de piso	44
Tabla 51: Propiedad Mecánica de columnas	45
Tabla 52: Perfiles seleccionados como columnas a gravedad	45
Tabla 53: Dimensiones y compacidad de columnas.....	45
Tabla 54: Estados límite de perfiles W.....	45
Tabla 55: Información general de la estructura	45
Tabla 56: Cargas y dimensiones consideradas para el diseño	46
Tabla 57: Propiedades geométricas de las columnas a gravedad	46
Tabla 58: Esfuerzo críticos de columnas.....	47
Tabla 59: Capacidad de las columnas.....	47
Tabla 60: Generalidades del sistema PRM.....	48
Tabla 61: Determinación de periodos fundamental de vibración de la estructura.....	49
Tabla 62: Coeficientes sísmicos	50
Tabla 63: Factores de importancia e irregularidad geométrica.....	52
Tabla 64: Dimensiones generales.....	52
Tabla 65: Coeficientes de carga lateral.....	52
Tabla 66: Distribución del Cortante Basal.....	53
Tabla 67: Propiedades Mecánicas del Acero.....	54
Tabla 68: Propiedades de los elementos que componen la conexión	54
Tabla 69: Dimensiones y compacidad de las secciones que componen la conexión.....	54
Tabla 70: Dimensiones del área cooperante analizada	55
Tabla 71: Cargas gravitacionales en viga	56
Tabla 72: Cortante y Momento máximo.....	56
Tabla 73: Ubicación de rótulas en un pórtico resistente a momentos.....	56
Tabla 74: Dimensiones de la estructura plástica.....	57
Tabla 75: Propiedades de la conexión WUF-W	57
Tabla 76: Cortante por carga a gravedad.....	58
Tabla 77: Cortante último en la conexión.....	58

Tabla 78: Momentos en alas y viga.....	59
Tabla 79: Momentos en la conexión.....	59
Tabla 80: Cortante en la Viga.....	60
Tabla 81: Propiedades de la columna en la conexión.....	60
Tabla 82: Columna fuerte - Viga débil.....	60
Tabla 83: Cargas en zona de panel.....	61
Tabla 84: Resistencia del alma de la columna en la conexión.....	62
Tabla 85: Cargas en placa de continuidad.....	63
Tabla 86: Espesores en columna.....	63
Tabla 87: Resistencia a la fluencia del alma en columna.....	63
Tabla 88: Resistencia del alma de la columna al desgarre.....	63
Tabla 89: Espesor de ala en columna necesaria.....	64
Tabla 90: Resistencia de las alas de columna a flexión.....	64
Tabla 91: espesor mínimo para rigidez de las alas de la columna.....	64
Tabla 92: Fuerza de arriostramiento requerida.....	65
Tabla 93: cargas en la zona de protección.....	66
Tabla 94: Propiedades de las vigas que componen la conexión.....	66
Tabla 95: Cargas a lo largo de las vigas.....	66
Tabla 96: Información general del PAC.....	68
Tabla 97: Calculo del primer periodo de vibración.....	68
Tabla 98: Coeficientes sísmicos del PAC.....	69
Tabla 99: coeficientes de irregularidad y rigidez de piso.....	70
Tabla 100 Coeficientes de Cortante Basal.....	70
Tabla 101: Datos generales de altura y peso en edificio.....	70
Tabla 102: Fuerza a distribuir por piso.....	71
Tabla 103: Distribución de cortante Basal en cada piso.....	71
Tabla 104: Fuerzo requerida por riostra.....	72
Tabla 105: Propiedades Mecánicas.....	72
Tabla 106: Rigidez y límite de ductilidad alta.....	72
Tabla 107: Propiedades y Esfuerzo critico de riostras por piso.....	72
Tabla 108: Carga máxima a compresión y tensión de la riostra.....	73
Tabla 109: Distribución horizontal y vertical de la riostra.....	75
Tabla 110: Condición 1: Fuerza Sísmica de Riostras a Columnas [kN].....	75
Tabla 111: Condición 2: Fuerza Sísmica de Riostras a Columnas [kN].....	76
Tabla 112: Cargas de gravedad.....	78
Tabla 113: Carga a gravedad por columna.....	78
Tabla 114: Propiedades geométricas de las Columnas.....	78
Tabla 115: Esfuerzo de crítico de las columnas.....	79
Tabla 116: Capacidad de las columnas a la carga axial.....	79
Tabla 117: Coeficientes de la viga a flexo compresión.....	80

Tabla 118: Otros factores de Viga del PAC	80
Tabla 119: Carga en Vigas	80
Tabla 120: Dimensiones, Carga y Momento en Vigas	80
Tabla 121: Vigas seleccionada para los PAC	80
Tabla 122: Esfuerzo critico de las Vigas del PAC.....	81
Tabla 123: Resistencia a la compresión de las Vigas del PAC.....	81
Tabla 124: Resistencia a la flexión de las Viga del PAC	81
Tabla 125: Redistribución de Fuerzas en Vigas	81
Tabla 126: Carga de vigas por diagrama de cuerpo libre	82
Tabla 127: Capacidad a Carga Axial de las vigas el PAC del eje A.....	82
Tabla 128: Capacidad combinada de las vigas del PAC	83
Tabla 129: Vista en Plantas de la Distribución de Vigas de los PRM	84
Tabla 130: Densidad, Módulo de elasticidad y Corte Acero A991Fy50	85
Tabla 131: Propiedades Mecánicas del Acero A991Fy50.....	85
Tabla 132: Participación modal.....	96
Tabla 133: Participación Modal PAC.....	107
Tabla 134: Periodos de Vibración de los sistemas de PRM y PAC.....	112
Tabla 135: Peso de los sistemas Estructurales.....	115
Tabla 136: Porcentaje de peso del sistema estructural en comparación al máximo	115
Tabla 137: Peso del sistema Estructural Total.....	116
Tabla 138: Porcentaje de peso del sistema estructural total en comparación al máximo	116
Tabla 139: Porcentaje del costo en comparación al máximo.....	118
Tabla 140: Detalle total de costos.....	118

Índice de Figuras

Ilustración 1: Distribución en planta de Pórticos del Sistema PRM	24
Ilustración 2: Distribución en planta de Pórticos del Sistema PRM	24
Ilustración 3: Vista Isométrica del Edificio con PRM	25
Ilustración 4: Vista Isométrica del Edificio con PAC	26
Ilustración 5: Distribución en Planta de las vigas	28
Ilustración 6: Condición de servicio de viga a gravedad	35
Ilustración 7: Ancho efectivo del sistema compuesto	37
Ilustración 8: Propiedades mecánicas y geométricas de la losa	37
Ilustración 9: Diagrama de esfuerzos del sistema compuesto	38
Ilustración 10: Diagrama de Fuerzas Internas	39
Ilustración 11: Dimensiones de la viga y losa colaborante	41
Ilustración 12: Espectro de Diseño del PRM	51
Ilustración 13: Miembros que componen la conexión	55
Ilustración 14: Área cooperante en vigas	55
Ilustración 15: Diagrama de Fuerzas aplicadas en la Viga del PRM	57
Ilustración 16: Momentos en la viga plástica	58
Ilustración 17: Diagrama de fuerzas en la conexión	59
Ilustración 18: Cortante en la columna	60
Ilustración 19: Diagrama de momentos en la columna de la conexión	61
Ilustración 20: Zona de protección de rotula plástica	65
Ilustración 21: Dimensiones en conexión WUF-W	67
Ilustración 22: Espectro de aceleración del PAC	69
Ilustración 23: Distribución de las fuerzas de las riostras a vigas y columnas para la Condición 1	76
Ilustración 24: Distribución de las fuerzas de las riostras a vigas y columnas para la Condición 2	77
Ilustración 25: Propiedades del hormigón en ETABS	86
Ilustración 26: W14x34	87
Ilustración 27: W12x136	87
Ilustración 28: W12x106	88
Ilustración 29: W12x79	88
Ilustración 30: W12x58	89
Ilustración 31: W12x40	89
Ilustración 32: W18x106	90
Ilustración 33: W24x306	90
Ilustración 34: W24x250	91
Ilustración 35: W24x207	91
Ilustración 36: W24x176	92
Ilustración 37: W24x146	92

Ilustración 38: Propiedades de Steel Deck	93
Ilustración 39: Cargas de análisis y diseño.....	93
Ilustración 40: Cargas Nocionales	94
Ilustración 41: Asignación de carga uniforme.....	94
Ilustración 42: Primer Modo de Vibración PRM	96
Ilustración 43: Tercer Modo de Vibración PRM	97
Ilustración 44: Tercer Modo de Vibración PRM	97
Ilustración 45: Secciones usadas en el PRM en sentido x	98
Ilustración 46: Derivas máximas del PRM.....	99
Ilustración 47: Derivas de 2do Orden del PRM.....	100
Ilustración 48: Distribución de Vigas de los PAC	101
Ilustración 49: W16x57	102
Ilustración 50:W14x283	103
Ilustración 51: W14x233	103
Ilustración 52: W14x211	104
Ilustración 53: W14x159	104
Ilustración 54: W14x109	105
Ilustración 55: HSS 6.625x0.500.....	105
Ilustración 56: HSS 6.625x0.375.....	106
Ilustración 57: HSS 5.563x0.375.....	106
Ilustración 58: Primer Modo de Vibración PAC	107
Ilustración 59: Segundo Modo de Vibración PAC	108
Ilustración 60: Tercer Modo de Vibración PAC.....	108
Ilustración 61: Secciones usadas en el PAC en sentido x.....	109
Ilustración 62: Coeficientes sísmicos en ETABS	110
Ilustración 63: Derivas Inelásticas máximas de los PAC	110
Ilustración 64: Derivas de 2do Orden del PAC	111
Ilustración 65: Espectro de Aceleración PRM y PAC.....	113
Ilustración 66: Derivas de los PRM y PAC en sentido X.....	114
Ilustración 67: Derivas de los PRM y PAC en sentido Y.....	114
Ilustración 68: Peso por sistema estructural	115
Ilustración 69: Peso del sistema estructural completo	116
Ilustración 70: Comparación costo de los sistemas estructurales	117
Ilustración 71: Costo de los sistemas estructurales detallados.....	117
Ilustración 72: Comparación costo de los sistemas estructurales totales.....	117
Ilustración 73: Costo de los sistemas estructurales totales detallados	118

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Alcance

El actual documento presenta la comparación de los dos sistemas estructurales más usados en la construcción de estructuras de acero en el Ecuador; la comparación se realizará tanto en el análisis como en el diseño del sistema estructural a gravedad, del sistema de piso y del sistema sismo resistente de ambas alternativas (Pórticos Resistentes a Momentos y Pórticos Arriostrados Concéntricamente), para luego ser comparadas y definir las ventajas y desventajas de cada uno de estos sistemas sismorresistentes.

1.2 Justificación

Actualmente el acero estructural es el segundo material más usado en el Ecuador para la construcción, solamente superado por el hormigón armado. A pesar de que el acero estructural tiene mayores ventajas que el hormigón como su menor peso y su rapidez en la construcción. (INEC Edificaciones 2018). Es por eso que con la finalidad de poner a disposición información centrada en el diseño en acero estructural se presenta el documento actual del diseño de estos dos tipos de sistemas estructurales.

En nuestro caso, cualquiera que sea el material de construcción usado debe cumplir con los requerimientos sísmicos mínimos que la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) nos exige, partiendo de este punto prácticamente todas las provincias del Ecuador a excepción de Sucumbíos, Orellana y Pastaza (que son las provincias menos pobladas del país) deben ser diseñadas para resistir aceleraciones superiores a 0.25 g. Es por esta razón que los sistemas estructurales deben contar con sistemas parciales o totales para resistir estas demandas sísmicas.

En el caso de las conexiones dependen del tipo de sistema estructural que resistirá las demandas sísmicas. Si el sistema es aporticado resistente a momentos requerirá del uso de conexiones precalificadas de las cuales existe un reducido número que están libres del pago de licencia para su uso. De igual manera para los sistemas arriostrados que además necesitan de riostras altamente detalladas para poder disipar las demandas sísmicas de manera dúctil. A largo plazo en el sector de la construcción tanto diseñadores como proveedores irán apreciando más las ventajas que el acero le brinda, por tal motivo es importante incentivar su uso desde ahora. Por estas y otras varias razones se presentará información útil para el desarrollo de diseños en acero estructural.

Una razón por la cuales el acero estructural no se ha popularizado es por la dificultad de conseguir perfiles, laminas, equipos, maquinarias e insumos (para su fabricación), instalación y transporte, pues los proveedores nacionales cuentan con un tamaño limitado de stock disponible para que el diseñador estructural pueda usar; la alternativa a esta falta de stock es construir perfiles armados.

El propósito de este documento es comparar dos alternativas de diseño estructural sismorresistente en acero para un edificio con pórticos resistentes a momentos usando conexiones precalificadas y pórticos arriostrados concéntricamente.

1.3 Objetivos

- Diseño de un edificio con Pórticos Resistentes a momentos con conexiones precalificados
- Diseño de un edificio con Pórticos Arriostrados Concéntricamente

- Comparación de ventajas y desventajas de ambos sistemas sísmicos

1.4 Antecedentes

Las edificaciones construidas con estructuras de acero en el Ecuador deben ser diseñadas para satisfacer los requerimientos mínimos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) como la NEC_SE_DS que nos exige cumplir con parámetros sísmicos que depende del lugar donde se pretende construir dicha edificación y la NEC_SE_AC que basado en las normativas de la ANSI/AISC (American Institute of Steel Construction, 2016) presentan metodologías de diseño para miembros y elementos estructurales para sistemas a gravedad y sistemas que forman parte del sistema sismo resistente.

En el Ecuador son pocas las construcciones que han utilizado acero estructural para sus edificaciones y con la intención de proporcionar material para el diseño en este material la NEC presenta una guía de diseño 3 con ejemplos prácticos para el diseño de elementos estructurales y conexiones en sus variantes más usadas en nuestro medio.

2 INFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA

2.1 Resumen General

El edificio en cuestión será considerado como una estructura de acero ubicada en la ciudad de Quito para oficinas en un suelo tipo D, el primer sistema estructural que se diseñará es conformado por Pórticos Resistentes a Momentos seguido del sistema conformado por Pórticos Arriostrados Concéntricamente.

INFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA	
Ubicación	Quito
Tipo de Estructura	Estructura de Acero
Sistema Estructural 1	Sin Arriostramientos
Sistema Estructural 2	Con Arriostramientos
Uso	Otras Estructuras
Perfil del Suelo	Tipo D

Tabla 1: Resumen General Estructura PRM y PAC

Elaborado por: Oscar Quinapallo

2.2 Dimensiones

Como será una comparación de dos estructuras con sistemas diferentes es evidente señalar que ambos tendrán el mismo igual número de pisos, altura de entrepiso, dimensiones en planta y en elevación, siendo las dimensiones las presentadas en la siguiente tabla.

DATOS GEOMÉTRICOS DE LA ESTRUCTURA	
Número de Pisos	15
Altura Piso Tipo	3,6 m
Altura total Estructura	54,0 m
Ancho de Estructura	20,0 m
Profundidad de Estructura	20,0 m

Tabla 2: Dimensiones del Edificio

Elaborado por: Oscar Quinapallo

La distribución arquitectónica ha sido tomada de los ejemplos presentados por el libro de Diseño Estructural de la IBC (Structural Engineers Association of California (SEAOC), 2018), pero con dimensiones diferentes.

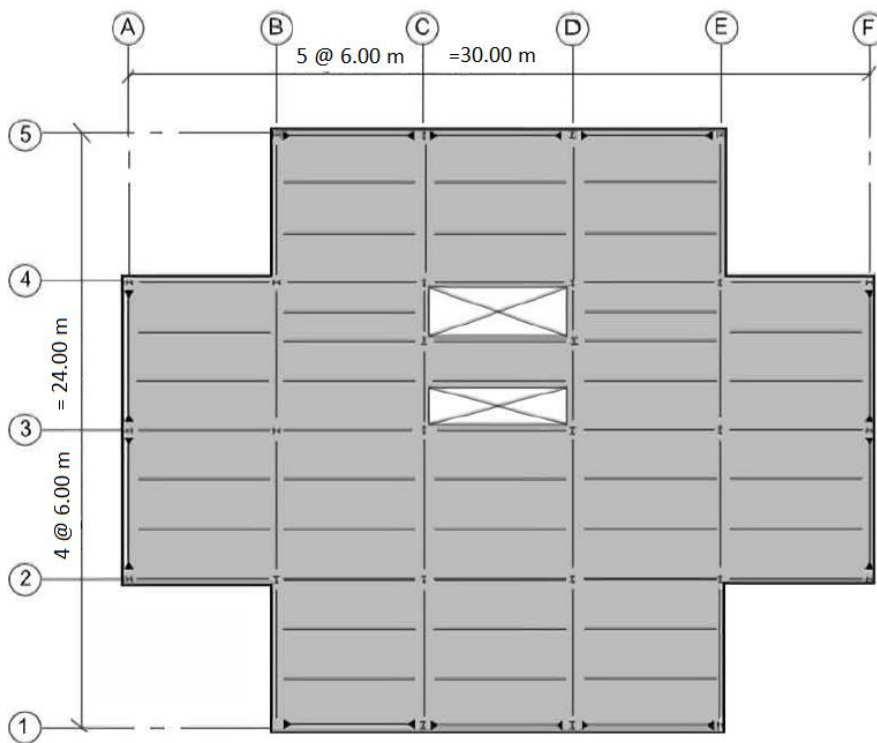


Ilustración 1: Distribución en planta de Pórticos del Sistema PRM

Fuente: SEAOC 2018 – Typical floor Framing plan

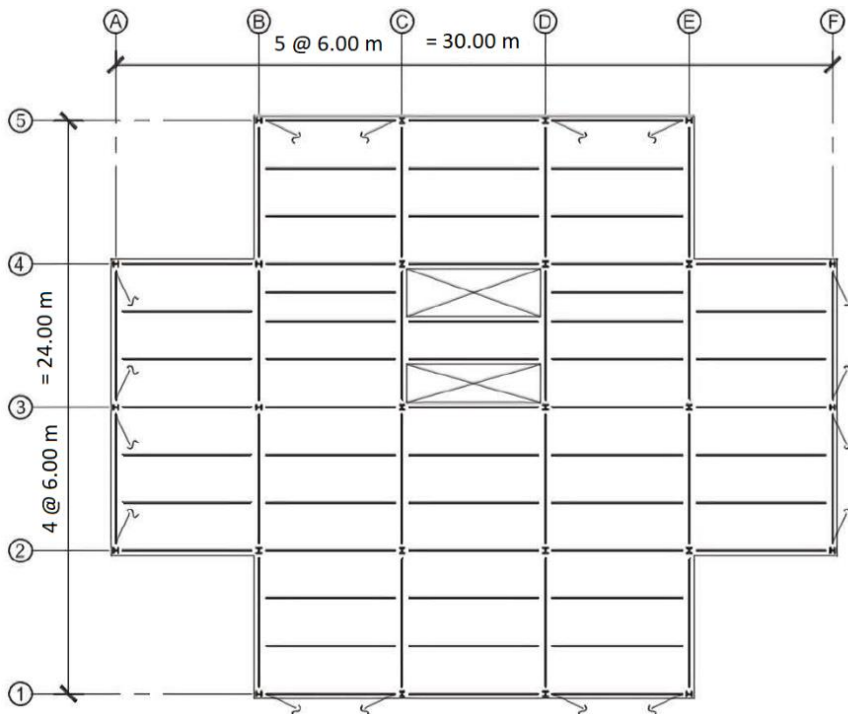


Ilustración 2: Distribución en planta de Pórticos del Sistema PRM

Fuente: SEAOC 2018 – Typical floor Framing plan 2-1

2.2.1 Pórticos Especiales Resistentes a Momentos

Los Pórticos Resistentes a Momentos serán con conexiones precalificadas libres de licencia propuestas por la AISC, en este caso particular utilizaremos la conexión tipo WUF-W (welded unreinforced flange-welded web) “alma soldada no reforzada a las alas”.

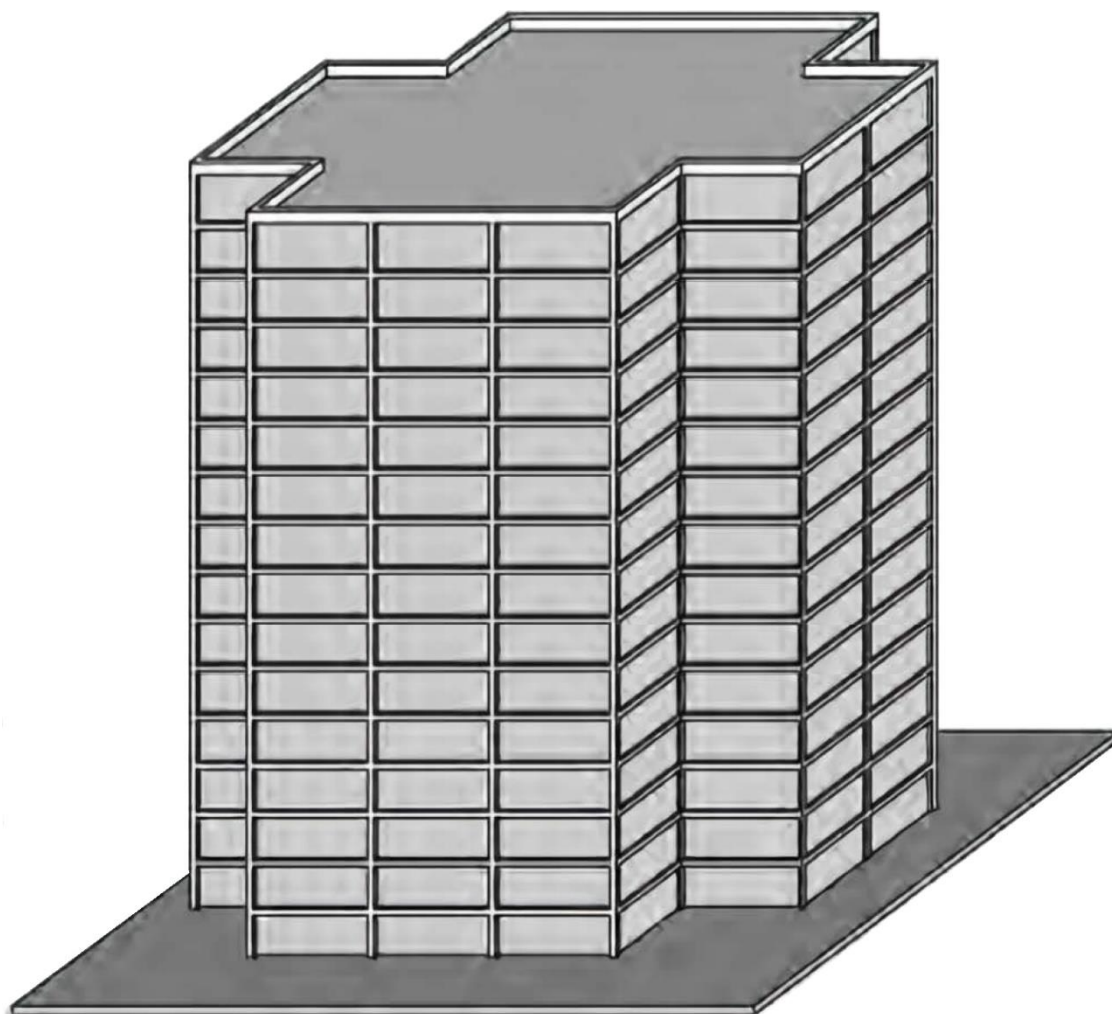


Ilustración 3: Vista Isométrica del Edificio con PRM

Elaborado por: Oscar Quinapallo

DISTRIBUCIÓN ESTRUCTURAL

Sistema Sismo Resistente	PRM
Pórticos en sentido X	4
Dimensión Pórticos en X	6,0 m
Pórticos en Sentido Y	4
Dimensión Pórticos en Y	6,0 m
Área en Planta	576 m ²
Área Total	8640 m ²

Tabla 3: Resumen de PRM

2.2.2 Pórticos Arriostrados Concéntricamente

La distribución de los PAC será colocando un par de Riostras Concéntricas por cada Pórtico empezando desde la base con un PAC con orientación de V invertida para luego colocar PAC con orientación V, esta orientación será alternada entre pisos impares y pares respectivamente. Las Riostras siempre deberán empezar con una distribución de V invertidas esto con el propósito de entregar las cargas directamente a la base “Cimentación”.

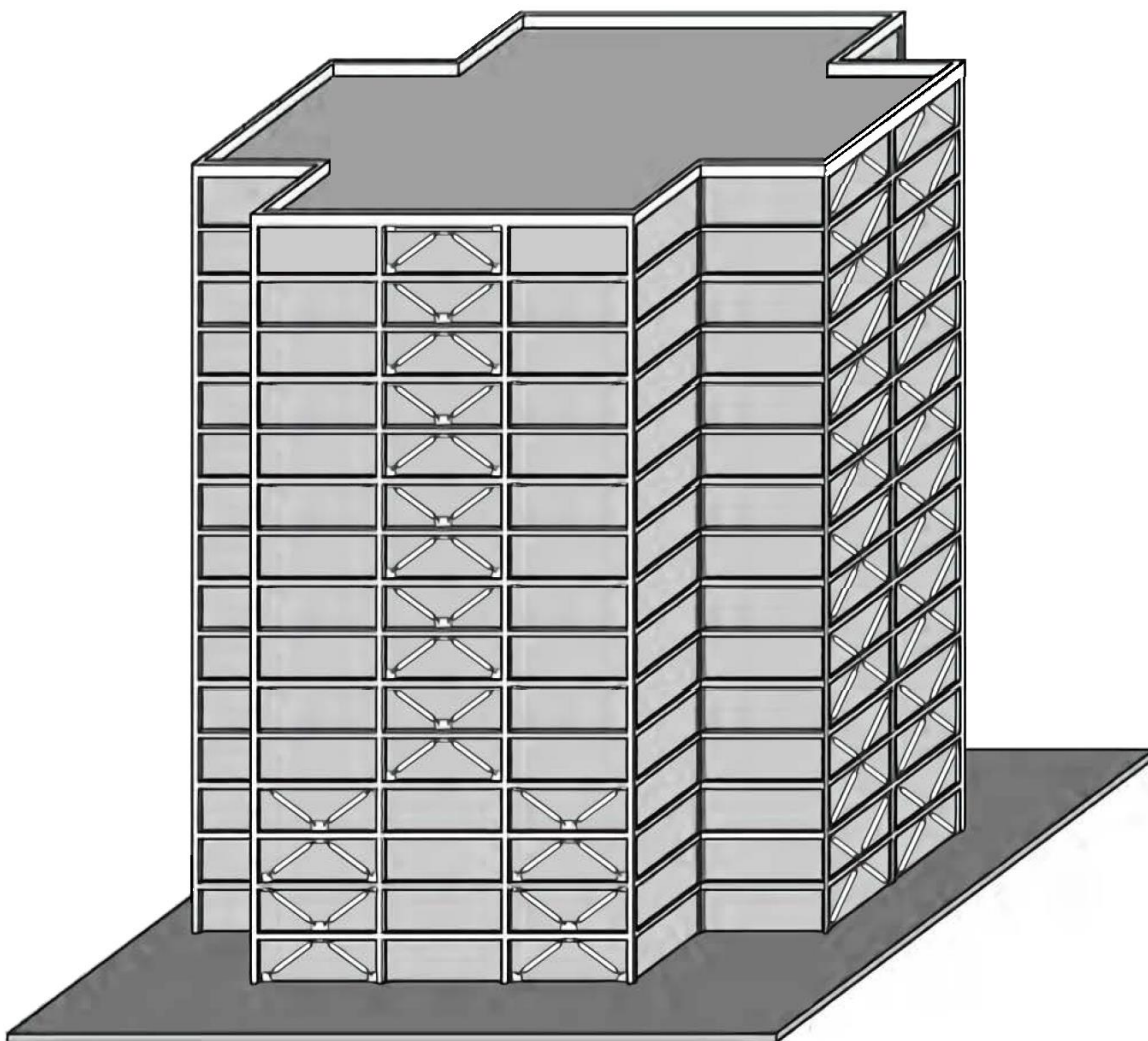


Ilustración 4: Vista Isométrica del Edificio con PAC

Elaborado por: Oscar Quinapallo

DISTRIBUCIÓN ESTRUCTURAL	
Sistema Sismo Resistente	PAC
Pórticos en sentido X	4

Dimensión Pórticos en X	6,0 m
Pórticos en Sentido Y	4
Dimensión Pórticos en Y	6,0 m
Área en Planta	576 m ²
Área Total	8640 m ²

Tabla 4: Resumen de PAC

2.3 Revisiones Global de los sistemas

Las siguientes tablas presentan de manera general los resultados obtenidos por irregularidad en planta y elevación, los periodos en cada sentido y las derivas máximas como resultado del modelo estructural.

2.3.1 Pórticos Especiales Resistentes a Momentos

Los valores más relevantes de la Tabla 5 y Tabla 6 son los periodos de vibración y las derivas inelásticas máximas.

Irregularidades			
	En Planta	Regular	
	En Elevación	Regular	
Periodo de Vibración			
	En X	2,70 s	
	En Y	2,70 s	
Deriva Máx			
	En X	1,97%	Cumple
	En Y	1,98%	Cumple

Tabla 5: Tabla de resumen de resultados del PRM

2.3.2 Pórticos Arriostrados Concéntricamente

Irregularidades			
	En Planta	Regular	
	En Elevación	Regular	
Periodo			
	En X	1,75 s	
	En Y	2,35 s	
Deriva Máx			
	En X	1,98%	Cumple
	En Y	1,34%	Cumple

Tabla 6: Tabla de resumen de resultados del PAC

3 DISEÑO DEL SISTEMA A GRAVEDAD

El Sistema a gravedad está compuesto por el sistema de piso, vigas simplemente apoyadas y viguetas que trabajan independientemente en la etapa de construcción y como viga compuesta en su etapa de servicio.

En la Ilustración 5 se indican en amarillo todos los miembros estructurales que se diseñarán para resistir cargas a gravedad.

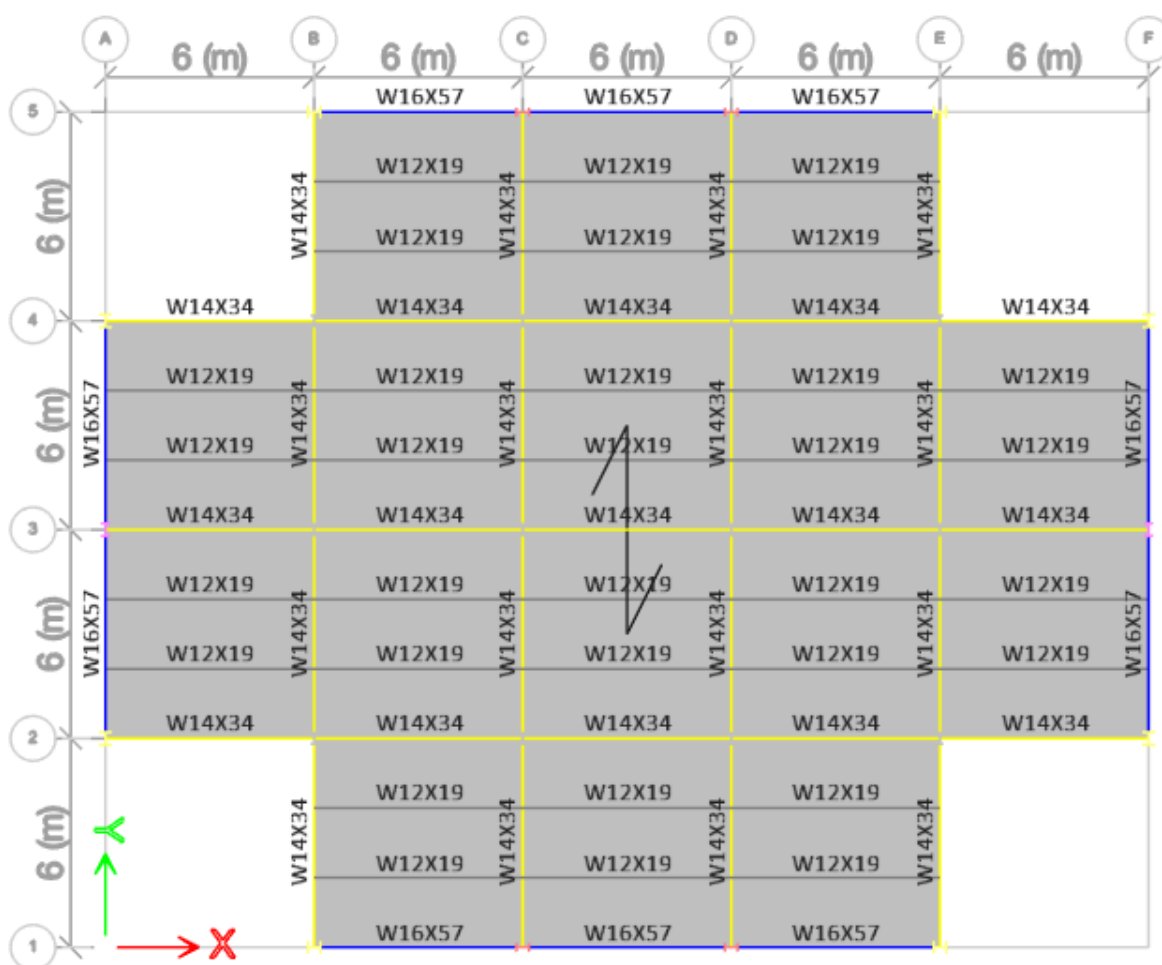


Ilustración 5: Distribución en Planta de las vigas

Propiedades Mecánicas del Sistema a Gravedad

Lo mejor y más sencillo para el cálculo de un sistema estructural es que todos sus componentes de acero sean del mismo material, pero no se limita a usar componentes de diferentes tipos y grados.

