

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POST GRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE EDIFICIOS CON SISTEMAS
ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO: DUALES VERSUS
DIAGRID”**

TESIS

Presentado por:

Br. José Luis Núñez Herrera

Asesor:

Mag. José Alberto Acero Martínez

Para obtener el Grado Académico de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

TACNA - PERÚ

2018

AGRADECIMIENTOS

A los Profesores del Posgrado en Ingeniería Civil con mención en estructuras de la Universidad Privada de Tacna por su generosa dedicación y contribución a la formación académica y que con su ejemplo aprendemos cada día a amar más la investigación.

A mis padres, Jesús Cuadros Weiss y Lucia Herrera de Cuadros, por enseñarme con el ejemplo el valor del esfuerzo y la dedicación para la superación.

A mi esposa María Rivera Begazo por su amor, paciencia y comprensión durante el tiempo de estudio del posgrado, por sus detalles para conmigo que hacen de mi vida algo especial, por soportar mis interminables e inevitables pláticas de ingeniería y quitarles el tiempo que podríamos disfrutar en familia.

A mis hijos: Viviana, José Luis y Lara Lucia, quienes son la motivación y la esperanza de un futuro prometedor.

A mis amigos que son leales durante muchos años y los que recientemente se están adhiriendo durante esta nueva etapa de la vida.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme continuar por el camino de la vida y la oportunidad de estudiar y concluir la maestría en ingeniería civil.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento	iii
Dedicatoria	iv
Índice de contenido	v
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	xii
Resumen	xv
Abstract	xvii

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema	4
1.2 Formulación del Problema	4
1.3 Justificación de la Investigación	5
1.4 Objetivos de la Investigación	6
1.5 Conceptos Básicos	6
1.6 Antecedentes de la Investigación	8

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO CIENTÍFICO

2.1 Antecedentes del Estudio	9
2.2 Metodología del diseño estructural con software	17
2.3 Discretización del Sistema Diagrid	23

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Hipótesis	32
3.2 Variables	33
3.3 Tipo de Investigación	34
3.4 Diseño de la Investigación	34
3.5 Ámbito de Estudio	35
3.6 Técnicas e Instrumentos	36

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA METODOLOGICA

4.1 Descripción general del sistema Diagrid	37
4.1.1. Materiales de construcción	40
4.1.2. Tubos de acero rellenos con concreto	42
4.1.3. Proceso evolutivo del sistema Diagrid	45
4.2 Diseño sísmico basado en RNE. E-030-2016	
4.2.1. Información Básica para el Diseño sismo resistente	55
4.3 Definición del Modelo	61

CAPÍTULO V

5. APLICACIÓN DE LA PROPUESTA

5.1 ANALISIS DEL SISTEMA CONVENCIONAL (ORTOGONAL)	
5.1.1. Periodo Natural por análisis modal	67
5.1.2. Cortantes estáticos, Peso de la estructura	69
5.1.3 Desplazamientos y Derivas de Piso	73
5.1.4 Fuerzas cortantes y Momentos flectores	77
5.1.5 Cantidad de acero de refuerzo y volumen de concreto	82

5.2 ANALISIS DEL SISTEMA DIAGRID TIPO A	
5.2.1. Dimensionamiento de los elementos diagonales	89
5.2.2. Periodo Natural por análisis modal	92
5.2.3. Cortantes estáticos, Peso de la estructura	94
5.2.4. Desplazamientos y Derivas de Piso	97
5.2.5. Fuerzas cortantes, Momentos flectores y fuerzas axiales	101
5.2.6. Cantidad de acero de refuerzo y volumen de concreto	103
5.3 ANALISIS DEL SISTEMA DIAGRID TIPO B	
5.3.1. Dimensionamiento de los elementos diagonales	108
5.3.2. Periodo Natural por análisis modal	111
5.3.3. Cortantes estáticos, Peso de la estructura	114
5.3.4. Desplazamientos, Derivas y aceleración	116
5.3.5. Fuerzas cortantes, Momentos flectores y fuerzas axiales	120
5.3.6. Cantidad de acero de refuerzo y volumen de concreto	121
CAPITULO VI	
6. COMPARACION ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL (ORTOGONAL) Y EL DIAGRID DE CONCRETO ARMADO.	
6.1 Fuerzas internas; Cortantes y Momentos flectores	126
6.2 Sobre el Costo de la Edificación	126
6.3 Eficiencia Estructural	128
6.3.1. Periodos Naturales y formas de modo	128
6.3.2. Desplazamientos	131
6.3.3. Máxima Deriva	133
CAPÍTULO VII	
7.1 Conclusiones	135
7.2 Recomendaciones	137

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	138
ANEXOS:	141
INFLUENCIA DE LA ESBELTEZ EN EL SISTEMA DIAGRID	141
DIAGRAMA DE FLUJO – SISTEMA DIAGRID	152

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 2.1: Modelos A y B, sin arriostramiento	12
Figura 2.2: Modelo “C”, con arriostramiento	13
Figura 2.3: Modelo “D” Sistemas con Riostra en K	13
Figura 2.5 DF. simulación (MBS) basada en modelos por computadora	18
Figura 2.6 Curva elástica de un elemento	21
Figura 2.7 Rigidez de los elementos	22
Figura 2.8 Módulo de estructura de Diagrid de seis pisos	24
Figura 2.9 Equilibrio de fuerzas y compatibilidad de deformaciones.	26
Figura 2.10 Discretización de un Diagrid, como una viga en voladizo	28
Figura 2.11 Discretización con cuatro diferentes inclinaciones.	28
Figura 2.12: Desplazamiento lateral de la estructura idealizada.	29
Figura 2.13: Variación de las Fuerzas axiales cuatro inclinaciones	29
Figura 2.14: Variación de las Fuerzas cortantes cuatro inclinaciones	30
Figura 2.15 Resumen: Influencia del ángulo Axiales y Cortantes	31
 CAPITULO IV	
Figura 4.1: Flujo de cargas axiales para estructuras Diagrid	38

Figura 4.2: Módulo típico de Diagrid (Moon et al.)	39
Figura 4.3: Tipos de arriostramiento (Prof. Sandro Maino)	40
Figura 4.4: Nudos (nodos) de acero en el sistema Diagrid	41
Figura 4.5: Tubos de acero llenos de concreto	43
Figura 4.6: algunos edificios Diagrid de concreto	47
Figura 4.7: dos edificios Diagrid altos	48
Figura 4.8: Edificio 0-14 Dubái, Diagrid tipo cortina de concreto	49
Figura 4.9: Edificios Diagrid con materiales mixtos.	50
Figura 4.10: Edificio Yellow Building (concreto armado)	51
Figura 4.11: Proceso constructivo del Edificio Yellow Building	52
Figura 4.12: Edificios Diagrid que desafían la gravedad	53
Figura 4.13: Techno sphere	54
Figura 4.14: Zonas sísmicas	56
Figura 4.15: Vista en 3D del Sistema estructural convencional	61
Figura 4.16: Modulación para el Diagrid tipo A	62
Figura 4.17: Modulación para el Diagrid tipo B	62

CAPITULO V

Figura 5.1: Estructuración de la Planta típica	64
Figura 5.2: Datos tabulados de la función espectral	66

Figura 5.3: Gráfico de la función espectral	67
Figura 5.4: Modos de Traslación y rotación de la estructura	68
Figura 5.5: Desplazamiento por sismo estático en X en la elevación 1	73
Figura 5.6: Grafica de la deriva en el sentido X	75
Figura 5.7: Grafica de la deriva en el sentido Y	76
Figura 5.8: Fuerzas cortantes en el eje B, sismo de diseño sentido Y	77
Figura 5.9: Momentos flectores en el eje 2, sismo de diseño X	78
Figura 5.10: Fuerzas axiales eje B, sismo de diseño en Y.	79
Figura 5.11: Fuerzas axiales eje B por acción de las cargas verticales	80
Figura 5.12: Planta típica de la estructura convencional	82
Figura 5.13: Área de refuerzo longitudinal en los muros M1 y M2	83
Figura 5.14: Área de refuerzo longitudinal en los muros M4	84
Figura 5.15: Área de refuerzo longitudinal en Vigas (5to Nivel)	85
Figura 5.16: Estructuración Planta Típica, Diagrid Modelo A	86
Figura 5.17: Elevación 1, 3, 4, 6.	87
Figura 5.18: Elevación A, D, G.	87
Figura 5.19: Vista en 3D, Estructuración del Sistema Diagrid	88
Figura 5.20: Fuerzas axiales, máxima de tracción	91
Figura 5.21: Fuerzas axiales, máxima de compresión	91
Figura 5.22: Fuerzas axiales máxima compresión para el sismo en Y	92
Figura 5.23: Modo2: traslación en el sentido X, Diagrid Modelo A	93

Figura 5.24: Modo1: traslación en el sentido Y, Diagrid Modelo A	93
Figura 5.25: Modo3 - rotación de la estructura Diagrid Modelo A	94
Figuras 5.26: Desplazamiento por sismo estático en X	97
Figura 5.28: Derivas en el sentido X	99
Figura 5.29: Derivas en el sentido Y	100
Figura 5.30: Fuerzas cortantes en el eje A por el sismo de diseño SDY	101
Figura 5.32: Momentos flectores en el eje A con la envolvente de cargas	102
Figura 5.33: Estructuración Planta Típica del Sistema Diagrid Modelo B	105
Figura 5.34: Elevación 1,3,4,6. Modelo B	107
Figura 5.35: Elevación. Modelo B	107
Figura 5.36: Vista 3D (Ejes 1, 3, 4, 6), con modulación cada 04 pisos	107
Figura 5.37: Vista En 3D, Diagrid con pórtico central	108
Figura 5.38: Fuerzas axiales, máxima tracción para el sismo en X	110
Figura 5.39: Fuerzas axiales, máxima compresión para el sismo en X	110
Figura 5.40: Fuerzas axiales, máxima tracción para el sismo en Y	111
Figura 5.41: Modo2: traslación en el sentido X	112
Figura 5.42: Modo1: traslación en el sentido Y	112
Figura 5.43: Modo3: rotación, esta se da en el modo 3	113
Figura 5.44: Desplazamiento por sismo estático en X en la elevación 1	116
Figura 5.45: Derivas en el sentido X	118
Figura 5.46: Derivas en el sentido Y	119

Figura 5.47: Fuerzas cortantes en el eje A por el sismo de diseño	120
Figura 5.48: Momentos flectores en el eje 1 con el sismo de diseño X	121
Figura 6.1: Fuerzas internas en los muros y diagonales	124
Figura 6.2: Comparación del Peso y cantidad de concreto	125
Figura 6.3: Comparación de la cantidad de acero de refuerzo	126
Figura 6.4: Modos y Periodos en orden de las formas de modo	128
Figura 6.5: Desplazamiento en todos los niveles, en el sentido X	129
Figura 6.6: Desplazamiento en todos los niveles, en el sentido Y	130
Figura 6.7: Comparación de las Derivas en el sentido X.	131
Figura 6.8: Comparación de las Derivas en el sentido Y.	131

INDICE DE TABLAS

	PAG
Tabla 1: Factor de Suelo	42
Tabla 2: Periodos del Suelo	42
Tabla 3: Categoría de las Edificaciones	44
Tabla 4: Límites de la deriva	45
Tabla 5: Características de los patrones de carga	50
Tabla 6: Parámetros para la definición de la función espectral	50
Tabla 7: modos versus periodos de vibración	53
Tabla 8: Masa y Peso de la estructura	55
Tabla 9: Cortante estático calculado con el Programa Etabs	55
Tabla 10: Peso Propio de los elementos estructurales	56
Tabla 11: Sismo dinámico	56
Tabla 12: Factor de escalamiento	57
Tabla 13: Cortantes con el sismo de diseño.	58
Tabla 14: Desplazamientos en el sentido X.	59
Tabla 15: Desplazamientos en el sentido Y.	59
Tabla 16: Derivas por piso aplicando el sismo estático	59
Tabla 17: Derivas por piso aplicando el sismo estático	60
Tabla 18: Cuadro de Fuerzas cortantes en el 1er. Nivel.	62

Tabla 19: Cuadro de Momentos flectores en el 1er Nivel.	63
Tabla 20: Cuadro de Fuerzas axiales en el 1er. Nivel	65
Tabla 21: Cuadro Resumen de metrados de acero	69
Tabla 22: Volumen de concreto	69
Tabla 23: Máximos esfuerzo de tracción en las diagonales	73
Tabla 24: Máximos esfuerzo de compresión en las diagonales	73
Tabla 25: modos versus periodos de vibración	76
Tabla 26: Masa y Peso de la estructura	78
Tabla 27: Cortante estático calculado con el Programa Etabs.	79
Tabla 28: Peso Propio de los elementos estructurales	79
Tabla 29: Cortante Dinámico calculado con el Programa Etabs	79
Tabla 30: Factor de escalamiento	80
Tabla 31: Cortantes con el sismo de diseño.	80
Tabla 32: Desplazamientos en el sentido X.	81
Tabla 33: Desplazamientos en el sentido Y.	82
Tabla 34: Derivas por piso aplicando el sismo estático X	82
Tabla 35: Derivas por piso aplicando el sismo estático Y	84
Tabla 36: Cuadro Resumen de metrado de acero	87
Tabla 37: Metrado de concreto armado	88
Tabla 38: Máximos esfuerzo de tracción en las diagonales	92
Tabla 39: Máximos esfuerzo de compresión en las diagonales	93

Tabla 40: Modos y Periodos de Vibración	95
Tabla 41: Masa y Peso de la estructura	97
Tabla 42: Cortante estático calculado con el Programa Etabs.	97
Tabla 43: Peso Propio de los elementos estructurales	98
Tabla 44: Cortante Dinámico calculado con el Programa Etabs	98
Tabla 45: Factor de escalamiento	98
Tabla 46: Cortantes con el sismo de diseño	99
Tabla 47: Desplazamientos en el sentido X	100
Tabla 48: Desplazamientos en el sentido Y	100
Tabla 49: Derivas por piso aplicando el sismo estático:	101
Tabla 50: Derivas por piso aplicando el sismo estático Y:	102
Tabla 51: Cuadro Resumen de metrado de acero	105
Tabla 52: Metrado de concreto armado	106
Tabla 53: Periodos Naturales	110
Tabla 54: Formas de Modo	110
Tabla 55: Periodo para las formas de modo	111
Tabla 56: Desplazamiento para el sismo en X	112
Tabla 57: Desplazamientos en sentido Y	113

RESUMEN

En la búsqueda de sistemas estructurales que no tengan tantas limitaciones como los sistemas tradicionales, damos una vista a los países desarrollados que se encuentra en Asia, Europa y América del Norte y vemos como emergen formas a veces aerodinámicas, otras que desafían la gravedad y en casi todos los casos con fachadas sin obstrucciones a la vista, este innovador sistema se denomina “Diagrid”. Según Sepideh Korsavi et al. Del año 2000 al 2016 se ha incrementado en 5.5 veces la cantidad de estructura Diagrid en el mundo, esta popularidad no solo se debe a sus atractivas formas, espacios abiertos, ahorro energético con mayor luz natural, sino también por su eficiencia estructural. Muchos trabajos de investigación han demostrado las ventajas del sistema Diagrid de acero versus el sistema convencional, pero existen muy pocos estudios del sistema Diagrid de concreto, esto es concordante con la cantidad de edificaciones existentes donde el 84% de los edificios altos son de Diagrid de acero y el 16% de edificios de menor altura son de Diagrid de concreto armado. El sistema Diagrid se caracteriza por que sus elementos diagonales trabajan a tracción y compresión para absorber tanto las fuerzas laterales de sismo y/o viento como las cargas gravitatorias. En el sistema convencional los elementos verticales trabajan a flexo compresión y las fuerzas de sismo son asumidas por las fuerzas cortantes.

Con la finalidad de investigar el comportamiento sísmico, de las estructuras Diagrid de concreto, para ello se plantea 03 modelos de edificios de 06 niveles con una planta típica de 30 m x 37.5m ubicado en una zona de alta sismicidad en el Perú, se ha realizado un análisis comparativo entre dos sistemas estructurales por un lado el Sistema Convencional u ortogonal y por el otro el sistema de Diagrid de Concreto armado, para este último se analizarán dos tipologías o modelos que denominaremos tipo A y tipo B, cuya modulación será cada 02 y 04 pisos respectivamente. Los tres modelos tendrán las mismas características; área techada, dimensiones en planta y elevación, materiales de construcción y solicitaciones de cargas, de ubicación geográfica, tipo de suelo, uso e importancia, Coeficiente Básico de Reducción de la Fuerza Sísmica (R_o), estas características generan los factores que están normados por la E.030.2016 que define el procedimiento para el análisis sísmico. En esta Investigación se ha demostrado que de los Edificios estudiado (03 modelos) los que son con el Sistema estructural Diagrid de concreto armado (Diagrid tipo A y Diagrid tipo B) son más eficiente que el Sistema convencional (pórticos con muros estructurales), El peso de la estructura redonda en menores costos y menores demandas de estructuras de cimentación de los tres modelos, el más liviano es el Sistema Diagrid tipo B, ambos sistemas Diagrid son el 30% más livianos que el sistema convencional, La cantidad de acero necesaria para las diagonales de los sistemas Diagrid tipo A es 29% menos que el acero longitudinal necesarios para los muros estructurales del sistema convencional, mientras que Diagrid tipo B, requiere 40% menos que el sistema convencional.

Palabras clave: Diagrid, Sistema convencional, zona de alta sismicidad, Coeficiente básico de Reducción de la fuerza sísmica.

ABSTRACT

In the search for structural systems that do not have as many limitations as traditional systems, we give a view to the developed countries that are in Asia, Europe and North America and we see how sometimes emerge aerodynamic some forms, others that defy gravity and in almost all of the cases with facades without obstructions in sight, this innovative system is called “Diagrid”. According to Sepideh Korsavi from 2000 to 2016 the amount of Diagrid structure has increased by 5.5 times in the world, this popularity is not only due to its attractive shapes, open spaces, energy saving with more natural light, but also due to its structural efficiency , A lot of research projects have shown the advantages of the Diagrid steel system versus the conventional system, but there are very few studies of the Diagrid concrete system, this is in agreement with the amount of existing buildings where 84% of the tall buildings are from Diagrid of steel and 16% of buildings of smaller height are of Diagrid of reinforced concrete. The Diagrid system is characterized due its diagonal elements that work to traction and compression to absorb both the lateral forces of earthquake and / or wind and gravitational loads. In the conventional system the vertical elements work at flexo compression and the earthquake forces are assumed by the shear forces.

In order to investigate the seismic behavior of the concrete Diagrid structures, for this purpose, 03 models of buildings of 06 levels with a typical plant of 30m x 37.5m located in an area of high seismicity in Peru, have been proposed. A comparative analysis between two structural systems on the one hand the conventional or orthogonal system and on the other the Diagrid system of reinforced concrete, for the last one two typologies or models that we will call type A and type B, whose modulation will be every 02 and 04 floors respectively. The three models

will have the same characteristics covered area, dimensions in plant and elevation, construction materials and loading loads, geographical location, soil type, use and importance, Basic Coefficient of Reduction of the Seismic Force (R_o), these characteristics generate the factors that are regulated by the E.030.2016 that defines the procedure for the seismic analysis. In this investigation it has been demonstrated of the buildings studied (03 models) those with the structural Diagrid system of reinforced concrete (Diagrid type A and Diagrid type B) are more efficient than the conventional system (frames with structural walls), the weight of the structure results in minor costs and lower demands of foundation structures of the three models, the lightest is the Diagrid type B system, both diagrid systems are 30% lighter than the conventional system, the amount of steel needed for the diagonals of diagrid type systems A is 29% less than the longitudinal steel required for the structural walls of the conventional system, while diagrid type B, requires 40% less than the conventional system.

Keywords: Conventional system, High seismicity zone, Basic coefficient of reduction of the seismic force.

INTRODUCCION

Desde el año 2000 se aprecia una clara tendencia a preferir las estructuras Diagrid en los países desarrollados por haber demostrado ser más eficientes estructuralmente, con elegancia arquitectónica y altamente adaptables a una amplia gama de formas en edificios (rectangulares, circulares, esferas, semiesferas, cilíndricas, formas combinadas, etc.).

El término “Diagrid” es una mezcla de las palabras “diagonal” y “grid” (cuadrícula) y se refiere a un sistema estructural que se basa en una cuadrícula en elevación con ángulos diversos (no ortogonales) y gana su integridad estructural mediante el uso de la triangulación. Los sistemas de Diagrid pueden ser planos, cristalinos o adoptar múltiples curvaturas; a menudo usan formas curvas para aumentar su rigidez. Las razones por las que el sistema Diagrid es más eficiente, son:

- Aumento de la estabilidad debido a la triangulación, utilizando elementos diagonales que se cruzan en lugar de las columnas verticales convencionales como sistemas de soporte estructural.
- Combinación de las cargas de gravedad y carga lateral, potencialmente proporcionando más eficacia estructural.
- El flujo de las cargas axiales por diferentes rutas genera redundancia, lo que da mayor seguridad evitando fallas estructurales globales.
- El reducido peso de la superestructura de Diagrid de acero, se traduce en una menor carga en las fundaciones.

Los edificios esbeltos o de gran altura se diseñan y construyen con sistemas Diagrid de acero o con materiales combinados como los tubos de acero con rellenos de concreto. No existen edificios esbeltos de Diagrid de concreto armado, la razón

de esto se debe, a la limitada capacidad de concreto para soportar esfuerzos de tracción, por lo que el ratio o esbeltez de la edificación se puede establecer como la relación altura/dimensión en planta del edificio, menor a uno. Como ejemplo se tiene el edificio Yellow Building, diseñado por Ingenieros estructurales: Adams Kara Taylor y construido en Londres, Reino Unido, diseñado por Allford Hall Monaghan Morris, concluido el año 2008 con 15 000 m² techados y tiene de ratio 0.62 ya que tiene 28m altura y 45 m en planta.

El propósito de este trabajo es investigar el comportamiento sísmico de las estructuras de Diagrid utilizando concreto armado y estructuras tradicionales (ortogonales); En primer lugar, se presentará una introducción y una descripción general del sistema estructural Diagrid. A continuación, se presentará y se explicará el enfoque de diseño sísmico se hace utilizando el reglamento nacional de edificaciones vigente, la norma E.030.2016 y se incluirá una revisión de la literatura de las investigaciones completas sobre el rendimiento sísmico de Diagrids. A continuación, se tomarán en cuenta los modelos estructurales Diagrid con dos tipos de modulaciones, centrándose en la comparación del comportamiento sísmico para el mismo material, solicitudes arquitectónicas y estructurales.

Para tener una comprensión más completa de las diferencias de las repuestas ante un mismo sismo de los tres prototipos, el estudio de comparación asumirá que están sometidos a la misma fuerza sísmica con un coeficiente de reducción de la fuerza sísmica de 7. Teniendo en cuenta que la norma E.30.2016 no existe el sistema arriostrado de concreto, por lo que este se deberá asumir que la rigidez y ductilidad encuentra en un punto intermedio entre los pórticos de concreto armado y los de muros estructurales.

Los pocos edificios de Diagrid de concreto armado que existen, para lograr su rentabilidad frente a otras estructuras tradicionales, han usado elementos de concreto postesado en las diagonales y losas, con esto dieron solución a la falta de

capacidad de tracción del concreto, por consiguiente, se tiene edificios Diagrid de concreto económicos con un ahorro de concreto y acero.

El software usado para el modelamiento y análisis de la estructura ha sido el Etabs 2016 ultimate y la metodología para el análisis comparativo se realizó con las siguientes variables: Peso de la estructura, Periodos naturales, formas de modo, máxima deriva y máxima desplazamiento, fuerzas cortantes, fuerzas axiales, acero de refuerzo y volumen de concreto.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Se formula el problema general de la siguiente manera:

¿Qué sistema estructural de concreto armado es más eficiente ante efectos sísmicos los sistemas tradicionales o los Diagrid, con los siguientes parámetros: categoría C de nuestra norma, en la zona 4 y con el perfil de suelo tipo S2 (suelos intermedios)

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es la respuesta sísmica de edificios de seis pisos con el sistema Dual de concreto armado, con los parámetros, categoría C de nuestra norma, en la zona 4 y con el perfil de suelo tipo S2?

¿Cuál es la respuesta sísmica de edificios de seis pisos con el sistema Diagrid de concreto armado, con los parámetros, categoría C de nuestra norma, en la zona 4 y con el perfil de suelo tipo S2?

¿Cuál de los dos sistemas estructurales brinda una mejor respuesta sísmica en edificaciones de 6 niveles?

¿Cuál de los dos sistemas estructurales genera edificaciones más livianas, con menos acero de refuerzo y una transmisión de cargas al piso más uniformes?

1.3 Justificación de la Investigación

La Norma E.30 clasifica los sistemas estructurales de concreto armado en; Pórticos, Dual, de Muros estructurales y Muros de ductilidad limitada, sin embargo, los más usados son los Pórticos y los Duales. Es importante recalcar que los sistemas de Pórticos tienden a tener desplazamientos y derivas muy altas este aspecto sumado a la frecuente presencia de sismos en la costa peruana que ocasionan daños a los elementos estructurales y en algunos casos el colapso de la estructura por fatiga.

Las edificaciones en el Perú de más 06 pisos son en su gran mayoría diseñados con sistemas estructurales de concreto armado con el sistema Dual alcanzando la altura de hasta 200 metros (60 pisos); sin embargo, a mayor altura más grandes son las placas para rigidizar la estructura, conllevando a la disminución de las áreas aprovechables y la disminución de la transparencia de su perímetro y el incremento del costo de las estructuras.

La presente investigación pretende que se tome en cuenta la incorporación del sistema de concreto armado con el sistema Diagrid, en nuestro Reglamento Nacional de edificaciones ya que podría representar un aporte para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones. El buen desempeño de los sistemas estructurales Diagrid está demostrado en muchos países ante eventos sísmicos y de viento.

Se espera que los investigadores nacionales consideren este proyecto como un punto de partida, para seguir profundizando en el tema de contar edificaciones más eficientes.

El planteamiento y comportamiento estructural de los nuevos edificios debería poder satisfacer las formas complejas de planteamientos arquitectónicos que en muchos casos van cambiando su funcionalidad durante su vida útil.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

Objetivo General

Analizar comparativamente el comportamiento sismo resistente en edificios de 06 niveles, entre el sistema Dual y Diagrid de concreto armado con los parámetros, categoría C de nuestra norma, en la zona sísmica 4 y con el perfil de suelo tipo S2.

Objetivos Específicos:

Establecer la respuesta sísmica de edificios de seis pisos con el sistema Dual de concreto armado, con los parámetros, categoría C de nuestra norma, en la zona 4 y con el perfil de suelo tipo S2.

Establecer la respuesta sísmica de edificios de seis pisos con el sistema Diagrid de concreto armado, con los parámetros, categoría C de nuestra norma, en la zona 4 y con el perfil de suelo tipo S2.

Realizar una comparación de los dos sistemas estructurales y determinar cuál brinda una mejor respuesta sísmica en edificaciones de 6 niveles.

1.5 Conceptos Básicos

Es necesario precisar algunas definiciones de términos técnicos que se usan con frecuencia en el presente documento y son los siguientes.

Diagrid (fuente: Wikipedia)

Diagrid (acrónimo del inglés diagonal grid -rejilla en diagonal-) es el nombre (registrado) que se da un diseño estructural de ingeniería y arquitectura para construir grandes edificios con armazones de acero (u otro material con cualidades semejantes) basado en vigas y soportes ensamblados en forma triangular (o “diagonal”). El Diagrid también ha obviado el uso de grandes columnas

(principalmente las esquineras) y provee de una mejor distribución de la carga de fuerzas, particularmente útil en el caso de una construcción que deba soportar importantes solicitaciones.

Sistemas Estructurales (fuente: NTE E.030-2016)

Estructuras de Concreto Armado

Todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sísmo resistente deberán cumplir con lo previsto en el Capítulo 21 “Disposiciones especiales para el diseño sísmico” de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Pórticos. Por lo menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos. En caso se tengan muros estructurales, éstos deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.

Muros Estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base.

1.6 Antecedentes de la Investigación

Todos los documentos encontrados sobre el sistema estructural Diagrid, se encuentran en las referencias bibliográficas, sin embargo, para el sistema Diagrid de concreto armado existe muy poca investigación y pocos edificios ejecutados dentro de ellos podemos mencionar a los pioneros: el Atlas Building de 07 pisos con un área techada de 11,000 m² y el Yellow Building de 07 pisos con un área techada de 11,000 m².

En el Perú no se han publicado trabajos de investigación sobre estructuras tipo Diagrid de concreto, por eso el Reglamento nacional de edificaciones vigente, no ha normado este sistema estructural.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO CIENTIFICO

2.1 Antecedentes del Estudio

Para el desarrollo de la presente propuesta, se tuvo como base algunas investigaciones previas relacionadas al tema del presente proyecto, que fueron realizados por Investigadores en sus tesis de grado, postgrado, textos y/o artículos científicos. A continuación, se describe y comenta dichos trabajos:

2.1.1. **Sepideh Korsavi et al. 2014** en su investigación **“El proceso evolutivo de las estructuras Diagrid para Conceptos Arquitectónicos, estructurales y de sostenibilidad: revisión de casos de estudiados”** analiza 30 estructuras con el sistema Diagrid con sus características cuantitativas y cualitativas para encontrar su proceso evolutivo, La investigación de Korsavi tiene como objetivo descubrir el proceso evolutivo de las estructuras de Diagrid y sus progresos, que conduce a importantes avances en conceptos arquitectónicos, estructurales y de sostenibilidad. De hecho, estos avances recientes son investigados y tienen acogida de arquitectos e ingenieros.

Recientemente, el uso de diagonales perimetrales que resisten fuerzas laterales y transportan cargas gravitatorias simultáneamente sin columnas verticales ha aumentado significativamente y se conocen como “Diagrid”. Esta estructura se compone de módulos de diamante con miembros diagonales y proporciona una mayor rigidez lateral en comparación con las estructuras convencionales. Generalmente, estas estructuras han proporcionado el contexto para diseños más elegantes y estructuras más eficientes, haciéndolos tan populares entre arquitectos

e ingenieros. En consecuencia, estas estructuras han tenido avances significativos durante la última década, aunque se las considera como una tendencia totalmente nueva. Los resultados, basados en estudios de casos, muestran que estas estructuras han sido capaces de abordar la mayoría de los requisitos de diseño. También se han utilizado en diferentes proyectos con alturas, áreas y funciones totalmente diferentes, lo que sugiere que los módulos de diamante se pueden aplicar no solo para edificios altos sino también para una amplia gama de proyectos.

2.1.2. La Tesis de Maestría de **Mingze Sun et.al 2,007** del Instituto tecnológico de Massachusetts realiza un **Estudio Comparativo sobre el Desempeño Sísmico de Concreto y Acero Estructuras Diagrid**. El propósito de este trabajo es investigar el comportamiento sísmico y la respuesta dinámica del Diagrid estructuras de hormigón, con respecto a las estructuras de acero, Diagrid puros y otros sistemas estructurales.

En resumen, **Sun** afirma que, en los últimos años, Sistemas de Diagrid de concreto han sido más ampliamente utilizado en los diseños actuales de construcción Diagrid, especialmente en edificios de mediana altura. Mirando a través de toda la cartera de estructuras Diagrid completado, hay muy pocas estructuras de los edificios altos Diagrid ubicados en la zona donde las fuerzas sísmicas rigen el diseño lateral. Una investigación sobre el comportamiento sísmico de estructuras de Sistemas de Diagrid de concreto daría a la ingeniera una mejor comprensión de este tipo único de sistema estructural.

Su investigación comparativa sobre el comportamiento sísmico de hormigón Diagrid estructuras que comparan a las estructuras de Diagrid de acero plantea dos escenarios de la altura del edificio se consideraron para edificios de mediana altura, edificios de 8 pisos y edificios de gran altura de 60 pisos. Sun utilizó el análisis del espectro de respuesta para dos diferentes lugares del terremoto correspondientes al enfoque de diseño sísmico basado en código usando ASCE 7-10 (Código de construcción de los EEUU).

Las actuaciones sísmicas de ambos tipos de estructuras Diagrid se compararon también con momentos de 8 pisos edificios de estructuras y edificios de 60 pisos con estabilizadores. Comparando todos los modelos se observa que el Diagrid de acero tiene un mejor desempeño que el sistema Diagrid de concreto, en términos de período natural y el control de las principales derivas, mientras que los sistemas Diagrid de hormigón demostraron ser capaces de controlar mejor las máximas aceleraciones sísmica en los edificios.

En comparación con los sistemas constituido por Pórticos, tanto las estructuras de Diagrid de Concreto y Acero probaron ser más rígidas y más eficaces en las restricciones de las derivas, pero menos satisfactoria en la limitación de las máximas aceleraciones en comparación con las edificaciones con estabilizadores.

Desde la perspectiva de la máxima aceleración, Sun concluye que los modelos con Diagrid de concretos tuvieron una menor aceleración en comparación con Diagrid de acero, porque Diagrid de concreto tiene períodos naturales más grandes. Sin embargo, los sistemas Diagrid realizan con menos eficiencia el control de las aceleraciones que los otros dos sistemas, los estabilizadores y los pórticos se comportan de un modo de flexión y el sistema de Diagrid se manifiesta con movimientos traslacionales. Sun afirma que el sistema estructural Diagrid tiene el potencial de convertirse en el esquema más dominante en el futuro para el diseño de edificios de protección al medio ambiente.

2.1.3. La Tesis de Maestría de por Ing. Antonio María Merlano Rivera, 2008 de la Universidad del Norte, División del Ingeniería, realiza la investigación **“Alternativas de rigidización en edificios altos de concreto para la zona sísmica baja en la costa caribe Colombia”**. Compara el comportamiento por desplazamiento, derivas de pisos, modos de vibración, momento y cortante de los sistemas de pórticos y combinado; con y sin arriostramiento concéntrico de

concreto para edificios altos, para determinar cuál de los sistemas propuestos requiere la menor cantidad de material.

Arteta analizó 06 modelos de edificios para 40 y 60 pisos, llegándose a la conclusión que los pórticos arriostrados La Configurados tipo “V invertida”, tienen un mejor comportamiento para edificios altos, ante fuerzas sísmicas presentando menores desplazamientos, menores cortantes y momentos de volcamiento y requiere menores cantidades de materiales, que los otros modelos analizados.

Los modelos analizaron por Arteta, fueron los siguientes:

En la figura 2.1 se muestra los modelos A y B que son modelos sin arriostrar, A la izquierda se tiene el modelo “A” vista en planta, es un sistema a porticado. A la derecha el modelo “B” que es un sistema mixto pórticos adicionando muros de concreto armado en los ejes exteriores.

Modelos sin arriostramiento:

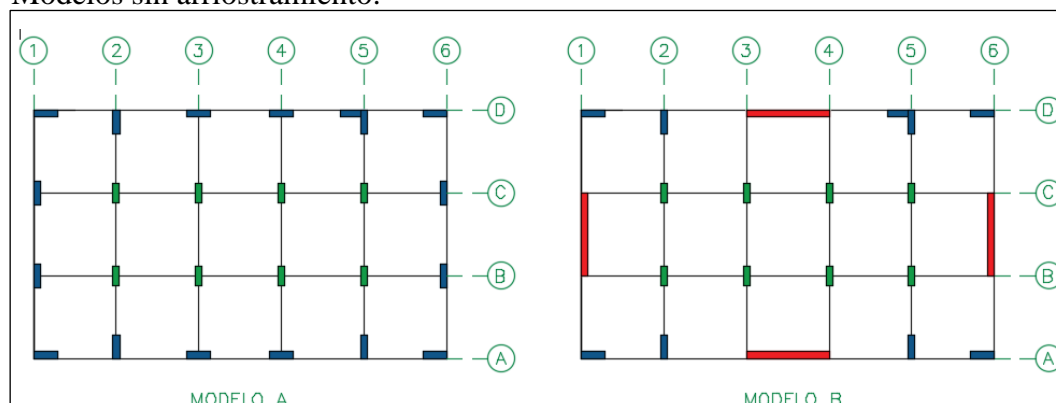


Figura 2.1: Modelos A y B sin arriostramiento, Fuente: Merlano Rivera, UN. 2008.

En la figura 2.2 se ilustra la vista en planta y elevación del modelo C, es un sistema a porticado que se ha rigidizado sus pórticos centrales exteriores, mediante arriostres diagonales entre los ejes 3 y 4 en el sentido X y B y C en el sentido Y.

Modelos arriostrados:

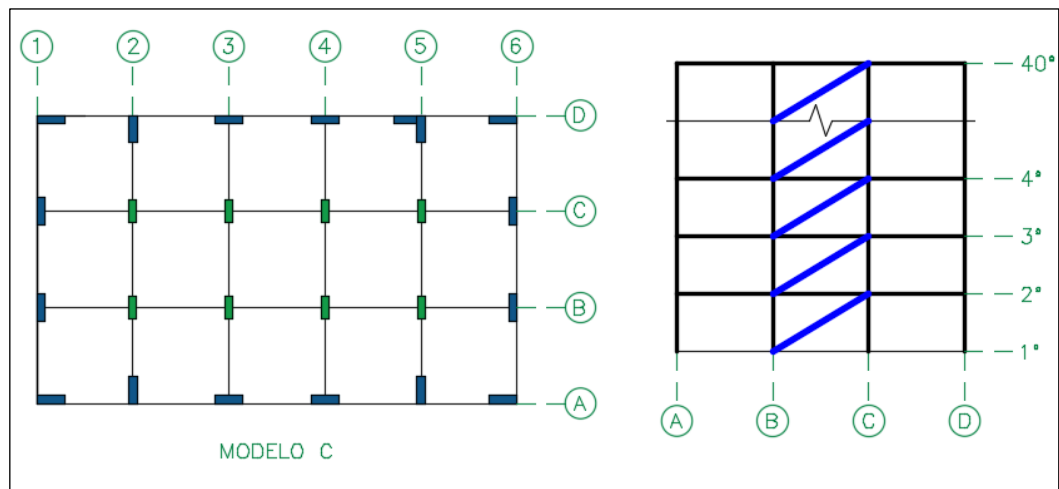


Figura 2.2: Modelo "C" con arriostramiento, Fuente: Merlano Rivera, UN.2008.

En la figura 2.3 muestra el modelo E con riostra en K., es un sistema a porticado que se ha rigidizado sus pórticos centrales exteriores, mediante arriostres diagonales tipo K entre los ejes 3 y 4 en el sentido X y B y C en el sentido Y.

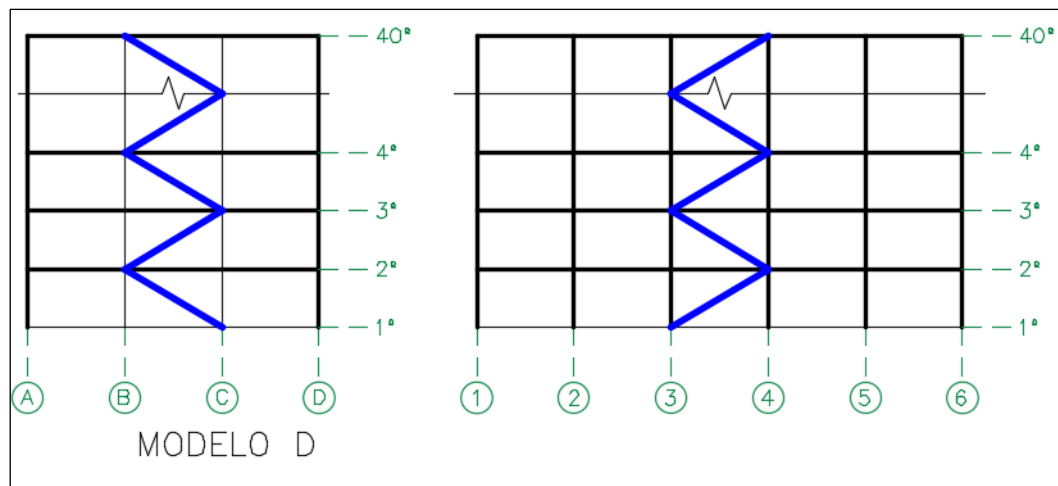


Figura 2.3: Modelo "D" Sistemas con Riostra en K, Fuente: Merlano Rivera, UN.2008.

En la figura 2.4 muestra el modelo "E" Sistemas con Riostra tipo "V invertida". Rigidizando los pórticos centrales con arrostramientos tipo "V" invertida, son las que mejor comportamiento presentó de todos los modelos analizados por Ing. Antonio María Merlano Rivera.

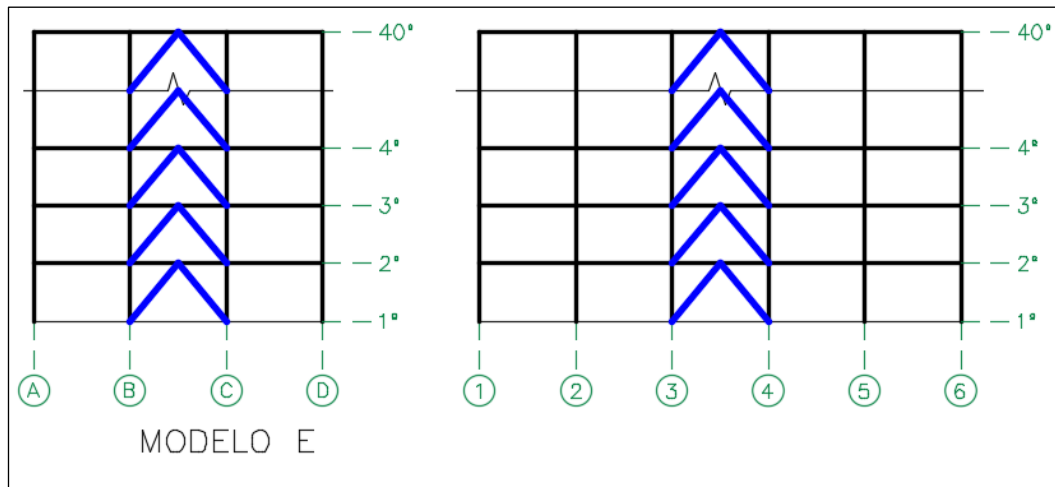


Figura 2.4: Modelo “E” Sistemas con Riostra tipo “V invertida”, Fuente: Merlano Rivera, UN.2008.

2.1.4. El documento de la Sociedad Mexicana de Ingeniería presentado por Arturo Quiroz et al. 2016, trata sobre la investigación “**Rejillas Rígidas en zonas de alta sismicidad: ventajas sismo resistentes y sustentables**”, con la finalidad de establecer que sistema tiene un mejor comportamiento sísmico y desempeño ambiental, el primer sistema es el tradicional a base de pórticos de concreto reforzado y secciones de acero estructural. La segunda estructura es un sistema de rejilla rígida y un sistema de pórticos flexibles de acero, dimensionado con el método de diseño basado en desplazamientos.

Quiroz y Terán afirman que el uso de rejillas rígidas se ha presentado como una solución para estructurar de manera eficiente edificios altos alrededor del mundo. Sin embargo, apenas nos hemos adentrado a su estudio como una solución sismo resistente, aunque se muestra como promisoría, aún es necesario observar de la misma forma, las ventajas que ésta es capaz de ofrecer en aspectos de sustentabilidad. Como ejemplo, el autor plantea un edificio con 24 niveles y aproximadamente 114 metros de altura, ubicado en la zona centro de la Ciudad de México, a partir del cual diseñamos otro, los conceptos de diseño basado en el control de desplazamientos y de rejillas rígidas perimetrales. Los resultados obtenidos por Quiroz y Terán como ventajas que aportaría el uso de sistemas

innovadores dentro de la práctica mexicana de diseño, y será de gran ayuda para dicho propósito y son los siguientes:

Respecto del comportamiento sísmico, la estructura tradicional a pesar de contar con una resistencia 34% superior y una rigidez 50% mayor respecto del sistema innovador, la primera presenta niveles mayores de daño, esto a pesar de mostrar valores de índice de deriva inferiores en promedio. Por otro lado, el sistema innovador a pesar de presentar menor uniformidad en la distribución de sus índices de deriva, los niveles de daño son menos relevantes, llegando a un estado de plastificación incipiente en alrededor del 8% de los elementos que componen la rejilla perimetral.

Desde el punto de vista sustentable, uno de los aspectos más importantes es reducir el uso de materiales que generen no solo contaminación durante su proceso de fabricación, sino el agotamiento de los recursos naturales no renovables, así como la relación que tiene con los sistemas de transporte para su distribución, debido a que, a mayor cantidad de material, más transporte de gran capacidad deberá utilizarse. Esto puede apreciarse con el sistema innovador, aportando en promedio un 46% del impacto ambiental que el sistema estructural tradicional demandaría del entorno natural, esto sin considerar aspectos de mantenimiento y operación a lo largo de su vida útil, como puede ser el proceso de reparación después de un evento sísmico, donde claramente el sistema estructural tradicional mostraría su mayor propensión a sufrir de un daño mayor y por ende, un consumo mayor de materiales para su rehabilitación. La propuesta presente es promisoriosa y necesaria.

Finalmente, es posible indicar que el uso de sistemas estructurales innovadores aplicados de forma razonada, aunado a la estimación rápida y responsable del impacto ambiental, y la utilización de materiales ambientalmente responsables en su producción y traslado, permitirá al campo de la ingeniería brindar a la sociedad niveles de seguridad equiparables a los actuales ante los efectos nocivos del fenómeno sísmico.

2.1.5. Rohit Kumar Singh, et al. 2014, Revista Internacional de Ciencia, Ingeniería y Tecnología “**Análisis y diseño de edificio de Diagrid concreto y su comparación con edificio convencional**” en el que se propone como objetivo principal investigar el comportamiento de los edificios, es decir, el Diagrid y el marco convencional, en la zona sísmica V. Para la comparación de dos edificios en la misma zona sísmica, se toma los mismos parámetros en ambos edificios, y para la evaluación si utilizan las siguientes variables: momento flector, fuerza cortante, fuerza axial, desplazamiento, deriva y también se compara el aspecto económico. Diagrid deja claro que la seguridad y el nivel mínimo de daño es el objetivo principal del diseño estructural.

Para Kumar indica que recientemente el sistema estructural de Diagrid ha sido ampliamente utilizado para edificios altos debido a la eficacia estructural y estética proporcionado por la configuración geométrica única del sistema. En general, para sistemas Diagrid de edificios altos se utilizan acero como estructura. En su investigación, la estructura Diagrid concreto es analizada y Comparada con un edificio de hormigón convencional. La resistencia a carga lateral de la estructura es proporcionada por el sistema estructural interior o exterior. Debido a elementos inclinados (diagonales) las cargas laterales son resistidas por acción axial, en la estructura de Diagrid, mientras que en el edificio convencional la flexión y el cortante en las columnas son los que absorben las cargas laterales (fuerzas de sismo).

Para su investigación Kumar analiza un edificio regular de cinco plantas de 15 m × 15 m de planta típica, ubicado en zona sísmica V, utiliza el Software STAAD Pro para el modelamiento y análisis de los elementos estructurales. Todos los elementos estructurales los diseña según la norma IS 456:2000 y combinaciones de carga de las fuerzas sísmicas se consideran según IS 1893 (Part.1): 2002. La Comparación de los resultados fue analizado por Kumar en términos de las variables ya antes indicadas. En la estructura del Diagrid, la mayor parte de la carga lateral es tomada por elementos diagonales, que a su vez liberan la carga vertical en

las columnas interiores. Esto hace que el diseño de estructura Diagrid sea económico en comparación con estructuras convencionales. En el edificio Diagrid analizado por Kumar la deriva es aproximadamente. La mitad a la obtenida en sistema convencional y la estructura de Diagrid, se tiene 33% menos de acero refuerzo.

2.2 Metodología del diseño estructural con Software

La mayoría de los programas utilizan el método de los desplazamientos, la Matriz de Rigidez y la metodología de los elementos finitos. La Matriz de rigidez que empezó a desarrollarse en 1930, pero solo pudo utilizarse con la aparición del Lenguaje de programación APL por la década de 1960 y teniendo en cuenta que la primera computadora comercial se inventó 1951 denominada UNIVAC I.

Los métodos clásicos de análisis estructural desarrollados a fines del siglo XIX, tienen las cualidades de la generalidad, simplicidad lógica y elegancia matemática. Desgraciadamente, conducían a menudo a cálculos muy laboriosos cuando se los aplicaba en casos prácticos, y en aquella época, esto era un gran defecto. Por esta razón sucesivas generaciones de ingenieros se dedicaron a tratar de reducir el conjunto de cálculos. Muchas técnicas ingeniosas de gran valor práctico fueron apareciendo (Método de Cross, Kani, takabeya, etc.), pero la mayoría de las mismas eran aplicable sólo a determinados tipos de estructuras.

La principal objeción a los primeros métodos de análisis fue que los mismos conducían a sistemas con un gran número de ecuaciones lineales, difíciles de resolver manualmente.

El análisis y Diseño estructural utilizando software especializado como el SAP2000, ETABS, SAFE, CSiBridge, Requieren los siguientes pasos generales para analizar y diseñar una estructura:

- Crear o modificar un modelo que define numéricamente los parámetros de geometría, propiedades, carga y análisis para la estructura.

- Realizar un análisis del modelo
- Revisar los resultados del análisis
- Verificar y optimizar el diseño de la estructura.

En la figura 2.5, ilustra el flujo de los pasos antes descritos y los bucles que se dan en la verificación y validación que debe realizar el diseñador en función al criterio, experiencia y cumplimiento de normas y códigos de diseño.

Este suele ser un proceso iterativo que puede implicar varios ciclos de la secuencia de pasos anterior. Todos estos pasos se pueden realizar sin problemas usando los programas especializados. Para este trabajo de investigación se utilizó el ETABS.