PROPIEDADES MECÁNICAS		
VIGA	Viga	Vigueta
Tipo de Acero	ASTM A992 Gr 50	ASTM A992 Gr 50
Es	200000 MPa	200000 MPa
Fy	345 MPa	345 MPa
Fu	450 MPa	450 MPa
Ry	1,1	1,1
Rt	1,1	1,1

Tabla 7: Propiedades mecánicas del sistema a gravedad

Propiedades físicas del sistema a gravedad

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Perfil	W14X34	W12X19
Área_Perfil	6450 mm ²	3590 mm ²
Peso_Acero	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³
Peso_Perfil	51 kg/m	28 kg/m
d	356,0 mm	310,0 mm

Tabla 8: Propiedades físicas del sistema a gravedad

Propiedades geométricas del sistema a gravedad

Según la convención de la AISC se denominan elementos a los componentes de una sección como las alas y el alma en perfiles W y se denomina miembro a una sección con longitud como son las vigas, columnas y riostras.

Alas	Compactas	Sísmicamente Compactas
bf	171,0 mm	102,0 mm
tf	11,6 mm	8,9 mm
bf/2tf	7,37	5,74
Alma	Compacta	Compacta
bw	332,8 mm	292,2 mm
tw	7,2 mm	6,0 mm
bw/tw	45,97	48,95

Tabla 9: Medidas de elementos y relación ancho-espesor

Compacidad de Elementos

La compacidad de los elementos se define según el grado del acero de los componentes que pueden ser diferentes si es armada y las dimensiones de los elementos.

	λ_{hd}		λ_p		λ_s
Alas	0,32vE/RyFy		0,38vE/Fy		1vE/Fy
5,74	7,35	7,37	9,15		24,08
Alma	1,57vE/RyFy		3,76vE/Fy		5,7vE/Fy
	36,04	45,97 48,95	90,53		137,24

Tabla 10: Estados límites de elementos a compresión de miembros a flexión

Área Cooperante de Carga

Tipo	Viga	Vigueta
Disposición	Interna	Interna
Longitud	6,00 m	6,00 m
Ancho 1	6,00 m	2,00 m
Ancho 2	6,00 m	2,00 m
Ancho ef	6,00 m	4,00 m
Area Coop Vg	18,00 m ²	8,00 m ²
Área Coop Vt	36,00 m ²	24,00 m ²
Área Coop	18,00 m ²	24,00 m ²

Tabla 11: Medidas del área a gravedad

Propiedades del Hormigón

Según la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2016) el módulo de elasticidad del hormigón se determina con la siguiente expresión.

$$E_c = 4,7 * 1000 * \sqrt{f'c}$$

f'c	21 MPa
Den. Horm.	2200 kg/m ³
Espesor losa	6,00 cm
Ec	21538 MPa

Tabla 12: Propiedades del hormigón

3.1 Diseño del Sistema de Piso

En el sistema de piso debe ser diseñado para que el panel Steel deck trabaje como encofrado en la etapa constructiva. Los conectores de corte deben diseñarse para que soporte por lo menos la mínima de las resistencias de la losa compuesta en etapa de servicio.

3.1.1 Diseño del Panel Steel Deck

Se debe verificar su desempeño a flexión y su deflexión máxima para utilizar el Steel deck apropiado.

Steel Deck	SD 55 x 0,76
f_y sd	255 MPa
e losa h	60 mm

Tabla 13: Tipo de Steel Deck

Propiedades de la Sección Simple Novalosa 55 mm					
Espesor Novalosa (mm)	Peso (kg/m ²)	I_{e+} (cm ⁴ /m)	S_{e+} (cm ³ /m)	S_{e-} (cm ³ /m)	A_s (cm ² /m)
0,76	7,47	36,89	11,46	12,81	9,03
1,00	9,82	52,38	16,76	18,84	12,02

Tabla 14: Propiedades de Steel deck Novacero

Fuente: Construcción Estructuras Metálicas y Mixtas Novacero 2019

Se debe utilizar las propiedades de los proveedores disponibles comercialmente en nuestro medio, generalmente dichos proveedores publican fichas técnicas con esta información en sus páginas oficiales como manual de diseño

hr (h panel)	55 mm
e sd	0,76 mm
w sd	7,47 kg/m ²
I_{e+}/m	36,89 cm ⁴ /m
S_{e+}/m	11,46 cm ³ /m
S_{e-}/m	12,81 cm ³ /m
A SD/m	9,03 cm ² /m

Tabla 15: Propiedades de Steel deck utilizadas

3.1.1.1 Cargas en Etapa Constructiva en Steel Deck

Las cargas consideradas en la etapa constructiva son diferentes a las cargas de servicio debido a que aún no será sobrecargada con acabados ni llegará a trabajar con su capacidad total sino solamente con la capacidad del Steel Deck.

Esp. Eq. Losa	0,088 m
P. Losa	193 kg/m ²
w sd	7,47 kg/m ²
Carga Viva Con	100 kg/m ²
Comb Carg	400 kg/m ²
W cons (1m)	400 kg/m
Luz Steel Deck	2,00 m

Tabla 16: Cargas en Etapa Constructiva en Steel Deck

$$w_u = 1,2 * w_d + 1,6 * w_l$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{w_u * l^2}{8}$$

$$\phi * M_y = \phi * f_y * S_e$$

M máx const	200,0 kg*m
ϕM_y	208,5 kg*m
Estado	Ok

Tabla 17: Resistencia a la flexión del Steel Deck en etapa constructiva

3.1.1.2 Control de Deflexión en Steel Deck

La deflexión máxima en un Steel deck se obtiene calculando la deflexión máxima para una viga simplemente apoyada que es la peor de las condiciones de apoyo.

$$\delta = \frac{5 * w * l^4}{384 * E_s * I_x}$$

w	4 kg/cm
l	200 cm
E	2038736 kg/cm ²
I _x	36,9 cm ⁴
Deflexión máx	1,11 cm

Tabla 18: Máxima deflexión en el Steel deck

La máxima deflexión permitida en el Steel deck es la mínima de las siguientes 2 expresiones siguientes.

$$lim1 = 1,9 \text{ cm}$$

$$lim2 = \frac{l}{180}$$

Limite 1	1,90 cm
Limite 2	1,11 cm
Limite min	1,11 cm
Estado	Ok

Tabla 19: Deflexión máxima permitida del Steel Deck

Para que el Diseño del Steel Deck cumpla con los requerimientos necesarios debe cumplir tanto resistencia a flexión, como deflexión máxima permisible, ambos en etapa de construcción pues solamente ocurre este fenómeno en esta etapa, cuando el hormigón de la losa fragua este aumenta su capacidad para trabajar en conjunto siempre y cuando tenga suficientes conectores de corte para que esto suceda.

3.1.2 Refuerzo Mínimo por Temperatura

El espesor de losa sobre la cresta del Steel deck es 6 cm y el ancho efectivo. de 2 m

E. Losa sc	0,06 m
be	2,00 m

Tabla 20: Dimensiones de la losa

Las expresiones para calcular el refuerzo mínimo a temperatura son las siguientes:

La expresión de la NEC está reforzada pues no se consideró para losas deck.

$$eleq = 88 \text{ mm}$$

$$As_{min} = 0,00075 * eleq * 1000\text{mm}/1\text{m}$$

$$As_{min-NEC} = 0,0018 * elsc * 1000\text{mm}/1\text{m}$$

$$As_{min} \geq 60 \text{ mm}^2/\text{m}$$

As min Deck	90,00 mm ²
As min NEC	108,00 mm ²

Malla Tipo	5,25 x 200x200
Área	108,00 mm ² /m
Peso/m ²	1,72 kg/m ²
Peso/plancha	25,80 kg

Tabla 21: Propiedades de la malla por temperatura.

L

Mallas estándar

MALLA Tipo de malla	DIÁMETRO		SEPARACIÓN		SECCIÓN ACERO As/m As L = As T mm ² /m	PESO	
	Ø Longitud = Ø Transversal mm		SL Longitudinal = ST Transversal cm			Kg / Plancha	Kg / m ²
U-110	3,75		10		110	25,91	1,73
U-106 *	4,5		15		106	25,07	1,67
U-177	4,75		10		177	41,57	2,77
U-173 *	5,75		15		173	40,93	2,73
U-196	5		10		196	46,06	3,07
U-205 *	6,25		15		205	48,36	3,22
U-238	5,5		10		238	55,73	3,72
U-239 *	6,75		15		239	56,41	3,76
U-335 *	8		15		335	79,23	5,28
U-524 *	10		15		524	123,80	8,25
U-55	3,75		20		55	13,16	0,88
U-71	4,25		20		71	16,91	1,13
U-89	4,75		20		89	21,12	1,41
U-108	5,25		20		108	25,80	1,72
U-131	5		15		131	30,95	2,06
U-158	5,5		15		158	37,45	2,50
U-221	7,5		20		221	52,65	3,51
U-284	8,5		20		284	67,62	4,51
U-354 *	9,5		20		354	84,47	5,63
U-433 *	10,5		20		433	103,18	6,88
U-44	3,75		25		44	10,62	0,71

Dimensiones mallas estándar

LONGITUD: 6,25 m ANCHO: 2,40 m AREA: 15 m².

* Mallas fabricadas bajo pedido

fy min = 6000 kg/cm²

Si SL = ST = 10cm ; X1 = X2 = 7,5cm y Y1 = Y2 = 5cm

Si SL = ST = 15cm ; X1 = X2 = 5,0cm y Y1 = Y2 = 7,5cm

Tabla 22: Tipos de malla electrosoldada

Fuente: Ideal Alambrec

3.1.3 Diseño de Vigas y Viguetas

3.1.3.1 Carga constructiva en Vigas y Viguetas

Peso Losa	194 kg/m ²	194 kg/m ²
Peso_Perfil	17 kg/m ²	7 kg/m ²
Paredes	200 kg/m ²	200 kg/m ²
Otras cargas	0 kg/m ²	0 kg/m ²

D 1,2	411 kg/m ²	401 kg/m ²
L 1,6	240 kg/m ²	240 kg/m ²

Combinación	877 kg/m ²	866 kg/m ²
wu	2632 kg/m	3462 kg/m

Tabla 23: Cargas y Combinaciones de servicio

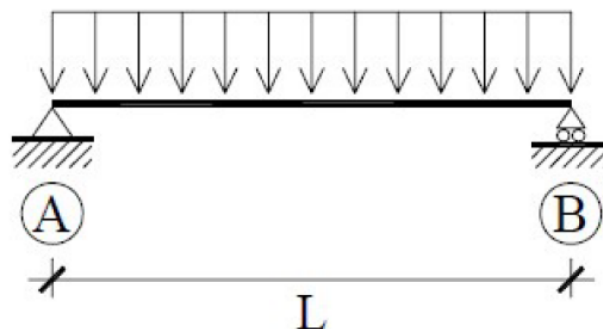


Ilustración 6: Condición de servicio de viga a gravedad

$$V_{\text{máx}} = \frac{w * l}{2}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{w * l^2}{8}$$

V máx	7896 kg	10386 kg
M máx	11844 kg*m	15579 kg*m

Tabla 24: Cargas Máximas

3.1.3.2 Resistencia al Pandeo Lateral Torsional

c	1	1
ly	970,0 cm ⁴	157,0 cm ⁴
ho	34,4 cm	30,1 cm
Sx	796,0 cm ³	349,0 cm ³
J	23,7 cm ⁴	7,5 cm ⁴
cw	287633	35587
E	200000 MPa	200000 MPa
Fy	345 MPa	345 MPa
rts	4,6 cm	2,6 cm

Tabla 25: Propiedades geométricas y mecánicas de vigas

Longitud que representa el Estado Límite para Pandeo Lateral Torsional Inelástico

$$L_r = 1,95 * rts * \frac{E}{0,7 * fy} \sqrt{\frac{J * c}{S_x * h_o} + \sqrt{\left(\frac{J * c}{S_x * h_o}\right)^2 + 6,76 * \left(\frac{0,7 * fy}{E}\right)^2}}$$

Longitud que representa el Estado Límite para fluencia

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Radio de giro aproximado del ala de compresión más un sexto del alma

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{I_y * C_w}}{S_x}}$$

Radio de Giro respecto al eje y

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

Lr	474,9 cm	263,5 cm
ry	3,9 cm	2,1 cm
Lp	164,8 cm	88,6 cm
Lb	200,0 cm	600,0 cm
Cb	1	1

Tabla 26: Propiedades de Arriostramiento

$$F_{cr} = C_b * E * \left(\frac{\pi}{L_b/r_{ts}}\right)^2 * \sqrt{1 + 0,078 * \frac{J * c}{S_x * h_o} * \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

$$M_n = F_{cr} * S_x$$

Fcr	10792 kg/cm ²	725 kg/cm ²
Mn1	8590173 kg*cm	252851 kg*cm
Zx	895,0 cm ³	405,0 cm ³
Mp	3029083 kg*cm	1370702 kg*cm
Mn	2899439 kg*cm	252851 kg*cm
Mn	26095 kg*m	2276 kg*m

Tabla 27: Capacidad nominal de las secciones

N vanos	1	2
M máx	11844 kg*m	3895 kg*m
Estado	Ok	Apuntalar
N° Apunt	0	1

Tabla 28: Resistencia en la Etapa Constructiva

3.2 Diseño de Losa como Sistema Compuesto

Existen varios beneficios de construir en estructura metálica, entre ellas están el menor tiempo de construcción en comparación con el hormigón.

El Steel Deck o losa colaborante es uno de los componentes de la losa que mas ventajas trae como son su facilidad, rapidez de instalación y su beneficio como reemplazo al encofrado.

Consideramos sistema compuesto al trabajo conjunto para cargas de servicio de la losa de hormigón a compresión y el perfil de acero a tensión como si fuera un solo material, de tal manera que se aprovecha las ventajas de cada uno y se compensa su carencia, esta ventaja se obtiene siempre y cuando la losa este correctamente unida por conectores de corte.

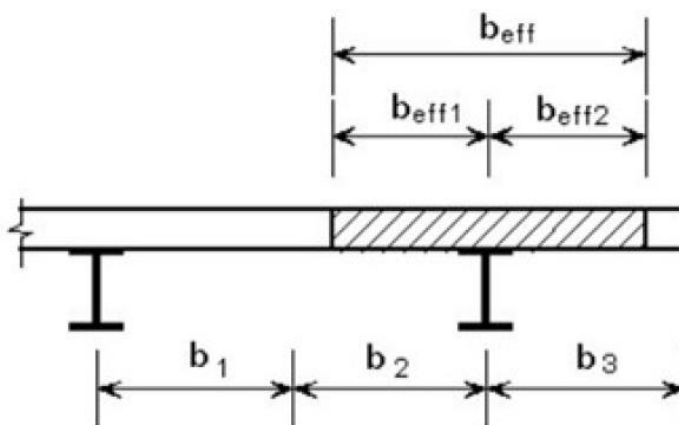


Ilustración 7: Ancho efectivo del sistema compuesto

f_y	345 MPa	345 MPa
A_s	6450 mm ²	3590 mm ²
b_e	6,00 m	2,00 m
f'_c	21 MPa	
e_{lh}	60,0 mm	

Ilustración 8: Propiedades mecánicas y geométricas de la losa

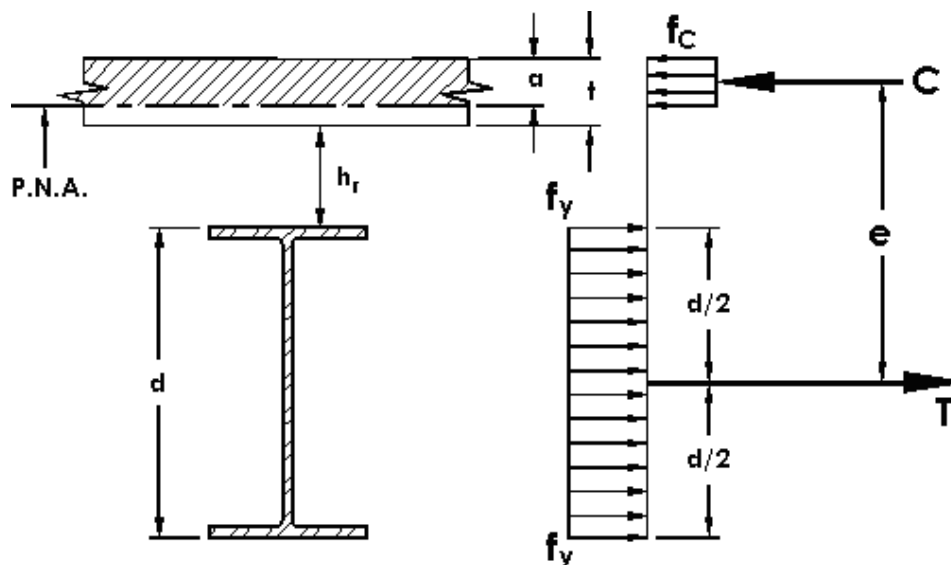


Ilustración 9: Diagrama de esfuerzos del sistema compuesto

Fuente: STADD.pro – Composite Beams

3.2.1 Diseño de los Conectores de Corte

Los conectores necesarios para que trabajen en conjunto el hormigón y el acero se calcula en función de las fuerzas internas, los conectores necesitan resistir por lo menos el menor de entre estas fuerzas calculadas de la siguiente expresión.

$$T = A_s * f_y$$

$$C = 0,85 * e * h * b_e * f'_c$$

T	2225,3 kN	1238,6 kN
C	6426,0 kN	2142,0 kN

Tabla 29: Fuerzas Internas

Propiedad del Conector del Corte

TIPO DE CONECTORES	NS-500/250	NS-625/250	NS-625/300	NS-625/400	NS-750/300	NS-750/400
DIMENSIONES						
Diámetro del vástago (C)	1/2"	5/8"	5/8"	5/8"	3/4"	3/4"
Longitud del vástago (L)	2 1/2"	2 1/2"	3"	4"	3"	4"
Diámetro de la cabeza (D)	1"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
Altura de la cabeza (H)	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	8,5 mm	10 mm	10 mm

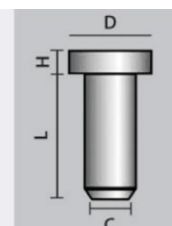


Tabla 30: Tipos y Propiedades de Conectores de Corte

Fuente: Acero Deck

Tipos de Grados de Conectores de Corte Tipo Stud

		Type A ¹	Type B ²	Type C ³
Tensile strength	psi min	61 000	65 000	80 000
	MPa min	420	450	552
Yield strength (0.2% offset)	psi min	49 000	51 000	—
	MPa min	340	350	—
	(0.5% offset)	—	—	70 000
Elongation	psi min	—	—	485
	MPa min	—	—	485
Reduction of area	% in 2 in. min	17%	20%	—
	% in 5x dia. min	14%	15%	—
Reduction of area	% min	50%	50%	—

Tabla 31: Propiedades Mecánicas de los tipos de Conectores tipo Stud

Fuente: AW 1.1 Stud Welding

Propiedades de los Conectores Tipo Stud

Ec	21538 MPa
A stud	287 mm ²
Fu	450 MPa
Rg	1,00
Rp	0,60
S stud	0,30 cm

Tabla 32: Propiedades Mecánicas y Geométricas del Conector tipo Stud

Colocación de conectores en la viga paralela al Steel Deck

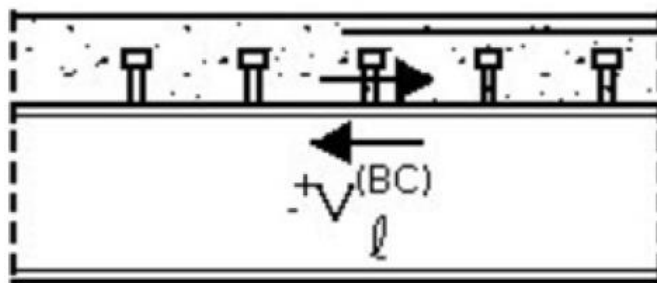


Ilustración 10: Diagrama de Fuerzas Internas

$$Qn 1 = 0,5 * A_{stud} * \sqrt{f'c * Ec}$$

$$Qn lim = Rg * Rp * A_{stud} * Fu$$

Qn 1	96,5 kN
Qn lim	77,5 kN
Qn	77,5 kN

Tabla 33: Fuerzas de conexión

$$ncc = 2 * T / Qn$$

$$nce = l / S_{stud}$$

n cc	57,4	32,0
n ce	20,0	20,0
N stud	57	32

Tabla 34: Número de Conectores

3.2.2 Diseño del Sistema de Piso Compuesto

Ancho efectivo a compresión

$$a = \frac{fy * A_s}{0,85 * f'c * be}$$

a	20,8 mm	34,7 mm
elh	60,0 mm	60,0 mm
Estado	ok	ok

Tabla 35: Compresión de la losa

Resistencia a flexión de la sección Compuesta

$$\phi * M_b = \phi * 0,85 * f'c * be * a * \left(\frac{d}{2} + h_r + elh - \frac{a}{2} \right)$$

d	356,0 mm	310,0 mm
tw	7,2 mm	6,0 mm
hr	55 mm	55 mm
ϕ	0,9	0,9
$\phi * M_b$	566,0 kN*m	281,6 kN*m
Mu	116,2 kN*m	152,8 kN*m
Estado	Ok	Ok

Tabla 36: Resistencia a la flexión de la viga compuesta

Resistencia al Corte del Alma

$$\phi * V_n = \phi * 0,6 * f_y * d * t_w$$

ϕ	0,9	0,9
$\phi * V_n$	480,2 kN	344,8 kN
V_u	77,5 kN	101,9 kN
Estado	Ok	Ok

Tabla 37: Resistencia al Corte

3.2.3 Diseño a Deflexión del Sistema Compuesto

E_s	200000 MPa
E_c	21538 MPa
n	9,28586767

Tabla 38: Relación entre módulos de Elasticidad

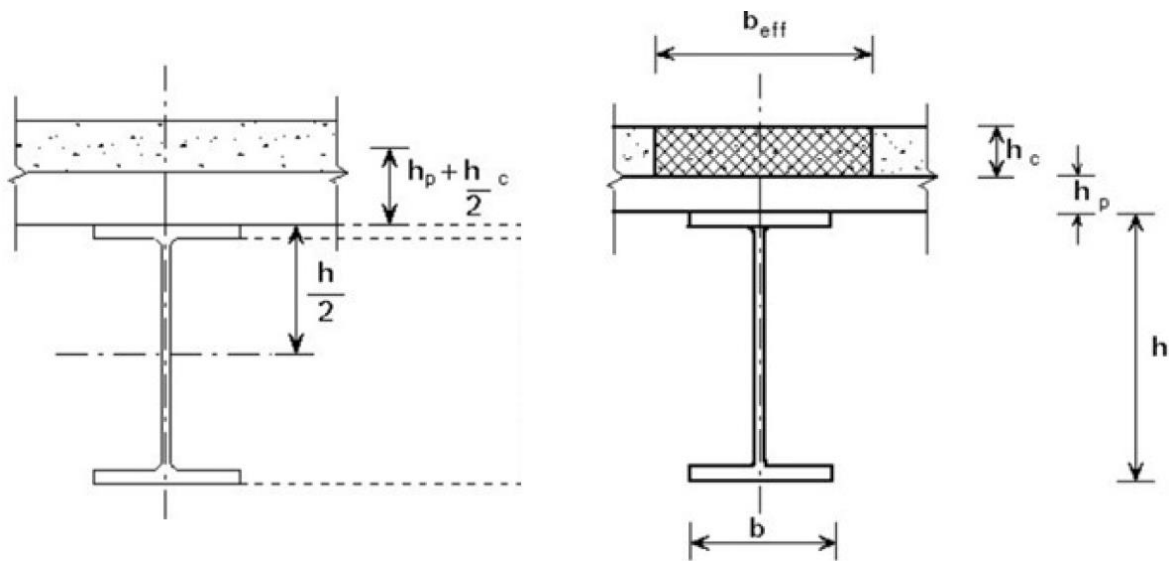


Ilustración 11: Dimensiones de la viga y losa colaborante

Fuente: fgg web Composite Beams

$$y_t = \frac{\frac{be}{n} * elh * \left(d + hr + \frac{elh}{2} \right) + A_s * \frac{d}{2}}{\frac{be}{n} * elh + A_s}$$

Inercia Transformada

$$I_{xt} = \frac{be}{n} * elh^3 + \frac{be}{n} * elh * \left(d + hr + \frac{elh}{2} - y_t \right)^2 + I + A_s * \left(y_t - \frac{d}{2} \right)^2$$

y t	403 mm	343 mm
I x	142,0 mm	54,1 mm
I x t	536133010 mm ⁴	219804722 mm ⁴

Tabla 39: Inercia Transformada

$$w = L * be$$

L	2,35 kN/m ²	
luz	6000 mm	6000 mm
w	14,1264	4,7088

Tabla 40: Información para cálculo de deflexiones

$$\delta = \frac{5 * w * l^4}{384 * E_s * I_{xt}}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{l}{360}$$

δ	2,2 mm	1,8 mm
$\delta_{m\acute{a}x}$	16,7 mm	16,7 mm
Estado δ	OK	OK

Tabla 41: Deflexión máxima permitida

3.2.4 Diseño por Vibración del Sistema de Compuesto

$$de = elh + hr/2$$

$$Ds = \frac{de^3}{12 * \frac{n}{1,35}}$$

de	87,5 mm
Ds	8116 mm ³

Tabla 42: Propiedades equivalentes

be0	6000 mm	2000 mm
be1	2400 mm	2400 mm

be	2400 mm	2000 mm
----	---------	---------

Tabla 43: Ancho efectivo de miembros estructurales

D	4,03 kN/m ²	3,94 kN/m ²
w j wg	9,68 kN/m	7,87 kN/m
δ	1,5 mm	3,0 mm

Tabla 44: Cargas en losa colaborante

$$f = 0,18 * \sqrt{\frac{g}{\delta}}$$

g	9810 mm/s ²	
f	14,4 Hz	10,3 Hz
f min req	3	3
Estado	OK	OK

Tabla 45: frecuencia de las secciones compuestas

$$D_I = \frac{I_{xt}}{S_v}$$

Sv	6000 mm	2000 mm
D I	89356 mm ³	109902 mm ³

$$B_{vr} = C_{vr} * l * \sqrt{\frac{D_s}{D_I}}$$

$$B_I = n_{port} * l * 2/3$$

C vr	1	1
n port	3	3
B0	12000 mm	12000 mm
B1	3294 mm	3128 mm
B min	3294 mm	3128 mm

Tabla 46: Dimensiones equivalentes en losa colaborante

$$F_{vr} = 1,5 * D * B_I * l$$

Fvr	119,6 kN	110,8 kN
-----	----------	----------

Tabla 47: Fuerza de vibración

Diseño por Vibración del Módulo Combinado

$$f_{sis} = 0,18 * \sqrt{\frac{g}{\delta_{vg} + \delta_{vt}}}$$

f _{sis}	8,4 Hz
w vr	114 kN

Tabla 48: vibración y fuerza del sistema compuesto

Amortiguamiento de Piso por tipo de carga

$$am = \Sigma am$$

Sistema Est	1%
Cielos y Duc	1%
Pared Ladrill	10%
am	12%

Tabla 49: Amortiguamiento del sistema según su uso.

Amortiguamiento de

$$a_{pg} = \frac{Po * e^{-0,35*fn}}{am * w vr}$$

Po	0,29 kN
a pg	0,11%
ap máx	0,50%
Estado	Ok

Tabla 50: Amortiguamiento del sistema de piso

3.3 Diseño de Columnas a Gravedad

El diseño ha sido optimizado disminuyendo las secciones cada 3 pisos

PROPIEDADES MECÁNICA	
Tipo de Acero	ASTM A992 Gr 50
Es	200000 MPa
G	77200 MPa
Fy	345 MPa
Fu	450 MPa

Ry	1,1
Rt	1,1

Tabla 51: Propiedad Mecánica de columnas

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE COLUMNAS					
Perfil	W12X40	W12X58	W12X79	W12X106	W12X136
Área_Perfil	7550 mm ²	11000 mm ²	15000 mm ²	20100 mm ²	25700 mm ²
Peso_Acero	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³
Peso_Perfil	59 kg/m	86 kg/m	118 kg/m	158 kg/m	202 kg/m
d	302,0 mm	310,0 mm	315,0 mm	328,0 mm	340,0 mm

Tabla 52: Perfiles seleccionados como columnas a gravedad

Compacidad de Elementos

Alas	Compactas	Compactas	Compactas	Sísmicamente Compactas	Sísmicamente Compactas
bf	203,0 mm	254,0 mm	307,0 mm	310,0 mm	315,0 mm
tf	13,1 mm	16,3 mm	18,7 mm	25,1 mm	31,8 mm
bf/2tf	7,75	7,79	8,21	6,18	4,95
Alma	Compacta	Sísmicamente Compacta	Sísmicamente Compacta	Sísmicamente Compacta	Sísmicamente Compacta
bw	275,8 mm	277,4 mm	277,6 mm	277,8 mm	276,4 mm
tw	7,5 mm	9,1 mm	11,9 mm	15,5 mm	20,1 mm
bw/tw	36,82	30,35	23,33	17,92	13,75

Tabla 53: Dimensiones y compacidad de columnas

Estado limite	λ_{hd}	λ_p	λ_s
Alas	0,32VE/RyFy 7,35	0,38VE/Fy 9,15	1VE/Fy 24,08
Alma	1,57VE/RyFy 36,04	3,76VE/Fy 90,53	5,7VE/Fy 137,24

Tabla 54: Estados límite de perfiles W

Datos de la estructura

N° Pisos	15
h piso t	3,60 m
k	1,0
ϕ	0,9

Tabla 55: Información general de la estructura

3.3.1 Carga Gravitacional en Columnas

La carga muerta de 4.00 kN/m² ha sido considerada por el peso de acabados, mampostería en bloque, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias y losa. La carga viva de 2.4kN/m² has sido definido en función al uso de la edificación señalada por la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2016)

Cargas	factor	Valor Cargas
Muerta	1,2	4,00 kN/m ²
Viva	1,6	2,40 kN/m ²

Ancho Ef	6,00 m
Luz Viga	6,00 m
k	1

Wu	51,84 kN/m
Mu	116,6 kN*m
Pu	311,0 kN

Tabla 56: Cargas y dimensiones consideradas para el diseño

[-]	[-]	[mm]	[mm ⁴ /10 ⁶]	[mm ⁴ /10 ⁶]	[mm ³ /10 ³]	[mm ³ /10 ³]	[mm ⁴ /10 ³]
Piso	Columna	d	Ix	Iy	Sx	Zx	J
15	W12X40	302	128	18	844	934	377
14	W12X40	302	128	18	844	934	377
13	W12X40	302	128	18	844	934	377
12	W12X58	310	198	45	1280	1420	874
11	W12X58	310	198	45	1280	1420	874
10	W12X58	310	198	45	1280	1420	874
9	W12X79	315	276	90	1750	1950	1600
8	W12X79	315	276	90	1750	1950	1600
7	W12X79	315	276	90	1750	1950	1600
6	W12X106	328	388	125	2380	2690	3800
5	W12X106	328	388	125	2380	2690	3800
4	W12X106	328	388	125	2380	2690	3800
3	W12X136	340	516	166	3050	3510	7700
2	W12X136	340	516	166	3050	3510	7700
1	W12X136	340	516	166	3050	3510	7700

Tabla 57: Propiedades geométricas de las columnas a gravedad

[-]	[-]	[mm]	[mm ²]	[mm ⁶ /10 ⁹]	[MPa]	[-]	[MPa]
Piso	Columna	L	Ag	Cw	Fe	Fy/Fe	Fcr
15	W12X40	3600	7550	387	601	0,57	271
14	W12X40	3600	7550	387	601	0,57	271
13	W12X40	3600	7550	387	601	0,57	271
12	W12X58	3600	11000	959	881	0,39	293
11	W12X58	3600	11000	959	881	0,39	293

10	W12X58	3600	11000	959	881	0,39	293
9	W12X79	3600	15000	1970	1158	0,30	305
8	W12X79	3600	15000	1970	1158	0,30	305
7	W12X79	3600	15000	1970	1158	0,30	305
6	W12X106	3600	20100	2870	1424	0,24	312
5	W12X106	3600	20100	2870	1424	0,24	312
4	W12X106	3600	20100	2870	1424	0,24	312
3	W12X136	3600	25700	3950	1754	0,20	318
2	W12X136	3600	25700	3950	1754	0,20	318
1	W12X136	3600	25700	3950	1754	0,20	318
0							

Tabla 58: Esfuerzo críticos de columnas

Como se puede apreciar en la Tabla 59, la carga acumulada en cada columna es igual a la sumatoria de las cargas gravitacionales de las columnas superiores y el peso propio de las mismas columnas mencionadas.