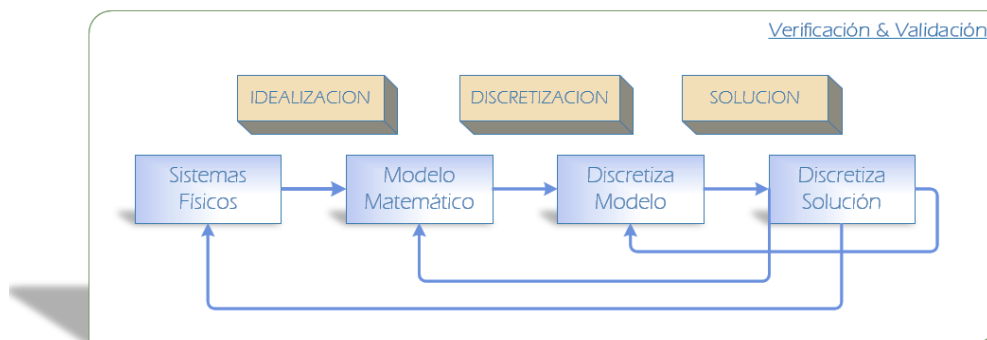


Figura2.5: Diagrama de flujo de la simulación (MBS) basada en modelos por computadora. Fuente: Propia.

2.2.1. Método de los desplazamientos (o del Equilibrio)

La esencia del método de los desplazamientos se basa en la discretización de la estructura global en elementos individuales (barras) y la posterior resolución de problemas individuales resultantes, suponiendo que, sobre cada elemento actúan además de las cargas exteriores, ciertos esfuerzos y momentos en los extremos, los cuales, a su vez, deberán satisfacer las condiciones de equilibrio.

El método de las fuerzas no se utiliza en los programas de cómputo ya que en su metodología requiere excesivamente de tomas de decisión del diseñador y que arroja resultados aproximados que cuando la estructura es compleja el margen de error es considerable. Sin embargo, el Método de los desplazamientos tiene las siguientes ventajas en la implementación en un ordenador:

- La forma de seleccionar las incógnitas cinemáticas de un problema dado es única, lo que permite un planteamiento sistemático del método, que lo hace idóneo para el cálculo de estructuras por ordenador.
- Las incógnitas que se deben calcular son los desplazamientos y los giros nodales.

El procedimiento consta de tres pasos:

- Separar la estructura en sus barras constituyentes
- Mediante las ecuaciones mixtas, se obtienen los esfuerzos en función de los desplazamientos.
- Sustituyendo los esfuerzos en las condiciones de equilibrio, se llega a un sistema de ecuaciones de equilibrio con los desplazamientos como incógnitas.

Las esencias del método de desplazamiento son dos:

- Dividir la estructura en sus barras constituyentes (mediante cortes idealizados)
- Para cada barra, deducir la relación entre las fuerzas y momentos sobre la barra y los movimientos de los extremos mediante las ecuaciones elásticas.

Los tres movimientos que se pueden producir en los nodos de una barra son:

- Giro en los extremos: θ
- Desplazamiento vertical o transversal: U_y
- Desplazamiento horizontal o longitudinal: X_y

Al considerar la interrelación de cada barra con las demás se obtiene un sistema global de ecuaciones que define el comportamiento de toda la estructura y nos conduce a la solución del problema.

Podemos considerar seis etapas fundamentales en la solución de un problema:

- Identificación estructural
- Cálculo de la matriz de rigidez de barra y del vector de cargas nodales equivalentes.
- Cálculo de la matriz de rigidez global y del vector de cargas global de la estructura.
- Introducción de las condiciones de borde
- Solución del sistema de ecuaciones
- Cálculo de solicitaciones en los extremos de barras y reacciones nodales.

Identificación Estructural e Introducción de Datos

Esta etapa consiste en definir a través de números y datos las barras de la estructura.

a) Definir un sistema de ejes globales para la estructura. Las coordenadas de los nudos se refieren a dicho sistema.

b) Conectividad de los elementos, identificando para cada barra el nudo inicial y el final. A cada barra está asociado un sistema de ejes locales al cual se refieren todas las dimensiones y características de la barra. El mismo queda definido automáticamente por el orden establecido para la numeración de los nudos de la barra. El eje x local coincide con el eje geométrico de la barra, siendo el sentido positivo el que va del nudo inicial (nudo de menor numeración) al final (nudo de mayor numeración). Los otros ejes locales deberán coincidir con los ejes principales de Inercia de la sección transversal de la barra formando un triedro directo.

c) Propiedades de la sección transversal de cada barra. Dependiendo del tipo de estructura (reticulado, pórtico plano, pórtico espacial, emparrillado) se debe dar el área de la sección transversal, los momentos de inercia en relación a los ejes principales y la inercia a la torsión.

d) Propiedades del material. Se debe indicar, para cada barra, el módulo de elasticidad longitudinal y/o el módulo de elasticidad transversal.

e) Especificación de los vínculos: se debe indicar el nombre del nudo que tiene una o más restricciones y cuáles son las mismas.

f) Descripción de la carga: se da el nombre del nudo y los componentes de globales de las cargas externas y las reacciones de empotramiento perfecto en relación a los ejes locales de la barra, si hay cargas en el tramo.

Las herramientas para el cálculo de los movimientos son las estudiadas en la Resistencia de materiales como son las leyes de Navier – Bresse y los teoremas de Mohr.

La curva elástica o elástica es la deformada por flexión del eje longitudinal de una viga recta, la cual se debe a la aplicación de cargas transversales en el plano xy sobre la viga. En la figura 2.6 se visualiza que para una viga elástica en la que se aplican sólo momentos M_1 y M_2 , la forma de la curva elástica depende sólo de dos parámetros independientes, la forma aproximada de la deformada dependerá del valor y signo relativo de estos momentos, siendo un caso típico el mostrado en la figura ...

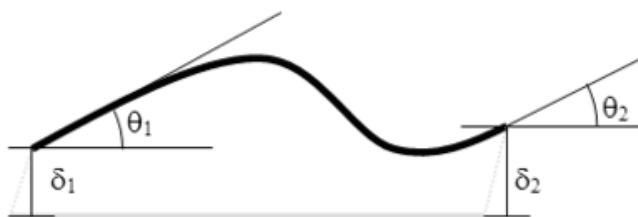


Figura 2.6: Curva elástica de una viga

El teorema de Mohr, permite el cálculo de los giros de las secciones, mediante la siguiente expresión:

$$\theta_{AB} = \theta_B - \theta_A = \int_{x_A}^{x_B} \frac{M_f(x)}{EI_f} dx \quad (1)$$

Donde, el giro de un punto de una elástica (la deformada) respecto de otro punto de la elástica, se puede obtener mediante el área de momentos flectores entre A y B, dividido por la rigidez a flexión "EI". La variable x recorre el eje baricéntrico de la pieza prismática.

El segundo teorema de Mohr, permite el cálculo de los desplazamientos verticales o flecha (perpendiculares a la barra), mediante la siguiente expresión:

$$\Delta_{B|A} = - \int_{x_A}^{x_B} \frac{M_f(x)}{EI_f} (x - x_A) dx \quad (2)$$

La matriz de rigidez se obtiene dando desplazamientos unitarios de a uno por vez en las direcciones de la figura mientras los otros permanecen nulos.

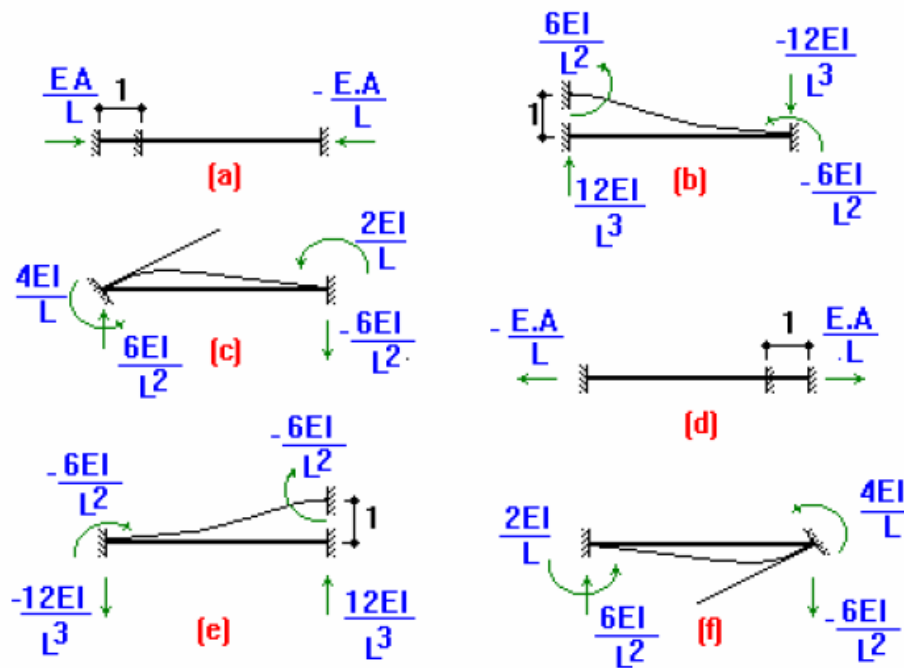


Figura 2.7: Carga Versus Rigidez de los elementos.

Las reacciones mostradas en la figura 2.7 constituyen las respectivas columnas de la matriz de rigidez de la barra de Pórtico Plano de la ecuación (..)

$$\begin{bmatrix} F_{Xj}^L \\ F_{Yj}^L \\ F_{Zj}^L \\ F_{kj}^L \\ F_{yk}^L \\ F_{Zk}^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{Xj}^L \\ D_{Yj}^L \\ D_{Zj}^L \\ D_{Xk}^L \\ D_{yk}^L \\ D_{Zk}^L \end{bmatrix} \quad (3)$$

Escribiendo en forma compacta:

$$\mathbf{F} = \mathbf{K} * \mathbf{D} \quad (4)$$

Esta ecuación expresa que el vector columna (F) son las fuerzas en los extremos o reacciones en los nudos, que es igual a la matriz (K) de 6x6 es la matriz de rigidez del elemento analizado la que se multiplica por el vector columna de los desplazamientos cinemáticos nodales en los ejes locales.

2.3 Discretización para estructuras Diagrid

A continuación, se presenta una metodología simple para el diseño preliminar de estructuras Diagrid, como premisa inicial se propone que toda la rigidez lateral requerida se asigna a las diagonales.

En la figura 2.8 se ilustra la modulación típica de una estructura Diagrid, donde se aprecia la geometría y dirección de la carga analizada, donde variables que destacan son en ancho del edificio (B), altura (h), longitud de las diagonales (Ld), ángulo de las diagonales (θ) y las fuerzas horizontales.

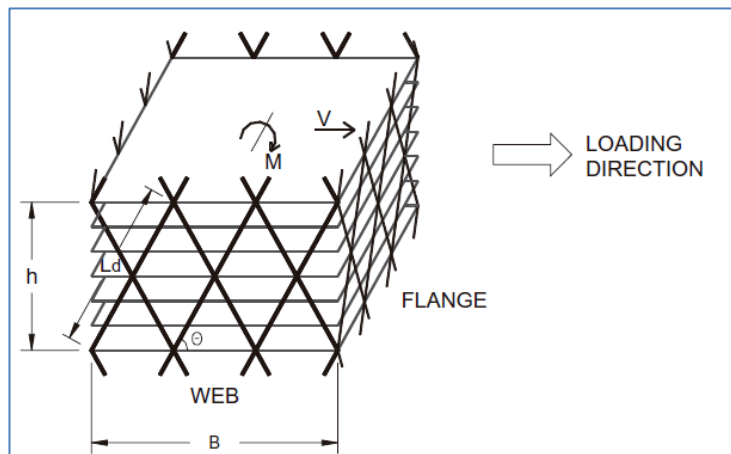


Figura 2.8: Módulo de estructura de diagrid de seis pisos. Fuente: Moon et al. 2005

El procedimiento comienza especificando las contribuciones al desplazamiento lateral total de la estructura debido a la deformación por flexión y cortante. Esta asignación se basa en una evaluación de los atributos intrínsecos de las estructuras de diagrid y las características de comportamiento de los edificios altos en relación con su relación altura / ancho, y conduce a los valores requeridos de deformación por corte y flexión. Se derivan ecuaciones simples que convierten estos valores de deformación requeridos en áreas transversales para los miembros de diagrid. Esta metodología de diseño se aplica a varias estructuras de diagonales de varias alturas y relaciones de aspecto.

Con base en estos estudios, se derivan las pautas empíricas para evaluar la contribución relativa de la deformación por flexión y cortante al desplazamiento lateral total de las estructuras altas de diagrid. Con estas fórmulas, el proceso preliminar de dimensionamiento de miembros es esencialmente automático.

2.3.1. Rigidez al corte y rigidez a la flexión de la estructura Diagrid

Modelamos el edificio como una viga y subdividimos la viga longitudinalmente en módulos de acuerdo con el patrón repetitivo de diagrid. Cada módulo está definido por un único nivel de diagrid que se extiende por n pisos. La Figura 2.8 ilustra el caso de un módulo de 6 pisos. Dependiendo de la dirección de carga, las caras actúan como elementos articulaciones. Se supone que los miembros diagonales tienen pines, por lo tanto, son resistentes al corte transversal y al momento a través

de una acción axial. Con esta idealización, el problema de diseño se reduce a determinar el área de la sección transversal y los miembros de conexión para cada módulo. Establecemos estas cantidades con un enfoque basado en la rigidez (Connor, 2003).

La fuerza de corte V y el momento de flexión M se expresan en términos de medidas relativas de desplazamiento y rotación, Δu y $\Delta\beta$, para el módulo como:

$$V = K_T \Delta u \quad (5)$$

$$M = K_B \Delta\beta \quad (6)$$

Las medidas de movimiento están relacionadas con el corte transversal y las medidas de deformación por flexión se definen como:

$$\Delta u = \gamma \cdot h \quad (7)$$

$$\Delta\beta = \chi \cdot h \quad (8)$$

donde h es la altura del módulo y χ es la curvatura. La aplicación del proceso conduce a las siguientes expresiones para las medidas de rigidez del módulo, para ello es necesario estimar las componentes de corte y flexión de los desplazamientos laterales que en el sistema de diagonales inducen a las fuerzas laterales.

En cuanto a la componente de corte, la rigidez lateral de entrepiso que aporta el sistema de diagonales puede establecerse a través de las ecuaciones de compatibilidad, equilibrio y constitutivas planteadas a nivel entrepiso.

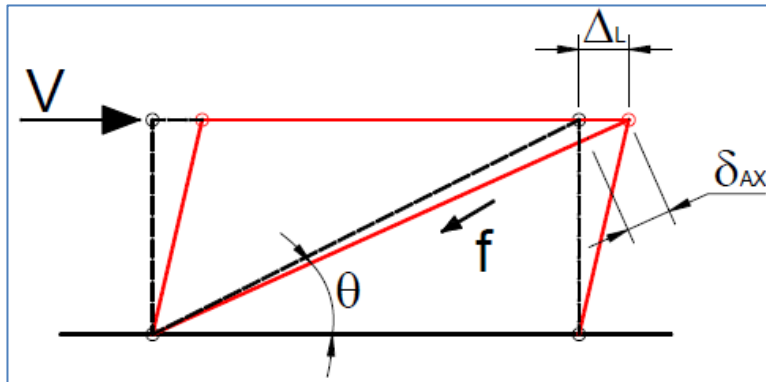


Figura 2.9: Equilibrio de fuerzas y compatibilidad de deformaciones en la diagonal, fuente: Coeto, 2008.

Bajo consideración de la notación planteada en la Figura 2.9, las ecuaciones de compatibilidad, constitutiva y de equilibrio para la diagonal son:

$$\delta_{AX} = \Delta_L \cos \theta \quad (9)$$

$$f = \frac{EA_{cv}}{L} \delta_{AX} \quad (10)$$

$$V = f \cos \theta \quad (11)$$

Donde f es la fuerza axial en el contraviento y θ su ángulo de inclinación medido con respecto a la horizontal.

A través de la consideración simultánea de las Ecuaciones 9 a 11, puede plantearse lo siguiente:

$$V = \frac{EA_{cv}}{L} \Delta_L \cos^2 \theta \quad (12)$$

Donde V es el cortante de entrepiso, E y A_{cv} el módulo de elasticidad y el área transversal, respectivamente, del contraviento, δ_{AX} y L la deformación axial y longitud total de la diagonal, y ΔL el desplazamiento lateral del entrepiso.

La rigidez lateral que aporta la diagonal al entrepiso puede estimarse como:

$$k_{COR} = \frac{EA_{CV}}{L} \cos^2 \theta \quad (13)$$



empleado y θ

el ángulo de las diagonales con la línea de proyección horizontal.

2.3.2. Influencia de la diagonal en el sistema estructural Diagrid

En los sistemas estructurales convencionales u ortogonales al ser expuestos a fuerzas horizontales (sismo o viento), los elementos verticales (columnas, placas o muros) tienen que asumir los esfuerzos y evitar la deformación, y son los esfuerzos cortantes los que equilibran el sistema.

En los sistemas Diagrid los esfuerzos internos que se oponen a las fuerzas horizontales y que se presentan en las diagonales, son principalmente las fuerzas axiales y de una manera no significativa los esfuerzos cortantes. Para tener una aproximación de estos valores discretizamos la estructura, como si fuese una viga inclinada en voladizo, tal como se muestra en la figura ... a lado izquierdo mostramos la aplicación de una carga externa horizontal, en el extremo superior, mientras que en extremo inferior se encuentra empotrada, por el lado derecho vemos la diagonal deformada.

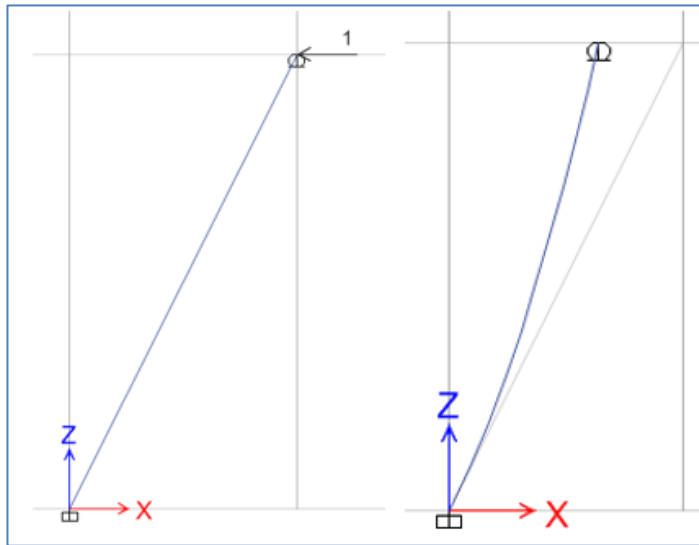


Figura 2.10: Discretización de un Diagrid, como una viga en voladizo. Fuente propia

En el ítem 2.3.1 analizamos la influencia del ángulo θ en la rigidez de las estructuras diagrid, ahora veremos como el ángulo θ , incide sobre las fuerzas axiales y cortantes, para ello comparamos cuatro relaciones ancho versus altura y son 0.5, 1, 2 y 3 tal como se muestra en la figura 2.11, se considera como variables comunes; la altura (h), la sección y material de la diagonal (A , E e I constantes).

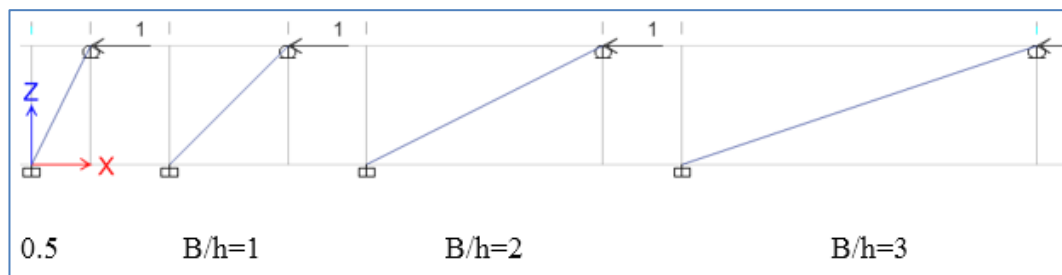


Figura 2.11: Discretización con cuatro diferentes inclinaciones. Fuente propia

Después de aplicar la misma carga, se puede apreciar en la figura 2.12, que los desplazamientos horizontales van disminuyendo directamente proporcional al ángulo de la diagonal.

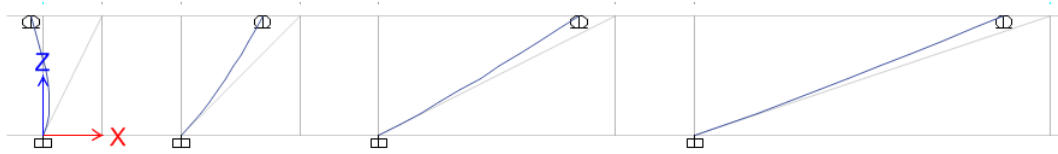


Figura 2.12: Desplazamiento lateral de la estructura idealizada. Fuente propia

Analizando la influencia del ángulo θ , en los esfuerzos axiales, en la figura 2.13, podemos ver que el valor de las fuerzas axiales también disminuye conforme disminuye el ángulo θ .

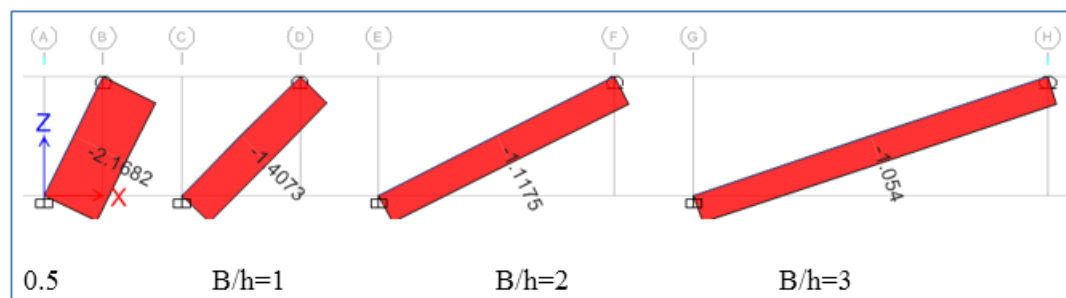


Figura 2.13: Variación de las Fuerzas axiales con cuatro diferentes inclinaciones. Fuente propia.

Los valores de las fuerzas axiales para las relaciones ancho/altura, se puede deducir la expresión matemática del comportamiento de los axiales versus el ángulo de la diagonal y es la siguiente:

$$\text{Fuerza axial} = A = Fh \frac{\tan \theta}{\sin \theta} \quad (15)$$

De manera similar la influencia del ángulo θ , en los esfuerzos cortantes, podemos ver en la figura 2.14, que el valor de las fuerzas cortantes también disminuye conforme disminuye el ángulo θ .

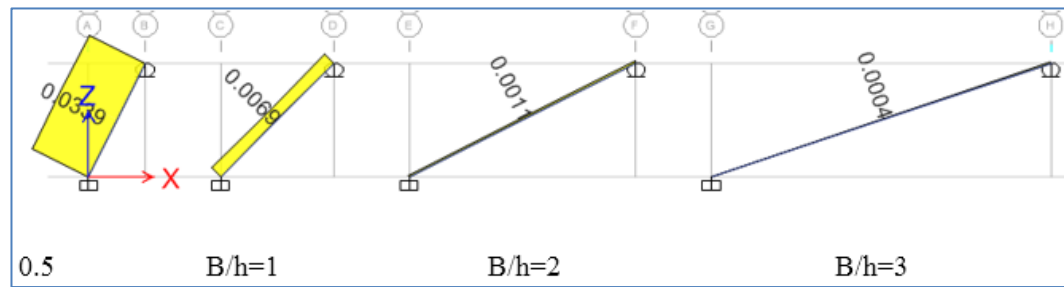


Figura 2.14: Variación de las Fuerzas cortantes con cuatro diferentes inclinaciones.
Fuente propia.

Las fuerzas cortantes, se puede expresar con una función matemática, que correlacione el comportamiento de las fuerzas cortantes versus el ángulo de la diagonal y es la siguiente:

$$\text{Fuerza cortante} = V = \frac{Fh \tan^2 \theta}{100} \quad (16)$$

Podemos concluir, que la Influencia de la diagonal en el sistema estructural Diagrid, está relacionada principalmente al ángulo de la diagonal y como este hace variar la rigidez, deformación (desplazamiento lateral), distribución de fuerzas internas tanto de fuerzas axiales como de corte.

En la figura 2.15, se muestra la variación del ángulo θ de la diagonal, desde los 25 grados hasta los 85 grados y su influencia sobre las fuerzas axiales (utilizando la ecuación 15) en todo el rango se aprecia que toda la fuerza horizontal es absorbida por las fuerzas axiales, mientras que las fuerzas cortantes (utilizando la ecuación 16) solo se manifiestan y con valores muy pequeños a partir de los 75 grados (menos del 14% del cortante) y dentro del rango de los 85 a 90 grados su comportamiento es similar a los sistemas ortogonales convencionales.

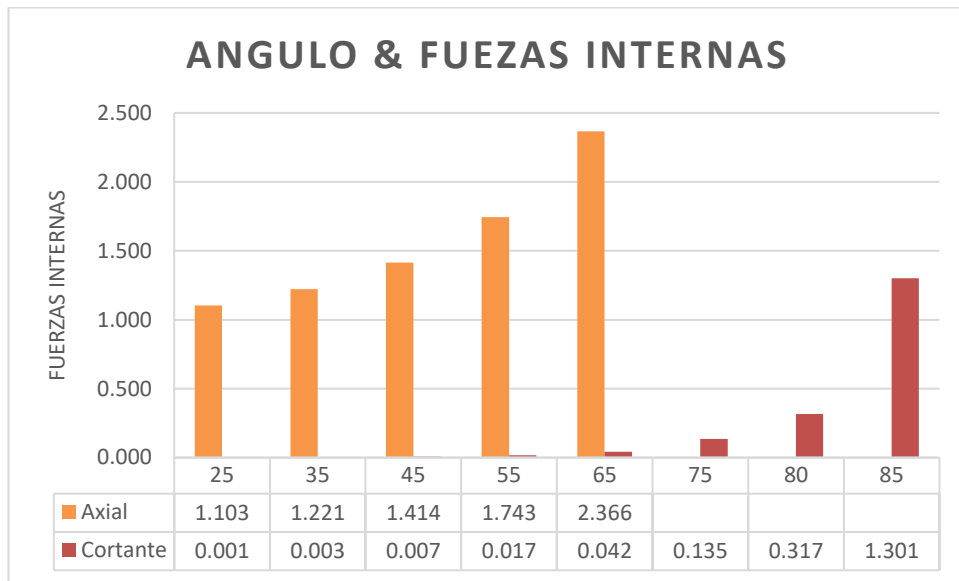


Figura 2.15 Resumen: Influencia del ángulo con las Fuerzas Axiales y Cortantes

CAPITULO III

3. MARCO METODOLOGICO

3.1. Hipótesis

Hipótesis General:

Un edificio de seis niveles que se diseña con el sistema estructural Diagrid de Concreto armado, tiene un mejor comportamiento sismo resistente que con el sistema estructural Dual con los siguientes parámetros: categoría C de nuestra norma, en la zona 4 y con el perfil de suelo tipo S2.

Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

Un edificio de seis con el sistema Dual de concreto armado, tiene un comportamiento sismo resistente aceptable con respecto a los demás sistemas estructurales (Pórticos y Muros estructurales).

Hipótesis específica 2

Un edificio de seis pisos con el sistema Diagrid de concreto armado, tiene un comportamiento sismo resistente aceptable con respecto a los demás sistemas estructurales (Pórticos y Muros estructurales).

Hipótesis específica 3

Diseñar y construir con el sistema estructural Diagrid brinda una mejor respuesta sísmica en edificaciones de 6 niveles frente al sistema estructural Dual.

3.2. Variables

Identificación de la Variable 1:

Análisis y diseño sismo resistente de edificaciones con el sistema estructural

Diagrid modulación cada 2 niveles Tipo “A”.

Indicadores

Periodo natural por análisis modal

Fuerza cortante máximas de entrepiso

Desplazamientos máximos de entrepiso

Derivas de entrepiso

Peso de la Estructura y sus componentes

Cantidad de acero de refuerzo

Escala para la medición de la Variable

De acuerdo a la norma E 0.30 2016 del RNE

Identificación de la Variable 2:

Análisis y diseño sismo resistente de edificaciones con el sistema estructural

Diagrid modulación cada 4 niveles Tipo “B”.

Indicadores

Periodo natural por análisis modal

Fuerza cortante máximas de entrepiso

Desplazamientos máximos de entrepiso

Derivas de entrepiso

Peso de la Estructura y sus componentes

Cantidad de acero de refuerzo

Escala para la medición de la Variable

De acuerdo a la norma E 0.30 2016 del RNE

Identificación de la Variable de control:

Análisis y diseño sismo resistente de edificaciones con el sistema estructural dual.

Indicadores

Periodo natural por análisis modal

Fuerza cortante máximas de entrepiso

Desplazamientos máximos de entrepiso

Derivas de entrepiso

Peso de la Estructura y sus componentes

Cantidad de acero de refuerzo

Escala para la medición de la Variable

De acuerdo a la norma E 0.30 2016 del RNE

3.3 Tipo de investigación

Según la finalidad, se ha realizado una Investigación **teórica, básica o pura**.

La investigación se fundamentó en un argumento teórico y su intención fundamental consiste en entender y verificar el comportamiento sismo resistente de edificaciones de diferentes sistemas estructurales tipo Diagrid y sistemas tradicionales ortogonales, ambos de concreto armado.

3.4 Diseño de la Investigación

Se trabajó con un proyecto de edificación de seis niveles prototipo para uso C de planta típica y regular (ver anexo 01), en seguida se realizó el siguiente procedimiento:

- Pre dimensionamiento de losas, vigas, columnas, diagonales y placas para cada una de los sistemas estructurales.

- Cálculo del análisis modal con el programa ETABS, el periodo natural en los primeros modos de vibración debe ser menor a 0.6 segundo y las derivadas tienen que ser menores de 0.007, sino se tiene que redimensionar los elementos estructurales, por lo que estas dos variables de control permiten o no dar continuidad al proceso de diseño.
- Se define la función espectral de acuerdo a los parámetros de la norma E.030 para calcular la fuerza cortante estática en la base, se calcula la fuerza dinámica, se escala la fuerza estática para obtener las fuerzas internas de diseño.
- Se configuran las combinaciones de carga, se diseñarán los elementos estructurales necesarios para cada sistema estructural si las secciones pre dimensionadas cumplen con los rangos de cuantía y los límites de cortante y torsión establecidos en la norma E.060, se continúa, sino se modifican las dimensiones de los elementos.
- Se realizó un análisis comparativo del comportamiento sísmico resistente entre edificaciones de diferentes sistemas estructurales tipo Diagrid y sistemas Dúales, cuyos resultados se aprecian en el capítulo VI.

3.5 Ámbito de Estudio

El prototipo de edificación es aplicable a la costa peruana que por su cercanía con la concurrencia entre las placas de Nazca y Continental presenta mayor intensidad y frecuencia de movimientos sísmicos, el perfil de suelo seleccionado será tipo S2 (suelos intermedios).

Como se trata de una investigación no experimental, no demandará un tiempo social a la zona de estudio.

3.6 Técnicas e Instrumentos

Unidades de Estudio

Son proyectos de edificaciones para edificaciones importantes categorías C (donde se reúnen gran cantidad de personas).

Población y Muestra

En nuestra investigación se estudió un prototipo aplicable a edificaciones de 6 niveles que puede ser para centros comerciales, hoteles, edificios de departamentos y en general toda edificación cuya funcionalidad exija una arquitectura abierta o de modulación dinámica de los espacios.

Procesamiento, Presentación, Análisis e Interpretación de los Datos

Los proyectos con las características antes indicadas siguieron la siguiente secuencia:

Se realizaron todos los pasos indicados en la sección 3.4, los que para su procesamiento utilizaron el siguiente software: para los esquemas AutoCAD, para el modelamiento cálculo y obtención de resultados ETABS y para elaborar cuadros resumen Excel, los cuadros y base de datos de los resultados se han representado mediante gráficos que permiten una clara interpretación y evidencie la eficiencia, conveniencia y aspectos tanto positivos como negativos de cada sistema estructural.

CAPITULO IV

4. PROPUESTA METODOLOGICA -SISTEMA ESTRUCTURAL DIAGRID

4.1 Descripción general del sistema Diagrid

Como una característica estructural cada vez más popular en los diseños actuales de construcción, “Diagrid” está bien definido como una mezcla de “diagonal” y “rejilla” para representar la configuración distribuida uniforme y triangulada (Boake, 2013). Sistema de Diagrid es reconocido como un sistema estructural único, con su perímetro diagonal elementos estructurales que proporcionan rigidez para ambas cargas laterales y de gravedad, que es mucho más eficiente que un sistema de arriostramiento convencional donde los marcos sólo proporcionan rigidez lateral. El diagrama de carga simple de una estructura Diagrid se muestra en la Figura 4.1 donde se aprecia que la rigidez de la Diagrid depende de la rigidez axial y la resistencia de los elementos diagonales. Más específicamente, si el ajuste de la sección transversal, longitud y propiedad del material como constantes, la variable principal de rigidez del Diagrid es el ángulo diagonal.

A medida que el ángulo varía, la rigidez lateral y vertical cambiaría en consecuencia. A medida que los elementos diagonales son diseñados para ser más vertical (es decir el seno de los incrementos angulares diagonales), la rigidez por gravedad se aumentará, mientras que la rigidez lateral disminuiría y viceversa (Liptack, 2013).

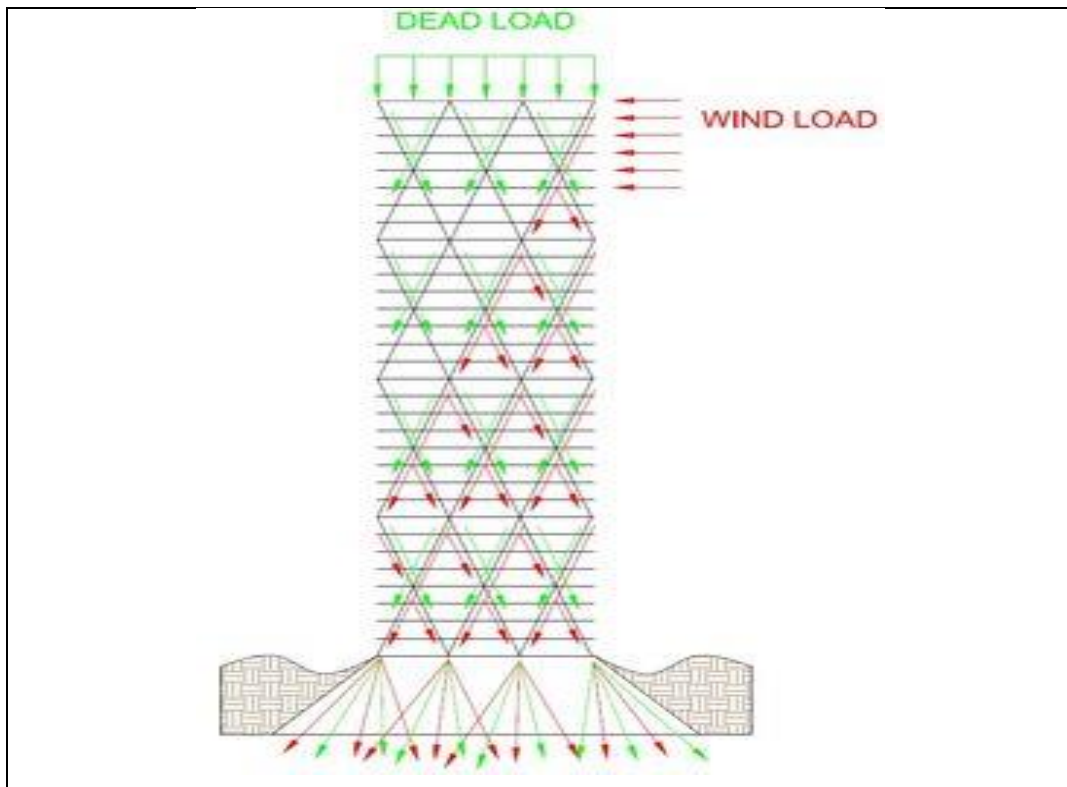


Figura 4.1: Flujo de cargas axiales para estructuras Diagrid (Singh et al, 2014)

La aplicación de esta configuración geométrica única ha contribuido a la eliminación de la mayor parte de las columnas convencionales y núcleos estructurales para edificios de baja altura, lo que permite una gran libertad de innovación arquitectónica y elegancia estética. Para los edificios de gran altura más de 50 pisos, un núcleo estructural generalmente se incorpora en el diseño estructural con el sistema de Diagrid perimetral, proporcionando principalmente gravedad apoyo y también algo de rigidez lateral a la estructura. En este núcleo estructural más perimetral Diagrid. En este sistema de combinado, el núcleo proporciona alrededor de 20 por ciento de la rigidez lateral total, mientras que la Diagrid toma la mayoría de las cargas laterales (Moon et al., 2005).

La eficiencia estructural del sistema Diagrid se destaca en términos de eliminación de columnas verticales para el ahorro de material, pero lo más importante, las cargas a través de la **transformación de las fuerzas axiales** en lugar

de depender la rigidez a la flexión de las columnas tradicionales, hace más eficiente la respuesta sísmica.

Comparación de las estructuras de trama momento tradicionales que llevan al cizallamiento a través de flexión, Diagrid es un sistema mucho más eficiente en el aspecto de la reducción de las deformaciones de laterales debido a su acción axial de los elementos diagonales. Para los edificios de gran altura más de 50 pisos, estructuras Diagrid También destacan en su eficiencia estructural en términos de diseño de la base estructural. Uno de los sistemas estructurales más populares hoy en día para los rascacielos es el sistema de estabilizadores, ya sea con núcleos de acero arriostrados o núcleos de hormigón armado.

La utilización de estabilizadores reduciría significativamente el momento y lateral deriva pero que carecen de rigidez por corte, lo que tiene que ser diseñado en el núcleo estructural para la integridad del sistema de estabilizadores. Por Diagrid, la configuración triangulada proporciona tanto la flexión y rigidez al esfuerzo cortante, dejando la estructura con núcleo con los requisitos de rigidez más baja en esfuerzo de corte, este comportamiento se ilustra en la figura 4.2 que se muestra a continuación.

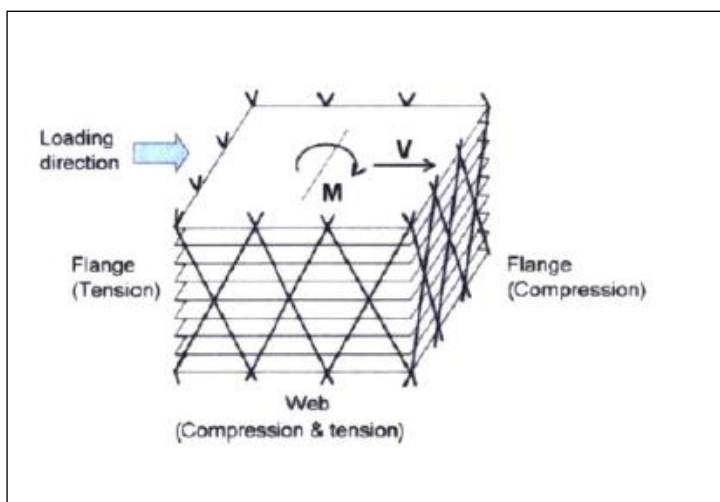


Figura 4.2: Módulo típico de Diagrid, Fuente: Moon et al. 2005

En la figura 4.3, podemos apreciar como las cargas laterales son absorbidas por fuerzas internas axiales en tensión en la cara izquierda y axiales en compresión en la cara derecha, cuando la fuerza lateral va de izquierda a derecha. En un evento sísmico la carga lateral oscilará alternadamente en ambos sentidos; por lo que los elementos deben soportar ambas fuerzas axiales (tracción y compresión).

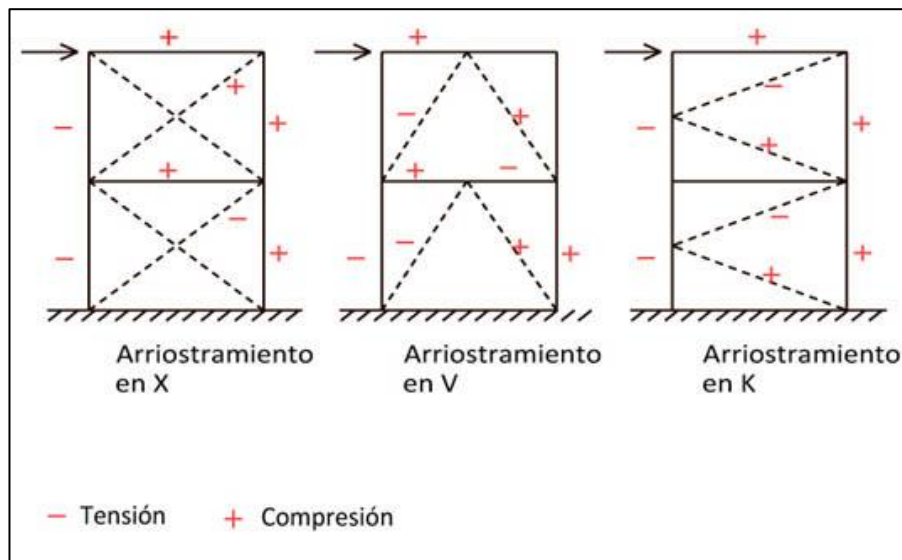


Figura 4.3: Tipos de arriostramiento, Fuente: Prof. Sandro Maino

4.1.1. Materiales de Construcción

Las Estructuras Diagrid pueden ser construidas usando una variedad de diferentes materiales, incluyendo acero, Concreto, madera y materiales compuestos. Sin embargo, mirando a través de la lista de las estructuras precedentes Diagrid, la mayoría de éstos están hechos de acero. Algunos de estos Diagrid de acero están utilizando secciones de ala ancha estándar o secciones tubos estructurales huecos (HSS), mientras que algunos otros proyectos requieren personalizar para fines arquitectónicos, como se muestra en la Figura 4.4, el uso predominante del acero, en los diseños de los elementos diagonales son el resultado de lo que más fácil sea su fabricación, especialmente de los nudos o articulaciones y la secuencia de construcción que sea más rápida en comparación con otros materiales.

En la Figura 4.4 Se puede apreciar algunos ejemplos de nudos de acero utilizando secciones HSS y secciones planas personalizadas. En la parte inferior, los nudos prefabricados para el edificio Swiss Re Tower, Londres Inglaterra.

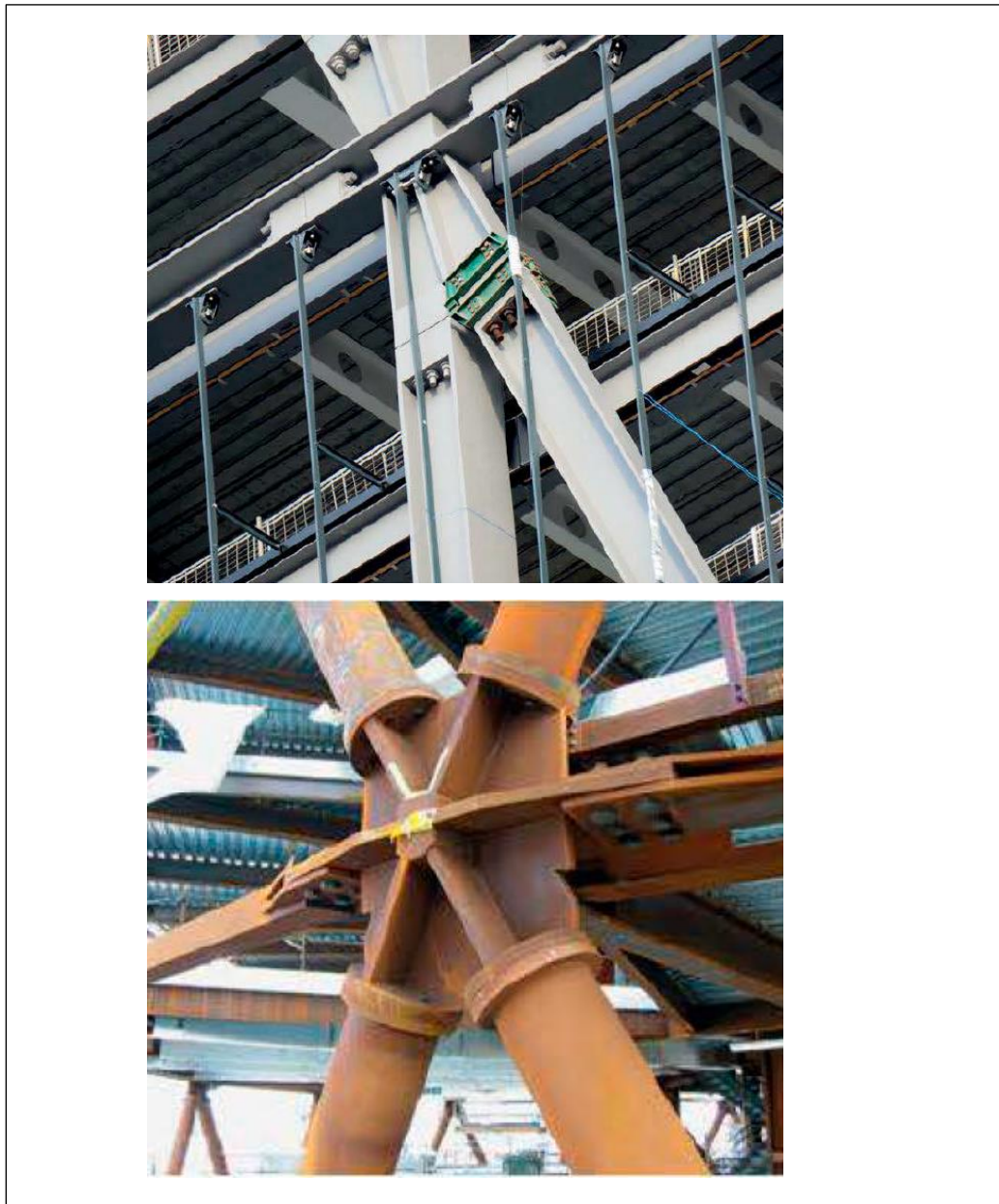


Figura 4.4: Nudos (nodos) de acero en el sistema Diagrid. Fuente: Terri Meyer Boake, 2014.

4.1.2. Tubos de acero rellenos con concreto

El concreto ha sido el material de construcción más importante para la construcción de estructuras modernas, no tiene un gran número de aplicaciones en el ámbito de los diseños Diagrid. La razón más destacada de esta falta de los precedentes es el simple hecho de que el Concreto es malo en tensión. Desde el punto de vista de la estática simple implica, la geometría triangular de las estructuras. Diagrid requiere los elementos diagonales de tomar tanto la compresión y la tensión efectiva.

Las principales desventajas de una estructura de hormigón Diagrid, son: La enorme fuerza de tensión creado durante el proceso podría causar problemas graves si el uso concreto como principal material de construcción especialmente **para edificios de gran altura**. Otra razón para no usar el Concreto es el tema de constructibilidad, donde las conexiones a los nodos serían difíciles de fabricar y construir en el sitio utilizando ejecutadas in situ de hormigón armado. El encofrado es caro y la construcción es lenta.

Sin embargo, en los últimos años, hay una tendencia notable de Oriente Medio y los países del Este de Asia a emplear el diseño de las secciones composición de Concreto y acero para el sistema Diagrid, especialmente los tubos de acero rellenos de hormigón, como se muestra en la figura 4.5.

Mediante el uso de esta sección compuesta, el aspecto de la tensión sería bien resuelto por el tubo de acero exterior, teniendo ventajas del relleno de hormigón para tomar grandes fuerzas de compresión. Desde el aspecto de la constructibilidad, la conexión se podría soldar en secciones de cubo que conectan los tubos de acero juntos. La aplicación de tubos de acero también sirve como marco para el vertido del hormigón, la mejora de la viabilidad de esta sección compuesta.

Una forma alternativa de hacer frente a la tensión de hormigón es a través del hormigón pretensado. A fin de alcanzar el estado de pretensado del hormigón, los métodos de pre-tensión o post-tensión podrían utilizarse con tendones. Mediante la aplicación de una fuerza de compresión de carga previa, el hormigón todavía podría estar en un estado de compresión cuando la carga real es causando tensión en el

elemento, reduciendo la falla debido al agrietamiento en concreto o incluso la rotura en tensión. Sin embargo, las estructuras de hormigón pretensado en el sistema Diagrid no se ven a menudo en los diseños actuales de construcción y la razón más importante es el costo de la construcción, incluido el marco, pretensado, curado, etc. Además, las conexiones para los miembros diagonales de hormigón pretensado muy son caras y difícil de fabricar en el lugar en altura. Todos estos aspectos hacen que estructuras de Diagrid de hormigón pretensado desfavorables desde el punto de vista de un propietario, especialmente para uso mixto edificios de gran altura donde los presupuestos y los beneficios son los principales focos del proyecto.

La figura 4.5 muestra la foto tomada en la construcción del complejo World Financial Center, que fue construido por Olympia and York entre 1982 y 1988. Vista interior de uno de los tubos de acero rellenos de hormigón para la torre cantón.