La capacidad máxima de las columnas a gravedad lo podemos encontrar en la columna del 6to piso llegando a un 69%, se ha dejado 31% de capacidad adicional intencionalmente como reserva en el caso de que se requiera realizar un análisis de 2do orden.

[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]
Piso	Viga	$\phi * P_n$	Peso Propio	Carga total	Carga Acum	Capacidad	Estado
15	W12X40	1844	2	313	313	0,17	OK
14	W12X40	1844	2	313	626	0,34	OK
13	W12X40	1844	2	313	939	0,51	OK
12	W12X58	2899	3	314	1254	0,43	OK
11	W12X58	2899	3	314	1568	0,54	OK
10	W12X58	2899	3	314	1882	0,65	OK
9	W12X79	4111	4	315	2197	0,53	OK
8	W12X79	4111	4	315	2512	0,61	OK
7	W12X79	4111	4	315	2827	0,69	OK
6	W12X106	5639	6	317	3144	0,56	OK
5	W12X106	5639	6	317	3460	0,61	OK
4	W12X106	5639	6	317	3777	0,67	OK
3	W12X136	7349	7	318	4095	0,56	OK
2	W12X136	7349	7	318	4413	0,60	OK
1	W12X136	7349	7	318	4732	0,64	OK

Tabla 59: Capacidad de las columnas

4 DISEÑO DEL SISTEMA SISMO RESISTENTE

4.1 Diseño del Sistema con Pórticos Resistentes a Momentos (PRM)

4.1.1 Espectro de Respuesta del PRM

En este caso tanto para los PRM como para los PAC solamente se considerará los cálculos en el sentido x, pues el sentido perpendicular también se utiliza el mismo sistema sismo resistente, en el caso de que el sistema sismo resistente sea diferente se tendrá que considerar los factores de sobre resistencia apropiados para un sistema dual.

La Tabla 60 muestra de manera sencilla la información general del sistema.

Información General		
Tp Est	Estructura de Acero	
Sub Tip x	Sin Arriostramientos	
Sub Tip y	Sin Arriostramientos	
hp	Altura de entrepiso tipo	3,60 m
n pisos	Número de Pisos	15
ht	Altura Total de Edificación	54,00 m

Tabla 60: Generalidades del sistema PRM

4.1.1.1 Primer Modo fundamental de Vibración

El primer modo de vibración de la estructura puede ser calculada de manera aproximada por el método 1 que propone la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) con la siguiente expresión:

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde

C_t = Coeficiente en función del sistema estructural

$h_n = h_t$ = Altura total desde la base (nivel de suelo)

T = Periodo de Vibración

α = Coeficiente de altura en función del sistema estructural

Otra manera de calcular el primer modo de vibración aproximado de la estructura es el método 2 propuesto por la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) que calcula el periodo de vibración en función de los pesos y deflexiones de cada piso, este último provocado por fuerzas laterales con distribución racional.

El tercer y último modo calculo que propone la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) es el método de Interacciones donde una vez dimensionada la estructura se debe recalculer su periodo, esto generará un nuevo valor de periodo que puede ser calculado por el método 2 o por análisis modal (obtenido de un programa que básicamente utiliza eigen valores y eigen vectores para este análisis) lo cual provoca iteraciones continuas y eso se hace hasta que los valores de periodo converjan con una variación de +- 10%.

Periodo de Vibración en X		
Ct	Coeficiente de Periodo	0,072
α	Factor de periodo	0,80
Tx NEC 1	Periodo de Vibración Estructura NEC met 1	1,75 s
Tx ETABS	Periodo de Vibración Estructura ETABS	2,70 s
Tx	Periodo de Vibración Estructura	2,70 s

Tabla 61: Determinación de periodos fundamental de vibración de la estructura

Sabemos de antemano que el periodo depende únicamente del peso de la estructura y su rigidez, este último está en función de sus condiciones de apoyo en sus conexiones viga columna. Por esta razón se ha decidido pasar por alto el periodo obtenido por el método 1 de la NEC y más bien utilizar el periodo que nos otorgue nuestro software pues este cálculo de manera inmediata este valor, una vez obtenido este valor determinaremos los coeficientes sísmicos que a su vez darán como resultado un periodo y derivas nuevas, donde se debe cumplir las derivas máximas de 2.00% para obtener así un valor de periodo nuevo y más

preciso, este proceso de cambiar los coeficientes sísmicos se lo hace hasta que los 2 periodos converjan en valores que no difieran en un más de +- 10%.

4.1.1.2 Coeficientes de amplificación espectral

Estos coeficientes están en función de la zona sísmica del tipo de suelo y del sistema estructural, son utilizados para definir el espectro de aceleración. Si el sistema es diferente en cada sentido se convierte en un sistema dual el cual puede ser determinado por la NEC-15 o por la ASCE 7-16 (American Society Civil Engineers, 2017).

Coeficientes de Influencia Sísmica		
Zona Sísmica		V
Tipo de Suelo		D
Zona	Sierra, Esmeraldas y Galápagos	
Z	Factor de zona sísmica	0,4
n	Razón de aceleración	2,48
Fa	Factor de Suelo	1,2
Fd	Factor de Suelo	1,19
Fs	Factor de Suelo	1,28
To	Periodo de Vibración mínimo	0,13
Tc	Periodo de Vibración máximo	0,70
TL	Periodo de esquina	2,86
Uso	Otras Estructuras	
I	Factor de Importancia	1
r	Factor de uso de Suelo	1
Rx	Factor de Redundancia en x	8
Ry	Factor de Redundancia en y	8
Op	Factor de Irregularidad en planta	1
Oe	Factor de Irregularidad en elevación	1
g	Gravedad [cm/s ²]	981
Sa x (Tx)	Aceleración Espectral en x [g]	0,31
Sa y (Ty)	Aceleración Espectral en y [g]	0,31

Tabla 62: Coeficientes sísmicos

4.1.1.3 Espectro de Aceleración

En este caso como el primer y segundo modo de vibración son relativamente los mismo en y el sistema estructural es el mismo en ambos sentidos, se usarán los mismos valores de aceleración para calcular el cortante basal y distribución en cada piso.

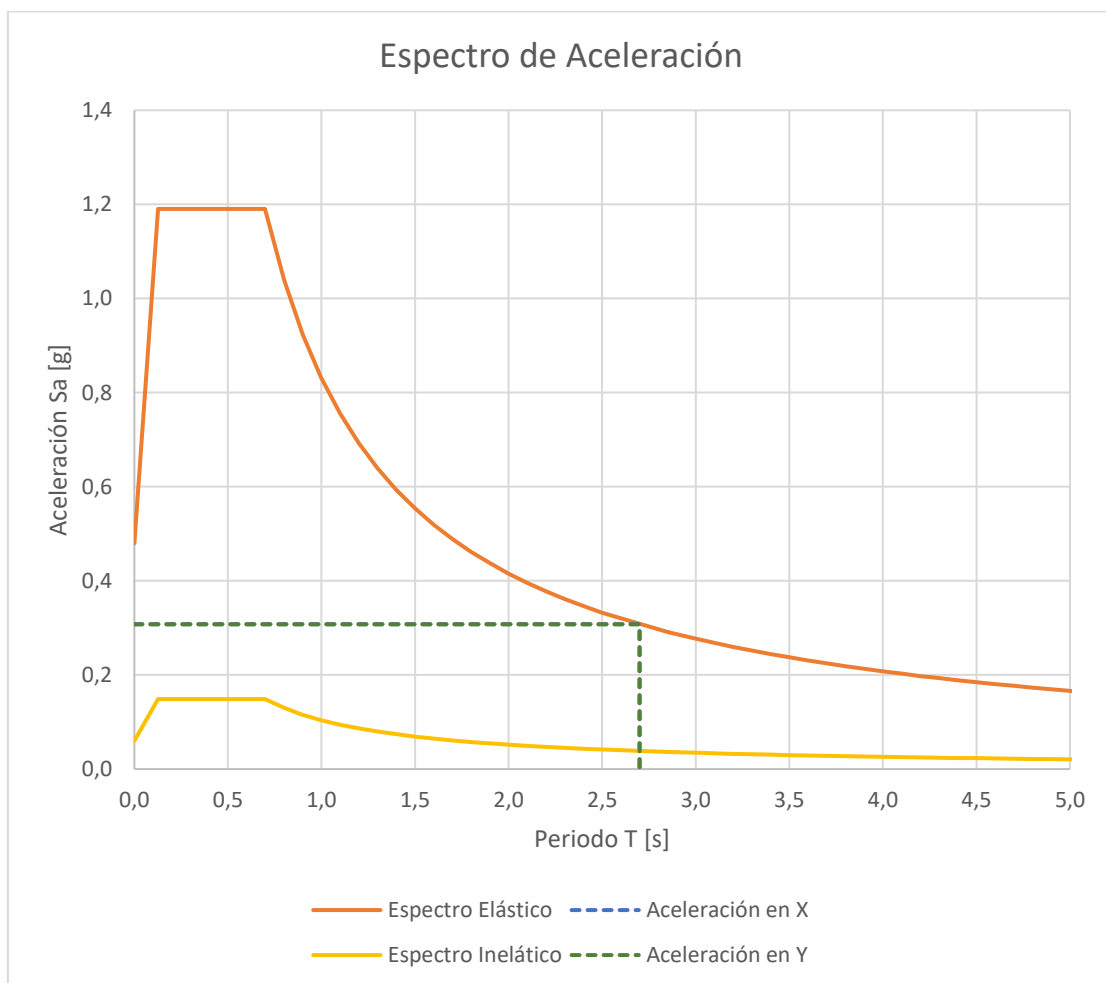


Ilustración 12: Espectro de Diseño del PRM

4.1.2 Coeficientes Sísmicos

El valor de importancia es un coeficiente que está en función de la categoría del edificio según la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

Factores de Influencia en las Fuerzas Horizontales		
I	Factor de Importancia	1,0
Ta x	Periodo de Vibración Estructura	2,70 s
Ta y	Periodo de Vibración Estructura	2,70 s
Tm x	Periodo límite 1,3 Ta en X	3,51 s
Tm y	Periodo límite 1,3 Ta en Y	3,51 s
Sa X (Ta)	Aceleración del Espectro en X	0,308
Sa Y (Ta)	Aceleración del Espectro en Y	0,308
OP	Factor de Irregularidad en planta	1,0
OE	Factor de Irregularidad en elevación	1,0
kx	Factores de periodo por elevación	2,00
ky	Factores de periodo por elevación	2,00

Tabla 63: Factores de importancia e irregularidad geométrica

4.1.3 Cortante Basal

El valor de Redundancia R se define según el sistema estructural usado por sentido, si se diera el caso de ser sistema dual el máximo valor R no deberá exceder 1.25 del Menor, esto para el diseño. R min será constante y se modificará el valor de R máx para que cumpla.

$$R_{m\acute{a}x} \leq 1.25 R_{min}$$

Datos Generales de la Edificación		
np	N° de Pisos	15
hp	Altura Piso T	3,60 m
hp1	Altura Piso 1	3,60 m
ht	Altura Total	54,00 m
Ppiso	Peso de Piso Tipo	405,00 tonf
Ppiso1	Peso de Piso Último	405,00 tonf

Tabla 64: Dimensiones generales

Cortante basal		
Rx	Factor de Redundancia en x	8
Ry	Factor de Redundancia en y	8
cx drf =	$0,75 \cdot I \cdot Sa(Ta) / (Op \cdot Oe)$	0,231
cy drf =	$0,75 \cdot I \cdot Sa(Ta) / (Op \cdot Oe)$	0,231
cx =	$I \cdot Sa(Ta) / (Rx \cdot Op \cdot Oe)$	0,038
cy =	$I \cdot Sa(Ta) / (Ry \cdot Op \cdot Oe)$	0,038
W =	Peso de la Estructura	6075 tn
Vx=	$cx \cdot W$	233,74 tn
Vy=	$cy \cdot W$	233,74 tn

Tabla 65: Coeficientes de carga lateral

4.1.4 Distribución del Cortante Basal

Estas son las fuerzas sísmicas correspondientes a la distribución de fuerza lateral que cada piso deberá soportar.

El coeficiente de distribución por cada piso C_x está dado por la siguiente expresión:

$$C_i = \frac{w_i * h_i^k}{\sum w_i * h_i^k}$$

	[-]	[tonf]	[m]	[m]	[tonf*m]	[-]	[tonf]	[kN]
Piso	Wi	Hp	Hi	Wi*Hi^k	Cx	Fi x	Fi' x	
15	405	3,60	54,00	1180980	0,18	42,41	416,06	
14	405	3,60	50,40	1028765	0,16	36,95	362,43	
13	405	3,60	46,80	887047	0,14	31,86	312,51	
12	405	3,60	43,20	755827	0,12	27,14	266,28	
11	405	3,60	39,60	635105	0,10	22,81	223,75	
10	405	3,60	36,00	524880	0,08	18,85	184,91	
9	405	3,60	32,40	425153	0,07	15,27	149,78	
8	405	3,60	28,80	335923	0,05	12,06	118,35	
7	405	3,60	25,20	257191	0,04	9,24	90,61	
6	405	3,60	21,60	188957	0,03	6,79	66,57	
5	405	3,60	18,00	131220	0,02	4,71	46,23	
4	405	3,60	14,40	83981	0,01	3,02	29,59	
3	405	3,60	10,80	47239	0,01	1,70	16,64	
2	405	3,60	7,20	20995	0,00	0,75	7,40	
1	405	3,60	3,60	5249	0,00	0,19	1,85	
Total	6075	54,00		6508512		233,74	2292,94	

Tabla 66: Distribución del Cortante Basal

4.1.5 Propiedades de Vigas y Columnas

Las unidades de los valores utilizados se transformarán a unidades internacionales y serán las proporcionadas por los proveedores de materiales, tablas oficiales y otros documentos que sustenten los valores obtenidos mediante ensayos.

PROPIEDADES MECÁNICAS CONEXIÓN		
VIGA	IZQ	DER
Tipo de Acero	ASTM A992 Gr 50	ASTM A992 Gr 50
E	200000 MPa	200000 MPa

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA COLUMNA	
Tipo de Acero	ASTM A992 Gr 50
E	200000 MPa

Fy	345 MPa	345 MPa	Fy	345 MPa
Fu	450 MPa	450 MPa	Fu	450 MPa
Ry	1,1	1,1	Ry	1,1
Rt	1,1	1,1	Rt	1,1

Tabla 67: Propiedades Mecánicas del Acero

4.1.6 Propiedades de los miembros estructurales

Para analizar un pórtico resistente a momentos es necesario evaluar cada conexión que la compone, es por eso que se utilizará las dimensiones de una conexión intermedia que es el caso más esforzado en comparación a las que están en los exteriores de los pórticos.

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS			PROPIEDADES COLUMNA	
Perfil	W18X106	W18X106	Perfil	W24X250
Área_Perfil	20100 mm ²	20100 mm ²	Área_Perfil	47400 mm ²
Peso_Acero	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³	Peso_Acero	7850 kg/m ³
Peso_Perfil	158 kg/m	158 kg/m	Peso_Perfil	372 kg/m
d	475,0 mm	475,0 mm	dc	668,0 mm
g	9,81 m/s ²	9,81 m/s ²	Hs	3,60 m
			Hi	3,60 m

Tabla 68: Propiedades de los elementos que componen la conexión

4.1.7 Compacidad de Elementos

Los estados limite fueron obtenidos según la ANSI/AISC 341-16 (American Institute of Steel Construction, 2016).

Alas	Sísmicamente Compactas	Sísmicamente Compactas	Sísmicamente Compactas
bf	284,0 mm	284,0 mm	335,0 mm
tf	23,9 mm	23,9 mm	48,0 mm
bf/2tf	5,94	5,94	3,5
Alma	Sísmicamente Compacta	Sísmicamente Compacta	Sísmicamente Compacta
bw	427,2 mm	427,2 mm	572,0 mm
tw	15,0 mm	15,0 mm	26,4 mm
bw/tw	28,48	28,48	21,7

Tabla 69: Dimensiones y compacidad de las secciones que componen la conexión

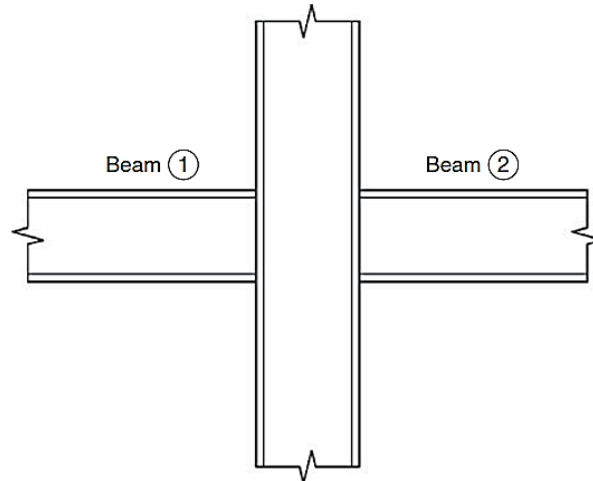


Ilustración 13: Miembros que componen la conexión

4.1.8 Área Cooperante

El área cooperante de la viga está formada por los trapecios adyacentes a la viga, si los ejes son iguales el área cooperante serán dos triángulos como se muestra en el grafico

	IZQ	DER
Disposición	Interna	Interna
Tipo	Viga	Viga
Longitud	6,00 m	6,00 m
Ancho 1	6,00 m	6,00 m
Ancho 2	6,00 m	6,00 m
Ancho ef	6,00 m	6,00 m
Area Coop Vg	18,00 m ²	18,00 m ²
Área Coop Vt	36,00 m ²	36,00 m ²
Área Coop	18,00 m ²	18,00 m ²

Tabla 70: Dimensiones del área cooperante analizada

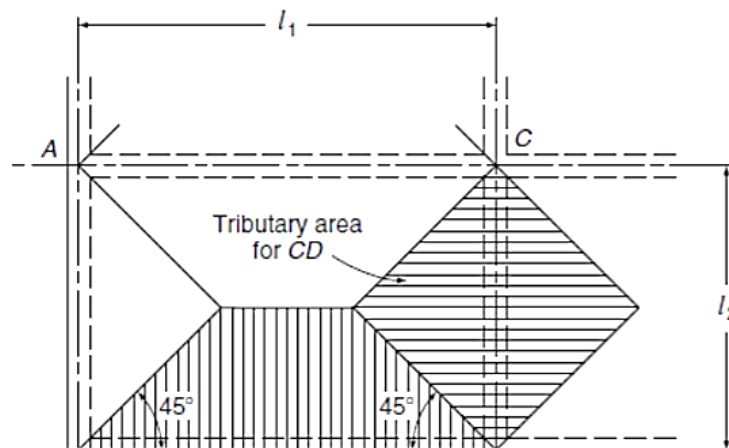


Ilustración 14: Área cooperante en vigas

4.1.9 Definición de Cargas Gravitacionales

$$w_u = 1,2 * D + 1,6 * L$$

D	1,2	400 kg/m ²	400 kg/m ²
L	1,6	240 kg/m ²	240 kg/m ²
Combinación		864 kg/m ²	864 kg/m ²
wu		2591 kg/m	2591 kg/m

Tabla 71: Cargas gravitacionales en viga

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{w * l}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{w * l^2}{24}$$

V_máx	7772 kg	7772 kg
M_máx	3886 kg*m	3886 kg*m

Tabla 72: Cortante y Momento máximo

4.1.10 Dimensiones de las Estructura plástica

En el caso de PRM con conexión WUF-W las rotulas plásticas se forman en las cargas de las columnas por lo que la longitud S_h es cero, esta longitud se debe calcular a ambos lados de la conexión.

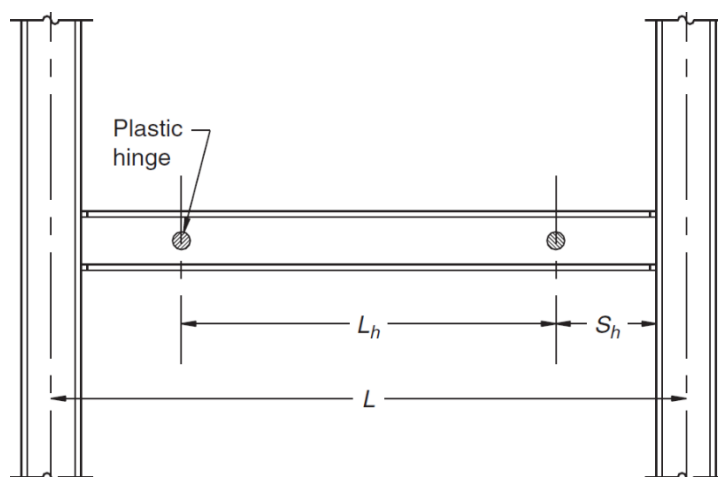


Tabla 73: Ubicación de rótulas en un pórtico resistente a momentos

$$L_h = L - \sum d_c / 2 - 2 * S_h$$

dc	0,67 m	0,67 m
L	6,00 m	6,00 m
Sh	0,00 m	0,00 m
Lh	5,33 m	5,33 m

Tabla 74: Dimensiones de la estructura plástica

4.1.11 Cargas en Conexión

Para el caso de conexiones precalificadas por conexión WUF-W la AISC sugiere ocupara un valor de C_{pr} igual a 1.4.

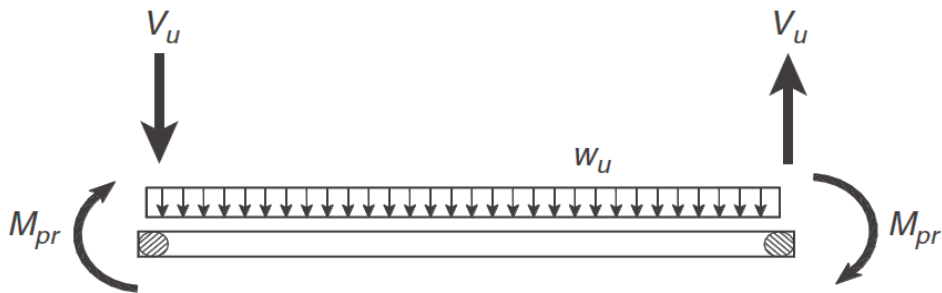


Ilustración 15: Diagrama de Fuerzas aplicadas en la Viga del PRM

$$M_{pr} = C_{pr} * R_y * F_y * Z$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 * F_y}$$

Cpr	1,4	1,4
Ry	1,1	1,1
Fy	345 MPa	345 MPa
Z	3770000 mm ³	3770000 mm ³
Mpr	2003 kN*m	2003 kN*m

Tabla 75: Propiedades de la conexión WUF-W

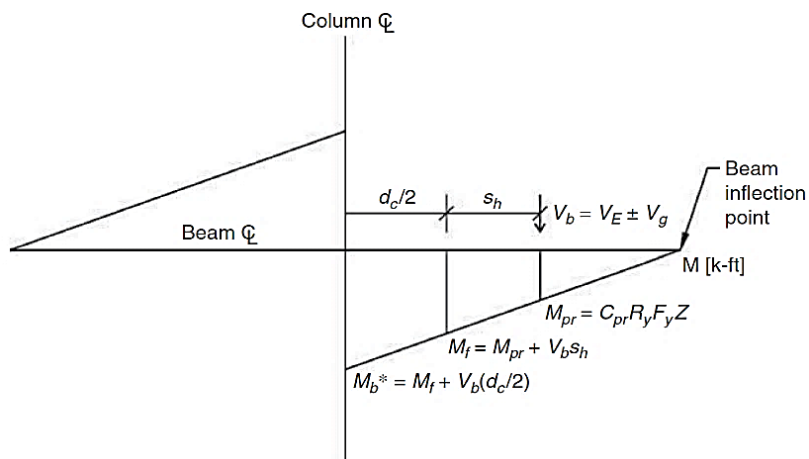


Ilustración 16: Momentos en la viga plástica

4.1.12 Cortante sísmico

$$V_E = \Sigma \frac{M_{pr}}{L_h}$$

VE	751 kN
----	--------

$$V_g = w_u * \frac{L_h}{2}$$

wu	25,41 kN/m	25,41 kN/m
Lh	5,33 m	5,33 m
Vg	68 kN	68 kN

Tabla 76: Cortante por carga a gravedad

$$V_u = V_E \pm V_g$$

Viga	① IZQUIERDA	② DERECHA
Vu ->	819 kN	684 kN
Vu <-	684 kN	819 kN

Tabla 77: Cortante último en la conexión

$$M_f = M_{pr} + V_u * S_h$$

$$M_{b^*} = M_{pr} + V_u * \left(S_h + \frac{d_c}{2} \right)$$

Mf ->	2003 kN*m	2003 kN*m
Mf <-	2003 kN*m	2003 kN*m
Mb* ->	2277 kN*m	2231 kN*m
Mb* <-	2231 kN*m	2277 kN*m

Tabla 78: Momentos en alas y viga

Se escoge el máximo valor de momento en alas de vigas según el sentido

Mf máx ->	2003 kN*m
Mf máx <-	2003 kN*m
$\Sigma Mb^* ->$	4508 kN*m
$\Sigma Mb^* <-$	4508 kN*m

Tabla 79: Momentos en la conexión

$$V_c = \frac{\Sigma M_{b^*}}{\Sigma H/2}$$

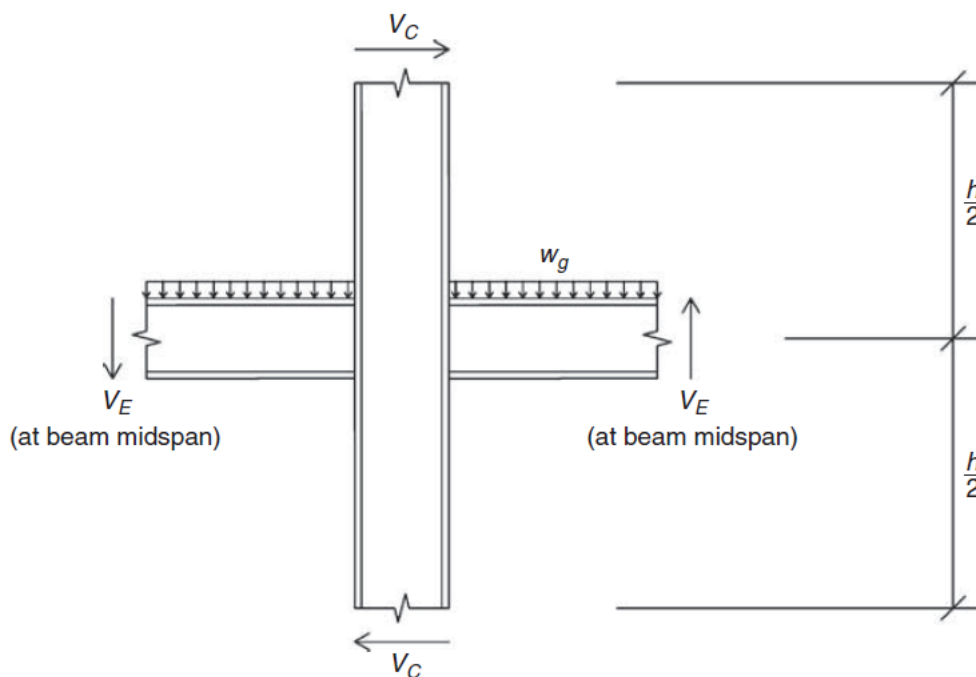


Ilustración 17: Diagrama de fuerzas en la conexión

Se escoge el máximo de los valores de cortante en columna según su sentido y se utiliza en mayor de los dos sentidos.

Los valores de cortante en columna V_c no representan las fuerzas del diagrama de cuerpo libre de la conexión, sino que representan el valor V_c considerando el sentido del sismo, en el caso del diagrama mostrado representa a una conexión con sismo a la derecha.

Vc ->	1252 kN
Vc <-	1252 kN
Vc	1252 kN

Ilustración 18: Cortante en la columna

4.1.13 Resistencia al corte en Vigas

El cortante en la viga es resistido solamente por el alma de dicha viga como se muestra en la Tabla 80.

$$\phi * V_n = \phi * 0,6 * R_y * F_y * A_w$$

ϕ	0,9	0,9
A _w	7125 mm ²	7125 mm ²
$\phi * V_n$	1460 kN	1460 kN
V _u	828 kN	828 kN
Estado	Cumple	Cumple

Tabla 80: Cortante en la Viga

4.1.14 Capacidad de la conexión

Una vez obtenido los momentos últimos que se acumulan la conexión se debe verificar la relación columna fuerte viga débil como se muestra en la Tabla 82

P _u	5800 kN
A col	47400 mm ²
Z col	12200000 mm ³

Tabla 81: Propiedades de la columna en la conexión

$$\Sigma M_{c*} = 2 * \left(F_y - \frac{P_u}{A_c} \right) * Z + V_c * \left(\frac{d_{b1} + d_{b2}}{2} \right)$$

ΣM_{c*}	6027 kN*m
ΣM_b	4508 kN*m
$\Sigma M_{c*} / \Sigma M_b$	1,34
Estado	Cumple

Tabla 82: Columna fuerte - Viga débil

$$\frac{\Sigma M_{c*}}{\Sigma M_{b*}} \geq 1,00$$

4.1.15 Cortante en Zona de Panel

La zona de panel es toda el área dentro del alma de la columna en la conexión,

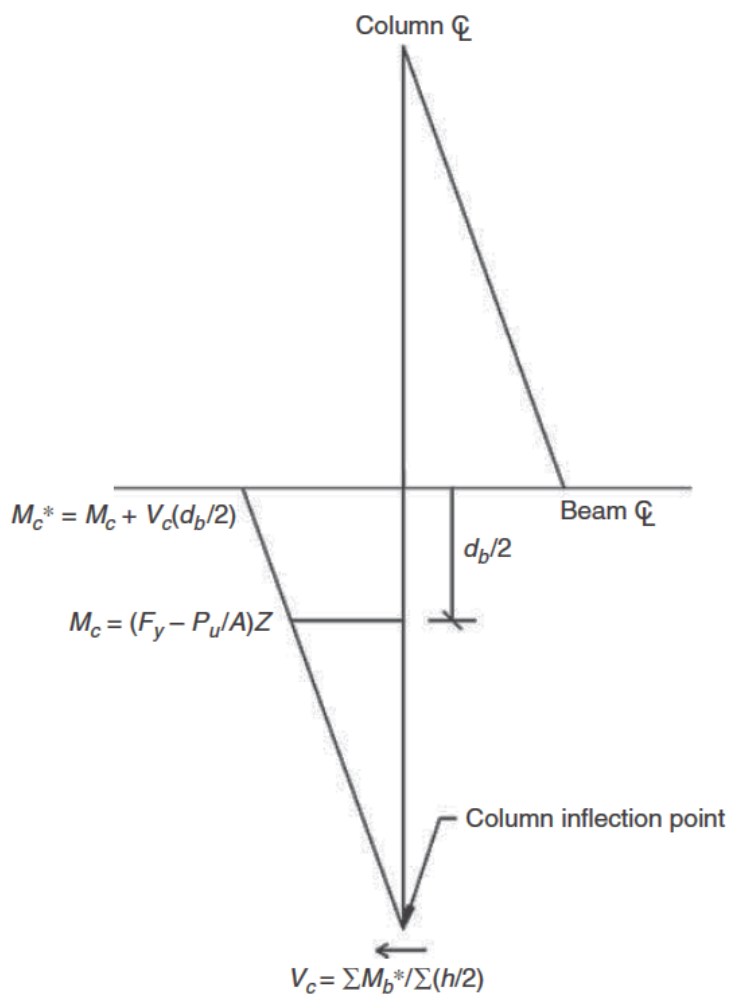


Ilustración 19: Diagrama de momentos en la columna de la conexión

$$V_u = \Sigma R_u - V_c$$

$$V_u = R_{u1} + R_{u2} - V_c$$

$$R_u = \frac{M_f}{(d_b - t_{bf})}$$

Mf máx	2003 kN*m	2003 kN*m
Ru	4440 kN	4440 kN
Vu	7628 kN	

Tabla 83: Cargas en zona de panel

$$\phi * R_n = \phi * \left(0,6 * F_y * A_{c_w} + \frac{1,8 * b_{c_f} * t_{c_f}^2 * F_y}{d_b} \right)$$

ϕ	1	
A _{cw}	17635 mm ²	
b _{cf}	335,0 mm	
t _{cf}	48,0 mm	
d _b	475,0 mm	475,0 mm
ϕR_n 1,2	4660 kN	4660 kN
ϕR_n	4660 kN	
Estado	Cumple	

Tabla 84: Resistencia del alma de la columna en la conexión

$$\phi * R_n \geq R_{u_max}$$

Cumple, No requiere placa de refuerzo en la zona de panel. Si no cumpliera la placa de refuerzo debe satisfacer las siguientes relaciones

Diseño de la Placa en Zona de Panel

$$t_{dp} \geq \frac{Vu - \phi * R_n}{(\phi * 0,6 * F_y * d_c)}$$

Mínima espesor de placa de refuerzo en zona de panel

$$t_{dp} \geq \frac{d_b - 2 * t_{bf} + d_c - 2 * t_{cf}}{90}$$

Placa de Continuidad

Carga de continuidad

$$R_u \leq R_u *$$

$$R_u * = 1,8 * B_{bf} * t_{bf} * F_{yb} * R_{yb}$$

bbf	284,0 mm	284,0 mm
R _u *	4637 kN	4637 kN

Ru	4440 kN	4440 kN
Ru min	4440 kN	4440 kN

Tabla 85: Cargas en placa de continuidad

La carga de continuidad es la menor de las cargas entre la carga dada por las alas de la viga en la carga de la columna Ru y la capacidad máxima de estas mismas alas Ru*.