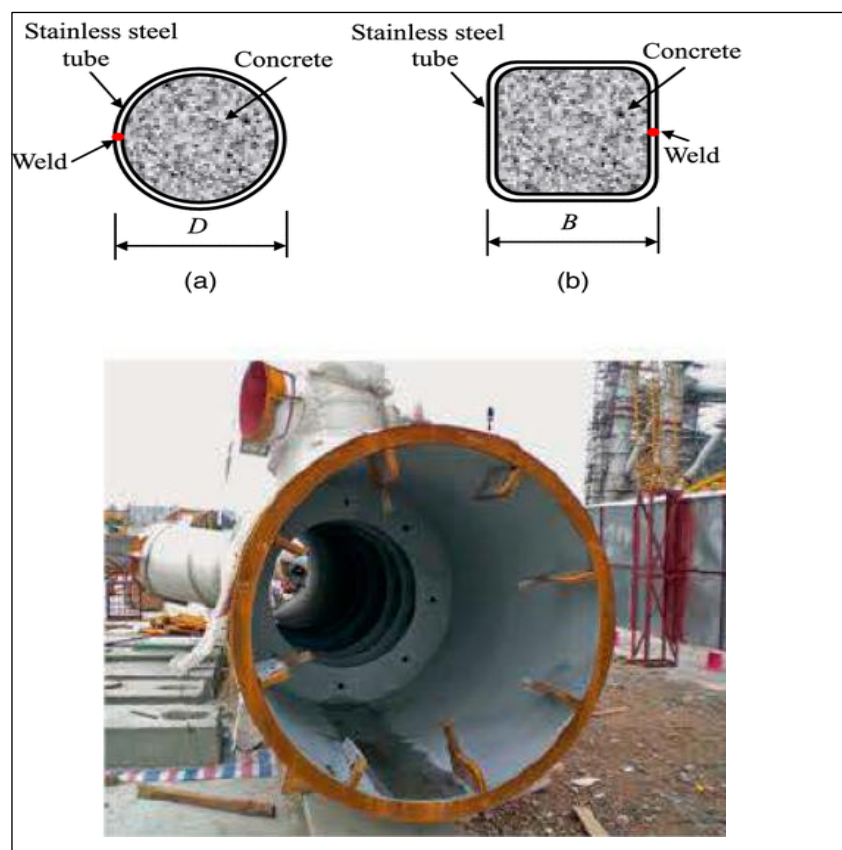


Figura 4.5: Tubos de acero llenos de concreto. Fuente. Terri Meyer Boake 1982.

El concreto ha sido el material de construcción más utilizado en el diseño de los edificios actuales. Cuando es utilizado con el acero para formar una sección compuesta, el hormigón puede ser vertido para rodear el acero o vierte dentro de la sección de tubo de acero HSS. Ambos de estos dos métodos funcionan como refuerzo estructural del edificio, así como proporcionan la resistencia al fuego de los sistemas de acero puro.

La aplicación de tubo de acero lleno de hormigón es en su mayoría en los diseños de columna de estructuras de construcción, proporcionando principalmente la rigidez lateral en cualquiera de los sistemas arriostrados o sin soporte lateral. Para Diagrid diseños en la última década, una cantidad creciente de estructuras compuestas Diagrid han empleado el uso de tubos de acero rellenos de hormigón para el diseño de elementos diagonales, especialmente para edificios de gran altura en el Oriente Medio y los países asiáticos donde el hormigón es más a menudo el material de construcción y el costo laboral de la región es relativamente baja.

Los beneficios de las secciones de tubo de acero rellenos de hormigón se resumen a continuación de acuerdo con Huang, las propiedades de los tubos de acero rellenos de hormigón (2010), son las siguientes:

- La sección transversal de material compuesto mejora la resistencia a la tracción en comparación con hormigón armado, ya que el perímetro de acero proporciona resistencia a la tensión.
- El Perímetro de acero mejora también la rigidez de la sección compuesta ya que el acero tiene mayor módulo de elasticidad que el hormigón, se localiza más lejos del centroide para maximizar el momento de inercia.
- El hormigón relleno proporciona la resistencia a la compresión requerida con el confinamiento del exterior de acero y el concreto a veces impide el pandeo local.
- El tubo de acero también evita que el hormigón se erosione.
- La existencia de un perímetro de acero elimina la necesidad de un marco adicional y barras de refuerzo; se puede rellenar a través del método de la

bomba en marcha. Esta característica mejora considerablemente la constructibilidad del Diagrid y ahorra mano de obra lo que trae como beneficio menor costo.

- El Hormigón ayuda a mejorar la resistencia al fuego de la sección transversal de la comparación de perfiles de acero puro.

Estas ventajas son más preponderantes cuando esta sección transversal se está aplicando a un rascacielos con grandes elementos diagonales.

Sin embargo, el diseño de uniones los Diagrid y el proceso de fabricación sigue siendo una de las cuestiones más difíciles tener en cuenta con el uso de secciones de tubo de acero rellenos de hormigón. La mayor parte de tales soldaduras conexión no podría ser pre-fabricadas y se tiene que hacer en el lugar, lo que causaría posibles retrasos en la construcción del proyecto o de seguridad y preocupaciones de los trabajadores de la construcción al realizar trabajos en altura.

4.1.3 Proceso evolutivos de sistemas Diagrid

El sistema de Diagrid está evolucionando como ingenieros estructurales y arquitectos están en constante búsqueda de mejoras e innovaciones hacia la eficiencia, la estética y la sostenibilidad.

La prevalencia actual de las estructuras Diagrid fue inspirado por los diseños de Sir Norman Foster.

En los últimos diez años, las estructuras Diagrid evolucionaron de forma significativa a partir de los diseños en una fase temprana número de diferentes aspectos. La tendencia más destacada fue el uso de la sección compuesta de tubos de acero llenos con hormigón especialmente en los países asiáticos y de Oriente Medio. Otro avance importante del diseño estructuras Diagrid fue la aparición de edificios de gran altura más de 50 pisos o 200 metros. Estos rascacielos estructuras Diagrid todos se convirtieron en puntos de referencia para cada ciudad como su elegancia estructural eleva hacia el cielo.

Desde la perspectiva de la eficiencia estructural, una cantidad cada vez mayor de investigaciones se han realizado sobre el análisis y la optimización de los sistemas estructurales Diagrid. Luna, Connor y Fernández presentaron una de las investigaciones más importantes en el diseño preliminar de estructuras Diagrid centrados en la óptima configuración de los ángulos. Los resultados de esta optimización de ángulos diagonales fueron entonces ampliamente tomados en la consideración de los diseños prácticos de estructuras Diagrid. Por ejemplo, algunas estructuras Diagrid se desviaron de la uniforme tradicional y configuración distribuida de diagonales y se aplican una variación de ángulos diagonales largo de la envergadura vertical basada en distintas alturas para maximizar la eficiencia estructural de elementos diagonales. Una lista de resumen que muestra las principales estructuras Diagrid que son hito por sus materiales de construcción y alturas se presenta en la figura siguiente:

La Figura 4.6: muestra unas tomas fotográficas de algunos edificios Diagrid de concreto (postesado y prefabricado), a la izquierda el primer rascacielos con el sistema Diagrid de concreto armado postesado del oriente medio (Catar), premiado como el mejor proyecto del año 2012. Por la derecha el edificio de concreto prefabricado para la Universidad de Investigación de Wageningen (Holanda), esta robusta rejilla diagonal se comporta como un exoesqueleto y fue concluido en el 2007.

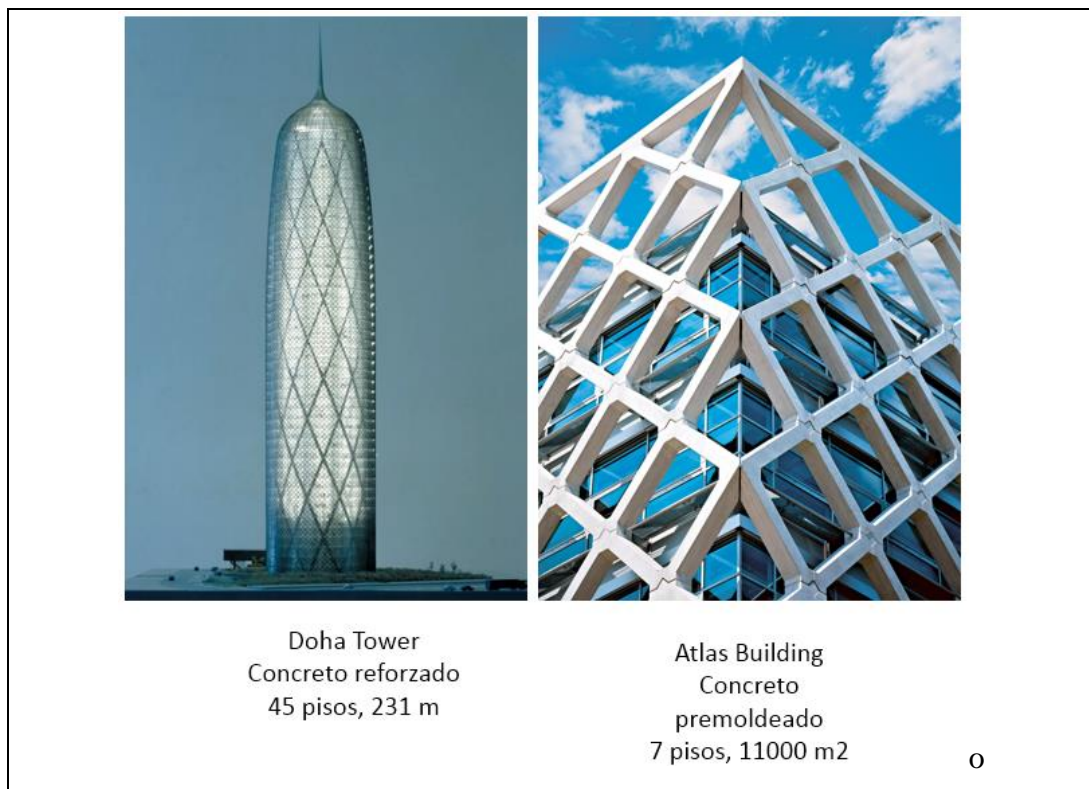


Figura 4.6: algunos edificios Diagrid de concreto (postesado y prefabricado). Fuente: foto izquierda https://es.wikipedia.org/wiki/Burj_Qata, foto derecha <https://www.designbuild-network.com/projects/atlas-building/>.

La Figura 4.7: muestra unas tomas fotográficas algunos edificios Diagrid altos (Diagrid de acero y tubos rellenos). Por la Izquierda está el Lotte World, es un rascacielos de Seúl, Corea del Sur su construcción finalizó en 2017. Es el rascacielos más alto de Seúl y de Corea del Sur, albergando la plataforma de observación más alta del mundo. Los diseños conceptuales pedían un esbelto cono con lados convexos suavemente curvados. Un exterior de cristal teñido pálido se inspira en de la cerámica coreana y presenta acentos de filigrana metálica. A la derecha la foto del Guangzhou International Finance Center de Tianhe en Cantón, China, la construcción del GIFC, diseñada por Wilkinson Eyre, se inició en 2006. La estructura del edificio fue finalizada el 31 de diciembre de 2008, y se convirtió en uno de los edificios más altos en Cantón y en China. Se utiliza como un centro de conferencias, hotel y edificio de oficinas.



Figura 4.7: dos edificios Diagrid Altos (Diagrid de acero y tubos rellenos). Fuente: foto izquierda https://es.wikipedia.org/wiki/Lotte_World_Tower, foto derecha https://es.wikipedia.org/wiki/Guangzhou_International_Finance_Center.



EDIFICIO EN DUBAI 0-14

torre comercial de 22 pisos sobre un podio de dos pisos, emplea un sistema de soporte exterior de concreto reforzado cuya acción estructural se asemeja a un sistema de diagrid perimetral ya que está asumiendo la mayor parte de la carga lateral. Con 0-14, los diseñadores querían optimizar el espacio libre. El exoesqueleto de concreto armado es la estructura primaria vertical y lateral del edificio.

Esta estructura libera el núcleo de la carga de fuerzas laterales y ayuda a crear espacios abiertos altamente eficientes y libres de columnas.

Figura 4.8: Edificio 0-14 Dubái, Diagrid tipo cortina de concreto armado, Fuente: link <http://www.archdaily.com/273404/o-14-reiser-umemoto/>

La Figura 4.9: muestra dos edificios Diagrid con materiales mixtos. Por la izquierda tenemos a la torre más alta de Bucarest, Rumania; fue diseñada en el 2009 y se concluyó su construcción el 2013, levantada en una zona sísmica, sin columnas, pero con perfiles de acero rellenos de hormigón crean sinuosas formas de olas que nacen en el suelo, los rellenos de hormigón otorgan una fuerza adicional a la estructura de acero, protegiendo sus perfiles contra la acción del fuego en caso de incendio.



Figura 4.9: Edificios Diagrid con materiales mixtos. Fuente: foto izquierda

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/dorobanti-tower/>, foto derecha

<https://archello.com/project/west-bay-office-tower>.

En la Figura 4.10: Nos muestra el Edificio Yellow Building con Sistema Diagrid de concreto armado. El Yellow Building fue diseñado por Ingenieros estructurales: Adams Kara Taylor y construido en Londres, Reino Unido, diseño Arquitectónico de Allford Hall Monaghan Morris, concluido el año 2008 con 15 000 m² techados.



Figura 4.10: Edificio Yellow Building (concreto armado). Fuente: link <https://www.ahmm.co.uk/projectDetails/8/The-Yellow-Building>.

En la Figura 4.11: Edificio Yellow Building, Antes y después del vaciado de concreto en los nudos, podemos apreciar que la parte más crítica del proceso constructivo de los edificios con el sistema Diagrid de concreto armado, radica en la precisión que se requiere en los encofrados de las diagonales.

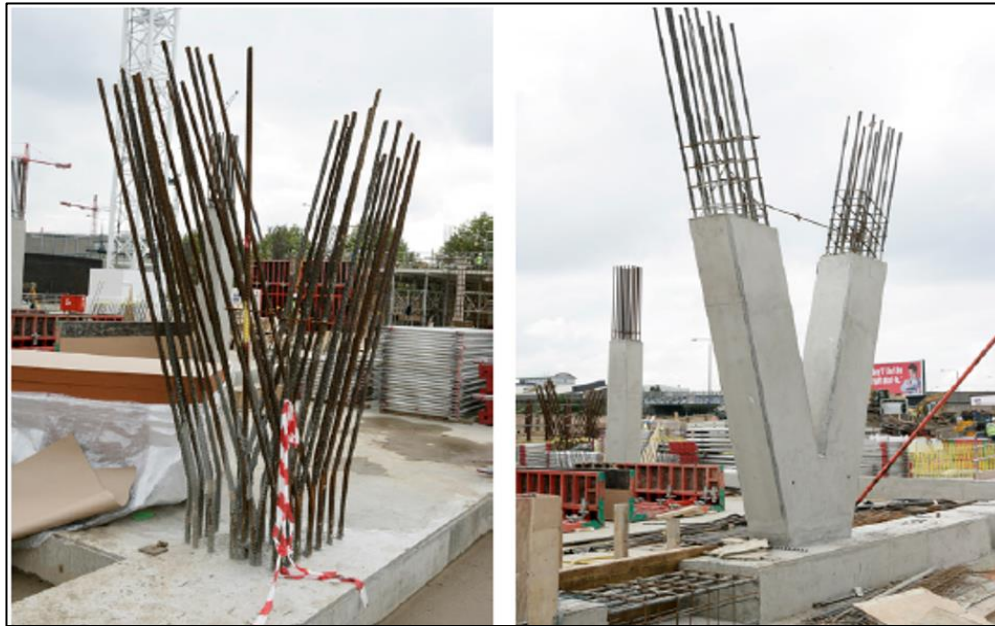


Figura 4.11: Proceso Constructivos del Edificio Yellow Building. Fuente: link <https://www.ahmm.co.uk/projectDetails/8/The-Yellow-Building>.

La Figura 4.12: nos muestra fotos de los Edificios Diagrid que desafían la gravedad. Entre los edificios Diagrid que desafían la gravedad tenemos a la izquierda el Capital Gate, la construcción de la torre (a la izquierda) tiene un núcleo de hormigón y un perímetro con rejillas diagonales de acero soldado. Por la derecha la sede central de CCTV un rascacielos de 44 pisos y 234 pies (768 pies) en East Third Ring Road, Guanghai Road en el distrito central de negocios de Beijing (CBD). La torre sirve como sede de la Televisión Central de China (CCTV). La iniciación tuvo lugar el 1 de junio de 2004 y la fachada del edificio se completó en enero de 2008.



Figura 4.12: Edificios Diagrid que desafían la gravedad. Fuente: foto izquierda, foto derecha https://es.wikipedia.org/wiki/Sede_de_la_Televisi%C3%B3n_Central_de_China

En la figura 4.13 apreciamos un edificio que nos muestra que no hay limitaciones en las formas cuando se usa sistemas innovadores como el sistema Diagrid el edificio conocido como Technosphere, tiene un área de construcción 800,000 m² diseñada por James Law, Cybertecture Internacional y el diseño estructural de Ove Arub & Parters. El sistema estructural principal de la technoesfera comprende una estructura esférica exterior Diagrid, en la parte central tiene elementos estructurales que incluyen cerchas de acero en la parte superior, muros de hormigón armado de núcleo y muros de corte, pórticos, pilares en la fundación y vigas de transferencia de emparrillado. La estructura interna es principalmente de hormigón armado con acero a lo largo de las bahías de perímetro de plantas típicas, mientras que todo el exterior con el sistema Diagrid de acero que es la parte de mas importante para estabilizar la estructura.



Figura 4.13: Technosphere, Fuente <http://www.insaatdunyasi.com.tr/arsiv/yazi/63-diagrid-sistemler>.

4.2 Diseño Basado en la norma E-030

4.2.1. Información Básica para el Diseño sismo resistente

El proyecto estructural deberá incluir la siguiente información:

- a. Sistema estructural sismo resistente.
- b. Período fundamental de vibración en ambas direcciones principales.
- c. Parámetros para definir la fuerza sísmica o el espectro de diseño.
- d. Fuerza cortante en la base empleada para el diseño, en ambas direcciones.
- e. Desplazamiento máximo del último nivel y el máximo desplazamiento relativo de entrepiso.

La Norma E.030 contiene la información expresada mediante conceptos, tablas o gráficos para el diseño sismo resistente, que a continuación se muestra en forma resumida:

a. Sistema estructural sismo resistente.

Estructuras de Concreto Armado

Todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismo resistente deberán cumplir con lo previsto en el Capítulo “Disposiciones especiales para el diseño sísmico” de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

Pórticos. Por lo menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos. En caso se tengan muros estructurales, éstos deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.

Muros Estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base.

Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL). Edificaciones que se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros de concreto armado de espesores reducidos, en los

que se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola capa.

Con este sistema se puede construir como máximo ocho pisos.

b. Período fundamental de vibración en ambas direcciones principales.

El período fundamental de vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

c. Parámetros para definir la fuerza sísmica o el espectro de diseño.

Estos están en dos grupos; el primero referido al Peligro sísmico y el segundo como Categoría y Sistema estructural.

- Zonificación (ver figura 4.14)

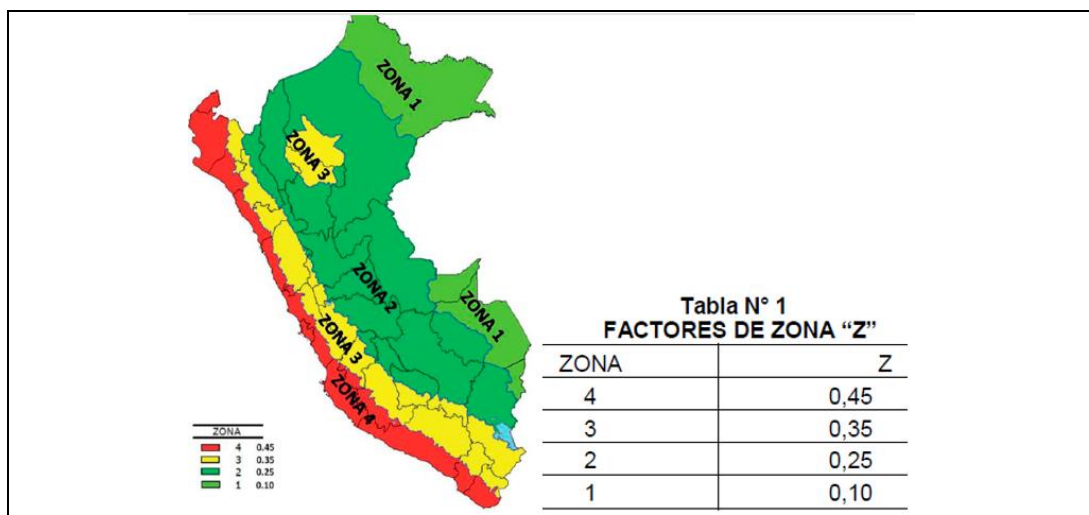


Figura 4.14: Zonas sísmicas. Fuente: NTE 0.30.2016 RNE

- **Condiciones Geotécnicas**

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

- Perfil Tipo S0: Roca Dura
- Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos
- Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios
- Perfil Tipo S3: Suelos Blandos
- Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales

- **Parámetros de Sitio (S, T_p, T_L)**

Tabla 1: Factor de Suelo. Fuente: NTE 0.30.2016

FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Tabla 2: Periodos del Suelo. Fuente: NTE 0.30.2016

PERÍODOS "T _p " Y "T _L "				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

▪ **Factor de amplificación Sísmica ©**

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

$$\begin{aligned} T < T_P & \quad C = 2,5 \\ T_P < T < T_L & \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \\ T > T_L & \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right) \end{aligned}$$

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

Categoría de las edificaciones

Tabla 3: Categorías de las edificaciones. Fuente: NTE 0.30.2016

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud .	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. 	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

▪ **Fuerza Cortante Mínima**

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

▪ **Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles**

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado, no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica

Tabla 4: Límites de la deriva

Tabla N° 11	
LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente: NTE 0.30.2016

4.3 Definición del Modelo

Se analizó un edificio de categoría C, que puede ser usado como locales comerciales, oficinas, hoteles, departamentos, etc., de 06 niveles, con una planta estándar de 30 m en el sentido X con 7 ejes cada 5m, rotulado con letras. En el sentido Y tiene una longitud de 37.50 m. con 6 ejes cada 7.50 m, rotulado con números.

Para Estructurar lo ideal es que sea totalmente simétrica, sin embargo, esto no sucede ante requerimientos reales, ya sea por arquitectura o por funcionalidad, por eso se plantearon dimensiones distintas entre ejes diferentes.

Son tres modelos que han sido analizados para luego compararlos; el primero corresponde a una estructuración convencional con columnas y muros estructurales.

La figura 4.15 nos ilustra mediante una vista en 3D la estructuración del modelo convencional.

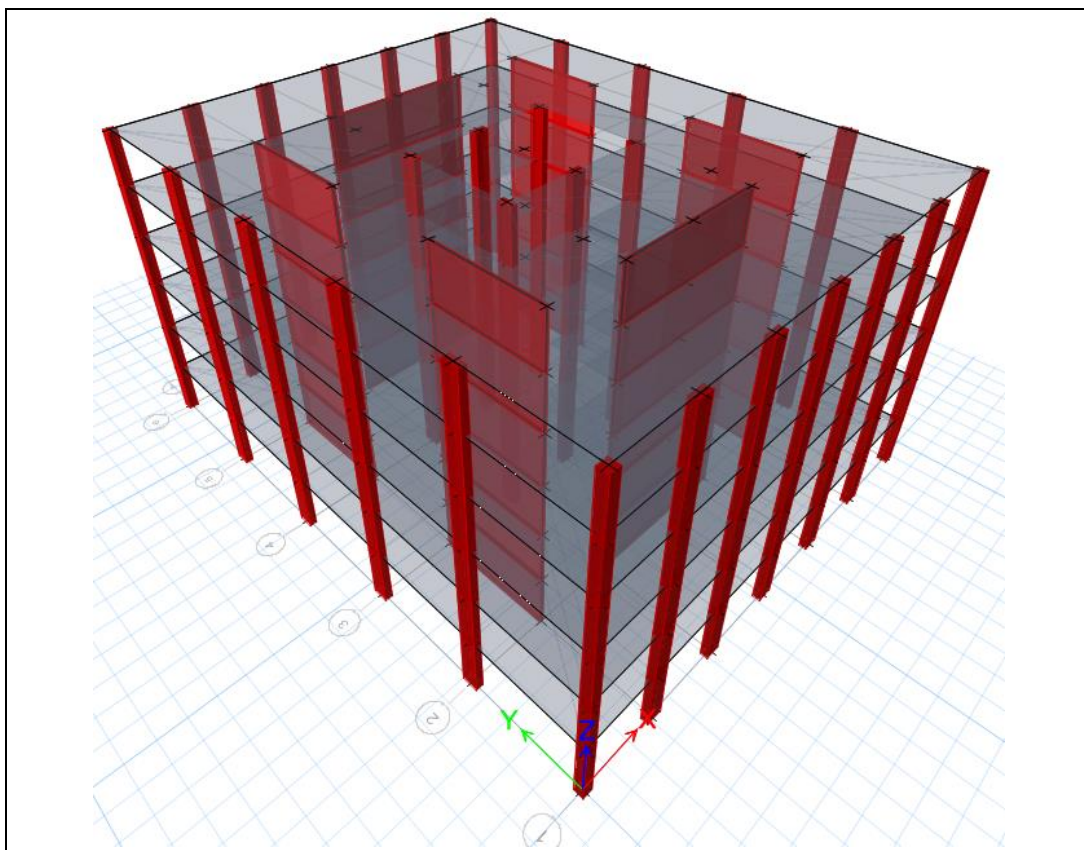


Figura 4.15: Vista en 3D del Sistema estructural convencional. Fuente: Propia

El sistema estructural de Diagrid de concreto armado se analizó para dos modelos:

- Tipo A como en la Figura 4.16, cuya modulación es cada 02 pisos, con un Angulo de la diagonal de 34.99° .
- Tipo B ver la Figura 4.17, cada 04 pisos, con un Angulo de la diagonal de 34.99° .

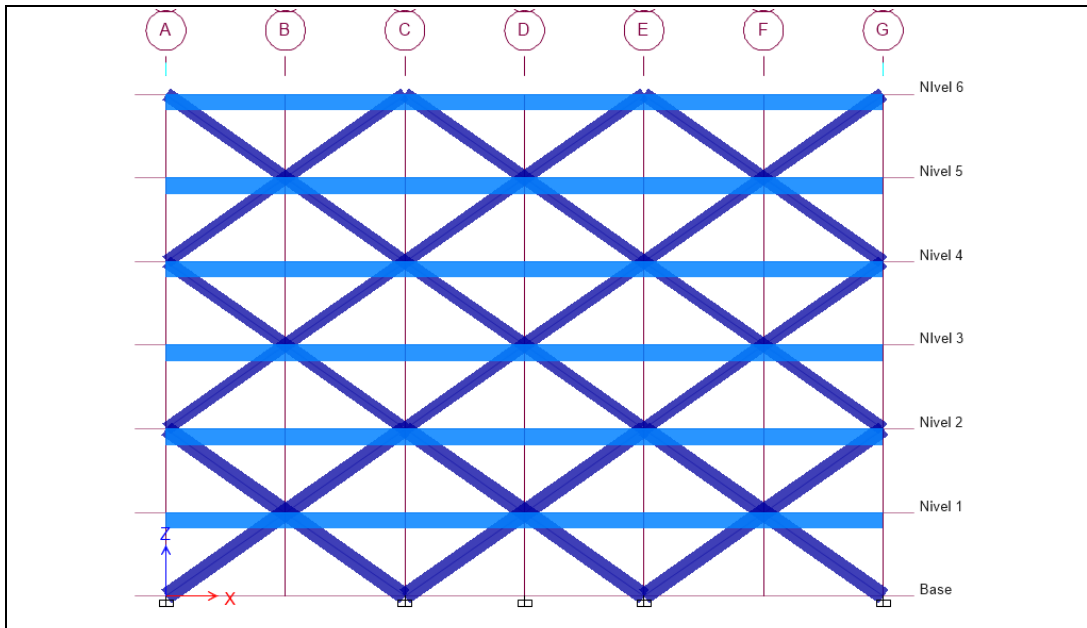


Figura 4.16: Modulación para el Diagrid tipo A – Modulación cada 02 pisos – Elevación 1.

Fuente: Propia

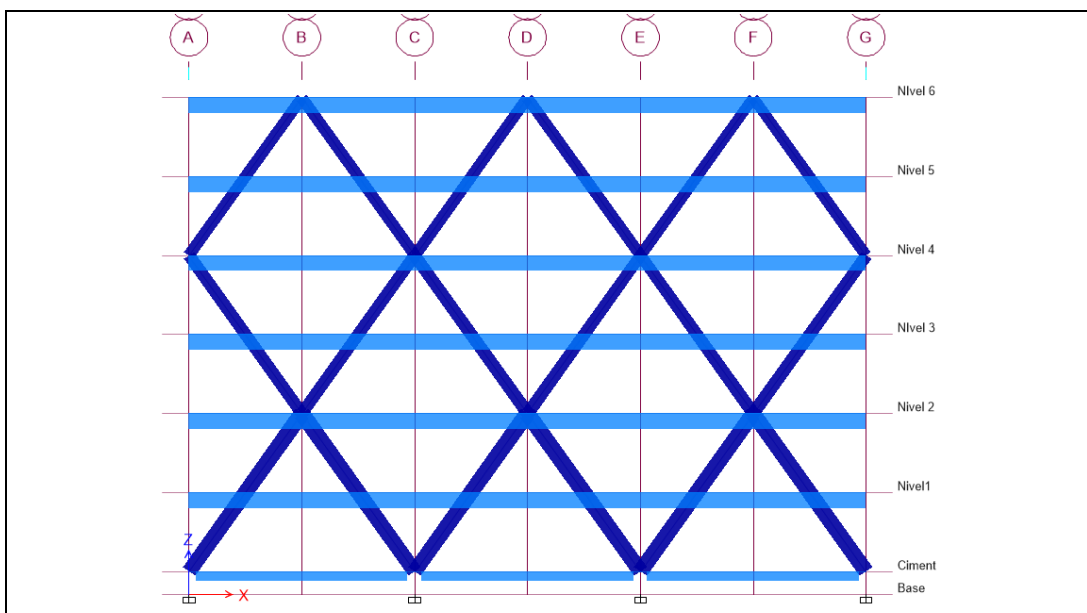


Figura 4.17: Modulación para el Diagrid tipo B. – Modulación cada 04 pisos – Elevación 1.

Fuente: Propia

CAPITULO V

5. APLICACIÓN DE LA PROPUESTA

En este capítulo se realizará un análisis comparativo entre dos sistemas estructurales por un lado el denominado Sistema Convencional u ortogonal que tiene elementos verticales (Placas y Columnas) y horizontales (vigas y losas diafragma) y por el otro un sistema no aun no usado en nuestro País que se denomina Sistema de Diagrid de Concreto armado, para este se analizarán dos tipos o modelos que denominaremos tipo A y tipo B cuya modulación será cada 02 y 04 pisos respectivamente.

Los tres modelos tendrán las mismas características de ubicación geográfica, tipo de suelo, uso e importancia, área techada, dimensiones en planta y elevación, los mismos materiales de construcción y sollicitaciones de cargas.

Primero analizaremos cada modelo individualmente para posteriormente comparar los resultados de los aspectos más relevantes y por último exponer las conclusiones del análisis comparativo.

5.1. ANALISIS DEL SISTEMA CONVENCIONAL (ORTOGONAL)

CONSIDERACIONES INICIALES

Se analiza un edificio de estructura regular de 06 niveles, con una planta estándar de 30 m × 37.50 m, ubicado en zona sísmica 4, se trata de un proyecto de concreto armado el material deberá tener una resistencia a la compresión de 280 kg/cm² y se ha proyectado que todos los niveles tendrán 3.50 m de altura.

La estructuración Convencional ortogonal se constituye de elementos verticales (placas y columnas) que puedan absorber las cargas de gravedad (cargas muertas y vivas y sobrecargas) y las cargas horizontales (efecto sísmico).

Las propiedades de las secciones de los elementos estructurales a usar para nuestro análisis son las siguientes:

Losas Aligeradas en una dirección de 20cm de altura

Vigas de 25x45 sentido X, Vigas de 30x70 en el sentido Y

Columnas de dos tipos:

- Esquinas C1=60x60
- Perimetrales C2=100x50

Placas de 10 m y 7.50 m todas con un espesor de 30cm.

Para la estructuración se tiene una trama de 7 ejes en X de 5m y 6 ejes en Y de 7.50 m. tal como se aprecia en la figura 21.

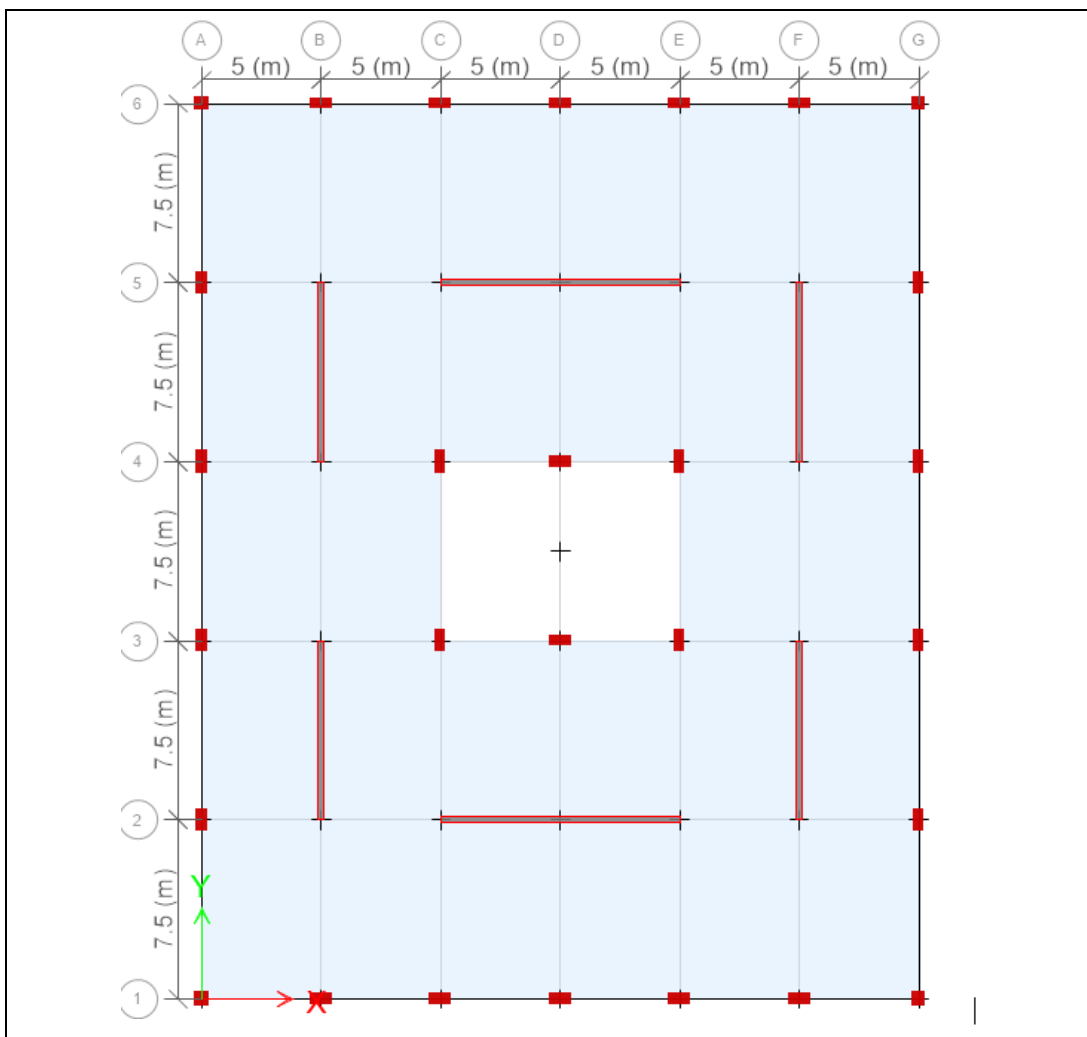


Figura 5.1: Estructuración de la Planta típica del Sistema convencional; columnas más muros estructurales, Fuente: Propia.

Las cargas de acuerdo con el tipo de carga que se tiene. Los valores para cada tipo de carga se detallan en la Tabla siguiente:

Tabla 5: Características de los patrones de carga

Tipo de Carga	Nombre	Valor	Patrón
Muerta	CM	400	Dead
Viva entepiso	CV	400	Live
Viva techo	CVT	100	Roof Live

Fuente: Propia

La incorporación del Espectro de Diseño obedece estrictamente a la aplicación del Artículo 4.6.2, que permite graficar valores de pseudo-aceleración para un determinado periodo de vibración.

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

Espectro de diseño NTE E.30-2016

Para definir la función de respuesta espectral, lo hacemos con los siguientes parámetros:

Tabla 6: Parámetros para la definición de la función espectral

Parámetros:			
Z	0.45	Zona	Z4
U	1.00	Categoría	C
S	1.05	Suelo	S2: intermedio
Tp	0.60		
TL	2.00		
Ro	7		
R	7		

Fuente: Propia

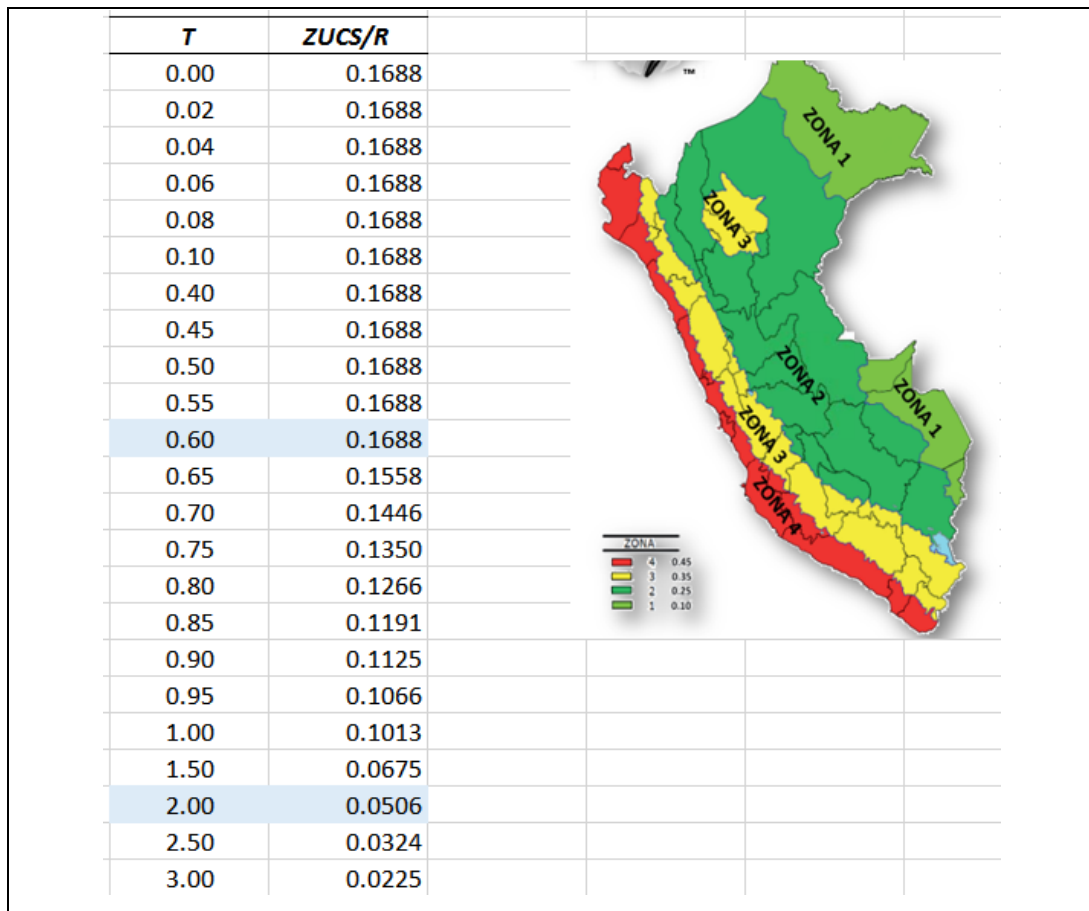


Figura 5.2: Datos tabulados de la función espectral. Fuente: Propia

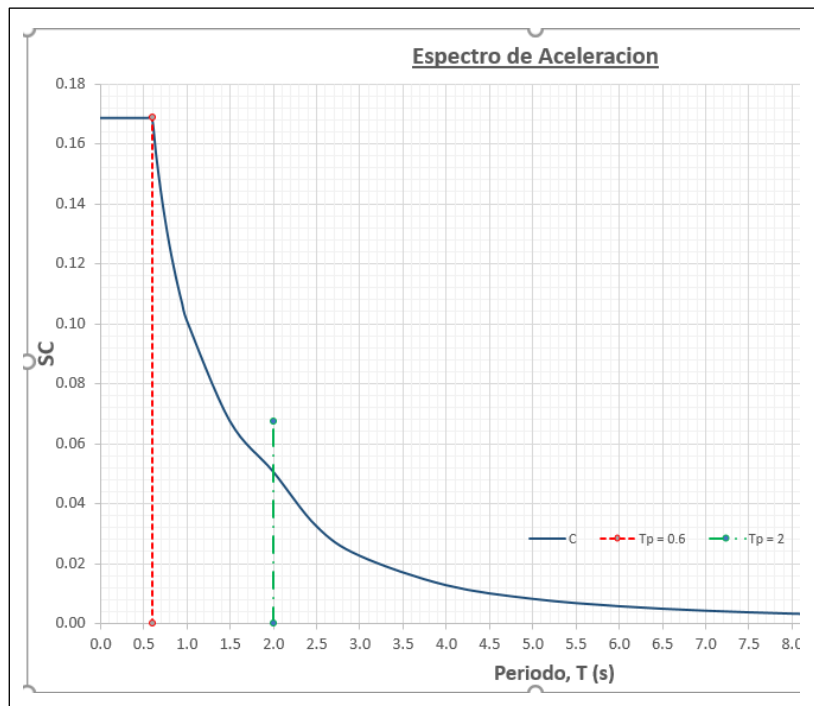


Figura 5.3: Gráfico de la función espectral. Fuente: Propia

5.1.1. Periodo Natural por análisis modal

Para obtener los valores de los periodos naturales y modos de vibración de la estructura, se debe definir la fuente de donde proviene la masa de diseño y sus características, de acuerdo al uso que tendrá la edificación en nuestro caso es de categoría C, por lo que se toma el 100% de las cargas muertas y el 25% de las cargas vivas, el origen de las masas proviene del: peso propio (self mass) más los patrones de carga definidos.

Los 9 primeros modos son los siguientes:

Tabla 7: modos versus periodos de vibración

Case	Mode	Periodo seg.
Modal	1	0.476
Modal	2	0.451
Modal	3	0.445
Modal	4	0.115
Modal	5	0.109
Modal	6	0.104
Modal	7	0.055
Modal	8	0.052
Modal	9	0.049

Hasta el modo 9 se ha acumulado el 97.83% de la masa total, como el 1er modo tiene un periodo de 0.476 seg valor que es menor que el límite de 0.6 seg, por lo que se puede continuar con el análisis.

En la figura 5.4, se muestra los diferentes modos donde el Modo1: traslación en el sentido X, Modo2: rotación, Modo3: traslación en el sentido Y. Nótese que la traslación en Y se presenta con un valor menor a la rotación, esto se debe a que este eje es mucho más rígido que el eje X por tener 04 muros de corte, mientras que en el eje X solo tiene 02 muros estructurales.

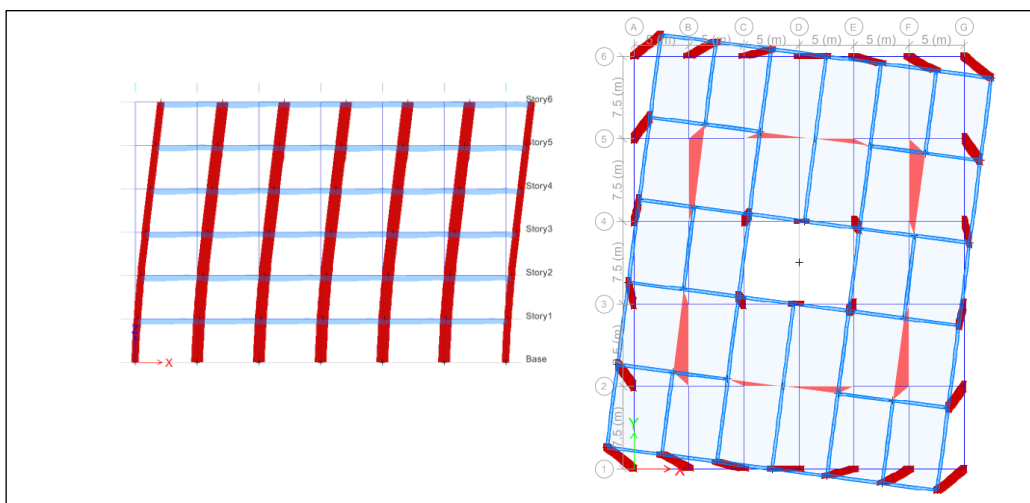


Figura 5.4: Modos de Traslación y rotación de la estructura. Fuente: Propia

5.1.2. Cortante estático, Peso de la estructura y cortantes dinámicos.

El Cortante estático en la Base, V, del Edificio, es calculado mediante la aplicación de la expresión en el Artículo 4.5.2 que mostramos a continuación:

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P$$

Teniendo en cuenta en todo momento de que,

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

- Evaluamos el valor de C/R debe ser >0.125
 $C/R = 2.5/7 = 0.357 > 0.125 \rightarrow \text{ok}$, por lo que $C=2.5$.
- Determinar el valor de $ZUSC/R = 0.45 \cdot 1 \cdot 1.05 \cdot 2.5/7 = 0.16875$
 Coeficiente estático, $C = \mathbf{0.16875}$
- Cálculo del valor del factor exponencial de distribución K
 - a) Si $T < 0.5 \rightarrow K=1.0$

Definición completa de la fuerza horizontal estática

Patrón de carga sísmica, Factores:

Coeficiente de cortante en la base $C= 0.16875$

Dirección y Excentricidad = X Dir + Excentricidad

Peso de la estructura

Primero determinamos las Masas por Piso y el Peso de la estructura

Tabla 8: Masa y Peso de la estructura

Story	UX tonf-s/m
Story6	92.17
Story5	120.92
Story4	120.92
Story3	120.92
Story2	120.92
Story1	120.92
Base	20.73
Masa total	717.50
Peso total	7,036.52

Cálculo Manual del Cortante estático:

$$V = C * P = 0.16875 * 7\,038.68 = 118.77 \text{ ton}$$

$$\mathbf{V = 1,187.68 \text{ ton}}$$

Tabla 9: Cortante estático calculado con el Programa Etabs.

Story	Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
Story1	Sismo X	-1,153.44	0.00
Story1	Sismo Y	0.00	-1,153.44

Entre el cálculo manual y el del programa hay una diferencia de 2.89%, que no es significativa.

Tabla 10: Peso Propio de los elementos estructurales

Tipo de Elemento	Material	Peso Total tonf	# Piezas	Participac
Columnas	CONC280	589.68	168	9%
Vigas	CONC280	761.4	372	11%
Placas	CONC280	630	36	9%
Losa	CONC280	2,520.00	6	38%
Peso Propio		4,501.08		67%
Carga Viva	0.4	2,205.00		33%
Peso Total		6,706.08		100%

Peso Total por m2 de la estructura = 1 090 kgf/m2.

Calculo del Cortante Dinámico

General			
Load Case Name	SDX		
Load Case Type	Response Spectrum		
Exclude Objects in this Group	Not Applicable		
Mass Source	Previous (MasaCatC)		
Loads Applied			
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	E_030_S2	9806.65

Figura 25: Configuración para el Sismo dinámico.

Tabla 11: Sismo dinámico

Story	Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
Story1	SDX Max	866.12	0.00
Story1	SDY Max	0.00	859.17

Los cortantes dinámicos se encuentran al 75% del cortante estático, el Artículo 4.6.4 de la NTE E.030 indica:

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

Escalamiento para fuerzas de Diseño

Comparamos las Fuerzas cortante estáticas & Fuerzas cortantes dinámicas, si no cumplen con lo indicado en el Artículo 4.6.4 de la NTE E.030, calculamos por relación directa simple el factor de escalamiento (F_{esc}) para que lleguen por lo menos al 90%.

Tabla 12: Factor de escalamiento

Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
V estático	-1,153.44	-1,153.44
V dinámico	866.12	859.17
%	-75%	-74%
Fesc	1.1986	1.2083

El factor de escalamiento se obtiene por la siguiente ecuación de proporcionalidad:

$$F_{esc} = \frac{V_{estático} * 90\%}{V_{dinámico}}$$

Al aplicar el factor de escalamiento, los **cortantes dinámicos de diseño**, quedan de la siguiente manera:

Tabla 13: Cortantes con el sismo de diseño.

Story	Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
Nivel 1	SDX[Diseño] Max	1,038.13	0.00
Nivel 1	SDY[Diseño] Max	0.00	1,038.13

Donde:

$SDX[\text{Diseño}] = V \text{ estático } X * F_{esc} X, y$

$SDY[\text{Diseño}] = V \text{ estático } Y * F_{esc} Y$

5.1.3. Desplazamientos y Derivas de Piso

En la figura 5.5 se muestra el esquema de los desplazamientos por sismo estático en X en la elevación 1 representa los valores calculados en la tabla 14.

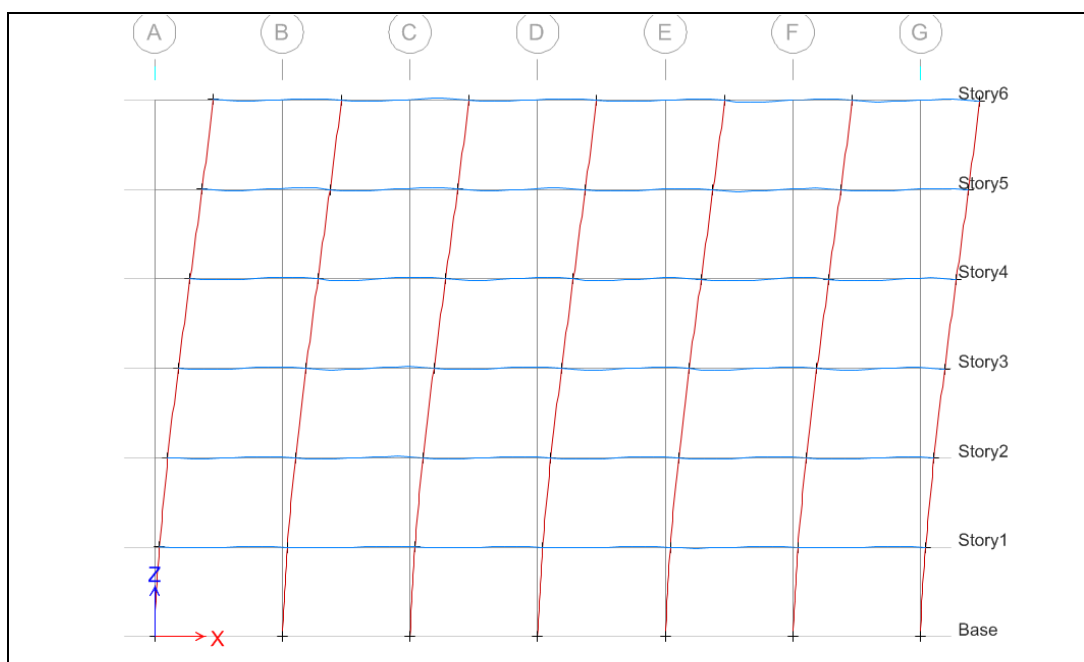


Figura 5.5: Desplazamiento por sismo estático en X en la elevación 1

Los desplazamientos (con sismo estático) por piso son los siguientes:

Tabla 14: Desplazamientos en el sentido X.