Fluencia del Alma de la Columna

$$t_w = t_{wc} + t_d$$

t _{wc}	26,4 mm
t _d	35,7 mm
t _w	62,1 mm

Tabla 86: Espesores en columna

$$\phi * R_n = \phi * (5 * k + N) * F_y * t_w$$

ϕ	1,0
k	60,7 mm
N	26,4 mm
$\phi * R_n$	5448 kN
Ru	4440 kN
Estado	Cumple

Tabla 87: Resistencia a la fluencia del alma en columna

$$\phi * R_n \geq R_u$$

4.1.16 Desgarre del Alma de la Columna

$$\phi * R_n = \phi * 0,80 * t_w^2 * \left[1 + 3 * \left(\frac{N}{d} \right) * \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] * \sqrt{\frac{E * F_{yw} * t_f}{t_w}}$$

ϕ	0,75
$\phi * R_n$	12787 kN
Ru	4440 kN
Estado	Cumple

Tabla 88: Resistencia del alma de la columna al desgarre

$$\phi * R_n \geq R_u$$

No Requiere Placa de Continuidad

4.1.17 Resistencia de las Alas de la Columna a Flexión

Puede ser comprobado por cualquier de estas 2 expresiones equivalentes

$$t_{cf_req} = 0,4 * \sqrt{1,8 * b_{bf} * t_{bf} * \left(\frac{F_{yb} * R_{yb}}{F_{yc} * R_{yc}}\right)}$$

tcf req	44,2 mm
tcf	48,0 mm
Estado	Cumple

Tabla 89: Espesor de ala en columna necesaria

$$t_{cf} \geq t_{cf_req}$$

ó

$$\phi * R_n \geq Ru *$$

$$6,25 * t_{cf}^2 * F_{yc} * R_{yc} \geq 1,8 * B_{bf} * t_{bf} * F_{yb} * R_{yb}$$

Ru*	4637 kN
$\phi * R_n$	5465 kN
Estado	Cumple

Tabla 90: Resistencia de las alas de columna a flexión

Rigidez de las Alas de la columna a Flexión

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6}$$

bbf/6	47,3 mm	47,3 mm
Estado	Cumple	Cumple

Tabla 91: espesor mínimo para rigidez de las alas de la columna

Si no cumpliera con esta relación requeriría de refuerzo calculado con las siguientes expresiones

$$R_{uCP} = R_n - \phi * R_n$$

$$t_{CP} = \frac{R_{uCP}}{(\phi * F_y * b_f)}$$

Arriostamiento en la Conexión Viga-Columna

Fuerza de arriostamiento requerida en Columna está dada por:

$$P_{br} = 0,02 * F_y * b_f * t_{bf}$$

bf	284,0 mm
tbf	23,9 mm
Pbr	47 kN

Tabla 92: Fuerza de arriostamiento requerida

Arriostamiento en la Zona de Rótula Plástica

$$M_r = M_u = R_y * Z * F_y$$

$$P_{br} = \frac{0,06 * R_y * F_y * Z}{h_o}$$

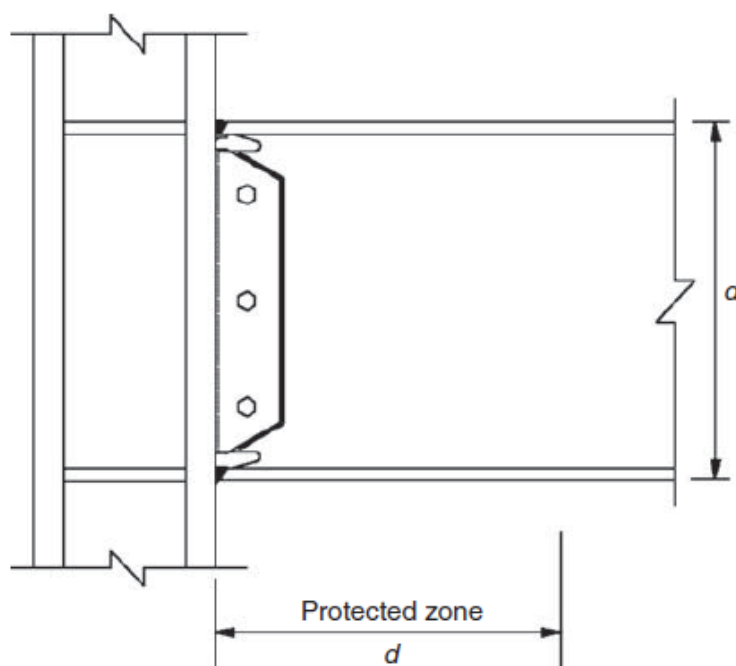


Ilustración 20: Zona de protección de rotula plástica

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10 * M_r * C_d}{L_b * h_o} \right)$$

ϕ	0,75	
Cd	1,0	
Zb	3770000 mm ³	3770000 mm ³
Mr	1430,7 kN*m	1430,7 kN*m
ho	451,1 mm	451,1 mm
Lb	2000 mm	2000 mm
Pbr	190,30 kN	190,30 kN
Bbr	21144 kN/m	21144 kN/m

Tabla 93: cargas en la zona de protección

Arriostamiento a lo largo de la Viga

$$L_b \leq \frac{0,0869 * r_y * E}{F_y}$$

r_y	67,6	67,6
Lb	3370 mm	3370 mm

Tabla 94: Propiedades de las vigas que componen la conexión

$$P_{br} = \frac{0,02 * M_r * C_d}{h_o}$$

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10 * M_r * C_d}{L_b * h_o} \right)$$

Pbr	63,43 kN	63,43 kN
Bbr	12548 kN/m	12548 kN/m

Tabla 95: Cargas a lo largo de las vigas

4.1.18 Dimensiones permitidas para la conexión WUF-W

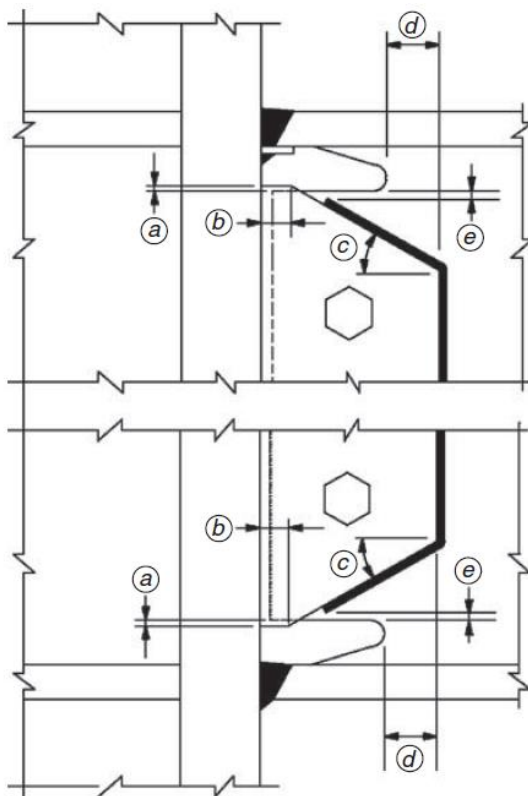


Ilustración 21: Dimensiones en conexión WUF-W

$$3 \text{ mm} \leq a \leq 6 \text{ mm}$$

$$b \geq 25 \text{ mm}$$

$$20^\circ \leq c \leq 40^\circ$$

$$d \geq 50 \text{ mm}$$

$$6 \text{ mm} \leq e \leq 25 \text{ mm}$$

4.2 Diseño del Sistema con Pórticos Arriostrados Concéntricamente (PAC)

4.2.1 Espectro de Respuesta PAC

Información General		
Tp Est	Estructura de Acero	
Sub Tip x	Con Arriostramientos	
Sub Tip y	Con Arriostramientos	
hp	Altura de entrepiso tipo	3,60 m
n pisos	Número de Pisos	15
ht	Altura Total de Edificación	54,00 m

Tabla 96: Información general del PAC

4.2.1.1 Primer Modo fundamental de Vibración

El método de cálculo del primer modo fundamental de vibración es similar al usado para el de pórticos resistentes a momentos.

Periodo de Vibración en X		
Ct	Coeficiente de Periodo	0,073
α	Factor de periodo	0,75
Tx NEC 1	Periodo de Vibración Estructura NEC met 1	1,45 s
Tx ETABS	Periodo de Vibración Estructura ETABS met2	1,75 s
Tx	Periodo de Vibración Estructura	1,75 s

Tabla 97: Cálculo del primer periodo de vibración

4.2.1.2 Coeficientes de amplificación espectral

Es necesario tener identificado el tipo de suelo para utilizar los factores de suelo que servirán para definir el espectro de aceleración representativo para la estructura asignada.

Coeficientes de Influencia Sísmica		
Zona Sísmica		V
Tipo de Suelo		D
Zona	Sierra, Esmeraldas y Galápagos	
Z	Factor de zona sísmica	0,4
n	Razón de aceleración	2,48
Fa	Factor de Suelo	1,2
Fd	Factor de Suelo	1,19
Fs	Factor de Suelo	1,28
To	Periodo de Vibración mínimo	0,13
Tc	Periodo de Vibración máximo	0,70
TL	Periodo de esquina	2,86
Uso	Otras Estructuras	
I	Factor de Importancia	1

r	Factor de uso de Suelo	1
R_x	Factor de Redundancia en x	6
R_y	Factor de Redundancia en y	6
O_p	Factor de Irregularidad en planta	1
O_e	Factor de Irregularidad en elevación	1
g	Gravedad [cm/s ²]	981
Sa x (T_x)	Aceleración Espectral en x [g]	0,47
Sa y (T_y)	Aceleración Espectral en y [g]	0,35

Tabla 98: Coeficientes sísmicos del PAC

4.2.1.3 Espectro de Aceleración

El periodo de vibración en cada sentido es diferente, esto debido a que la rigidez proporcionada por los PAC es menor porque existen menos riostras en un sentido, siendo que los periodos son 2.3 s y 1.75 s en X y Y respectivamente.

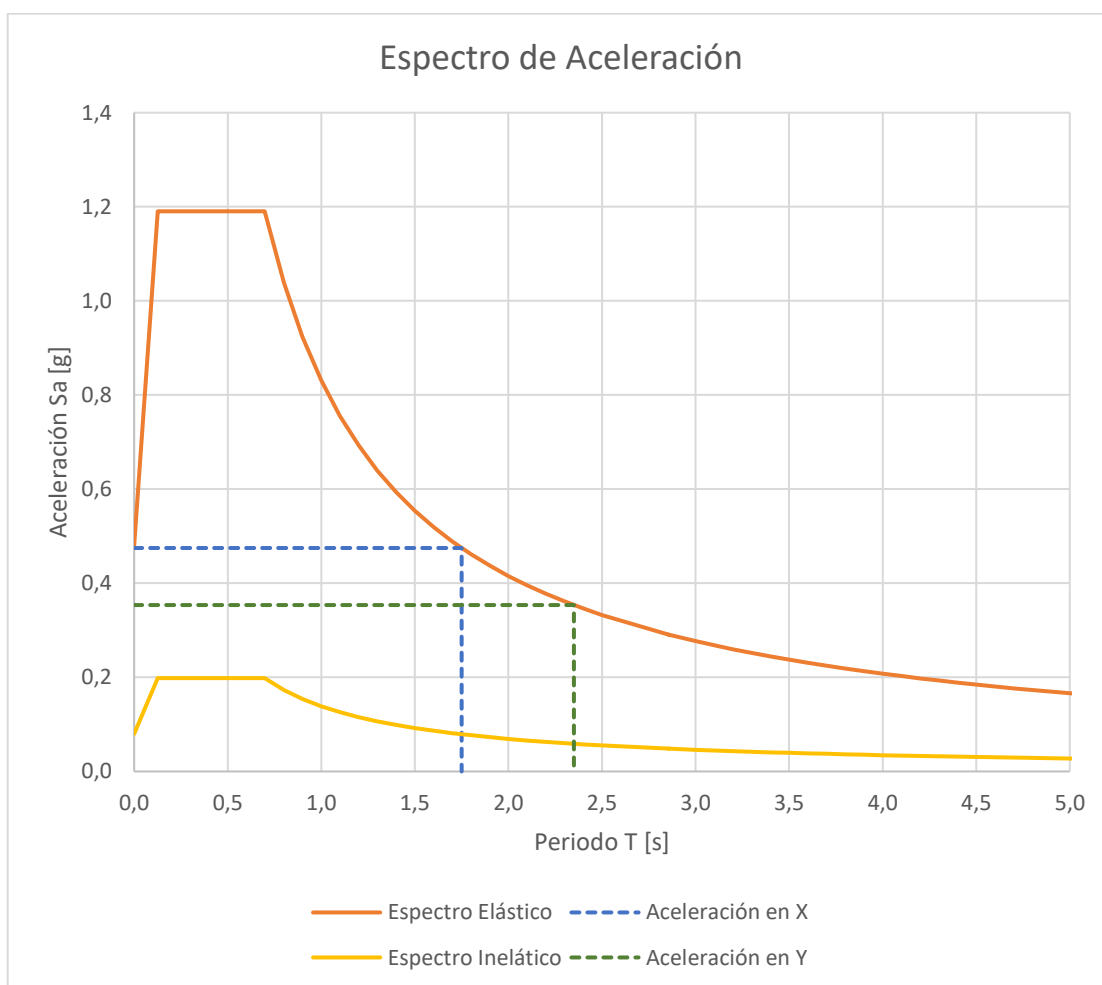


Ilustración 22: Espectro de aceleración del PAC

4.2.2 Coeficientes Sísmicos

El valor de importancia es un coeficiente que está en función de la categoría del edificio según la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

Factores de Influencia en las Fuerzas Horizontales		
I	Factor de Importancia	1,0
Ta x	Periodo de Vibración Estructura	1,75 s
Ta y	Periodo de Vibración Estructura	2,35 s
Tm x	Periodo límite 1,3 Ta en X	2,28 s
Tm y	Periodo límite 1,3 Ta en Y	3,06 s
Sa X (Ta)	Aceleración del Espectro en X	0,475
Sa Y (Ta)	Aceleración del Espectro en Y	0,354
OP	Factor de Irregularidad en planta	1,0
OE	Factor de Irregularidad en elevación	1,0
kx	Factores de periodo por elevación	1,63
ky	Factores de periodo por elevación	1,93

Tabla 99: coeficientes de irregularidad y rigidez de piso

4.2.3 Cortante Basal

El cortante basal no es más que un porcentaje de la masa, el coeficiente s_{drf} de la Tabla 100 es un valor auxiliar que utiliza en el programa para calcular directamente la deriva.

Cortante basal		
Rx	Factor de Redundancia en x	6
Ry	Factor de Redundancia en y	6
$c_{x\ drf}$	$0,75 * I * Sa(Ta) / (Op * Oe)$	0,356
$c_{y\ drf}$	$0,75 * I * Sa(Ta) / (Op * Oe)$	0,265
c_x	$I * Sa(Ta) / (Rx * Op * Oe)$	0,079
c_y	$I * Sa(Ta) / (Ry * Op * Oe)$	0,059
W	Peso de la Estructura	6075 tn
Vx	$c_x * W$	480,83 tn
Vy	$c_y * W$	358,06 tn

Tabla 100 Coeficientes de Cortante Basal

Datos Generales de la Edificación		
np	N° de Pisos	15
hp	Altura Piso T	3,60 m
hp1	Altura Piso 1	3,60 m
ht	Altura Total	54,00 m
Ppiso	Peso de Piso Tipo	405,00 tn
Ppiso1	Peso de Piso Ultimo	405,00 tn

Tabla 101: Datos generales de altura y peso en edificio

4.2.4 Distribución del Cortante Basal

La distribución del cortante basal de forma vertical se la hace de igual manera que se manifiesta en la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). El valor de rigidez de piso k está en función del periodo de la estructura como se muestran en la Tabla 102

k	Factor Altura	1,63
Cx	Coef. Sis.	0,08
W	Peso Tot. Est.	6075,0 t
V	Cort. Basal	480,8 t

Tabla 102: Fuerza a distribuir por piso

Piso	Altura	Altura Acum	Peso	Momento	Coeficiente	Fuerza
[-]	[m]	[m]	[tonf]	[tonf*m]	[-]	[tonf]
np	hi	Σhi	wi	wi* Σhi^k	Cx	Fx
15	3,6	54,0	405,00	177564	0,155	84
14	3,6	50,4	405,00	159831	0,140	76
13	3,6	46,8	405,00	142751	0,125	68
12	3,6	43,2	405,00	126348	0,110	60
11	3,6	39,6	405,00	110647	0,097	52
10	3,6	36,0	405,00	95679	0,084	45
9	3,6	32,4	405,00	81477	0,071	39
8	3,6	28,8	405,00	68081	0,059	32
7	3,6	25,2	405,00	55538	0,049	26
6	3,6	21,6	405,00	43903	0,038	21
5	3,6	18,0	405,00	33246	0,029	16
4	3,6	14,4	405,00	23657	0,021	11
3	3,6	10,8	405,00	15255	0,013	7
2	3,6	7,2	405,00	8220	0,007	4
1	3,6	3,6	405,00	2856	0,002	1
15	54		6075,00	1145056		543

Tabla 103: Distribución de cortante Basal en cada piso

Piso	Fuerza	F Pórt	V Pórt	Brace Seis. F	Brace Grav F.	Brace Tot. F.	Brace Tot. F.
[-]	[tonf]	[tonf]	[tonf]	[tonf]	[tonf]	[tonf]	[kN]
np	Fx	Fx2	Vh	BSF	BGF	Pu	Pu'
15	84	45	45	8	10	18	172
14	76	41	86	14	0	14	141
13	68	37	123	20	10	30	299
12	60	32	155	26	0	26	254
11	52	28	184	31	10	41	398
10	45	24	208	35	0	35	340
9	39	21	229	38	10	48	472
8	32	17	246	41	0	41	403
7	26	14	261	43	10	53	524

6	21	11	272	45	0	45	445
5	16	9	280	47	10	57	557
4	11	6	286	48	0	48	468
3	7	4	290	48	10	58	573
2	4	2	292	49	0	49	478
1	1	1	293	49	10	59	577
15		293					

Tabla 104: Fuerzo requerida por riostra

4.2.5 Riostras del PAC

4.2.5.1 Propiedad de las Riostras

Tipo Acero	ASTM A992 Gr 50
E	200000 MPa
$4,71 \cdot \sqrt{E}/F_y$	113,40
$4,71 \cdot \sqrt{E}/(R_y \cdot F_y)$	108,13

Tabla 105: Propiedades Mecánicas

Sentido	k	R _y	F _y	λ_{hd}	ϕ
Eje x	1	1,1	345 MPa	4,05	0,9
Eje Y	1	1,1	345 MPa	4,05	0,9

Tabla 106: Rigidez y límite de ductilidad alta

4.2.5.2 Selección de Riostras por Piso

Las riostras se colocarán según la demanda de la Tabla 107, de tal manera que la rigidez proporcionada por las riostras resulten en derivas máximas de 2.00 % .

Piso	Riostra	r [mm]	kL/r [-]	D/t [-]	F _e [MPa]	F _{cr} [-]	F _{cre} [MPa]
15	HSS5.563X.375	47,00	84,75	15,90	275	204	213
14	HSS5.563X.375	47,00	84,75	15,90	275	204	213
13	HSS5.563X.375	47,00	84,75	15,90	275	204	213
12	HSS5.563X.375	47,00	84,75	15,90	275	204	213
11	HSS5.563X.375	47,00	84,75	15,90	275	204	213
10	HSS5.563X.375	47,00	84,75	15,90	275	204	213
9	HSS6.625X.375	56,40	70,62	19,00	396	240	254
8	HSS6.625X.375	56,40	70,62	19,00	396	240	254
7	HSS6.625X.375	56,40	70,62	19,00	396	240	254
6	HSS6.625X.375	56,40	70,62	19,00	396	240	254
5	HSS6.625X.375	56,40	70,62	19,00	396	240	254
4	HSS6.625X.375	56,40	70,62	19,00	396	240	254
3	HSS6.625X.500	55,40	71,90	14,20	382	236	250
2	HSS6.625X.500	55,40	71,90	14,20	382	236	250
1	HSS6.625X.500	55,40	71,90	14,20	382	236	250

Tabla 107: Propiedades y Esfuerzo crítico de riostras por piso

En la Tabla 108 podemos apreciar el cálculo de las riostras a tensión, compresión y compresión post pandeo respectivamente con las siguientes expresiones.

$$ETS = R_y * F_y * A_g$$

$$ECS = \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g$$

$$P - BS = 0.3 * \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g$$

Donde

$$\text{Si } \frac{kl}{r} \leq 4.71 * \sqrt{\frac{E}{R_y * F_y}}$$

$$F_{cre} = 0.658 \frac{R_y * F_y}{F_e} * R_y * F_y$$

$$\text{Si } \frac{kl}{r} > 4.71 * \sqrt{\frac{E}{R_y * F_y}}$$

$$F_{cre} = 0.877 * F_e$$

[-]	[-]	[mm ²]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Piso	Riostra	Ag	N Prt	φ*Pn	ETS	ECS	P-B S
16	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	HSS5.563X.375	3690	3	677,5	1400,4	895,8	268,8
14	HSS5.563X.375	3690	3	677,5	1400,4	895,8	268,8
13	HSS5.563X.375	3690	3	677,5	1400,4	895,8	268,8
12	HSS5.563X.375	3690	3	677,5	1400,4	895,8	268,8
11	HSS5.563X.375	3690	3	677,5	1400,4	895,8	268,8
10	HSS5.563X.375	3690	3	677,5	1400,4	895,8	268,8
9	HSS6.625X.375	4440	3	957,1	1685,0	1286,1	385,8
8	HSS6.625X.375	4440	3	957,1	1685,0	1286,1	385,8
7	HSS6.625X.375	4440	3	957,1	1685,0	1286,1	385,8
6	HSS6.625X.375	4440	3	957,1	1685,0	1286,1	385,8
5	HSS6.625X.375	4440	3	957,1	1685,0	1286,1	385,8
4	HSS6.625X.375	4440	3	957,1	1685,0	1286,1	385,8
3	HSS6.625X.500	5810	3	1235,9	2204,9	1658,5	497,6
2	HSS6.625X.500	5810	3	1235,9	2204,9	1658,5	497,6
1	HSS6.625X.500	5810	3	1235,9	2204,9	1658,5	497,6

Tabla 108: Carga máxima a compresión y tensión de la riostra

La distribución de las riostras en V invertida y V se anulan en ambos componentes cuando las secciones continuas en sentido vertical son iguales, pero producen variaciones cuando las riostras cambian de sección, existen 2 condiciones en las que se debe evaluar esta distribución el primero con la diferencia entre la fluencia de la riostra a compresión de su homólogo en el piso inmediatamente inferior con respecto al del piso evaluado y el segundo que es similar con la única diferencia que se considera la compresión post pandeo.

Expresión general Condición 1

Carga Vertical

$$Q_{V1} = n_{p-1} * \left(R_y * F_y * A_g - \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g \right)_{p-1} * \sin \theta_{p-1} - n_p * \left(R_y * F_y * A_g - \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g \right)_p * \sin \theta_p$$

Carga Vertical

$$Q_{H1} = n_{p-1} * \left(R_y * F_y * A_g + \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g \right)_{p-1} * \cos \theta_{p-1} - n_p * \left(R_y * F_y * A_g + \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g \right)_p * \cos \theta_p$$

Expresión general Condición 2

Carga Vertical

$$Q_{V2} = n_{p-1} * \left(R_y * F_y * A_g - 0.3 * \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g \right)_{p-1} * \sin \theta_{p-1} - n_p * \left(R_y * F_y * A_g - 0.3 * \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g \right)_p * \sin \theta_p$$

Carga Vertical

$$Q_{H2} = n_{p-1} * \left(R_y * F_y * A_g + \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g \right)_{p-1} * \cos \theta_{p-1} - n_p * \left(R_y * F_y * A_g + \frac{1}{0.877} * F_{cre} * A_g \right)_p * \cos \theta_p$$

[-]	[-]	[rad]	[°]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Piso	Riostra	An	Ang	Qv1	Qh1	Qv2	Qh2
15	HSS5.563X.375	0,88	50,19	387,6	4410,0	869,3	3205,6
14	HSS5.563X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
13	HSS5.563X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
12	HSS5.563X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
11	HSS5.563X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
10	HSS5.563X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
9	HSS6.625X.375	0,88	50,19	-81,2	1296,2	128,7	771,5
8	HSS6.625X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
7	HSS6.625X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
6	HSS6.625X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
5	HSS6.625X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
4	HSS6.625X.375	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
3	HSS6.625X.500	0,88	50,19	113,3	1713,8	313,6	1213,1
2	HSS6.625X.500	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0
1	HSS6.625X.500	0,88	50,19	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 109: Distribución horizontal y vertical de la riostra.

4.2.5.2.1 Condición 1: Fuerza Sísmica de Riostra

La condición 1 muestra la distribución de los componentes de fuerza de las riostras calculadas en la Tabla 109 a los miembros en contacto con ellos que son las vigas y columnas, de manera vertical la carga se acumula hacia la base y en vertical se distribuye.

Columna	0	1	2	3	4	5	6
Piso 15			194	388	388	194	
Piso 14			-1570	388	388	1958	
Piso 13			-1570	388	388	1958	
Piso 12			-3334	388	388	3722	
Piso 11			-3334	388	388	3722	
Piso 10			-5098	388	388	5486	
Piso 9			-5139	306	306	5445	
Piso 8			-7421	306	306	7728	
Piso 7			-7421	306	306	7728	
Piso 6			-9704	306	306	10010	
Piso 5			-9704	306	306	10010	
Piso 4			-11986	306	306	12293	
Piso 3			-11929	420	420	12349	
Piso 2			-14897	420	420	15317	
Piso 1			-14897	420	420	15317	
Base 0			-16591			16591	

Tabla 110: Condición 1: Fuerza Sísmica de Riostras a Columnas [kN]

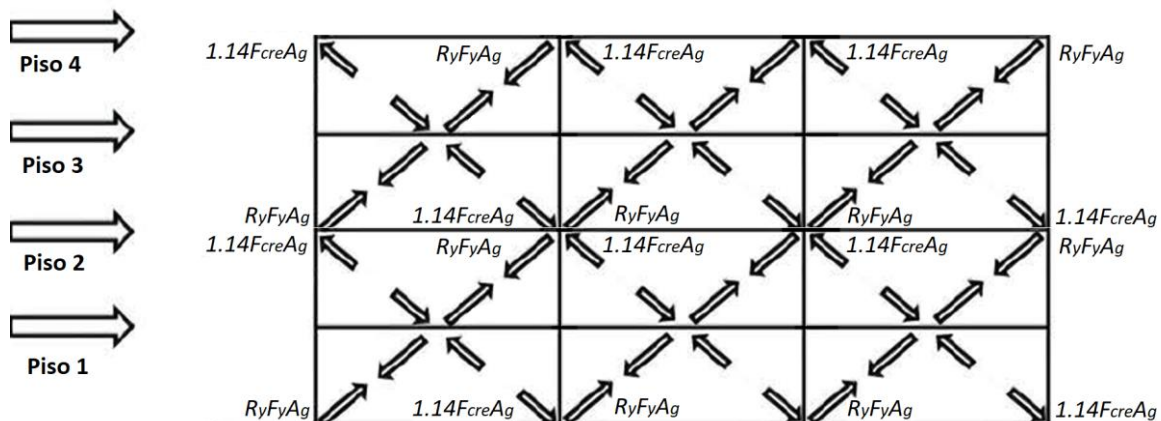


Ilustración 23: Distribución de las fuerzas de las riostras a vigas y columnas para la Condición 1

4.2.5.2.2 Condición 2: Fuerza Sísmica en Riostra

La condición 2 también calculada en la Tabla 109 se acumula y distribuye de forma vertical y horizontal respectivamente, la Ilustración 24 muestra gráficamente como estas fuerzas son originadas debido a la distribución de fuerzas sísmica por piso.

Columna	0	1	2	3	4	5	6
Piso 15			194	388	388	194	
Piso 14			-1088	388	388	1476	
Piso 13			-1088	388	388	1476	
Piso 12			-2371	388	388	2758	
Piso 11			-2371	388	388	2758	
Piso 10			-3653	388	388	4041	
Piso 9			-3694	306	306	4000	
Piso 8			-5284	306	306	5591	
Piso 7			-5284	306	306	5591	
Piso 6			-6875	306	306	7182	
Piso 5			-6875	306	306	7182	
Piso 4			-8466	306	306	8772	
Piso 3			-8409	420	420	8829	
Piso 2			-10485	420	420	10905	
Piso 1			-10485	420	420	10905	
Base	0		-12179	-892	-892	11287	

Tabla 111: Condición 2: Fuerza Sísmica de Riostras a Columnas [kN]

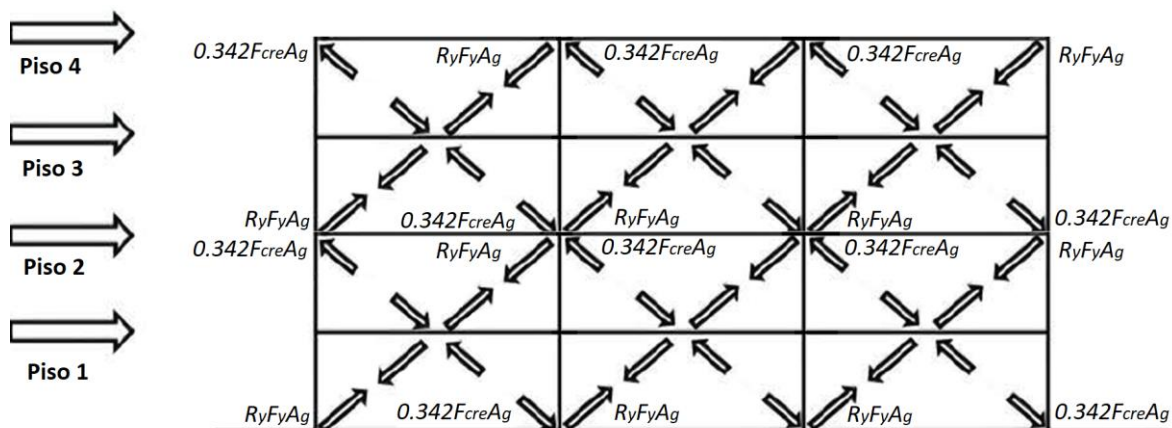


Ilustración 24: Distribución de las fuerzas de las riostras a vigas y columnas para la Condición 2

4.2.5.2.3 Carga Máxima en Columnas 1, 2 más carga de gravedad

Se presentan los valores máximos calculados de carga axial acumulada por riostras en condición 1 y 2 más la carga gravitacional desde el techo hasta la base del edificio en kN.