Story	Load Case/Combo	UX cm	UX real cm
Story6	Sismo X	1.788	9.387
Story5	Sismo X	1.441	7.565
Story4	Sismo X	1.079	5.665
Story3	Sismo X	0.723	3.796
Story2	Sismo X	0.400	2.100
Story1	Sismo X	0.149	0.782

Tabla 15: Desplazamientos en el sentido Y.

Story	Load Case/Combo	UY cm	UY real cm
Story6	Sismo Y	1.559	8.185
Story5	Sismo Y	1.258	6.605
Story4	Sismo Y	0.942	4.946
Story3	Sismo Y	0.628	3.297
Story2	Sismo Y	0.342	1.796
Story1	Sismo Y	0.12	0.630

Las tablas 14 y 15 calculan el desplazamiento real expresado en centímetros, amplificando el desplazamiento elástico (U) de la siguiente manera: $U_{real} = U * 0.75 * 7$, donde 7 es el valor de R (Coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica).

Tabla 16: Derivas por piso aplicando el sismo estático:

Piso	Tipo de Carga	Derivas Δ Elástica	Deriva Δ inelástica	Derivas inelásticas Δ (%)	Deriva límite Limite
Story6	Sismo X	0.0011	0.0059	0.5901	0.7
Story5	Sismo X	0.0012	0.0062	0.6169	0.7
Story4	Sismo X	0.0012	0.0061	0.6074	0.7
Story3	Sismo X	0.0011	0.0055	0.5513	0.7
Story2	Sismo X	0.0008	0.0043	0.4300	0.7

En la figura 5.6, grafica la deriva en el sentido X, cuyos valores se muestran en la tabla 16, nótese mostrando con una línea vertical el límite máximo para estructuras de concreto armado.

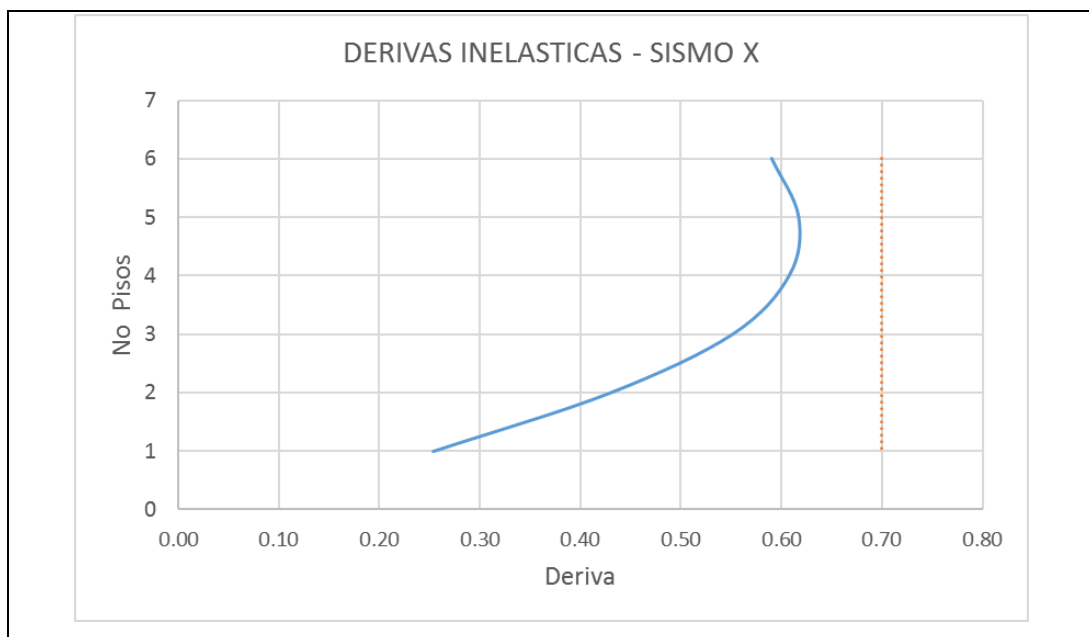


Figura 5.6: Grafica de la deriva en el sentido X.

Tabla 17: Derivas por piso aplicando el sismo estático:

Piso	Tipo de Carga	Derivas Δ elástica	Deriva inelástica	Derivas inelásticas Δ (%)	Deriva límite Δ limite
Story6	Sismo Y	0.0009	0.0050	0.4967	0.7
Story5	Sismo Y	0.0010	0.0052	0.5219	0.7
Story4	Sismo Y	0.0010	0.0052	0.5177	0.7
Story3	Sismo Y	0.0009	0.0047	0.4720	0.7
Story2	Sismo Y	0.0007	0.0037	0.3665	0.7
Story1	Sismo Y	0.0004	0.0020	0.2000	0.7

Las tablas 16 y 17 calculan las derivas reales o derivas inelásticas, amplificando la deriva de la siguiente manera: Δ inelástica = Δ elástica * $0.75 \cdot 7$, donde 7 es el valor de R.

En la figura 5.6, grafica la deriva en el sentido Y, cuyos valores se muestran en la tabla 17, nótese mostrando con una línea vertical el límite máximo para estructuras de concreto armado.

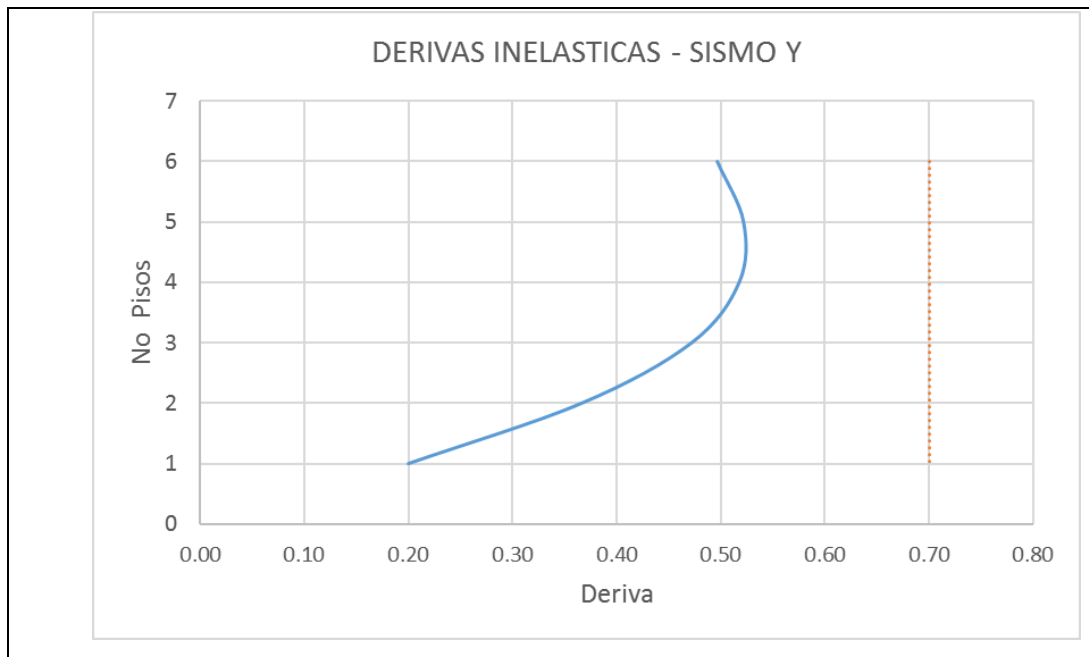


Figura 5.7: Grafica de la deriva en el sentido Y.

5.1.4. Fuerzas cortantes, Momentos flectores y fuerzas axiales.

Los mayores esfuerzos internos de la estructura se presentan en el primer nivel para los elementos verticales, tal como se muestra en la figura 5.8, las Fuerzas cortantes en el eje B por el sismo de diseño en el sentido Y, podemos ver que el máximo valor se presenta en el primer piso igual 273.08 tonf en los muros de corte, mientras que en las columnas el valor del cortante es muy pequeño 0.21 tonf.

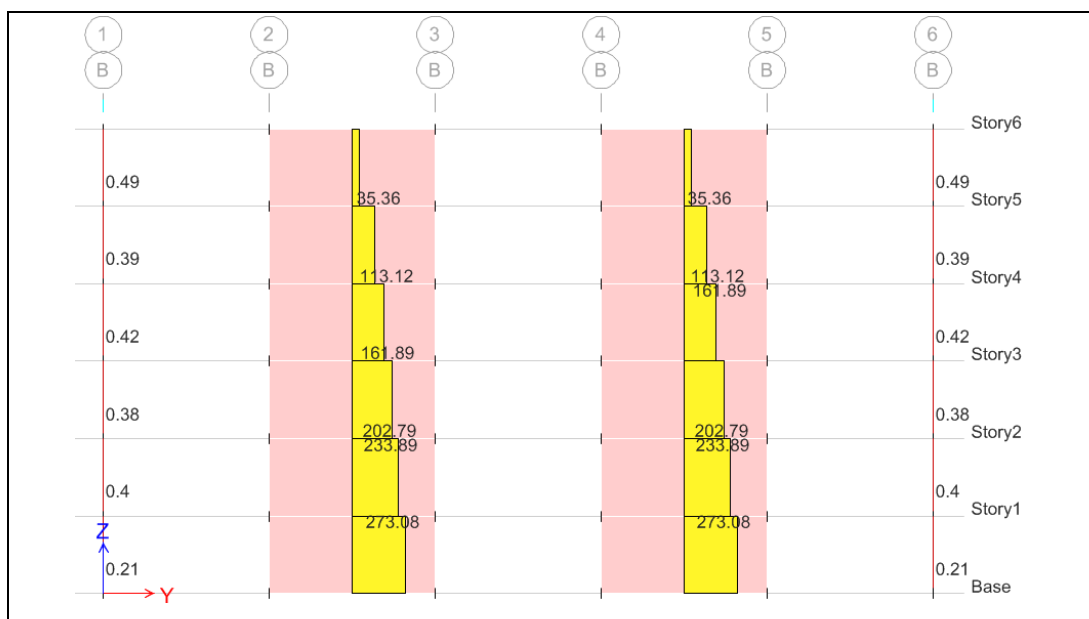


Figura 5.8: Fuerzas cortantes en el eje B por el sismo de diseño en el sentido Y. Fuente propia.

a) Fuerzas Cortantes en cada muro y columna

La tabla 18, nos muestra los valores de las fuerzas cortantes de todos los elementos estructurales verticales; cabe resaltar que el cortante basal es asumido por los muros estructurales o placas en un 96.5% y 96.4% en el sentido X e Y respectivamente, mientras que las columnas solo aportan el 3.5% y el 3.6% de todo el cortante.

Tabla 18: Cuadro de Fuerzas cortantes en el 1er. Nivel.

Muro	Load Case/Combo	V2 tonf	Load Case/Combo	V23 tonf
M1			SDY[Diseño] Max	273.08
M2			SDY[Diseño] Max	273.08
M3	SDX[Diseño] Max	562.02		
M4	SDX[Diseño] Max	562.02		
M5			SDY[Diseño] Max	273.08
M6			SDY[Diseño] Max	273.08
Colum	SDX[Diseño] Max	41.00	SDY[Diseño] Max	40.28
		1,165.04		1,132.60

b) Momentos flectores

En la figura 5.9 podemos ver que el máximo valor del momento flector se presenta en el primer piso igual 6 993.18 tonf-m en los muros de corte, mientras que en las columnas el valor del cortante es muy pequeño 47.11 tonf-m.

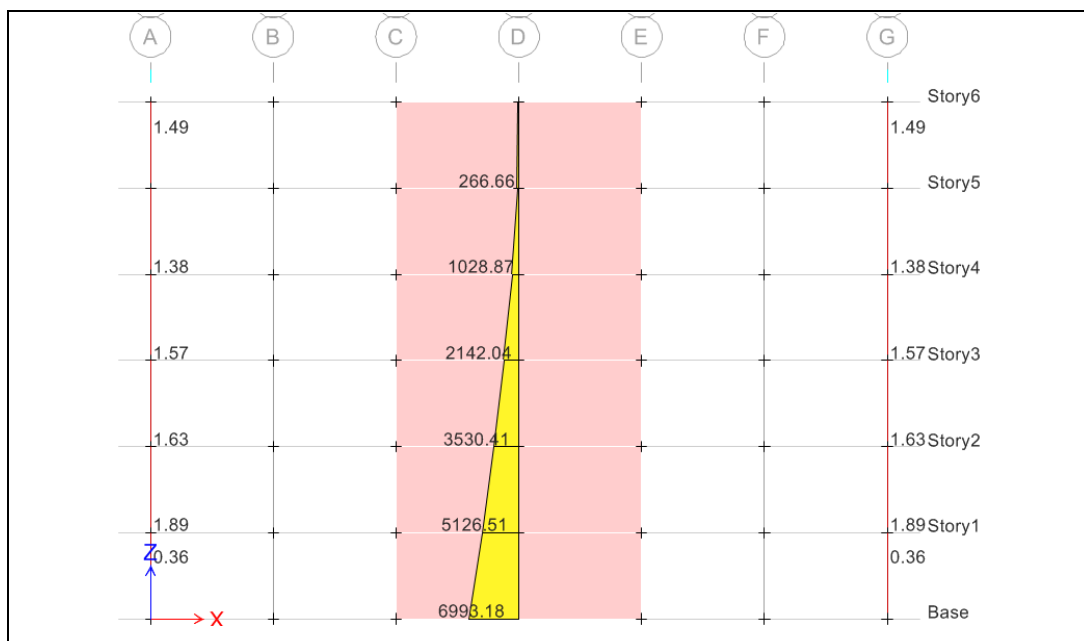


Figura 5.9: Momentos flectores en el eje 2 con el sismo de diseño X,

Tabla 19: Cuadro de Momentos flectores en el 1er Nivel.

Muro	Load Case/Combo	M3 tonf	Load Case/Combo2	M33 tonf
M1			SDY[Diseño] Max	2,929.43
M2			SDY[Diseño] Max	2,929.43
M3	SDX[Diseño] Max	6,993.18		
M4	SDX[Diseño] Max	6,993.18		
M5			SDY[Diseño] Max	2,929.43
M6			SDY[Diseño] Max	2,929.43
Colum	SDX[Diseño] Max	47.11	SDY[Diseño] Max	
		14,033.47		11,717.71

La tabla 19, evidencia de manera similar a las fuerzas cortantes, que los momentos flectores se manifiestan con mayor incidencia en los muros estructurales.

c) Fuerzas Axiales

En la figura 5.10 podemos ver que el máximo valor de las cargas axiales se presenta en el primer piso igual 21.49 tonf-m en las columnas.

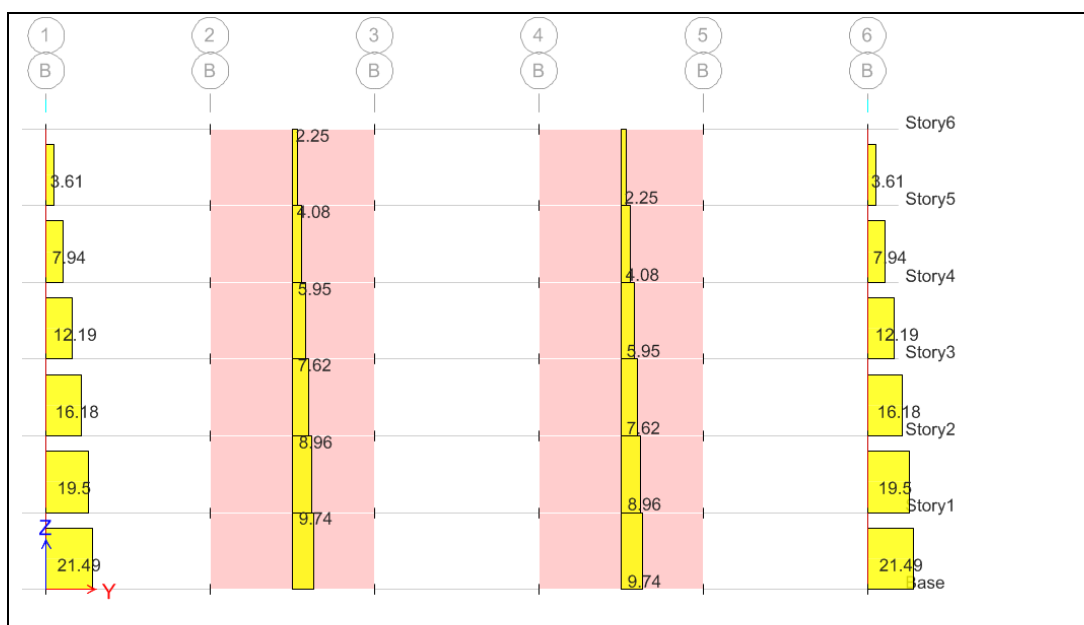


Figura 5.10: Fuerzas axiales eje B por acción del sismo de diseño en Y.

En las figuras 5.10 y 5.11 se muestran las fuerzas axiales que se presentan en la estructura ante fuerzas sísmicas (fuerzas horizontales) y cargas gravitatorias (fuerzas verticales), donde lo único en común es que los mayores valores se presentan en el 1er Nivel. La diferencia más importante es que ante fuerzas sísmicas las columnas absorben cargas axiales mayores que los muros estructurales, mientras que para cargas gravitatorias los muros presentan mayores fuerzas axiales que las columnas.

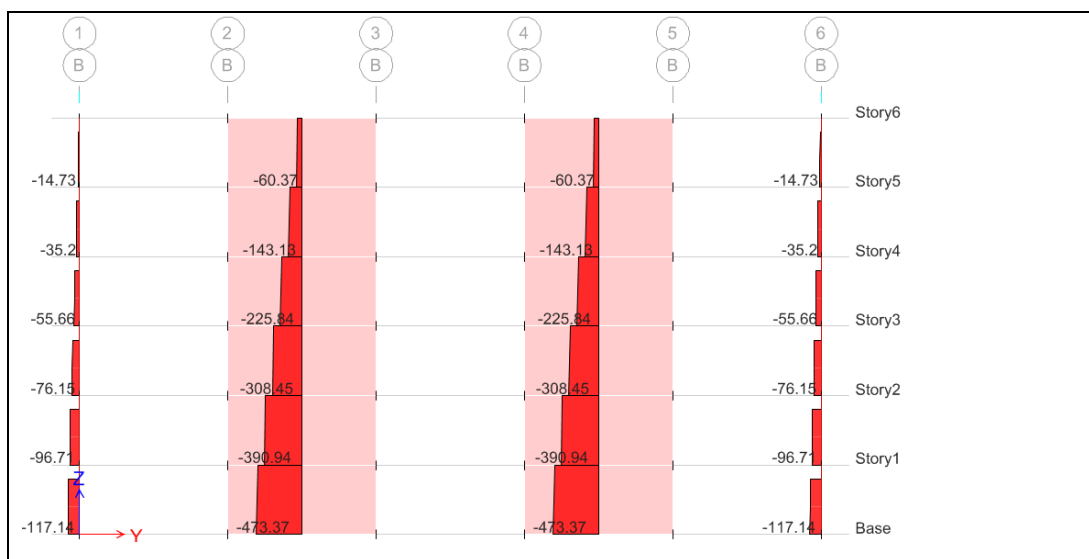


Figura 5.11: Fuerzas axiales eje B por acción de las cargas verticales.

Tabla 20: Cuadro de Fuerzas axiales en el 1er. Nivel

Muro	Load Case/Combo	Axial tonf
M1	SERVICIO	473.37
M2	SERVICIO	473.37
M3	SERVICIO	714.18
M4	SERVICIO	714.18
M5	SERVICIO	473.37
M6	SERVICIO	473.37
Colum	SERVICIO	3,385.73
		6,707.57

Las fuerzas axiales de los elementos verticales en el sistema estructural tradicional, son asumidas por las columnas de manera significativa en este caso para el 1er nivel suman las 3,385.73 ton que representa el 50.5% del total de las fuerzas verticales de la estructura, dejando un 49.5% para los muros estructurales.

Las fuerzas gravitatorias o cargas verticales tienen mayor incidencia que las cargas laterales (sismo) en las fuerzas axiales, esto se debe a que las fuerzas de sismo se manifiestan en las fuerzas cortantes y momentos flectores.

5.1.5 Cantidad del acero de refuerzo y volumen de concreto

En la figura 5.12 se ilustra la planta típica de la estructura convencional donde se tienen dos muros de concreto (M3 y M4) de 10 m de largo en el sentido X, mientras que en el sentido Y son cuatro muros de 7.50m

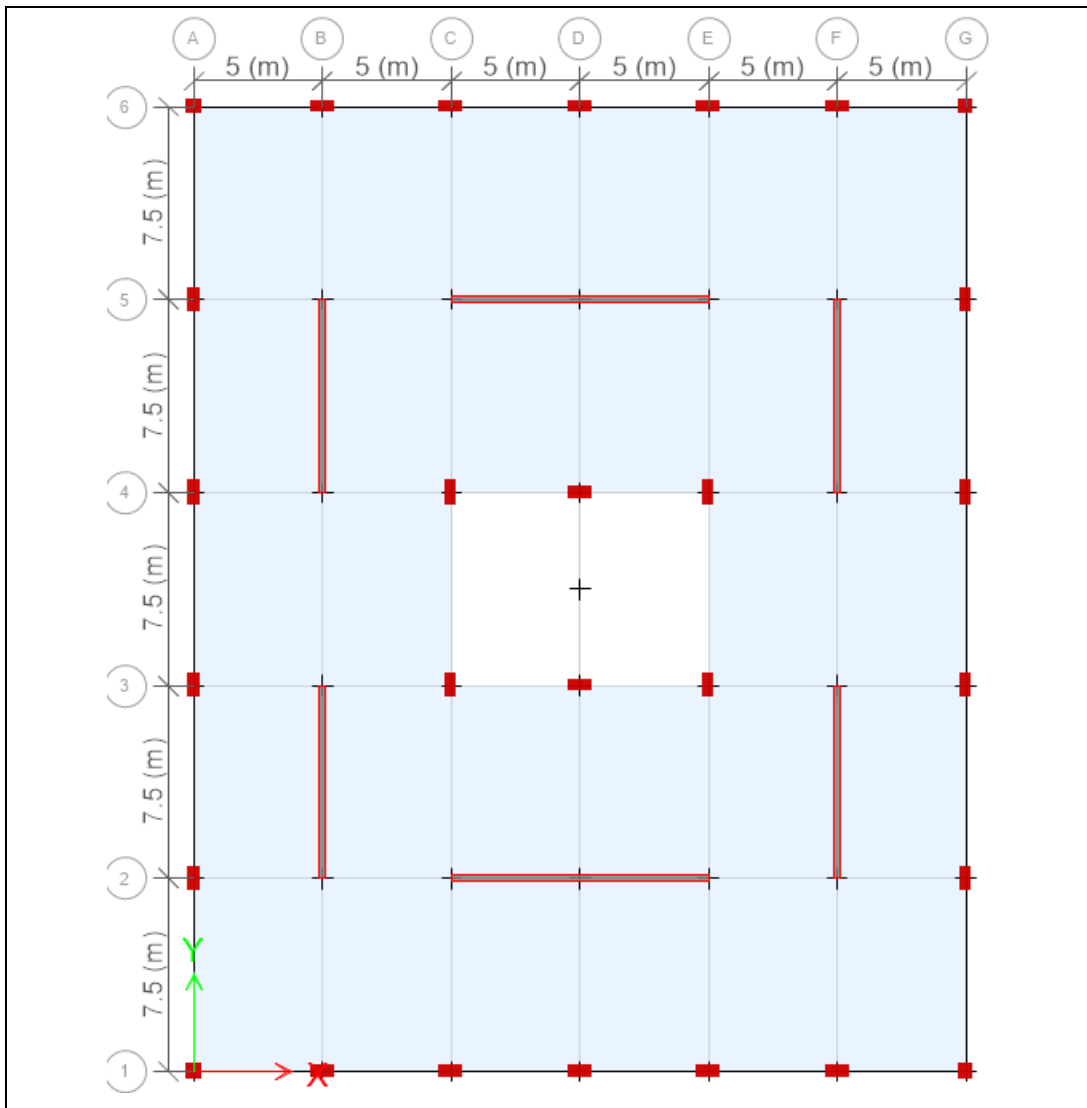


Figura 5.12: Planta típica de la estructura convencional,

En la figura 5.13 se muestra el área de refuerzo longitudinal que se requiere en los muros M1 y M2, el 1er Nivel requiere 214 cm² de acero de refuerzo, en los demás pisos va disminuyendo la cantidad requerida hasta 47 cm² en el último nivel.