Columna	0	1	2	3	4	5	6
Piso 15			194	388	388	194	
Piso 14			1570	388	388	1958	
Piso 13			1570	388	388	1958	
Piso 12			3334	388	388	3722	
Piso 11			3334	388	388	3722	
Piso 10			5098	388	388	5486	
Piso 9			5139	306	306	5445	
Piso 8			7421	306	306	7728	
Piso 7			7421	306	306	7728	
Piso 6			9704	306	306	10010	
Piso 5			9704	306	306	10010	
Piso 4			11986	306	306	12293	
Piso 3			11929	420	420	12349	
Piso 2			14897	420	420	15317	
Piso 1			14897	420	420	15317	
Base	0		16591	892	892	16591	

4.2.6 Columnas del PAC

4.2.6.1 Propiedades de las Columnas

Sentido	kz	Ry	Fy	λhd	ϕ
Eje x	1	1,1	345 MPa	4,05	0,9
Eje Y	1	1,1	345 MPa	4,05	0,9

4.2.6.2 Carga Gravitacional en Columnas del PAC

La carga gravitacional de la Tabla 113 debe ser considerada y agregada a los componentes verticales que producen las riostras, así como el peso propio de la columna como se muestra en la Tabla 116.

Cargas	factor	Valor Cargas
Muerta	1,2	4,00 kN/m ²
Viva	1,6	2,40 kN/m ²

Tabla 112: Cargas de gravedad

	Interna	Externa
Ancho 1	3,00 m	3,00 m
Ancho 2	6,00 m	3,00 m
k	1	1
Pu	155,5 kN	77,8 kN

Tabla 113: Carga a gravedad por columna

4.2.6.3 Análisis de Capacidad de Columnas

Para optimizar las columnas en altura se ha cambiado las secciones cada 3 pisos, las secciones y sus propiedades geométricas se presentan en la Tabla 114.

[-]	[-]	[mm]	[mm ⁴ /10 ⁶]	[mm ⁴ /10 ⁶]	[mm ³ /10 ³]	[mm ³ /10 ³]	[mm ⁴ /10 ³]
Piso	Columna	d	I _x	I _y	S _x	Z _x	J
15	W14X109	363	516	186	2830	3150	2960
14	W14X109	363	516	186	2830	3150	2960
13	W14X109	363	516	186	2830	3150	2960
12	W14X159	381	791	311	4160	4700	8200
11	W14X159	381	791	311	4160	4700	8200
10	W14X159	381	791	311	4160	4700	8200
9	W14X159	381	791	311	4160	4700	8200
8	W14X159	381	791	311	4160	4700	8200
7	W14X159	381	791	311	4160	4700	8200
6	W14X211	399	1110	429	5540	6390	18600
5	W14X211	399	1110	429	5540	6390	18600
4	W14X257	417	1420	537	6800	7980	32900
3	W14X311	434	1800	670	8290	9880	56600
2	W14X311	434	1800	670	8290	9880	56600
1	W14X311	434	1800	670	8290	9880	56600

Tabla 114: Propiedades geométricas de las Columnas

La Tabla 115 calcula el esfuerzo crítico de cada columna, es la continuación de la tabla anterior.

[-]	[-]	[mm]	[mm ²]	[mm ⁶ /10 ⁹]	[MPa]	[-]	[MPa]
Piso	Columna	L	Ag	Cw	Fe	Fy/Fe	Fcr
15	W14X109	3600	20600	5420	1501	0,23	313
14	W14X109	3600	20600	5420	1501	0,23	313
13	W14X109	3600	20600	5420	1501	0,23	313
12	W14X159	3600	30100	9560	1896	0,18	320
11	W14X159	3600	30100	9560	1896	0,18	320
10	W14X159	3600	30100	9560	1896	0,18	320
9	W14X159	3600	30100	9560	1896	0,18	320
8	W14X159	3600	30100	9560	1896	0,18	320
7	W14X159	3600	30100	9560	1896	0,18	320
6	W14X211	3600	40000	13800	2299	0,15	324
5	W14X211	3600	40000	13800	2299	0,15	324
4	W14X257	3600	48800	18200	2714	0,13	327
3	W14X311	3600	59000	23900	3243	0,11	330
2	W14X311	3600	59000	23900	3243	0,11	330
1	W14X311	3600	59000	23900	3243	0,11	330

Tabla 115: Esfuerzo de crítico de las columnas

Se ha calculado la capacidad de las columnas internas tomando en cuenta la carga de la losa, la carga de las riostras y el peso propio de las columnas.

[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]
Piso	Columna	$\phi \cdot P_n$	Peso	CG	CRA	CTA	Capacidad
15	W14X109	5810	6	83	194	277	0,05
14	W14X109	5810	6	167	1958	2125	0,37
13	W14X109	5810	6	250	1958	2208	0,38
12	W14X159	8661	8	337	3722	4058	0,47
11	W14X159	8661	8	423	3722	4144	0,48
10	W14X159	8661	8	509	5486	5995	0,69
9	W14X159	8661	8	595	5445	6040	0,70
8	W14X159	8661	8	681	7728	8409	0,97
7	W14X159	8661	8	767	7728	8495	0,98
6	W14X211	11664	11	856	10010	10866	0,93
5	W14X211	11664	11	945	10010	10955	0,94
4	W14X257	14367	13	1036	12293	13329	0,93
3	W14X311	17522	16	1130	12349	13479	0,77
2	W14X311	17522	16	1224	15317	16542	0,94
1	W14X311	17522	16	1319	15317	16636	0,95

Tabla 116: Capacidad de las columnas a la carga axial

4.2.7 Vigas del PAC

4.2.7.1 Propiedades de las vigas

La propiedad G es la constante que representa el módulo de corte del acero, las demás constantes son exclusivas para cálculo de resistencia crítica de la viga a flexo compresión y está mejor detallada en la sección a flexión de la ANSI/AISC (American Institute of Steel Construction, 2016)

G	77200 MPa
Cw	1
n vanos arrio	3
cb	1
c	1

Tabla 117: Coeficientes de la viga a flexo compresión

Sentido	kz	Ry	Fy	λ hd	ϕ
Eje x	1	1,1	345 MPa	4,05	0,9
Eje Y	1	1,1	345 MPa	4,05	0,9

Tabla 118: Otros factores de Viga del PAC

4.2.7.2 Carga Gravitacional de Vigas del PAC

Las vigas del PAC se definen con un ancho de 3 metros para considerar la carga de losa adicionales a las cargas que resistirá en un evento sísmico.

Cargas	factor	Valor Cargas
Viva	1,6	4,00 kN/m ²
Muerta	1,2	2,40 kN/m ²

Tabla 119: Carga en Vigas

Ancho ef	3,00 m	Wu	27,84 kN/m
Luz Viga	6,00 m	Mu	62,6 kN*m

Tabla 120: Dimensiones, Carga y Momento en Vigas

4.2.7.3 Selección de Vigas por piso

Piso	Riostra	d [mm]	lx [mm ⁴ /10 ⁶]	ly [mm ⁴ /10 ⁶]	Sx [mm ³ /10 ³]	Zx [mm ³ /10 ³]	J [mm ⁴ /10 ³]
15	W16X57	417	316	18	1510	1720	924

Tabla 121: Vigas seleccionada para los PAC

4.2.7.4 Esfuerzo elástico para carga axial

En los PAC, las vigas que conforman el sistema sismorresistente generalmente están controladas por carga axial, es por eso que se procede a calcular el esfuerzo elástico de las vigas cargadas axialmente con la siguiente expresión de la ANSI/AISC 360-16.

$$F_e = \left(\left(\frac{\pi}{k * l} \right)^2 * E * C_w + G * J \right) * \frac{1}{I_x + I_y}$$

[-]	[-]	[mm]	[mm ²]	[mm ⁶ /10 ⁹]	[MPa]	[-]	[MPa]
Piso	Viga	L	Ag	Cw	Fe	Fy/Fe	Fcr
15	W16X57	2000	10800	714	1269	0,27	308

Tabla 122: Esfuerzo critico de las Vigas del PAC

[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Piso	Viga	$\phi * P_n$	Lb	ry	Lp	rts	ho
15	W16X57	2993	2000	40,6	1720	48,80	399

Tabla 123: Resistencia a la compresión de las Vigas del PAC

[-]	[-]	[mm]	[kN*m]	[kN*m]	[ksi]	[kN*m]	[kN*m]
Piso	Viga	Lr	Mp	Mnb	Fcrt	Mnc	$\phi * M_n$
15	W16X57	5588	593	577	1288	1945	519

Tabla 124: Resistencia a la flexión de las Viga del PAC

4.2.7.5 Carga Axial en Vigas por Redistribución de Fuerzas [kN]

Vanos		0	1	2	3	4	5
Piso 15	15			2205	2205	2205	
Piso 14	14						
Piso 13	13						
Piso 12	12						
Piso 11	11						
Piso 10	10						
Piso 9	9			648	648	648	
Piso 8	8						
Piso 7	7						
Piso 6	6						
Piso 5	5						
Piso 4	4						
Piso 3	3			857	857	857	
Piso 2	2						
Piso 1	1						

Tabla 125: Redistribución de Fuerzas en Vigas

4.2.7.6 Carga Axial en Vigas por Diagrama de Cuerpo Libre [kN]

Vanos		0	1	2	3	4	5
Piso	15			2205	2205	2205	
Piso	14			0	0	0	
Piso	13			0	0	0	
Piso	12			0	0	0	
Piso	11			0	0	0	
Piso	10			0	0	0	
Piso	9			648	648	648	
Piso	8			0	0	0	
Piso	7			0	0	0	
Piso	6			0	0	0	
Piso	5			0	0	0	
Piso	4			0	0	0	
Piso	3			857	857	857	
Piso	2			0	0	0	
Piso	1			0	0	0	

Tabla 126: Carga de vigas por diagrama de cuerpo libre

4.2.7.7 Capacidad a Carga Axial de las Vigas

La capacidad a carga axial de las vigas del PAC se obtiene dividiendo la demanda por carga axial de la Tabla 126 con la capacidad de la viga calculada en la Tabla 123.

Vanos		0	1	2	3	4	5
Piso	15			0,7	0,7	0,7	
Piso	14			0,0	0,0	0,0	
Piso	13			0,0	0,0	0,0	
Piso	12			0,0	0,0	0,0	
Piso	11			0,0	0,0	0,0	
Piso	10			0,0	0,0	0,0	
Piso	9			0,2	0,2	0,2	
Piso	8			0,0	0,0	0,0	
Piso	7			0,0	0,0	0,0	
Piso	6			0,0	0,0	0,0	
Piso	5			0,0	0,0	0,0	
Piso	4			0,0	0,0	0,0	
Piso	3			0,3	0,3	0,3	
Piso	2			0,0	0,0	0,0	
Piso	1			0,0	0,0	0,0	

Tabla 127: Capacidad a Carga Axial de las vigas el PAC del eje A

4.2.7.8 Capacidad a Carga Axial y Momento de las Vigas de los PAC

Esta capacidad está dada en función a la capacidad en carga axial con la expresión del Capítulo H de la ANSI/AISC 360-16, y mostrada a continuación:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Para } \frac{P_r}{P_c} \geq 0,2 \\ \text{Para } \frac{P_r}{P_c} < 0,2 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} * \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \\ \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \end{array}$$

La capacidad combinada está en función de la capacidad carga axial calculada en la

Tabla 127 es la siguiente:

Vanos	0	1	2	3	4	5
Piso 15			0,8	0,8	0,8	
Piso 14			0,1	0,1	0,1	
Piso 13			0,1	0,1	0,1	
Piso 12			0,1	0,1	0,1	
Piso 11			0,1	0,1	0,1	
Piso 10			0,1	0,1	0,1	
Piso 9			0,3	0,3	0,3	
Piso 8			0,1	0,1	0,1	
Piso 7			0,1	0,1	0,1	
Piso 6			0,1	0,1	0,1	
Piso 5			0,1	0,1	0,1	
Piso 4			0,1	0,1	0,1	
Piso 3			0,4	0,4	0,4	
Piso 2			0,1	0,1	0,1	
Piso 1			0,1	0,1	0,1	

Tabla 128: Capacidad combinada de las vigas del PAC

La capacidad combinada no debe superar 1.0 de la capacidad total de viga. La viga con mayor demanda es la viga del último piso, eso sucede porque la viga no tiene riostras superiores que contrarresten sus componentes horizontales.

5 MODELO ESTRUCTURAL PRM CONEXIÓN WUF-W

Los Pórticos Resistentes a Momentos se colocarán en un inicio solamente en los pórticos externos y se irán aumentando de manera simétrica según su respuesta espectral.

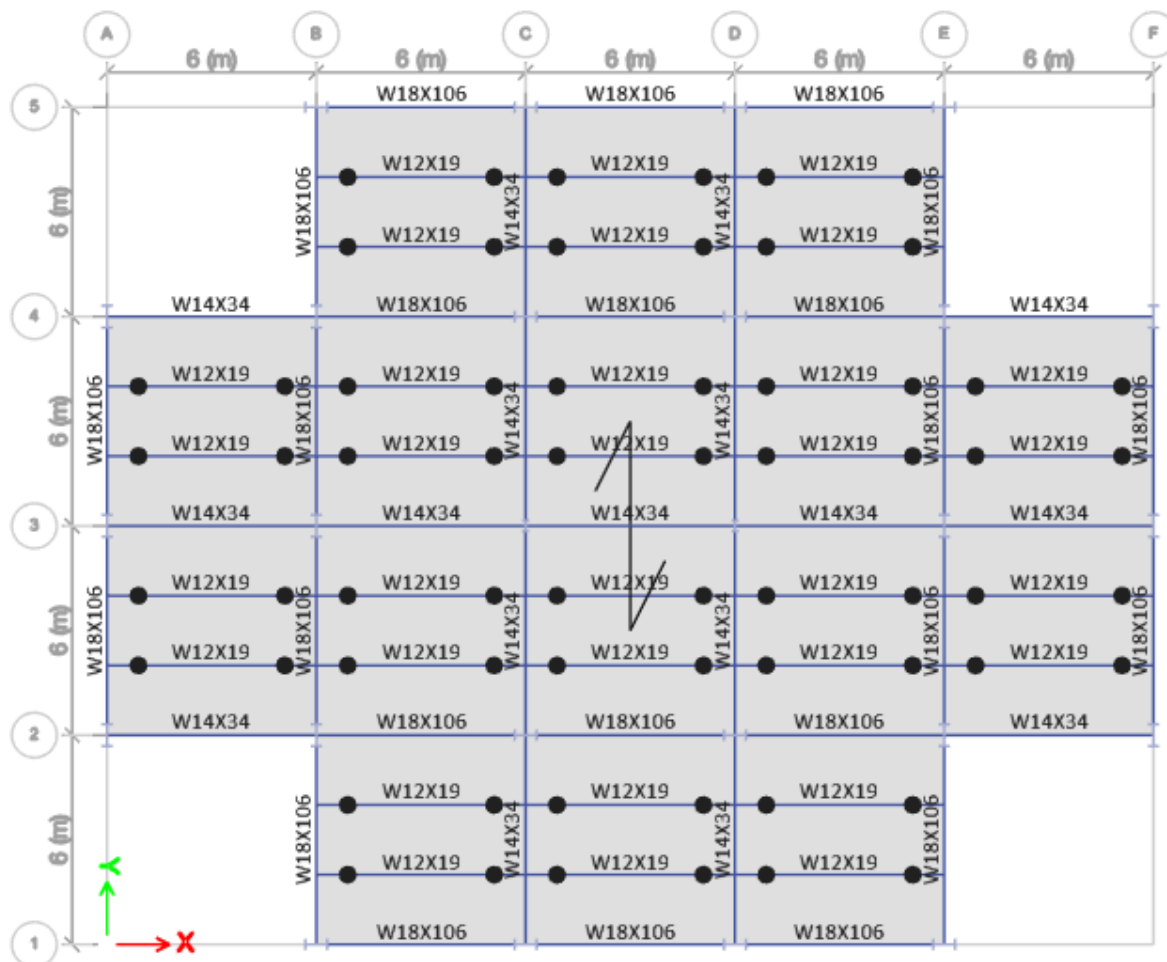


Tabla 129: Vista en Plantas de la Distribución de Vigas de los PRM

Es indispensable recalcar que en el proceso de análisis y diseño de la estructura se diseñó tanto el sistema a gravedad como el sistema sismo resistente, y es por eso que aunque en un principio la intención fue que todas las columnas internas trabajen a gravedad pero con la finalidad de obtener una respuesta de demanda máxima de deriva del 2.0% fue necesario restringir todos los pórticos para conseguir tal comportamiento.

5.1 Definición de Materiales

5.1.1 Acero

Las propiedades del acero fueron obtenidas de la sección A3 del AISC 341-16

Tabla 130: Densidad, Módulo de elasticidad y Corte Acero A991Fy50

Tabla 131: Propiedades Mecánicas del Acero A991Fy50

5.1.2 Hormigón

Las propiedades del Hormigón son las siguientes:

Densidad

$$\delta_{conc} = 2.4 \frac{tonf}{m^3}$$

Resistencia a la compresión

$$\sigma_{conc} = 210 \frac{kgf}{cm^2}$$

Módulo de Elasticidad

$$E_c = 24800 MPa$$

Ilustración 25: Propiedades del hormigón en ETABS

5.2 Definición de Secciones

5.2.1 Sistema a Gravedad

5.2.1.1 Vigas

Piso 1-15 / Perfil W14x34

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W14x34

Material: A992Fy50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14 Convert To User Defined

Section Dimensions

Total Depth	355,6	mm
Top Flange Width	171,5	mm
Top Flange Thickness	11,6	mm
Web Thickness	7,2	mm
Bottom Flange Width	171,5	mm
Bottom Flange Thickness	11,6	mm
Fillet Radius	10,2	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel

Ilustración 26: W14x34

5.2.1.2 Columnas

W12x136

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W12x136

Material: A992Fy50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14 Convert To User Defined

Section Dimensions

Total Depth	340,4	mm
Top Flange Width	315	mm
Top Flange Thickness	31,8	mm
Web Thickness	20,1	mm
Bottom Flange Width	315	mm
Bottom Flange Thickness	31,8	mm
Fillet Radius	15,2	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel

Ilustración 27: W12x136

W12X106

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W12X106

Material: A992Fy50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14 Convert To User Defined

Section Dimensions

Total Depth	327,7	mm
Top Flange Width	309,9	mm
Top Flange Thickness	25,1	mm
Web Thickness	15,5	mm
Bottom Flange Width	309,9	mm
Bottom Flange Thickness	25,1	mm
Fillet Radius	15,2	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel

Ilustración 28: W12x106

W12X79

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W12X79

Material: A992Fy50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14 Convert To User Defined

Section Dimensions

Total Depth	315	mm
Top Flange Width	307,3	mm
Top Flange Thickness	18,7	mm
Web Thickness	11,9	mm
Bottom Flange Width	307,3	mm
Bottom Flange Thickness	18,7	mm
Fillet Radius	15,1	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel

Ilustración 29: W12x79

W12X58

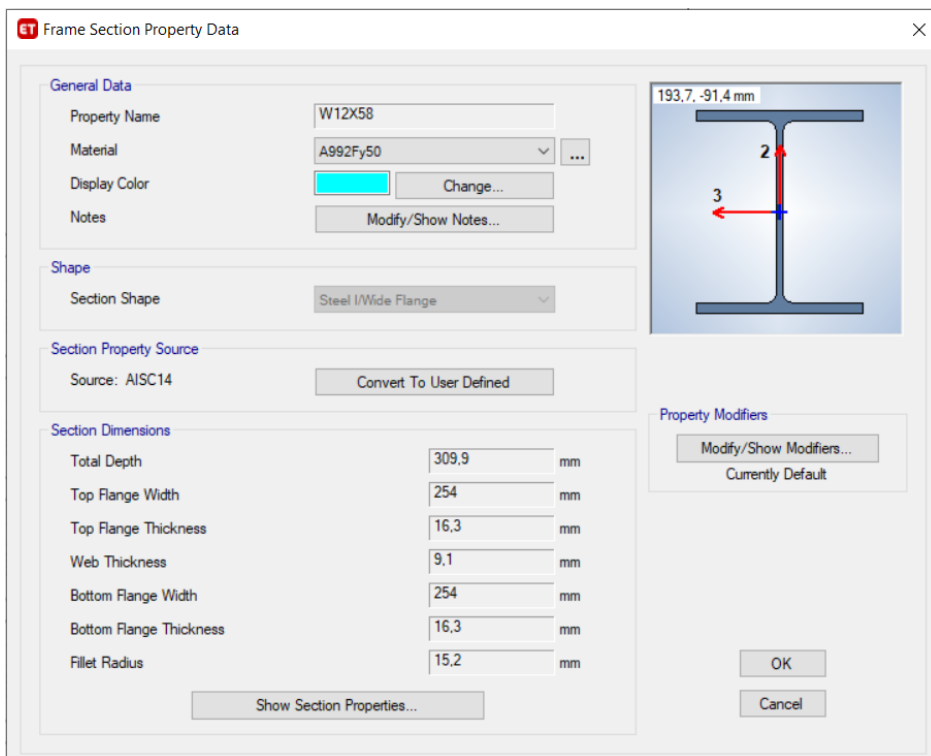


Ilustración 30: W12x58

W12X40

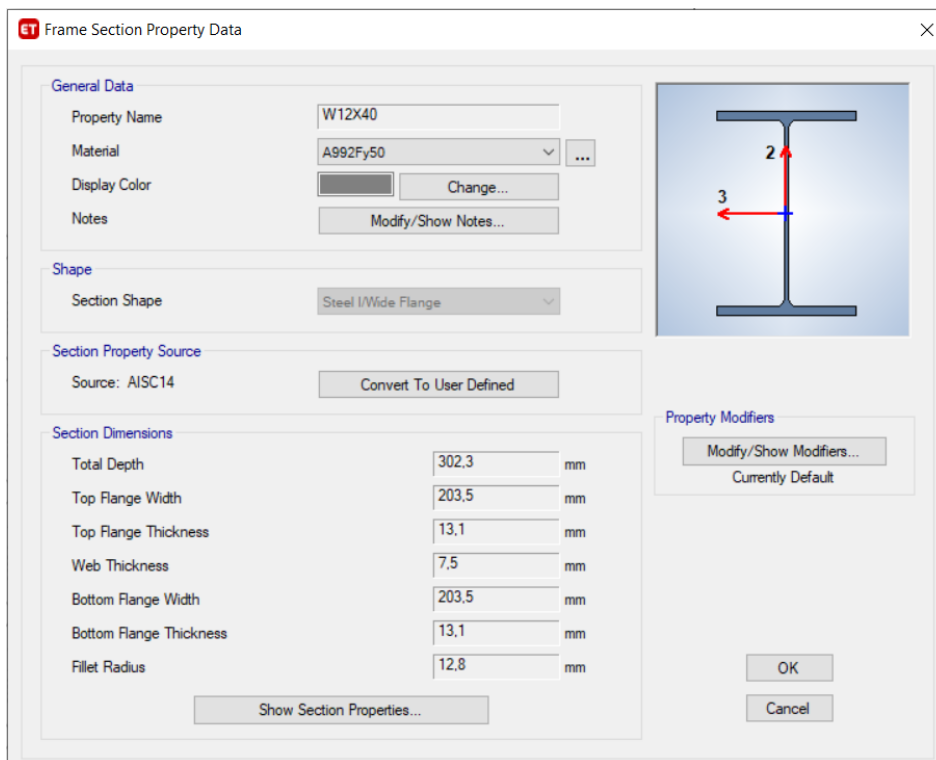


Ilustración 31: W12x40

5.2.2 Sistema Sismo Resistente

5.2.2.1 Vigas

Piso 1-15 / Perfil W18x106

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W18X106
 Material: A992Fy50
 Display Color: Change...
 Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14 Convert To User Defined

Section Dimensions

Total Depth	475	mm
Top Flange Width	284,5	mm
Top Flange Thickness	23,9	mm
Web Thickness	15	mm
Bottom Flange Width	284,5	mm
Bottom Flange Thickness	23,9	mm
Fillet Radius	10,2	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel

Note: A diagram of the W18x106 section is shown with dimensions 31,6 and -260,7 mm.

Ilustración 32: W18x106

5.2.2.2 Columnas

Perfil W24x306

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W24X306
 Material: A992Fy50
 Display Color: Change...
 Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14 Convert To User Defined

Section Dimensions

Total Depth	688,3	mm
Top Flange Width	340,4	mm
Top Flange Thickness	57,9	mm
Web Thickness	32	mm
Bottom Flange Width	340,4	mm
Bottom Flange Thickness	57,9	mm
Fillet Radius	12,7	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel

Note: A diagram of the W24x306 section is shown with dimensions 2 and 3.

Ilustración 33: W24x306

Perfil W24x250

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W24X250

Material: A992Fy50

Display Color: ■ Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14 Convert To User Defined

Section Dimensions

Total Depth	668	mm
Top Flange Width	335,3	mm
Top Flange Thickness	48	mm
Web Thickness	26,4	mm
Bottom Flange Width	335,3	mm
Bottom Flange Thickness	48	mm
Fillet Radius	12,7	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK
Cancel

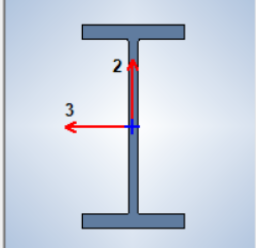


Ilustración 34: W24x250

W24x207

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W24X207

Material: A992Fy50

Display Color: ■ Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14 Convert To User Defined

Section Dimensions

Total Depth	652,8	mm
Top Flange Width	330,2	mm
Top Flange Thickness	39,9	mm
Web Thickness	22,1	mm
Bottom Flange Width	330,2	mm
Bottom Flange Thickness	39,9	mm
Fillet Radius	12,7	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK
Cancel

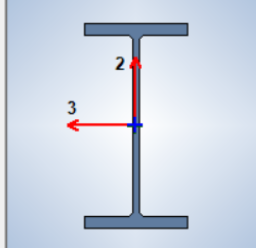


Ilustración 35: W24x207

W24x176

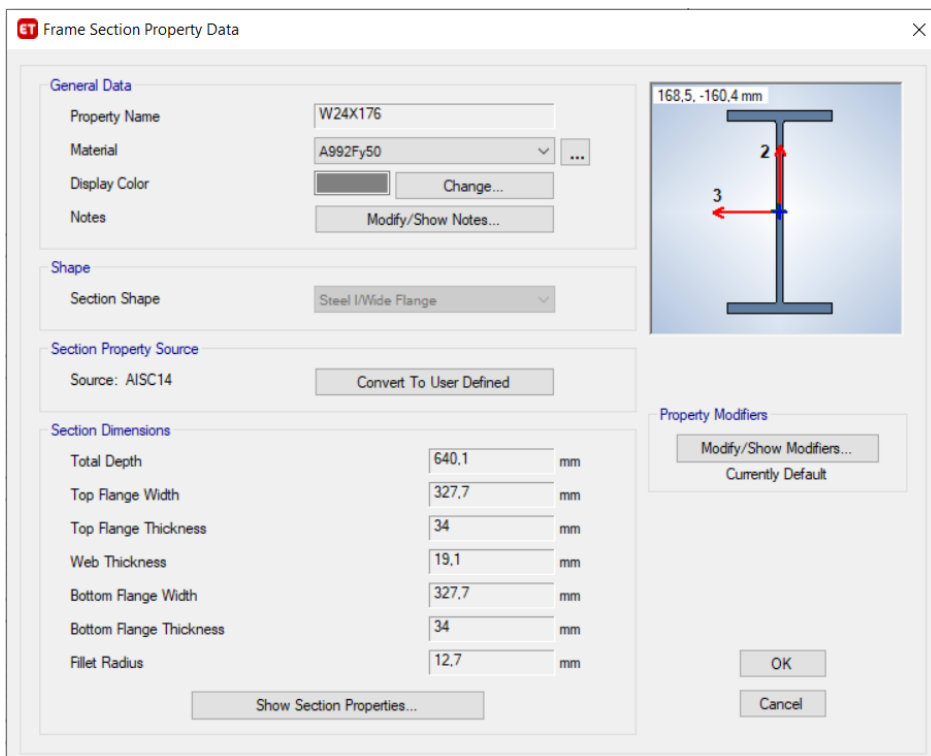


Ilustración 36: W24x176

W24x146

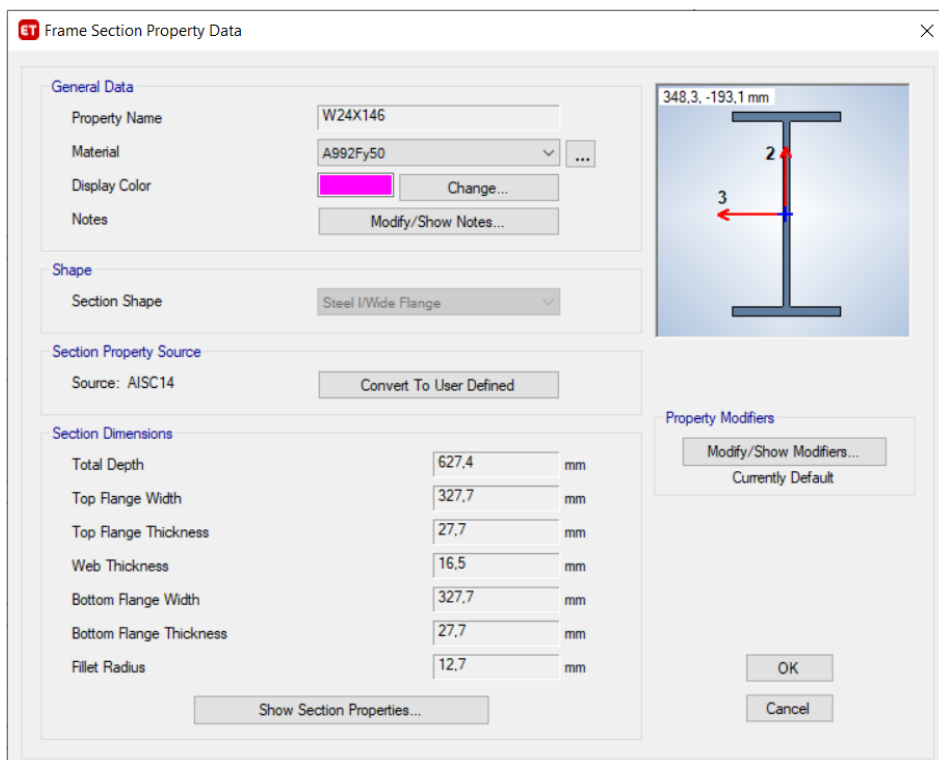


Ilustración 37: W24x146

5.3 Definición de Losa

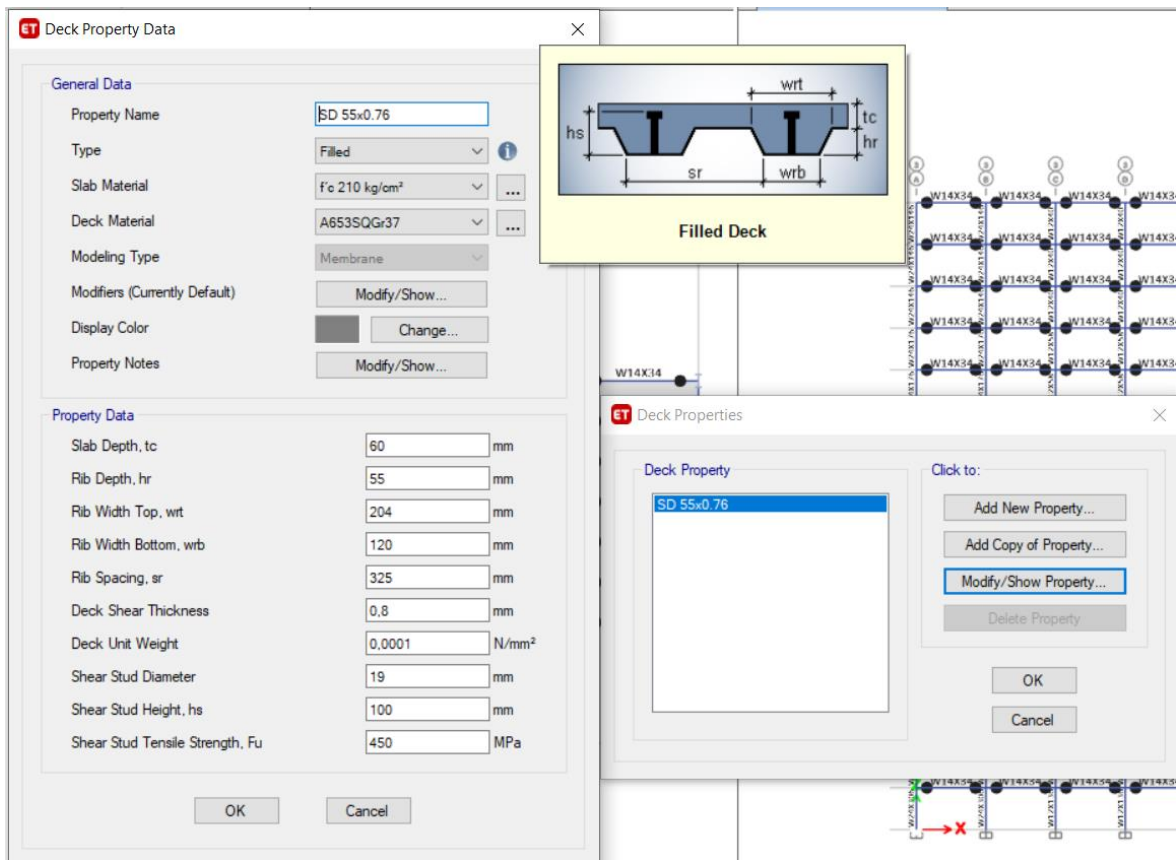


Ilustración 38: Propiedades de Steel Deck

5.4 Patrón de Cargas

Se definen tanto cargas de diseño como cargas de construcción, existen 2 tipos de coeficientes sísmicos, coeficiente de aceleración y otro para derivas directas.

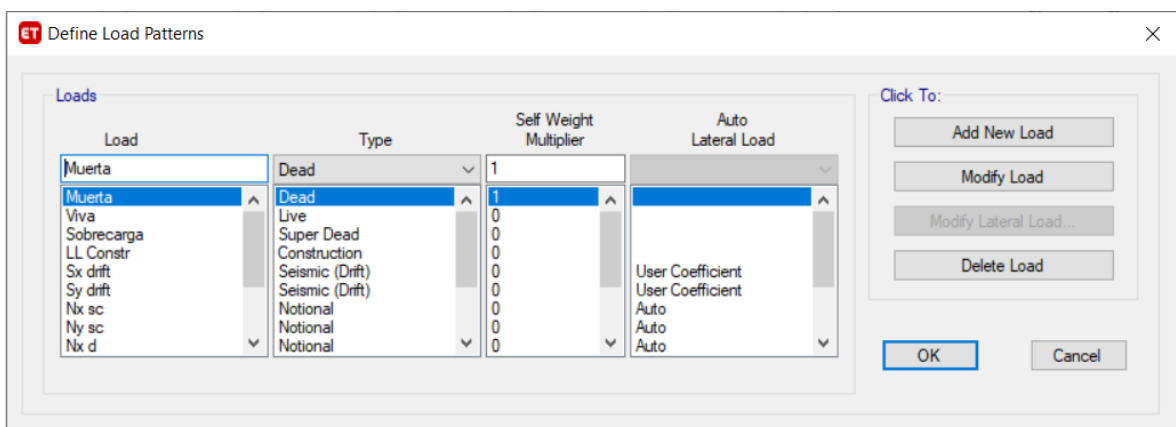


Ilustración 39: Cargas de análisis y diseño

Las cargas N_x y N_y son cargas nocionales que nos consideramos una carga horizontal adicional si requiriera análisis de 2do orden.

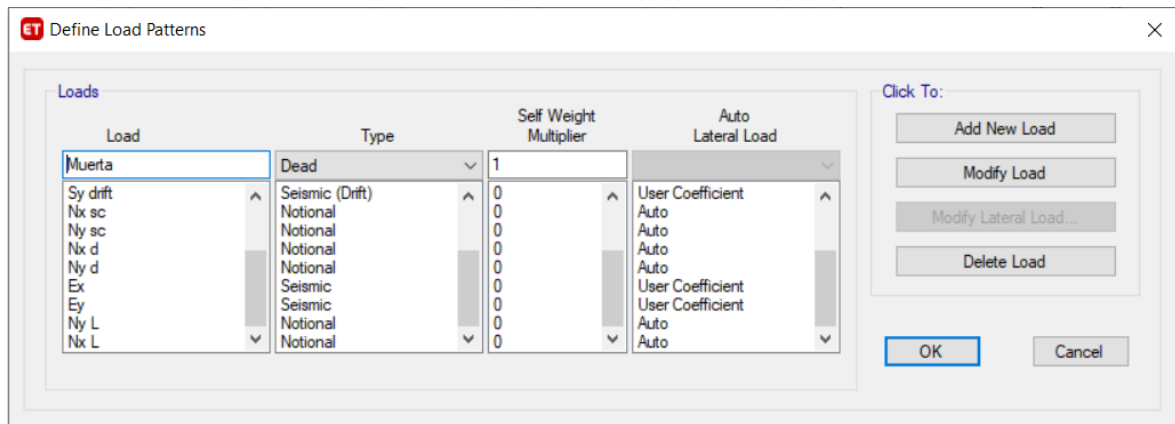


Ilustración 40: Cargas Nocionales

5.5 Definición de Cargas

Las cargas asignadas en el programa ETABS son las mismas indicadas en la Tabla 23, la carga de construida también ha sido definidas en la Tabla 16.

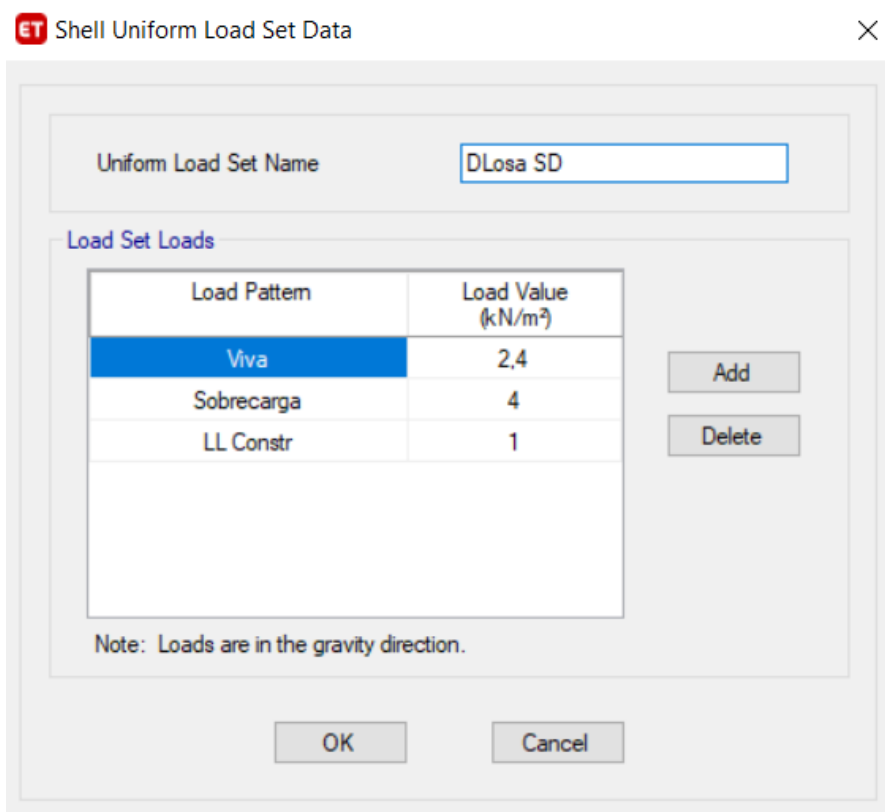


Ilustración 41: Asignación de carga uniforme

5.6 Combinaciones de Carga

Las combinaciones de carga usadas para el diseño de los miembros estructurales están expresadas en la NEC 15 en la sección 3.4.3, como se muestra a continuación:

Combinación 1

$$1.4 D$$

Combinación 2

$$1.2 D + 1.6 L + 0.5 * \text{máx}[L_r; S; R]$$

Combinación 3

$$1.2 D + 1.6 * \text{máx}[L_r; S; R] + \text{máx}[L + 0.5 W]$$

Combinación 4

$$1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 * \text{máx}[L_r; S; R]$$

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 sísmica
- L** Carga Viva
- Lr** Carga en Cubierta
- S** Carga por Granizo
- W** Carga de Viento

5.7 Participación de Masas

Participación Modal de Masas							
Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
[-]	[seg]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	2,73	0,77	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00
2	2,72	0,00	0,77	0,77	0,77	0,00	0,00
3	1,95	0,00	0,00	0,77	0,77	0,77	0,77
4	0,91	0,11	0,00	0,88	0,77	0,00	0,77
5	0,90	0,00	0,11	0,88	0,88	0,00	0,77
6	0,65	0,00	0,00	0,88	0,88	0,10	0,88
7	0,52	0,04	0,00	0,92	0,88	0,00	0,88
8	0,52	0,00	0,04	0,92	0,92	0,00	0,88
9	0,37	0,00	0,00	0,92	0,92	0,04	0,92
10	0,35	0,02	0,00	0,94	0,92	0,00	0,92
11	0,35	0,00	0,02	0,94	0,94	0,00	0,92
12	0,26	0,01	0,00	0,96	0,94	0,00	0,92

Tabla 132: Participación modal

5.8 Modos de Vibración

Primer Modo T=2.70 s

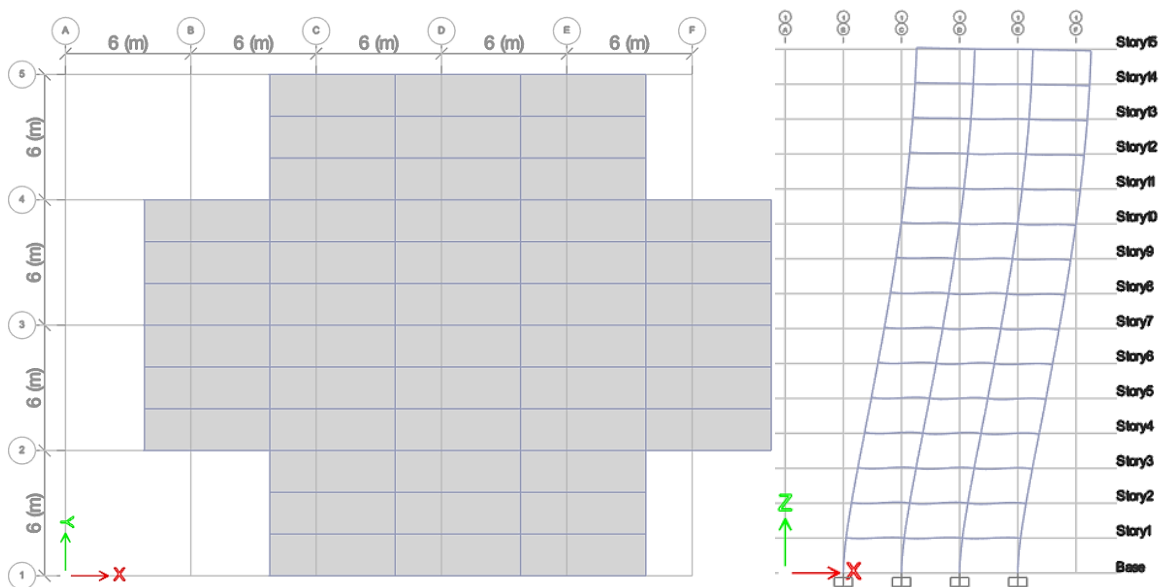


Ilustración 42: Primer Modo de Vibración PRM

Segundo Modo $T=2.70$ s

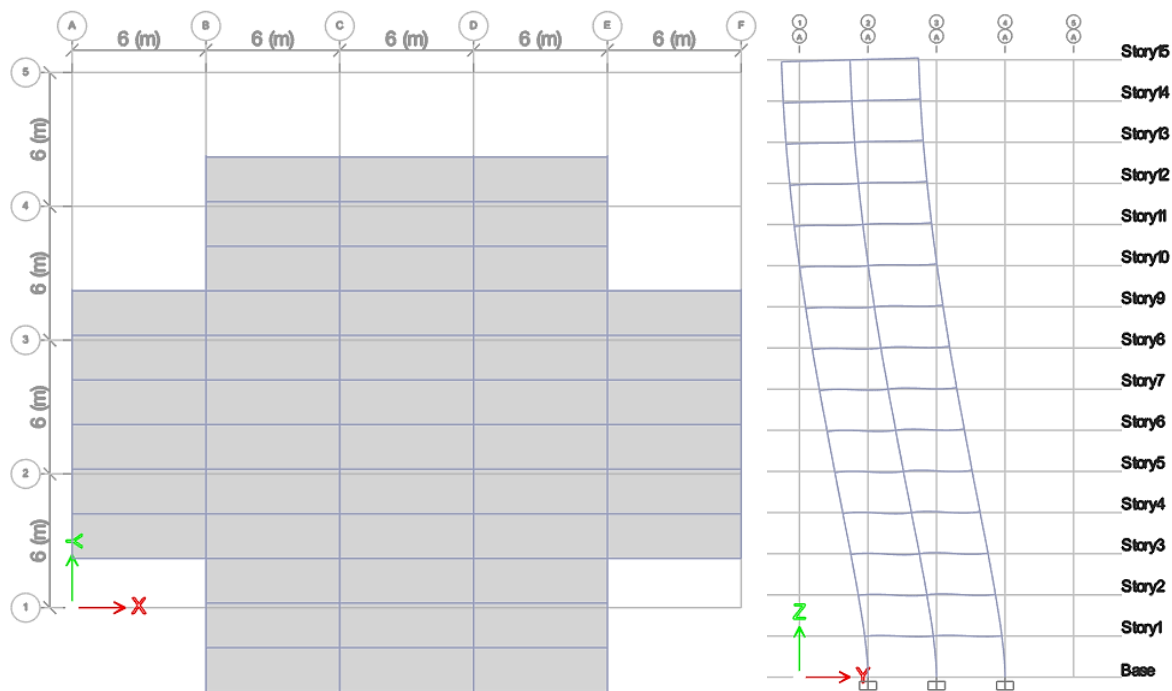


Ilustración 43: Tercer Modo de Vibración PRM

Tercer Modo $T=1.83$ s

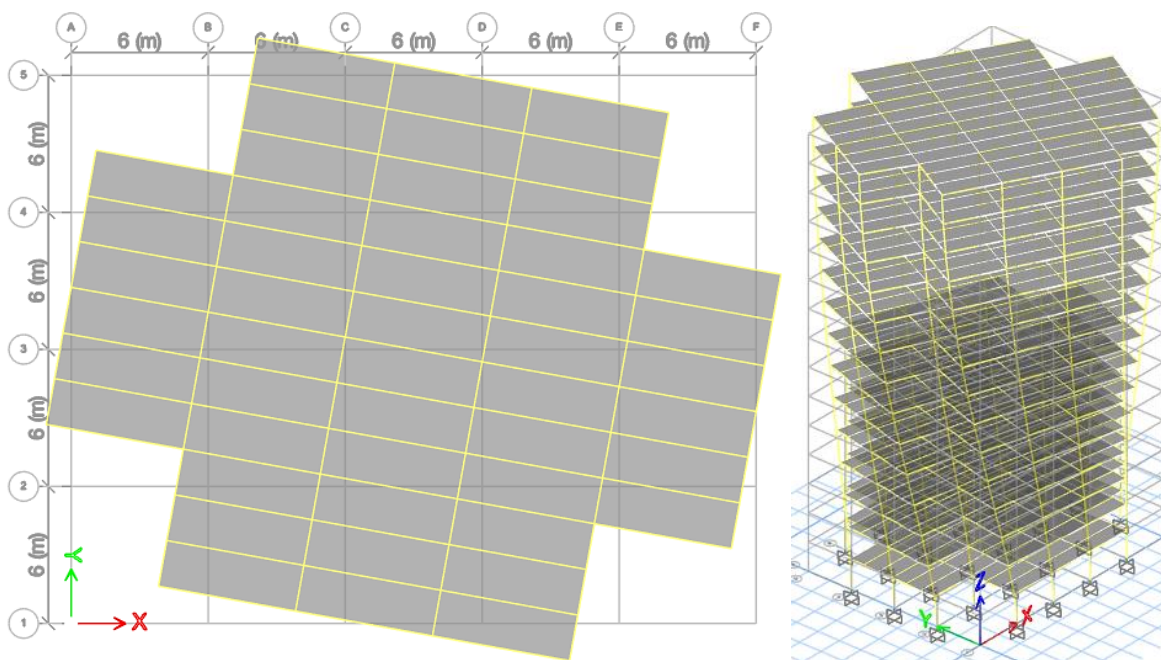


Ilustración 44: Tercer Modo de Vibración PRM

5.9 Distribución en elevación

Los perfiles usados son las mostradas desde la Ilustración 26 hasta la Ilustración 31.

	1 A	1 B	1 C	1 D	1 E	1 F	
		W18X106	W18X106	W18X106			Story5
	W24X146	W18X106	W24X146	W18X106	W24X146	W18X106	Story4
	W24X146	W18X106	W24X146	W18X106	W24X146	W18X106	Story3
	W24X146	W18X106	W24X146	W18X106	W24X146	W18X106	Story2
	W24X176	W18X106	W24X176	W18X106	W24X176	W18X106	Story1
	W24X176	W18X106	W24X176	W18X106	W24X176	W18X106	Story0
	W24X176	W18X106	W24X176	W18X106	W24X176	W18X106	Story9
	W24X207	W18X106	W24X207	W18X106	W24X207	W18X106	Story8
	W24X207	W18X106	W24X207	W18X106	W24X207	W18X106	Story7
	W24X207	W18X106	W24X207	W18X106	W24X207	W18X106	Story6
	W24X250	W18X106	W24X250	W18X106	W24X250	W18X106	Story5
	W24X250	W18X106	W24X250	W18X106	W24X250	W18X106	Story4
	W24X250	W18X106	W24X250	W18X106	W24X250	W18X106	Story3
	W24X306	W18X106	W24X306	W18X106	W24X306	W18X106	Story2
	W24X306	W18X106	W24X306	W18X106	W24X306	W18X106	Story1
	W24X306	W18X106	W24X306	W18X106	W24X306	W18X106	Base



Ilustración 45: Secciones usadas en el PRM en sentido x

5.10 Resultados

5.10.1 Derivas

Las derivas obtenidas en esta sección son las derivas inelásticas máximas, así que no es necesario utilizar la expresión.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

Esta deriva corresponde a una deriva sin considerar cargas nocionales por lo que es igual a la deriva de 1er Orden.

$$\Delta_{1er} = \Delta_M$$

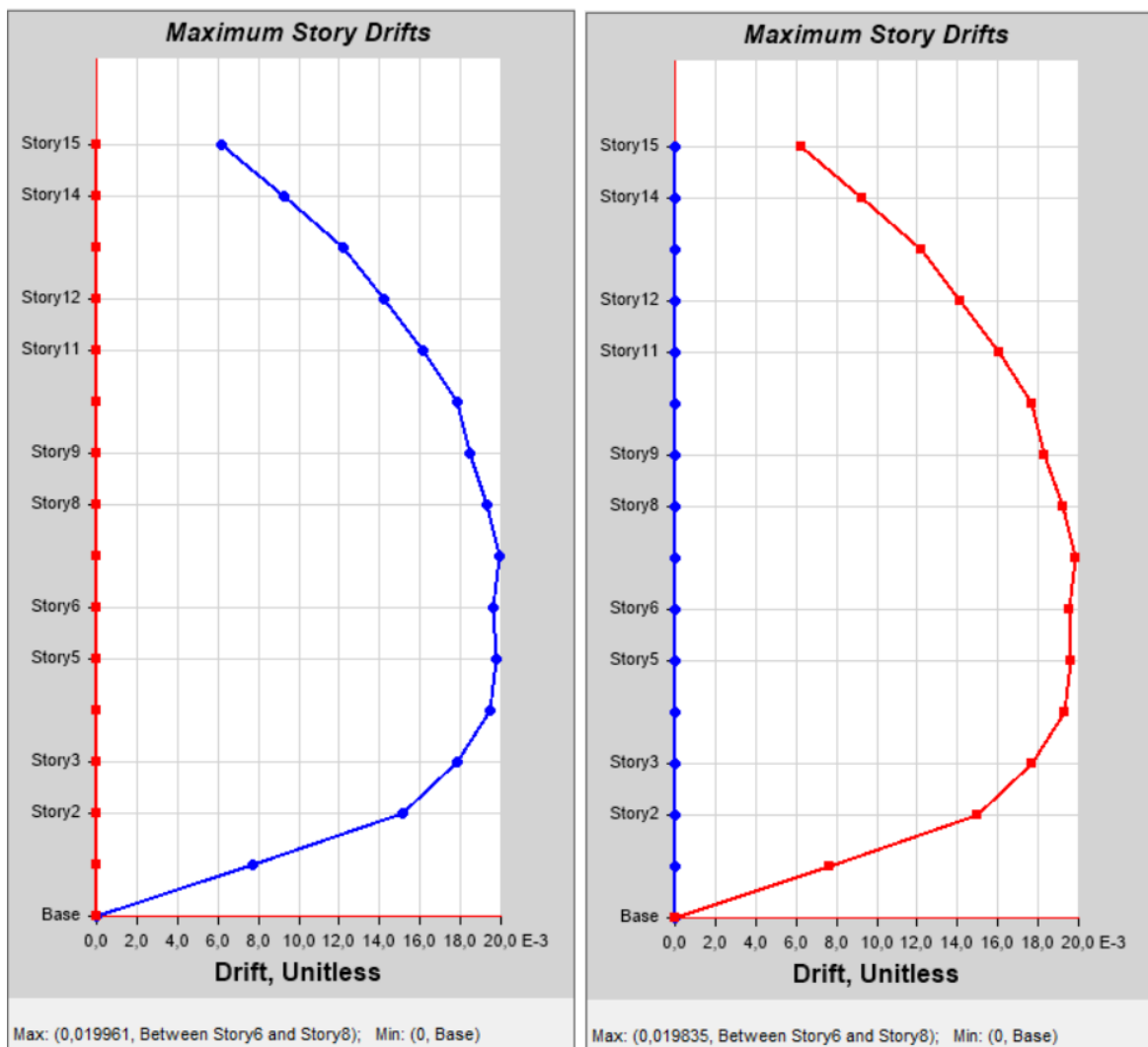


Ilustración 46: Derivas máximas del PRM

5.10.2 Derivas de 2do Orden

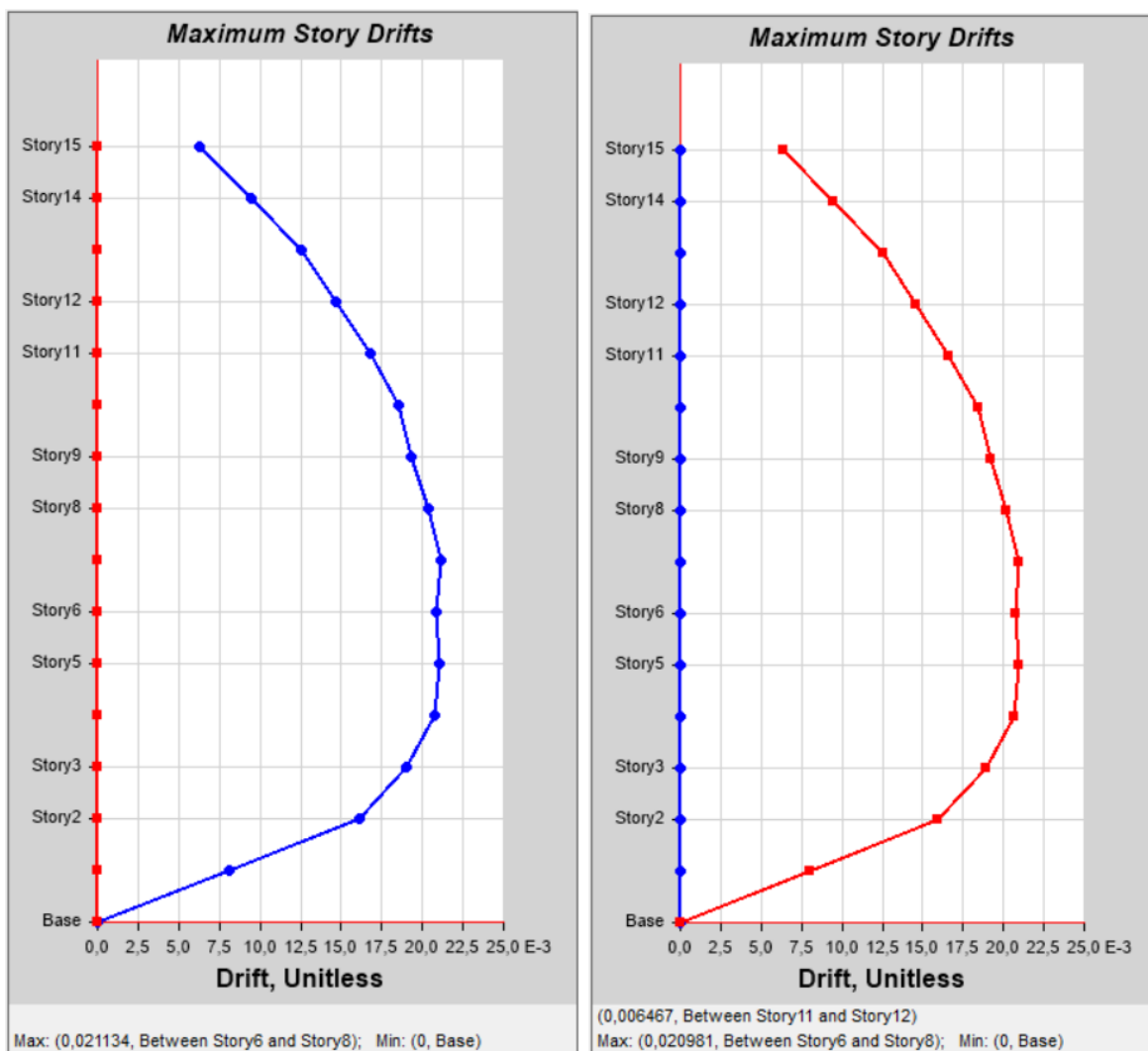


Ilustración 47: Derivas de 2do Orden del PRM

En X

$$\frac{\Delta 2do}{\Delta 1er} = \frac{0.021134}{0.019961} = 1.06 < 1.5$$

En X

$$\frac{\Delta 2do}{\Delta 1er} = \frac{0.020981}{0.019835} = 1.06 < 1.5$$

Como $\Delta_2 / \Delta_1 \leq 1.5$, no es necesario considerar análisis de 2do orden ni cargas nocionales para las combinaciones de carga. Este límite se da para estructuras que no se han reducidas en su rigidez, en el caso que si se hayan reducido el límite será 1.71.

6 MODELO ESTRUCTURAL PAC

En la Ilustración 48 se señala con color naranja los Pórticos que forman parte del Sistema Sismo Resistente, todos los demás pórticos solamente han sido considerados para resistir cargas gravitacionales.

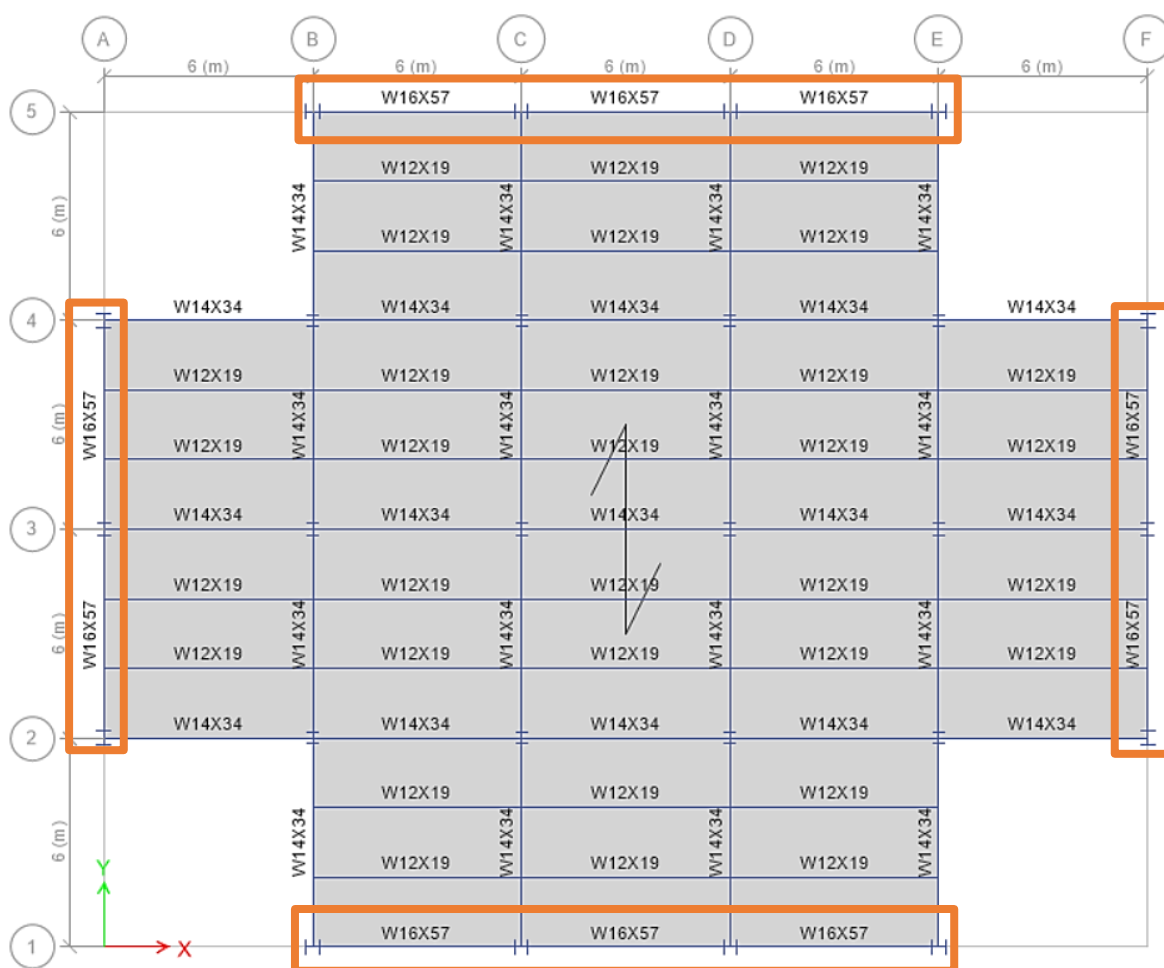


Ilustración 48: Distribución de Vigas de los PAC

Las columnas del sistema sismo resistente con los PAC han sido orientadas de tal forma que su mayor inercia tenga en la misma orientación del sismo que van a resistir, de este modo se utiliza la mayor resistencia posible.

En lo posible se debe evitar que una columna trabaje en los 2 sentidos del sismo, para no sobrecargarla, puede trabajar con 1 o 2 vigas, dependiendo si es externa o interna.

6.1 Definición de Materiales

La propiedad de los materiales son las misma usadas en el modelo de la Estructura de Pórticos Resistentes a Momentos de la sección 5.1.

6.2 Definición de Secciones

6.2.1 Secciones del Sistema a Gravedad

Igual a las secciones usadas en el sistema a gravedad de la Estructura de Pórticos Resistentes a Momentos

6.2.2 Sistema Sismo Resistente

6.2.2.1 Vigas del PAC

Piso 1-15 / W16x57

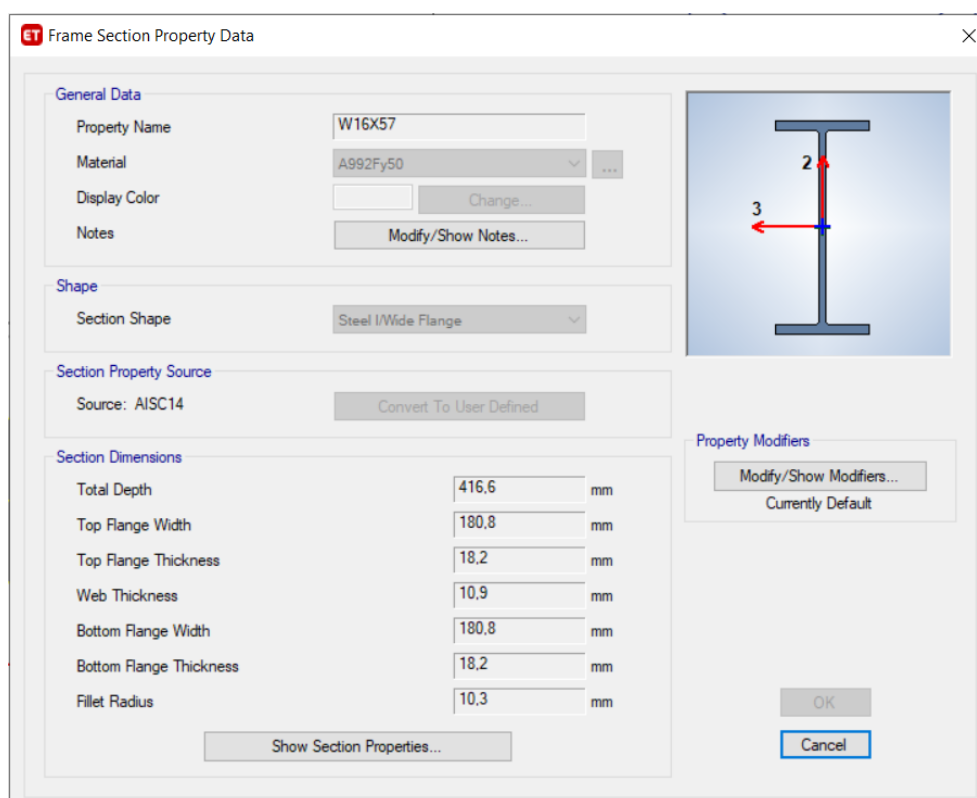


Ilustración 49: W16x57

6.2.2.2 Columnas del PAC

Piso 1-3 / W 14x283

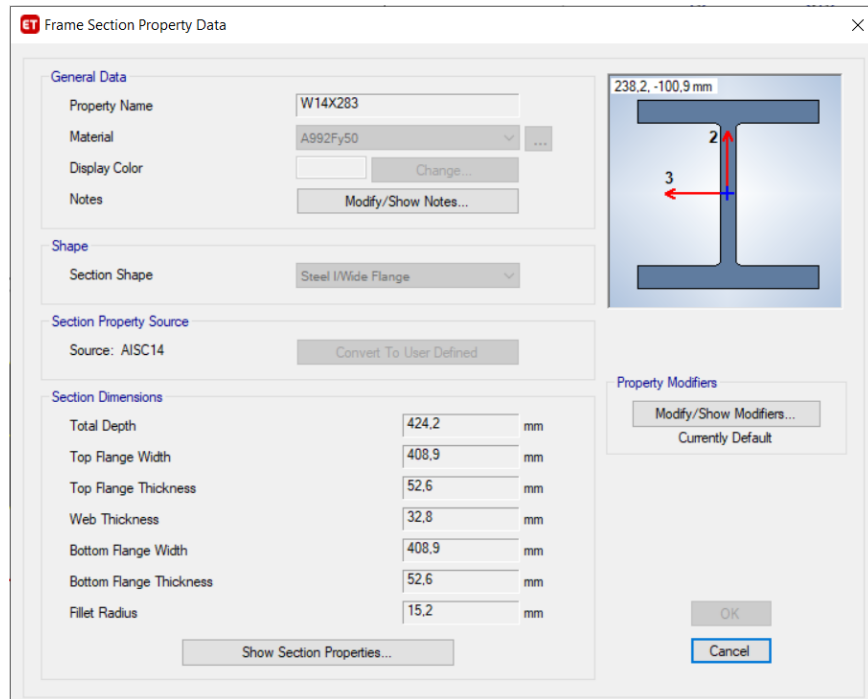


Ilustración 50: W14x283

Piso 4 / W 14x233

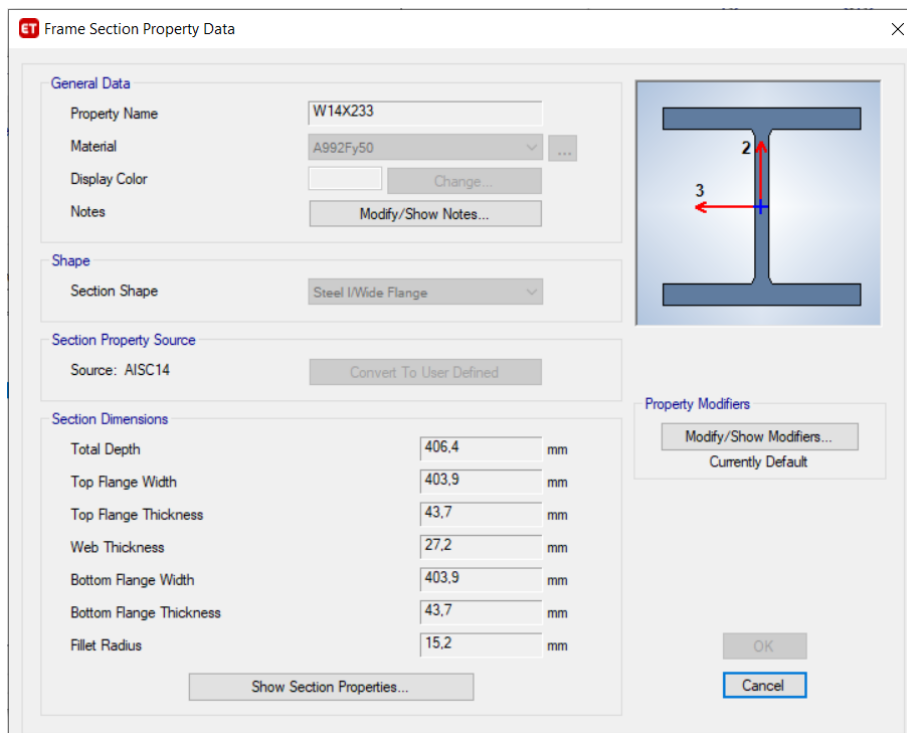


Ilustración 51: W14x233

Piso 5-6 / W14X211

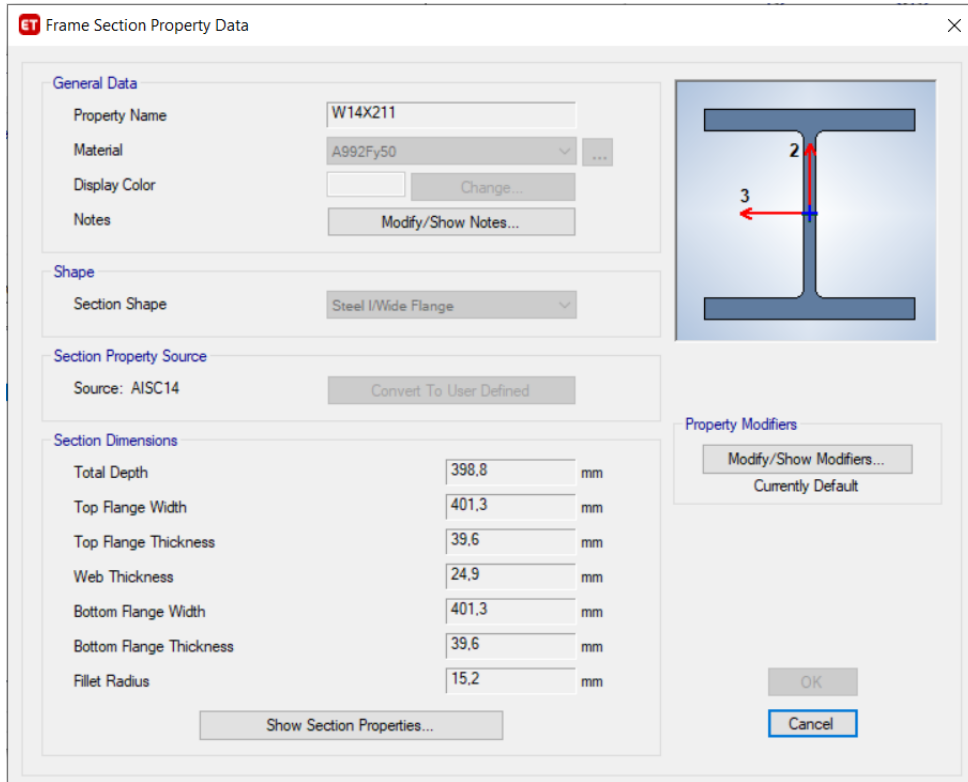


Ilustración 52: W14x211

Piso 7-11 / W 14x159

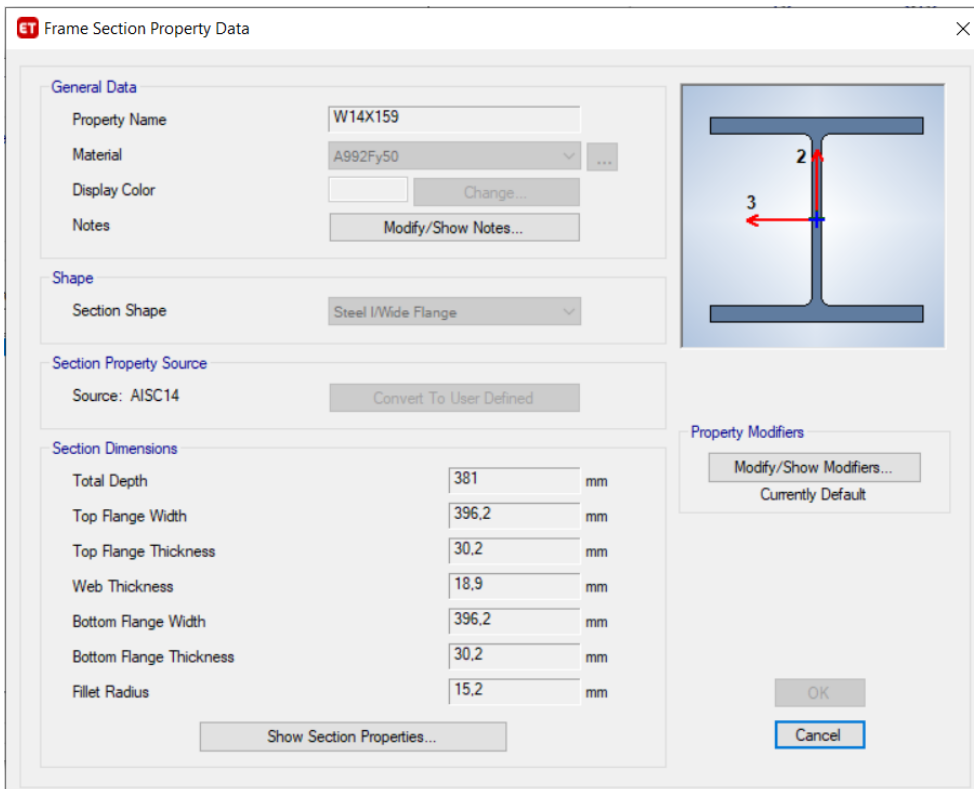


Ilustración 53: W14x159

Piso 12-15 / W14x109

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W14x109

Material: A992Fy50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC14

Section Dimensions

Total Depth	363.2	mm
Top Flange Width	370.8	mm
Top Flange Thickness	21.8	mm
Web Thickness	13.3	mm
Bottom Flange Width	370.8	mm
Bottom Flange Thickness	21.8	mm
Fillet Radius	15.2	mm

Property Modifiers

Currently Default

Ilustración 54: W14x109

6.2.2.3 Riostras del PAC

Piso 1-3 / HSS 6.625X0.500

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: HSS6.625X0.500

Material: A992Fy50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel Pipe

Section Property Source

Source: AISC14

Section Dimensions

Outside Diameter	168.3	mm
Wall Thickness	12.7	mm

Property Modifiers

Currently Default

Ilustración 55: HSS 6.625x0.500

Piso 4-9 / HSS 6.625X0.375

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: HSS6.625X0.375

Material: A992Fy50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel Pipe

Section Property Source

Source: AISC14

Section Dimensions

Outside Diameter: 168,3 mm

Wall Thickness: 9,5 mm

Property Modifiers

Currently Default

Ilustración 56: HSS 6.625x0.375

Piso 10-15 / HSS 5.563X0.375

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: HSS5.563X0.375

Material: A992Fy50

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel Pipe

Section Property Source

Source: AISC14

Section Dimensions

Outside Diameter: 141,3 mm

Wall Thickness: 9,5 mm

Property Modifiers

Currently Default

Ilustración 57: HSS 5.563x0.375

6.3 Definición de Losa

Igual que el definido en la sección 5.3.

6.4 Participación de Masas

Participación Modal de Masas							
Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
[-]	[seg]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	2,35	0,00	0,69	0,00	0,69	0,00	0,00
2	1,75	0,72	0,00	0,72	0,69	0,00	0,00
3	1,10	0,00	0,00	0,72	0,69	0,71	0,71
4	0,70	0,00	0,19	0,72	0,89	0,00	0,71
5	0,56	0,17	0,00	0,89	0,89	0,00	0,71
6	0,37	0,00	0,05	0,89	0,93	0,00	0,71
7	0,34	0,00	0,00	0,89	0,93	0,18	0,89
8	0,30	0,05	0,00	0,94	0,93	0,00	0,89
9	0,25	0,00	0,02	0,94	0,96	0,00	0,89
10	0,22	0,02	0,00	0,96	0,96	0,00	0,89

Tabla 133: Participación Modal PAC

6.5 Modos de Vibración

Primer Modo $T=2.40$ s

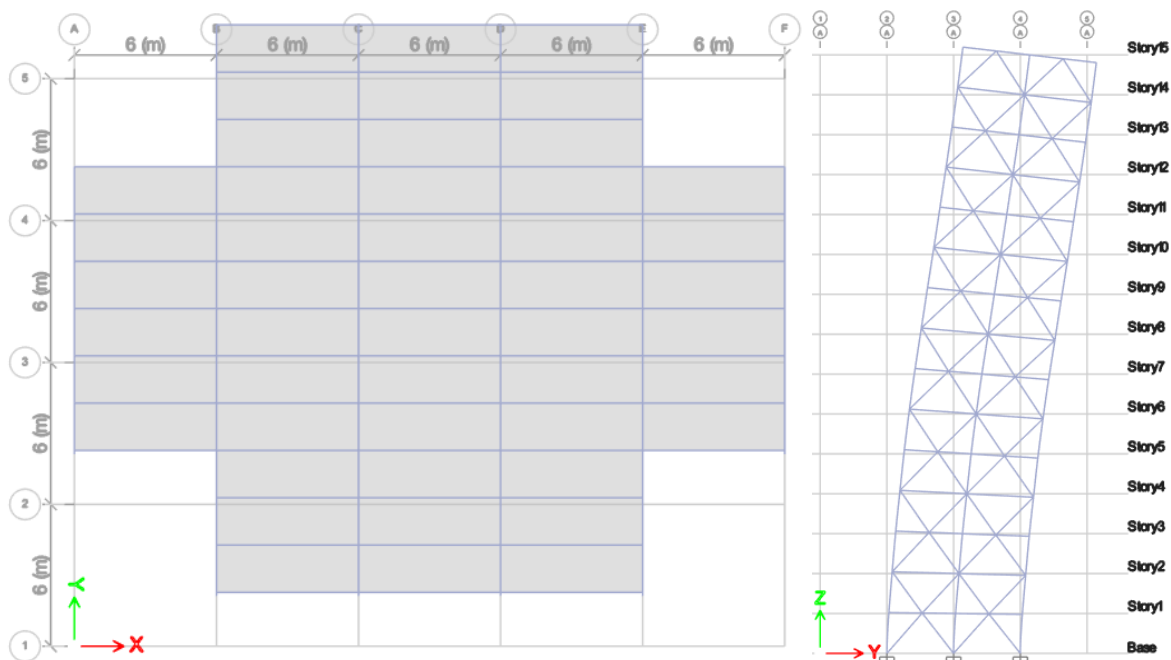


Ilustración 58: Primer Modo de Vibración PAC

Primer Modo $T=1.75$ s

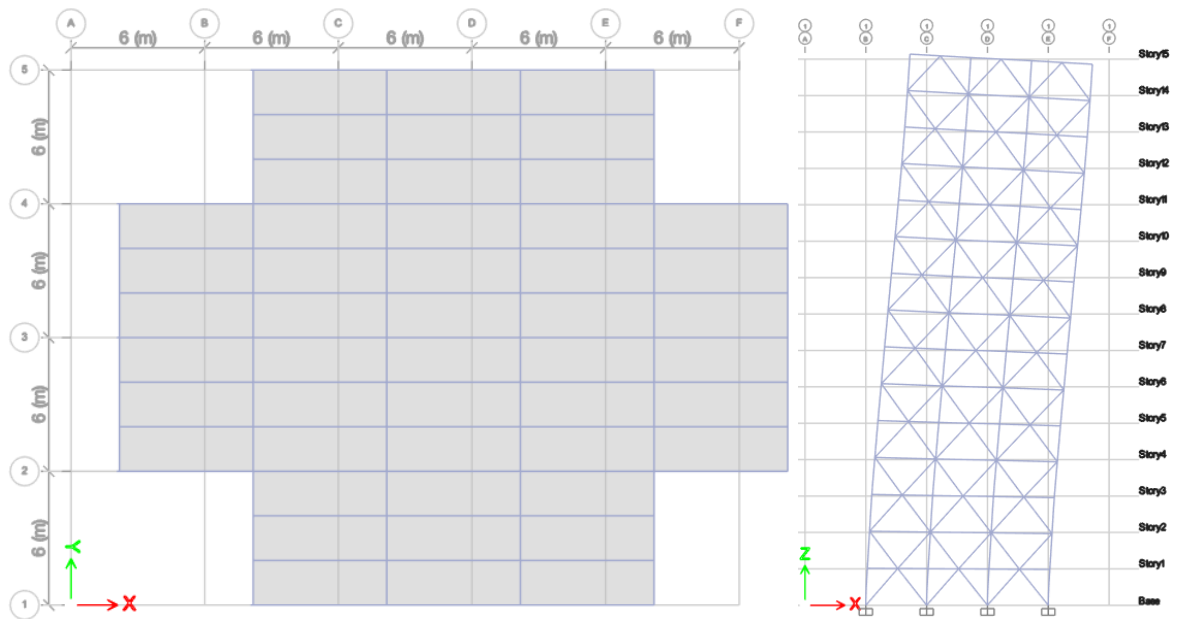


Ilustración 59: Segundo Modo de Vibración PAC

Tercer Modo $T=1.11$ s

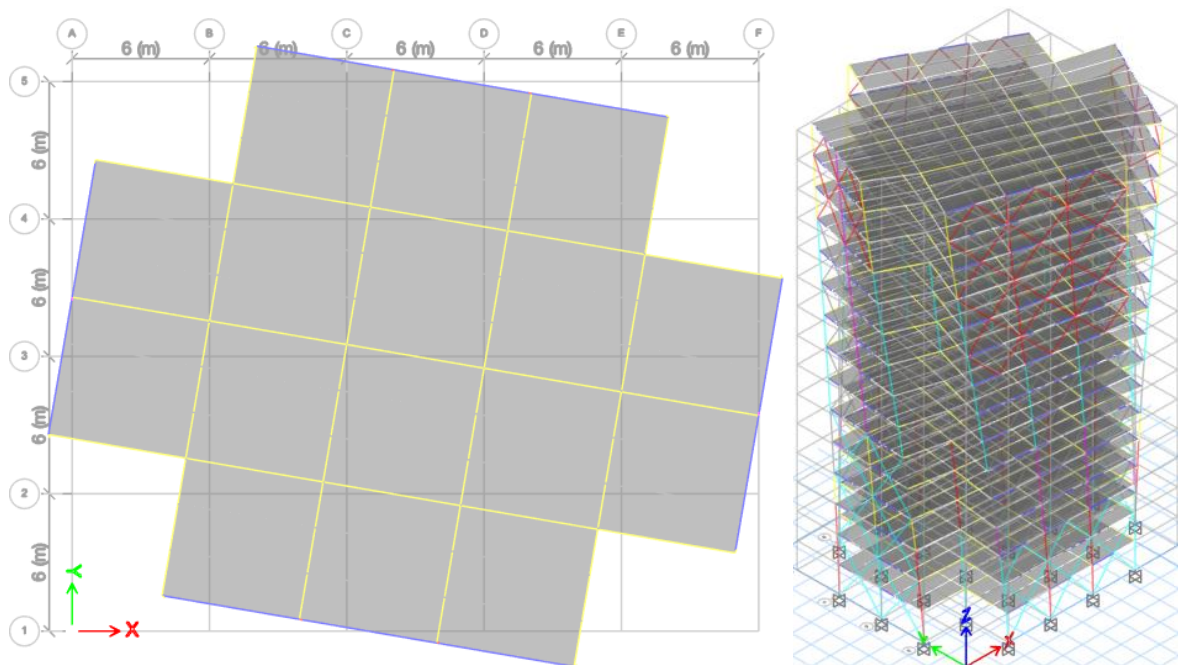


Ilustración 60: Tercer Modo de Vibración PAC

6.6 Distribución en Elevación

Las secciones usadas corresponden a las evaluadas en la Tabla 109 y Tabla 116.

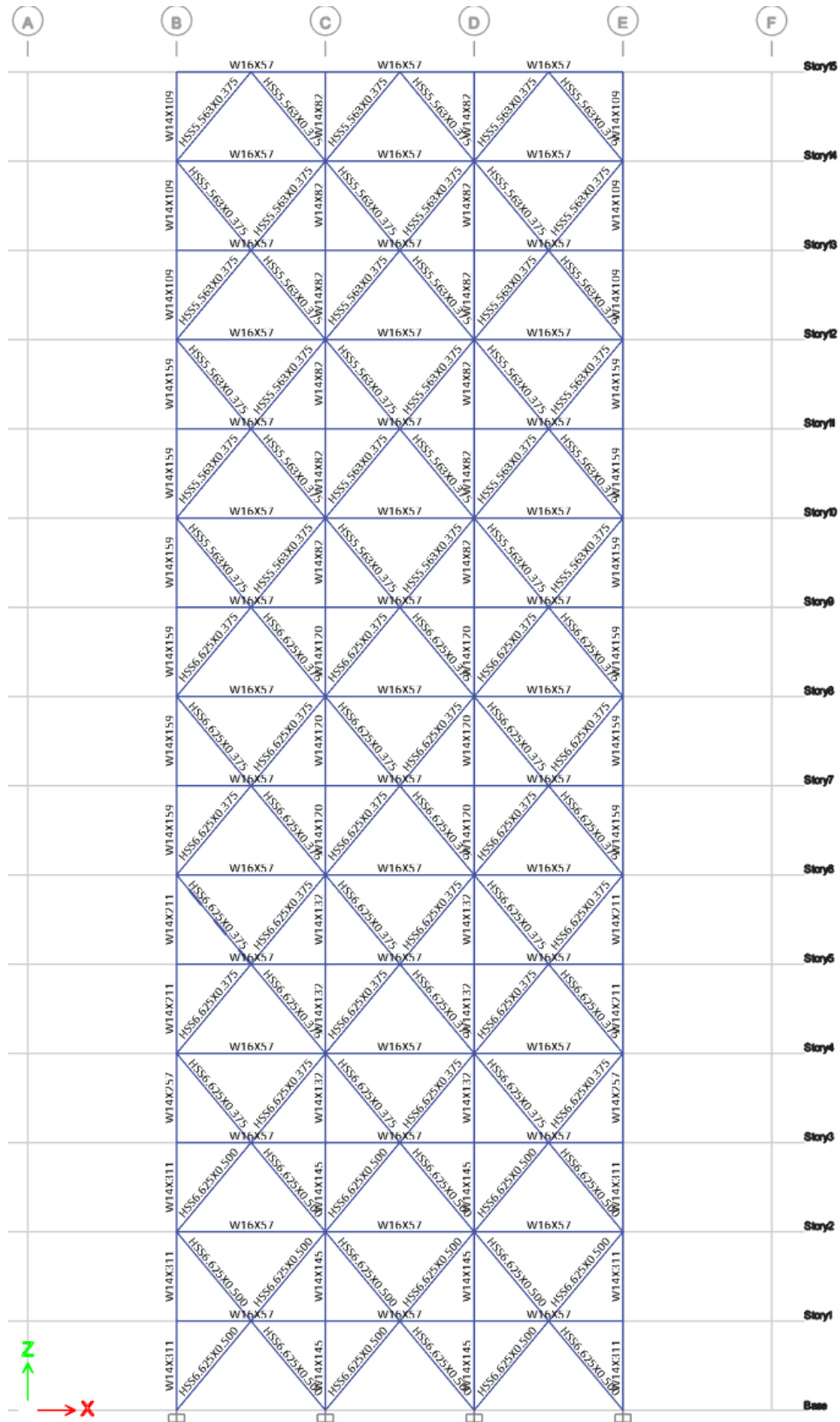


Ilustración 61: Secciones usadas en el PAC en sentido x

6.7 Resultados

6.7.1 Derivas

Esta deriva inelástica máxima está calculada con los coeficientes de la Tabla 100 como se muestran en la Tabla 100.

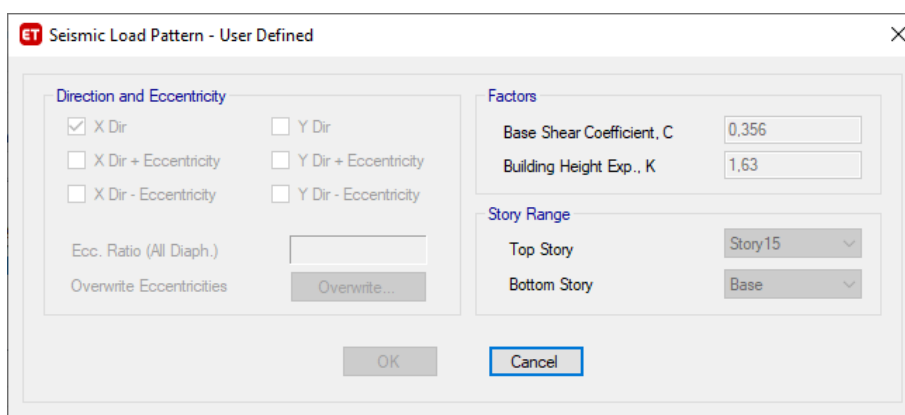


Ilustración 62: Coeficientes sísmicos en ETABS

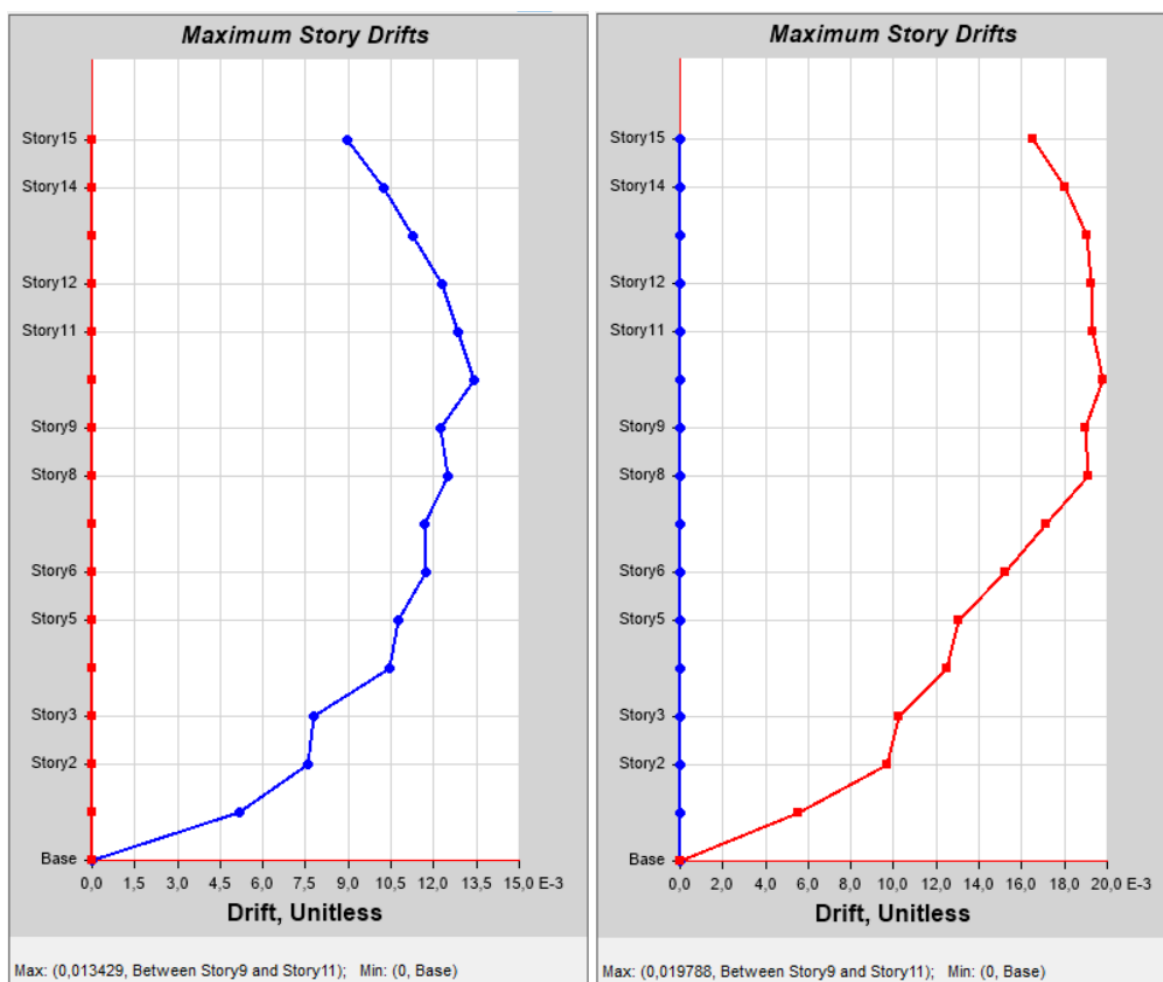


Ilustración 63: Derivas Inelásticas máximas de los PAC

6.7.2 Análisis de 2do Orden

En X

$$\frac{\Delta 2do}{\Delta 1er} = \frac{0.013701}{0.013429} = 1.02 < 1.5$$

En X

$$\frac{\Delta 2do}{\Delta 1er} = \frac{0.020548}{0.19788} = 1.04 < 1.5$$

Como $\Delta 2/\Delta 1 \leq 1.5$, no es necesario considerar análisis de 2do orden ni cargas nocionales para las combinaciones de carga.

El límite 1.5 se da para estructuras que no han sido reducidas en su rigidez, en el caso que si se hayan reducido el límite será 1.71.

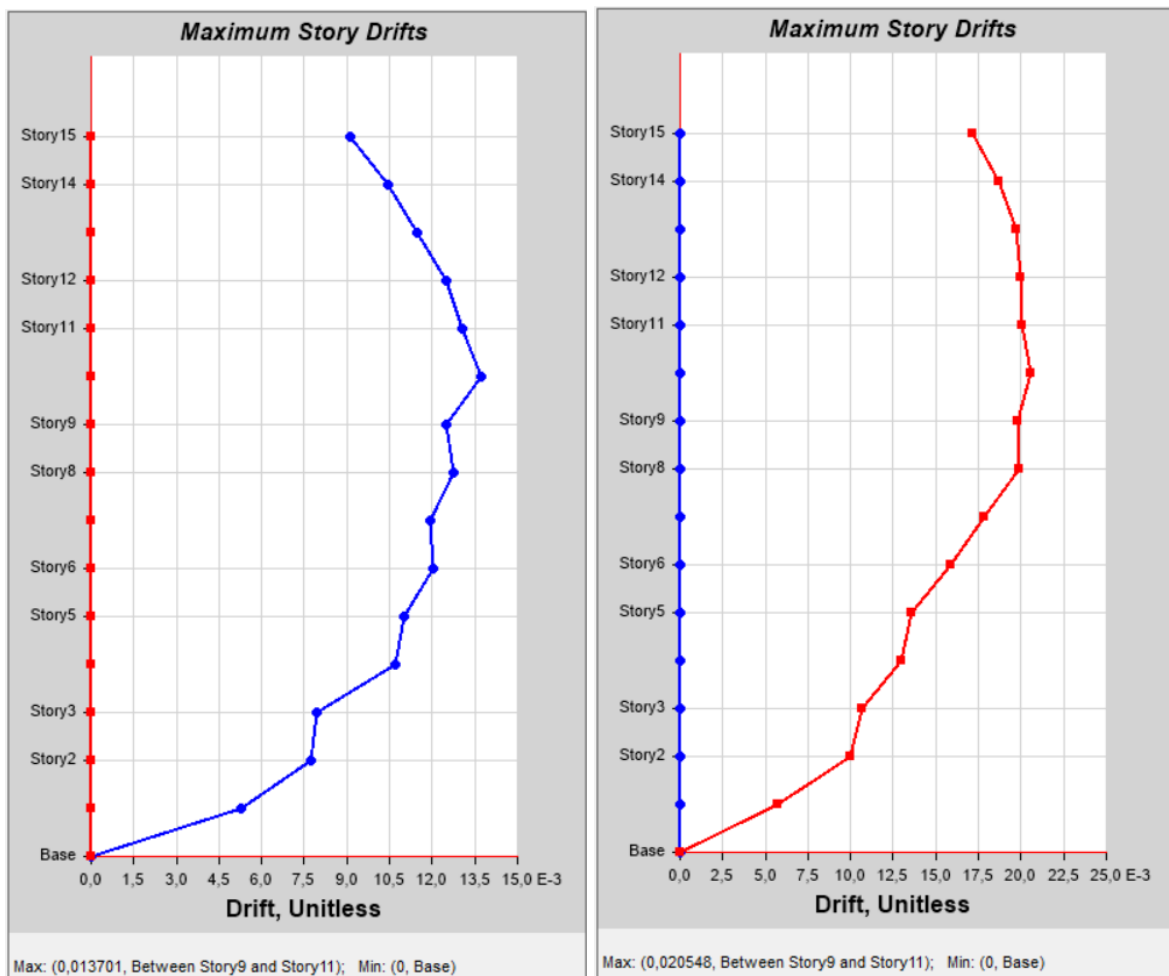


Ilustración 64: Derivas de 2do Orden del PAC

7 COMPARACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES

En esta sección se compararán los resultados obtenidos de cada uno de los dos sistemas estructurales, Pórticos Especiales Resistentes a Momentos y Pórticos Arriostrados concéntricamente. Estos resultados son de gran importancia para la toma de decisiones dependiendo de la prioridad del proyecto, pues el enfoque puede ir:

- Al costo si el proyecto considera el aspecto financiero,
- Al peso si se busca reducir las reacciones en el suelo
- A los periodos si se busca alejarse de los contenidos frecuenciales de un espectro de respuesta
- A las aceleraciones si el enfoque es minimizar los daños de los contenidos que tendrá la edificación

7.1 Periodos

En la siguiente sección se presentan los tres primeros modos de vibración de cada sistema estructural y el sentido en el cual ocurren, es sumamente importantes que los dos primeros periodos sean, de traslación, si no es el caso y la rotación está en estos modos se debe tomar dos alternativas, la primera es aumentar la rigidez de tal manera que el centro de rigideces se acerque más al centro de masas, si esto no es posible se debe diseñar los miembros estructurales para esta condición.

Modos de Vibración				
Modos	Periodo	Sentido	Periodo	Sentido
[-]	[PRM]	[-]	[PAC]	[-]
1	2,73	X	2,35	Y
2	2,72	Y	1,75	X
3	1,95	Z	1,10	Z

Tabla 134: Periodos de Vibración de los sistemas de PRM y PAC

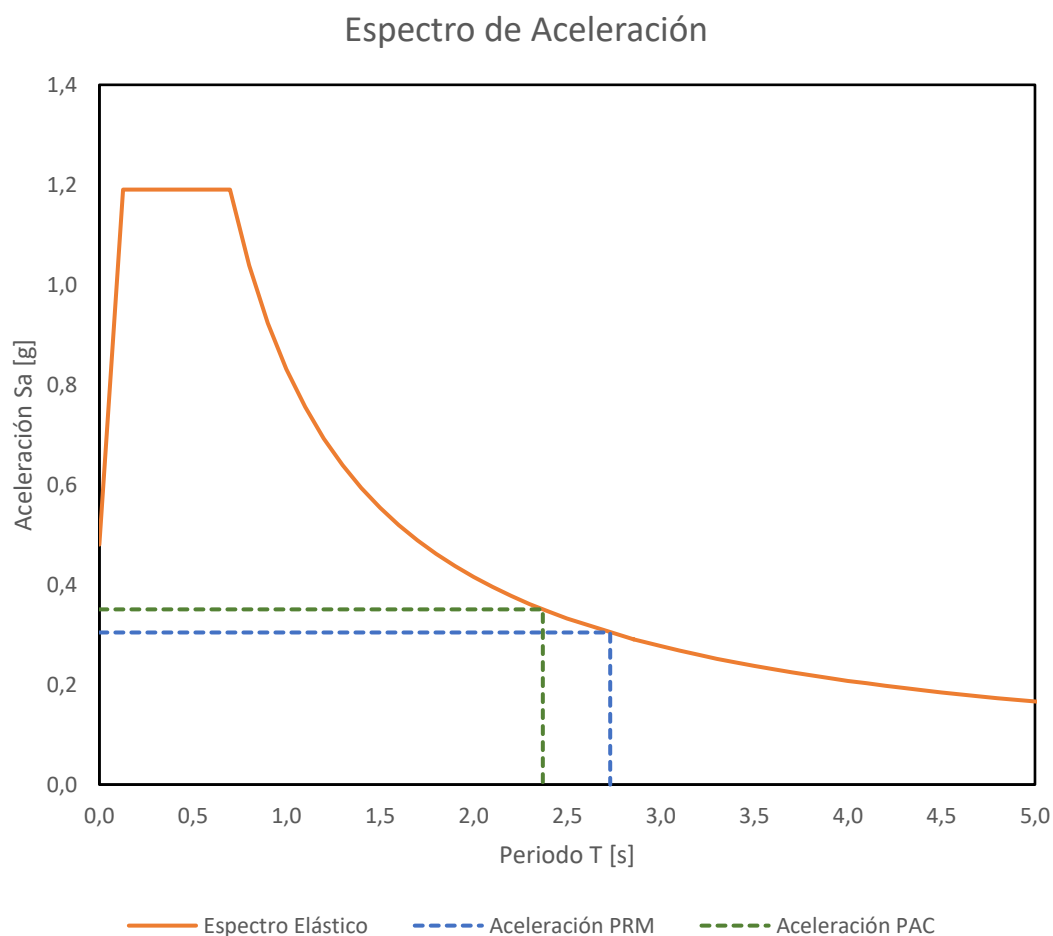


Ilustración 65: Espectro de Aceleración PRM y PAC

De la Ilustración 65 podemos observar que el comportamiento en el primer modo de vibración de los sistemas de PAC son más rígidos que los sistemas de PRM, esto influye directamente en la aceleración de los sistemas encontrando que mientras más rígidos son mayor será la aceleración que deban resistir sus miembros estructurales.

7.2 Derivas

Es indispensable que las derivas de entrepiso sean menores a las exigidas por la normativa con la cual se está diseñando, en nuestro caso la NEC nos pide una deriva inelástica máxima de entrepiso de 2.00% y se puede comparar el comportamiento en cada piso con las siguientes ilustraciones.

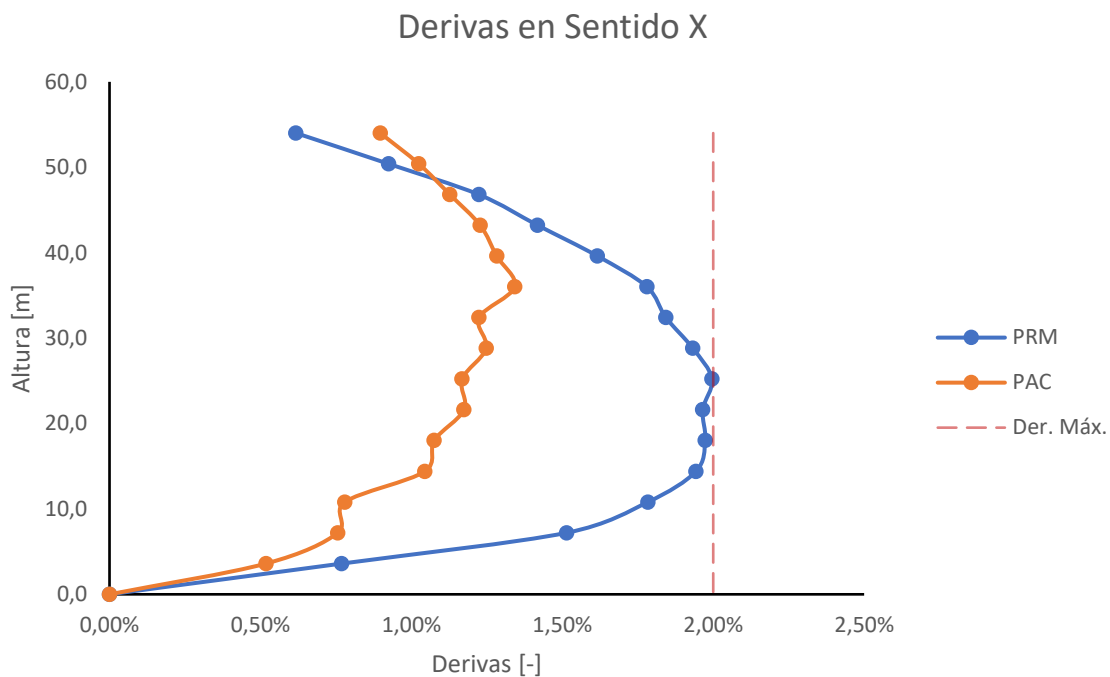


Ilustración 66: Derivas de los PRM y PAC en sentido X

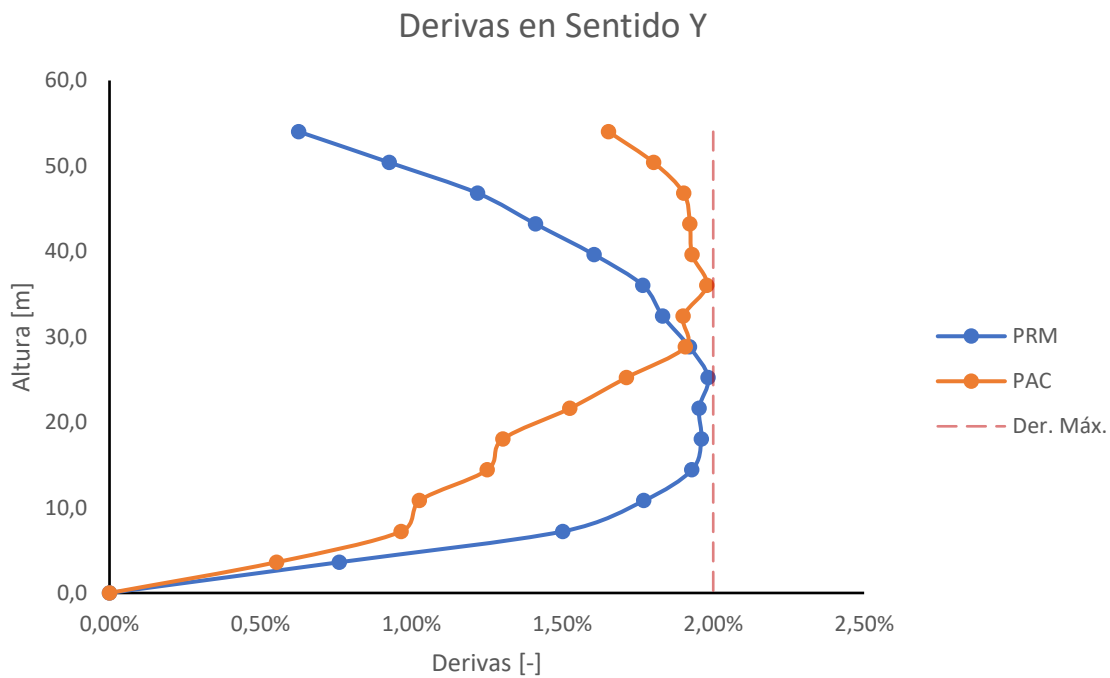


Ilustración 67: Derivas de los PRM y PAC en sentido Y

7.3 Material

7.3.1 Peso por Sistema Sismo Resistente

El peso del sistema estructural considera todos los miembros estructurales compuestos por vigas, columnas y riostras.

En este caso solamente se muestra la Ilustración 68 del peso por área pues la proporción es la misma que la del peso ya que el área en ambos es constante.

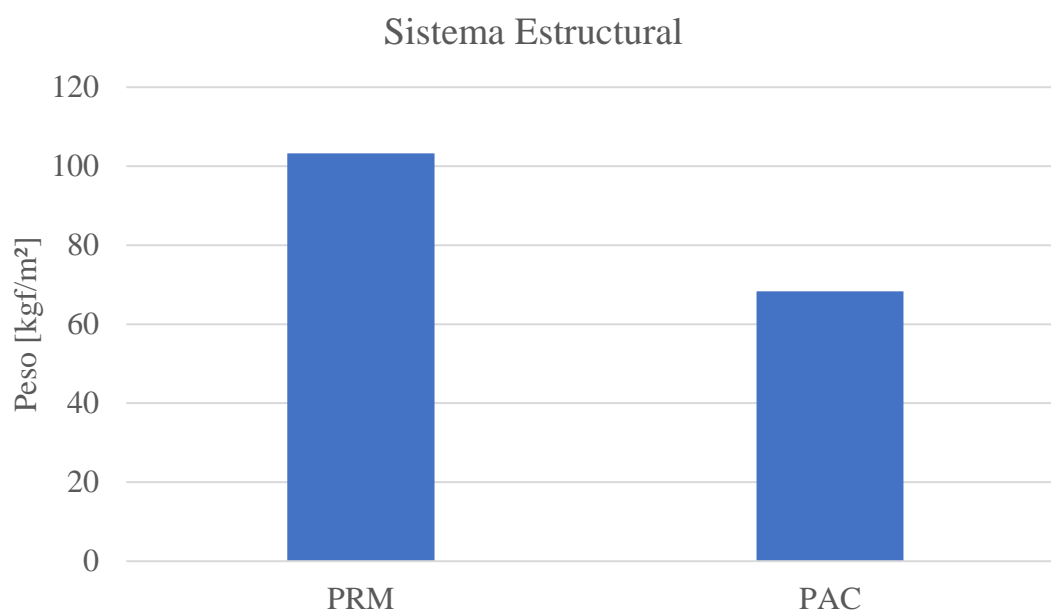


Ilustración 68: Peso por sistema estructural

Elemento	Peso	Peso/Área
[-]	[tonf]	[kgf/m ²]
PRM	892,23	103,27
PAC	590,43	68,34

Tabla 135: Peso de los sistemas Estructurales

Elemento	% Material	% Ahorro M
[-]	[-]	[-]
PRM	100,0%	0,0%
PAC	66,2%	33,8%

Tabla 136: Porcentaje de peso del sistema estructural en comparación al máximo

7.3.2 Peso por Sistema Estructural Completo

El peso del sistema estructural considera todos los miembros estructurales compuestos por vigas, columnas, riostras y losa.

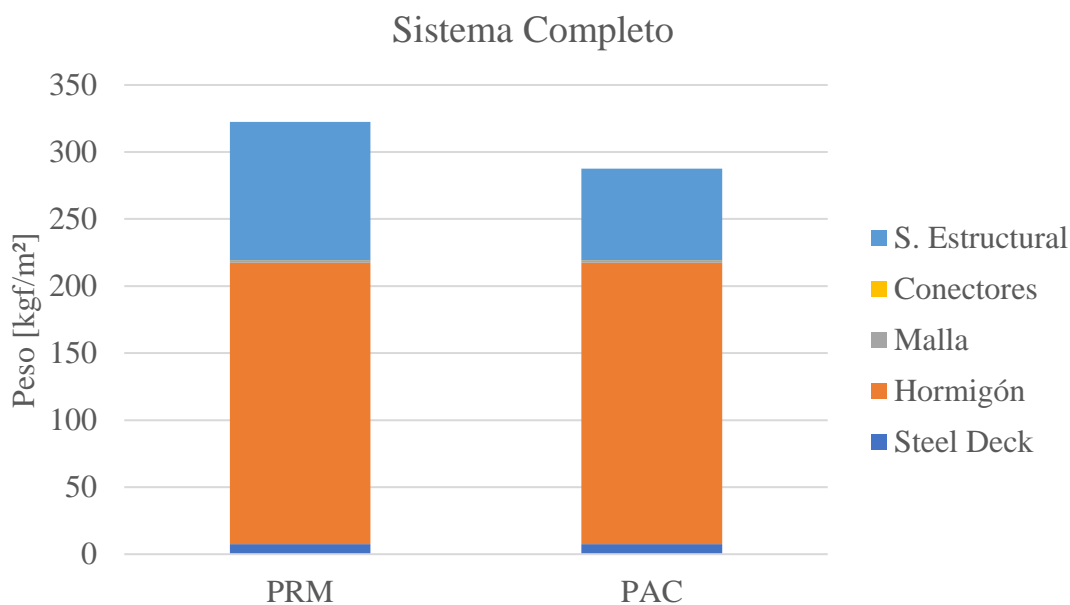


Ilustración 69: Peso del sistema estructural completo

S. Estructural	Peso	Peso/Área
[-]	[tonf]	[kgf/m ²]
Sistema PRM	2792,70	323,23
Sistema PAC	2490,89	288,30

Tabla 137: Peso del sistema Estructural Total

S. Estructural	% Material	% Ahorro M
[-]	[-]	[-]
Sistema PRM	100,0%	0,0%
Sistema PAC	89,2%	10,8%

Tabla 138: Porcentaje de peso del sistema estructural total en comparación al máximo

7.4 Costo

7.4.1 Costo por Sistema Sismo Resistente

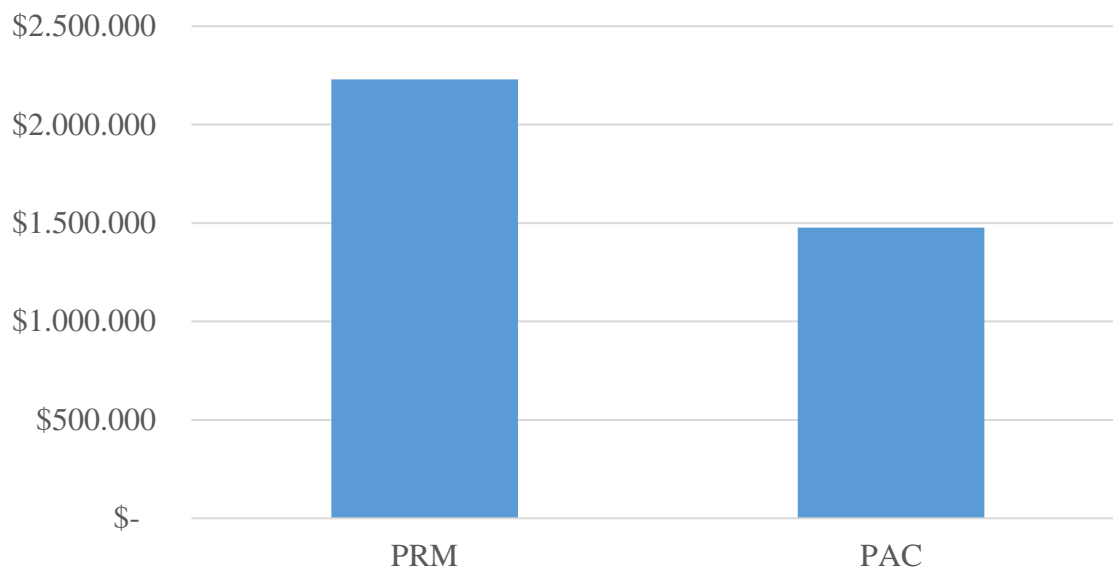


Ilustración 70: Comparación costo de los sistemas estructurales

Elemento	Peso	Peso/Área	Cantidad	P.U.	Costo
[-]	[tonf]	[kgf/m ²]	[-]	[-]	[-]
PRM	892,23	103,27	8640 m ²	2,5 \$/kgf	\$ 2.230.575
PAC	590,43	68,34	8640 m ²	2,5 \$/kgf	\$ 1.476.065

Ilustración 71: Costo de los sistemas estructurales detallados

7.4.2 Costo por Sistema Estructural Completo

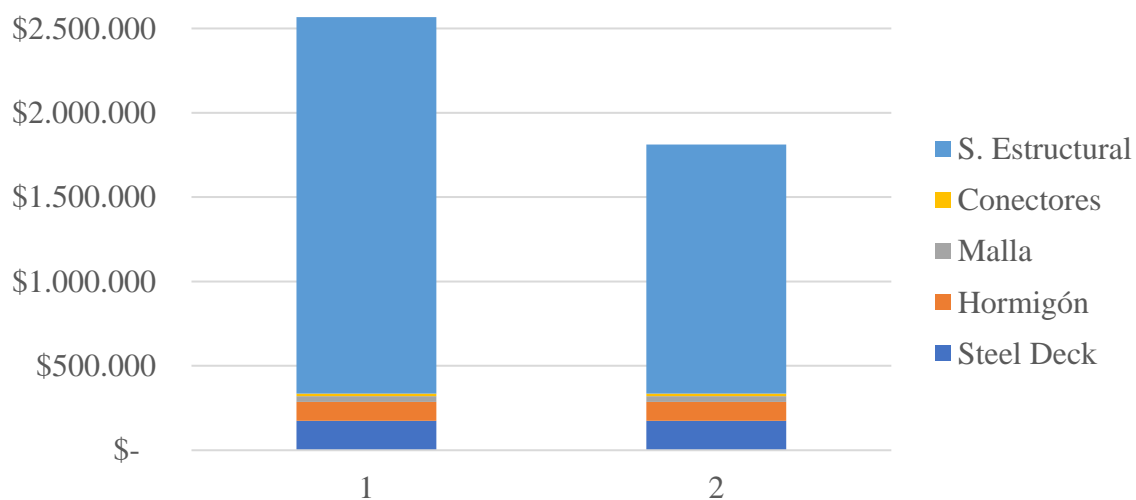


Ilustración 72: Comparación costo de los sistemas estructurales totales

S. Estructural	Peso	Peso/Área	Cantidad	P.U.	Costo
[-]	[tonf]	[kgf/m ²]	[-]	[-]	[-]
Sistema PRM	2792,70	323,23	8640 m ²	297,0 \$/m ²	\$ 2.566.463
Sistema PAC	2490,89	288,30	8640 m ²	209,7 \$/m ²	\$ 1.811.954

Ilustración 73: Costo de los sistemas estructurales totales detallados

Se puede apreciar un ahorro notorio de casi un 30% en el costo del sistema con PAC en comparación al sistema con PRM, siendo un criterio importante para la elección de un sistema con respecto del otro.

S. Estructural	% Costo	% Ahorro C
[-]	[-]	[-]
Sistema PRM	100,0%	0,0%
Sistema PAC	70,6%	29,4%

Tabla 139: Porcentaje del costo en comparación al máximo

La Tabla de resumen de costo de la estructura ha sido calculada considerando los siguientes precios unitarios obtenidos de forma general por juicio de expertos.

Los precios unitarios presentados consideran tanto el precio del material, transporte y mano de obra.

Elemento	Peso	Peso/Área	Cantidad	P.U.	Costo
[-]	[tonf]	[kgf/m ²]	[-]	[-]	[-]
Steel Deck	64,54	7,5	8640 m ²	20,2 \$/m ²	\$ 174.528
Hormigón	1814,74	210,04	756,1 m ³	148,0 \$/m ³	\$ 111.909
Malla	14,86	1,7	8640 m ²	4,0 \$/m ²	\$ 34.560
Conectores	6,33	0,0007	37230 U	0,4 \$/U	\$ 14.892
PRM	892,23	103,27	8640 m ²	2,5 \$/kgf	\$ 2.230.575
PAC	590,43	68,34	8640 m ²	2,5 \$/kgf	\$ 1.476.065

Tabla 140: Detalle total de costos

8 CONCLUSIONES

El presente trabajo de titulación se enfocó en comparar dos tipos de sistemas estructurales Pórticos Especiales Resistente a Momentos (PRM) y Pórticos Arriostrados Concéntricamente (PAC), ambos diseñados con la norma NEC-15 la cual se basa en la normativa ANSI/AISC 360-16 para el diseño de los miembros estructurales sometidos a diferentes tipos de esfuerzo, la normativa ANSI/AISC 341-16 para diseñar las conexiones de Viga Columna que forman parte del sistema sismorresistente y la normativa ANSI/AISC 358-16 que considera el comportamiento de secciones sometidas a ciclos de carga que corresponde a efectos provocados en eventos sísmicos.

El Sistema estructural de toda edificación está conformado por el sistema a gravedad que está compuesto por las losas y viguetas y el sistema sismorresistente que está compuesto por las vigas y columnas, dependiendo del sistema sismorresistente usado podemos concluir lo siguiente en cuanto a sistema estructural se refiere:

- El proceso de diseño para los PRM consiste en un proceso iterativo que está en función de una aceleración obtenida del espectro de diseño para definir miembros estructurales en los pórticos que conforman el sistema sismorresistente de tal manera que alcance la rigidez necesaria para generar derivas menores al 2.0 %.
- El Proceso de diseño para los PAC consiste en un proceso iterativo que está en función de la distribución de fuerzas horizontales en cada piso donde las riostras deben proporcionar la rigidez necesaria para generar derivas menores al 2.0%
- Las riostras desarrollan su capacidad máxima de esfuerzo y entregan sus cargas a las vigas y columnas adyacentes de manera acumulativa desde el nivel de techo hasta llegar la base.

En cuanto a la rigidez de cada sistema estructural podemos concluir que:

- Tomando en cuenta que ambas estructuras satisfacen la deriva máxima de 2.0 % podemos observar que el sistema estructural que se utiliza en los PAC llega a ser más rígidos que los PRM como se observa en la ilustración de Derivas sentido X.
- El comportamiento en derivas que presentan los PRM son más uniformes que los presentados por los PAC, esto debido a que en los PRM existe una rotación progresiva en las columnas adyacentes de forma vertical, en cambio en los PAC la deriva se da por la tensión y compresión en las riostras, liberando los extremos de las columnas para resistir momentos.
- El salto que se observa en los PAC se debe a la variación de orientación de las riostras en cada pódico, ya que se alterna entre Riostras ubicadas en V invertidas y en V desde la base hacia arriba respectivamente. Los saltos más grandes se dan debido a que existe un cambio de sección entre las riostras de un piso y el siguiente.
- Otra razón por la cuales existen saltos en las derivas de los PAC es que parte de la carga lateral que es resistidas por las riostras es también resistida axialmente por las vigas que están dentro de los Pódicos del Sistema Sismo Resistente.

Resultado del análisis y diseño de los diferentes sistemas estructurales podemos concluir lo siguiente en referencia al peso de la estructura:

- El sistema estructural más liviano sin considerar el peso de la losa es el PAC (solo considerando vigas, columnas y riostras) con un peso de 68 kgf/m² en comparación de 103 kgf/m² con una diferencia de 33.4%.
- El sistema estructural más liviano entre los PRM y PAC es el PAC con un peso por área de 288 kgf/m² en comparación de 323 kgf/m² correspondiente al PRM con una diferencia de 10.9%.

- El alto peso de la estructura con sistema de los PRM es debido al número de pisos de la estructura, pues típicamente el peso de edificaciones con PRM menores a 5 pisos es de menos de 80 kgf/m². En este sentido podemos comparar al edificio con demanda sísmica lateral como una viga en voladizo con carga a gravedad en su centro de masas, los esfuerzos de flexión se calculan en función a la longitud de la viga lo que provocará mayor momento en su apoyo empotrado, de igual manera en el edificio los esfuerzos en los miembros estructurales que más se acerquen a la base necesitarán ser más robustos, eso sin tomar en cuenta que los desplazamientos están en función de la longitud con un exponente de 4.

El costo de la estructura se calculó en base a los resultados obtenidos de cantidad de materiales y precios unitarios proporcionado por juicio de expertos, de este cálculo podemos concluir lo siguiente:

- El costo del sistema estructural con PAC es de 210 \$/m² mientras que el sistema estructural PRM es de 297 \$/m² obtenido un ahorro de alrededor del 30% para los PAC.

Si nos referimos a la disponibilidad de los perfiles requeridos para nuestras edificaciones podemos decir:

- Los dos sistemas, tanto PRM como PAC conformados por perfiles W y HSS están disponibles para su construcción e instalación en nuestro medio pues son relativamente fáciles de adquirir, pero con un catálogo reducido.
- Si se quiere armar una sección no comercial se lo puede hacer siempre y cuando se pueda garantizar que las secciones armadas estén soldadas de manera uniforme por medio de soldadura continua de filete entre los elementos que la componen y no se creen imperfecciones en el proceso como esfuerzos residuales y fallos de

alineamiento de los elementos que conforman el miembro estructural. Para evitar esto se recomienda realizar este proceso en un taller correctamente equipado y controlado.

De la constructibilidad de los sistemas estructurales podemos concluir que:

- Para la conexión de las vigas a las columnas del sistema sismorresistente del sistema PRM es indispensable garantizar que los miembros estén conectados con soldadura de penetración completa tanto en el alma como en las alas, evitando colocar placa de soporte en la base de la viga, pues varios estudios han demostrado que en eventos sísmicos como los de Kobe 1995 esta placa provocó fisuraciones en la zona de soldadura de la placa de soporte con la columna.
- El sistema más fácil de construir es el de PAC pues básicamente todas las conexiones que no formen parte del sistema sismo resistente de Viga-Columna son a corte.
- En el caso de los PAC las riostras se colocan al final de la etapa constructiva, mientras que los PRM con conexión WUF-W requieren de detalles en campo que toman un poco más de tiempo.

Finalmente podemos concluir que si comparamos los sistemas estructurales podemos encontrar las siguientes ventajas de un sistema por encima del otro:

- La única razón por la que los PAC no pueden ser considerados para utilizarlos como sistema sismo resistente es que interfiera con el diseño arquitectónico, de otra manera son la mejor opción costo beneficio.
- Una de las principales ventajas del sistema con PAC es que por el principio de ductilidad y por las condiciones de apoyo en las conexiones en un evento sísmico severo si existiera daño en las riostras estas pueden ser reemplazadas rápida y fácilmente en comparación al sistema con PRM que requiere de estructuras

temporales adicionales para poder reforzar o reemplazar las vigas que son los miembros estructurales destinados a formar rotulas plásticas.

9 BIBLIOGRAFÍA

American Institute of Steel Construction. (2016). *ANSI/AISC 341-16 - Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago: American National Standard.

American Institute of Steel Construction. (2016). *ANSI/AISC 358-16 - Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, including Supplements No. 1 and No. 2*. S/N: American National Standard.

American Institute of Steel Construction. (2016). *ANSI/AISC 360-16 - Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago: American National Standard.

American Society Civil Engineers. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. Obtenido de ASCE 7-16.

Bruneau, M., Uang, C.-M., & Sabelli, R. (2011). *Ductile Design of Steel Structures*. Varias Ciudades: McGraw Hill.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (Enero de 2015). *Estructuras de Acero*. Obtenido de NEC-SE-AC: https://cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_AC_Estructuras_de_Acero.pdf

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (Enero de 2015). *Peligro Sísmico*. Obtenido de NEC-SE-DS: http://www.cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_DS_Peligro_Sismico.pdf

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (enero de 2016). *Cargas No Sísmicas*. Obtenido de NEC-SE-CG: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-CG-Cargas-Sísmicas.pdf>

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (Septiembre de 2016). *Guía de Diseño 3*. Obtenido de Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-3-ACERO.pdf>

Quinapallo, O. D. (2020). *Cuaderno de Apuntes Maestría en Ingeniería Civil*. Quito.

Recopilacion. (s.f.). *Fggweb*. Obtenido de Composite Beams: <http://fgg-web.fgg.unl.edu/~pmoze/ESDEP/master/wg10/toc.htm>

Structural Engineers Association of California (SEAOC). (2018). *2018 IBC SEAOC STRUCTURAL SEISMIC DESIGN MANUAL VOLUME 4 EXAMPLES* (Vol. 4). Sacramento: International Code Council. Obtenido de www.seaoc.org