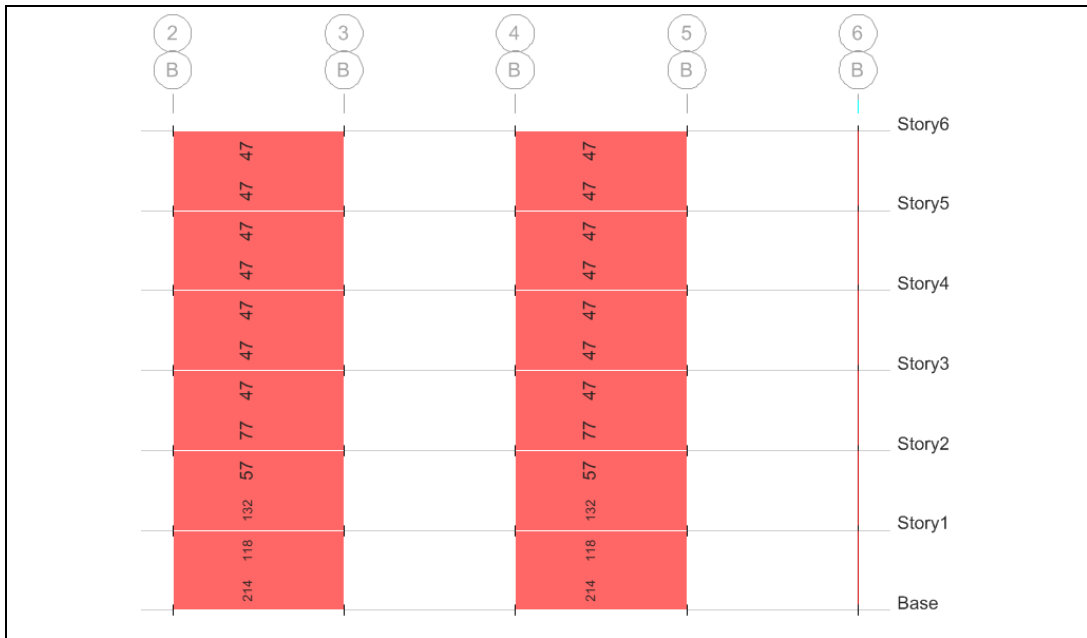


Figura 5.13: Área de refuerzo longitudinal en los muros M1 y M2,

En la figura 5.14, se aprecia el área de refuerzo longitudinal en los muros M4, el 1er Nivel requiere 428 cm² de acero de refuerzo, en los demás pisos va disminuyendo la cantidad requerida hasta 67 cm² en el último nivel.

En la Figura 5.15, se ilustra el área de refuerzo longitudinal en Vigas (5to Nivel). La viga con una sección de 30x70 cm, requiere mayor refuerzo está en los ejes B y F donde se necesitan 23 cm² para absorber los momentos negativos, mientras que para los momentos positivos solo requiere 11 cm².

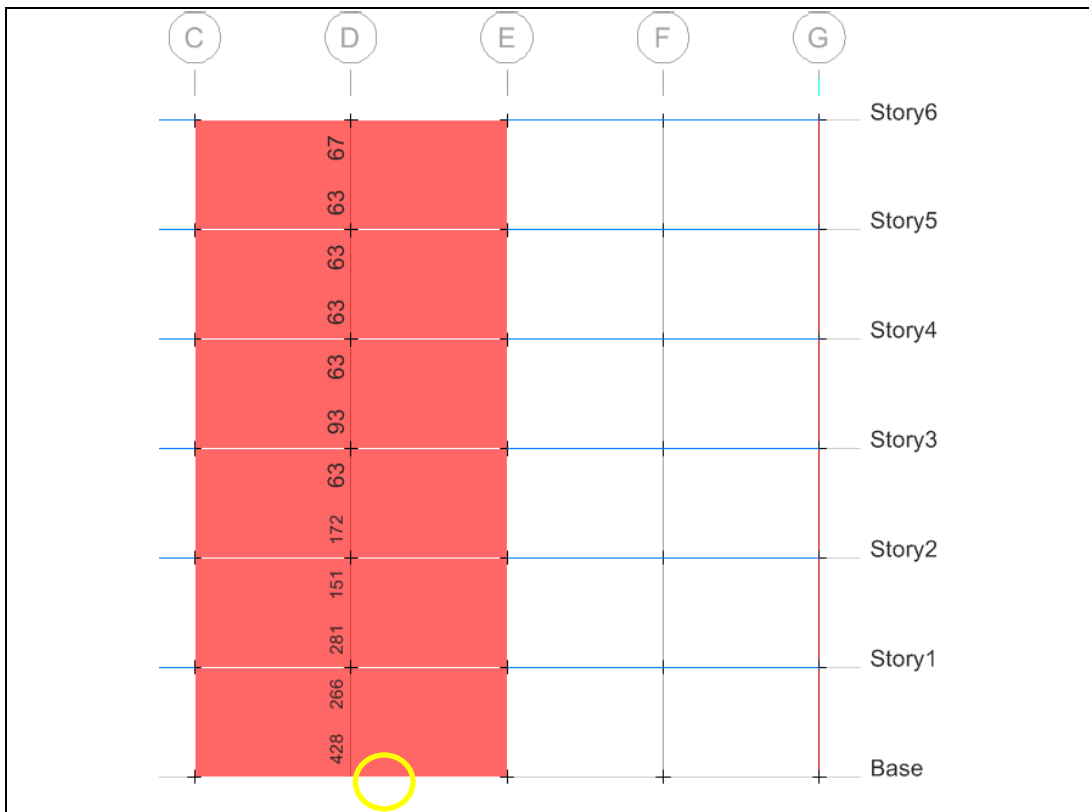


Figura 5.14: Área de refuerzo longitudinal en los muros M4

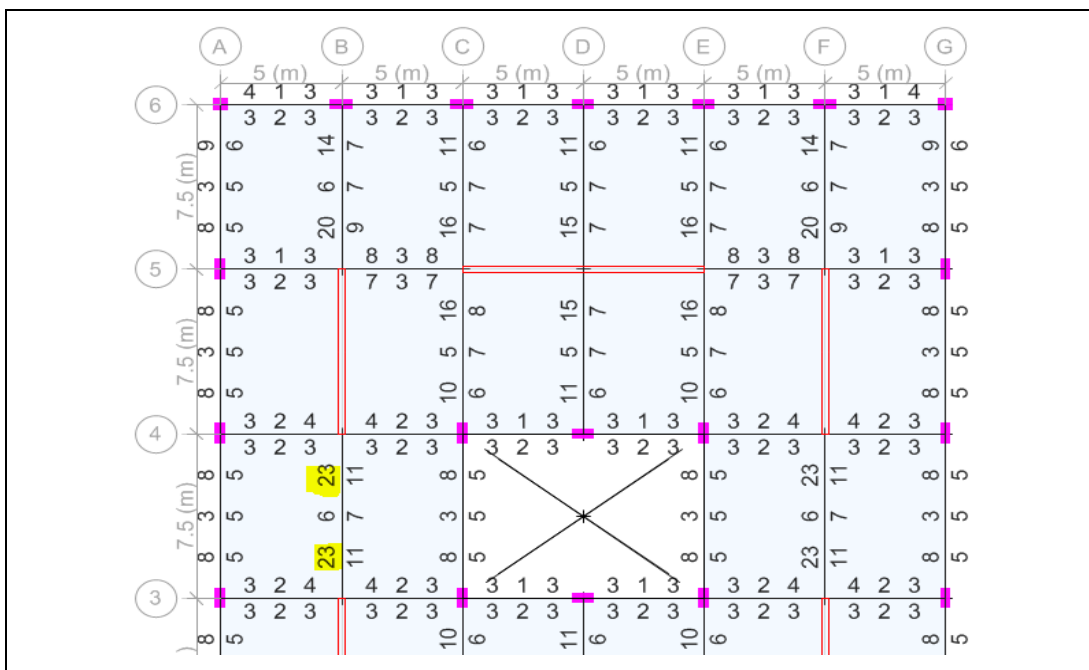


Figura 5.15: Área de refuerzo longitudinal en Vigas (5to Nivel).

Tabla 21: Cuadro Resumen de metrados de acero:

Piso	M1y M2	M5 y M6	M3 y M4	C1	C2	Columna1
1	214	240	493	36	43	
2	132	148	312	36	43	
3	77	82	187	36	43	
4	47	47	94	36	43	
5	47	47	63	36	43	
6	47	47	67	36	43	
acumulado	564	611	1,216	36	43	
Cant. Elem.	2	2	2	4	22	
Total						
(cm2)	1,128	1,222	2,432	144	946	
Altura (cm)	350	350	350	350	350	
Volumen						
(cm3)	394,800	427,700	851,200	50,400	331,100	
Volumen (cm3)						2,055,200
Volumen (m3)						2.06
Densidad del acero grado 60 (kg/m3)						7,850
Cantidad de acero en (Ton)						16.13

La tabla 21, muestra el resumen del metrado teórico de la cantidad de acero longitudinal de acero de refuerzo necesario para los muros estructurales y las columnas. Se tiene que para esta estructura se utilizarán 16.13 ton de acero grado 60, además se puede apreciar que la estructura está optimizada ya que la cuantía en las columnas está en 1% y en los muros (placas) se tiene un promedio de 1.3%.

Volumen de Concreto

Tabla 22: Volumen de concreto

Descripción	Valor
Peso de la Estructura (tonf)	4,501.08
Peso volumétrico concreto (ton/m3)	2.4
Volumen de concreto (m3)	1,875.45

La tabla 22, nos muestra el resumen el Metrado del peso propio de la estructura que nos sirve como una aproximación válida para determinar el volumen de concreto del edificio, por lo que podemos afirmar que esta edificación requerirá del vaciado de 1,875 m3 de concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

5.2. SISTEMA DIAGRID MODELO TIPO “A”

CONSIDERACIONES INICIALES

Con características similar al Modelo anterior (sistema Convencional: Pórticos, con muros de corte), pero en el Sistema Diagrid quitamos los muros de corte y para absorber las fuerzas laterales (fuerzas de sismo) arriostra el sistema con elementos diagonales.

En la Figura 5.16, ilustra la Estructuración Planta Típica del Sistema Diagrid Modelo A, con tan solo 04 columnas interiores, está conformadas por elementos diagonales y vigas.

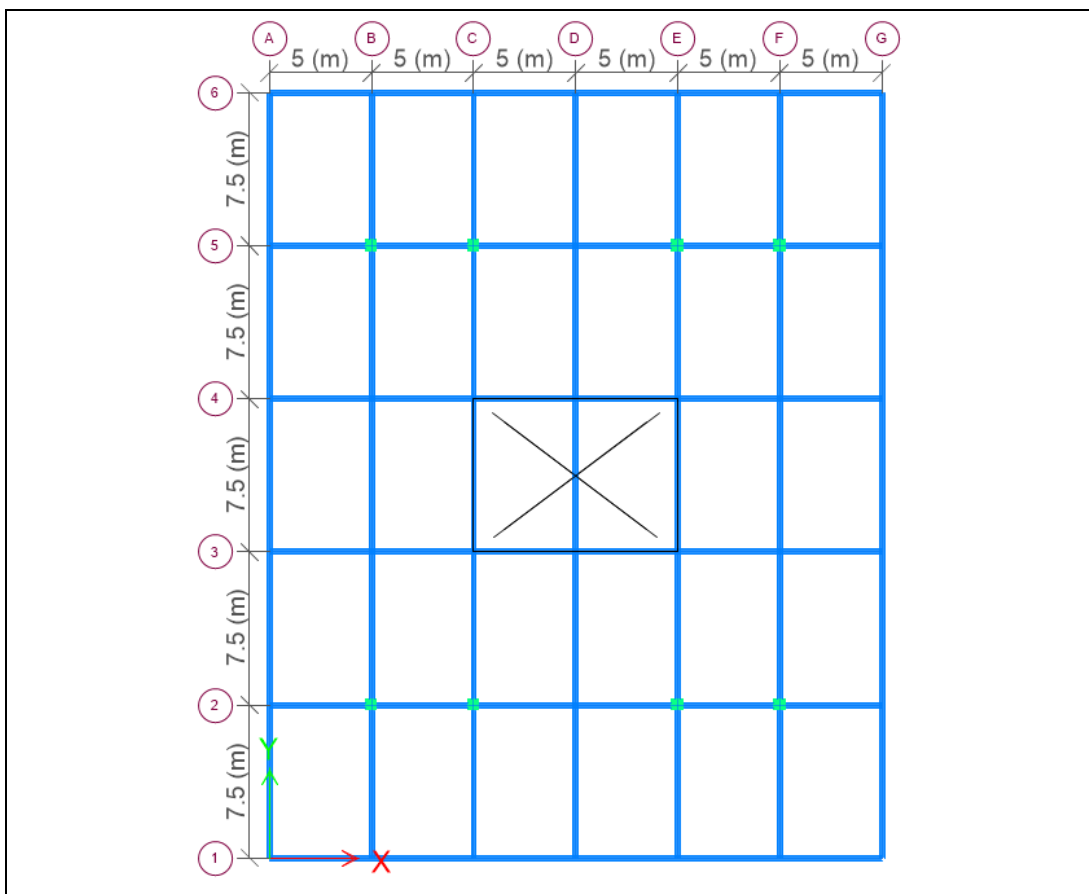


Figura 5.16: Estructuración Planta Típica del Sistema Diagrid Modelo A

En la figura 5.17, nos muestra la elevación en los ejes 1, 3, 4, 6, (04 ejes Diagrid y 02 ejes de pórticos) donde las diagonales tienen un Angulo de 35° con la proyección horizontal. En la figura 5.18, nos muestra elevación en los ejes A, D, G (03 ejes Diagrid y 4 pórticos), donde las diagonales tienen un Angulo de 43° con la proyección horizontal.

Las diagonales con una sección rectangular que varía de acuerdo al nivel de la siguiente manera: de 30x70 para los dos primeros niveles, de 30x60 para los niveles del 2 al 4 y de 30x55 para los dos últimos niveles.

En la figura 5.19, donde se aprecia la predominancia de los elementos diagonales (termino en inglés: braces), en la Vista en 3D de la Estructuración del Sistema Diagrid Modelo A.

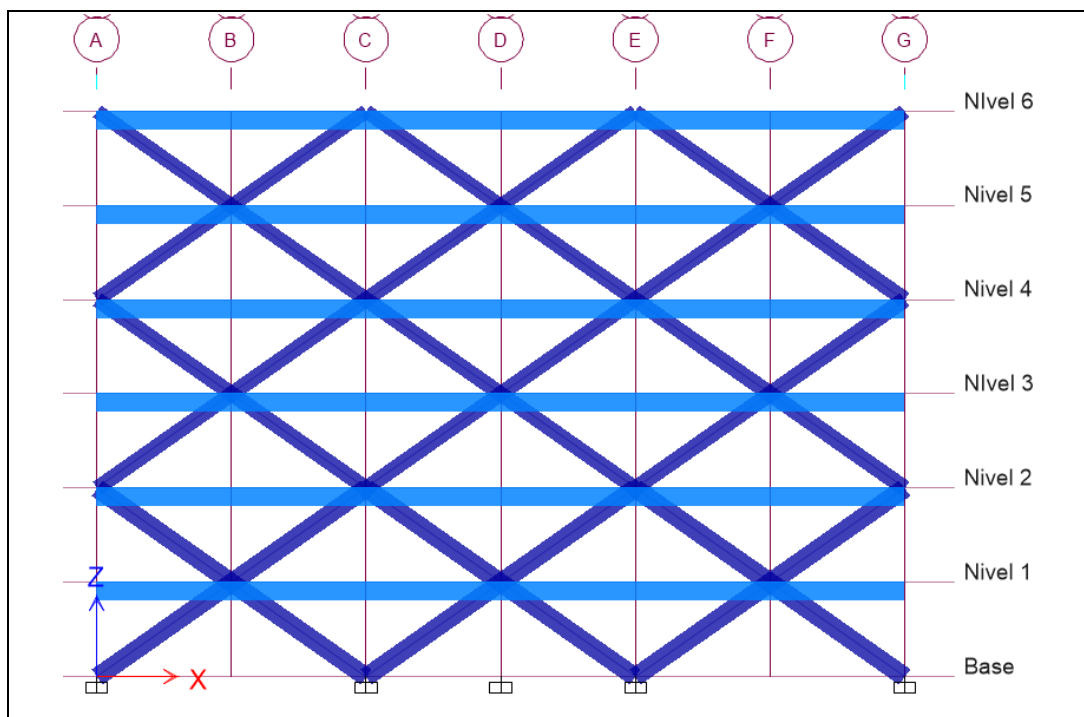


Figura 5.17: Elevación 1, 3, 4, 6. Fuente propia.

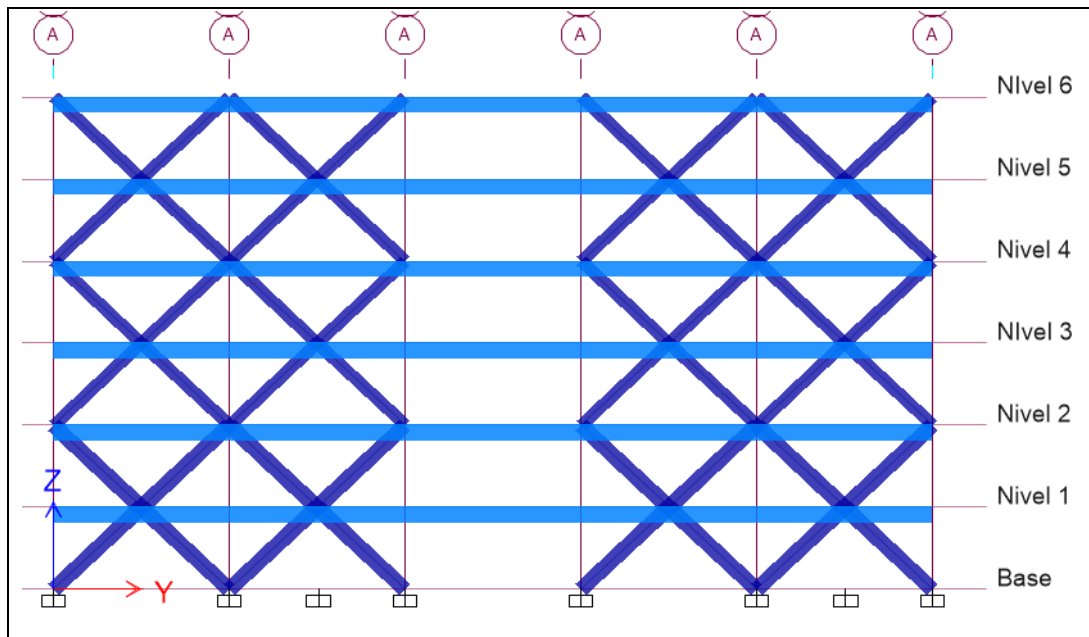


Figura 5.18: Elevación A, D, G

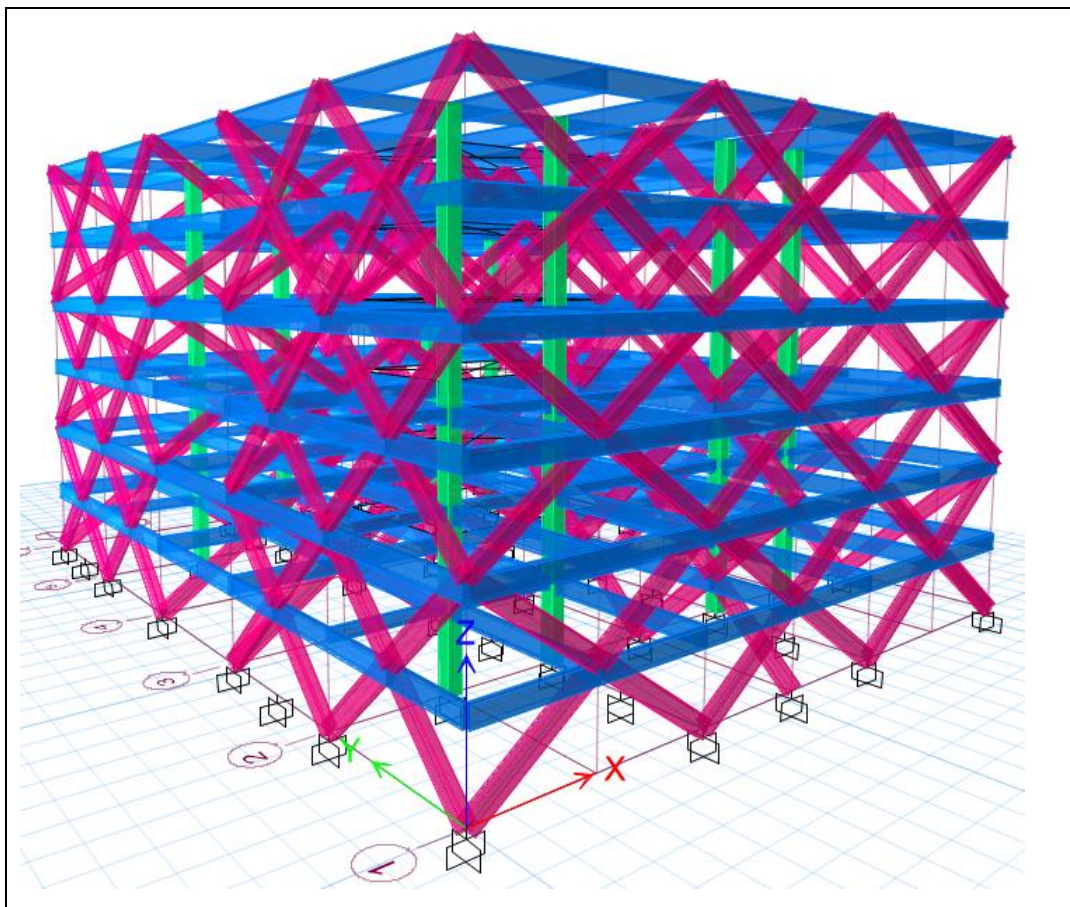


Figura 5.19: Vista en 3D, Estructuración del Sistema Diagrid Modelo A

5.2.1 Dimensión de las Diagonales por esfuerzos axiales

El concreto simple tiene muy poca resistencia a la tracción, el reglamento nacional toma como referencia el ACI art 9.5.2.3 que da como limite el valor siguiente:

$Fr = 2 \sqrt{f'c}$ (kg/cm²), en este caso elegimos un concreto de 280 kg/cm² de esfuerzo a la compresión, por lo que tendremos 33.4 kg/cm² de esfuerzo máximo a la tracción.

Los valores máximos de esfuerzo axiales, en tracción y en compresión se muestran a continuación.

Tabla 23: Máximos esfuerzo de tracción en las diagonales

En eje X

Nivel	seccion	Ac (cm ²)	Max tracc (tonf)	Esf. Tracción Esf (kg/cm ²)	%
1	30 x 70	2100	27.42	13.06	39.1%
3	30 x 60	1800	16.6	9.22	27.6%
5	30 x 55	1650	21.31	12.92	38.7%

En eje Y

Nivel	seccion	Ac (cm ²)	Max tracc (tonf)	Esf. Tracción Esf (kg/cm ²)	%
1	30 x 70	2100	38.55	18.36	55.0%
3	30 x 60	1800	20.37	11.32	33.9%
5	30 x 55	1650	24.47	14.83	44.4%

Donde: la ratio (%)= esfuerzo en compresión / Fr.

La tabla 23 no muestra que para secciones de 30x70 el máximo esfuerzo a tracción no sobrepasa al 55% del esfuerzo máximo de la tracción admisible del concreto.

Tabla 24: Máximos esfuerzo de compresión en las diagonales

En eje X

Nivel	sección	Ac cm ²	Max compresión tonf	Esf. Compres kg/cm ²	%
1	30 x 70	2100	-257.04	-122.40	43.7%
3	30 x 60	1800	-182.24	-101.24	36.2%
5	30 x 55	1650	-95.82	-58.07	20.7%

En eje Y

Nivel	sección	Ac cm ²	Max compresión tonf	Esf. Compres kg/cm ²	%2
1	30 x 70	2100	-343.75	-163.69	58.5%
3	30 x 60	1800	-233.24	-129.58	46.3%
5	30 x 55	1650	-155.31	-94.13	33.6%

Donde: la ratio (%)= esfuerzo en compresión / f'c.

La tabla 24 no muestra que para secciones de 30x70 el máximo esfuerzo a tracción no sobrepasa al 58.5% del esfuerzo máximo de la compresión admisible del concreto.

Con la estructuración planteada tenemos esfuerzos axiales menores del módulo de rotura en este caso igual a 33.4 kg/cm², por lo que las secciones planteadas van disminuyendo cada dos niveles.

El esfuerzo axial máximo a tracción se ha definido como el evento más desfavorable; es decir cuando las cargas gravitatorias sean las mínimas (solo carga muerta) y se produce el sismo más desfavorable, es decir el sismo estático, en la dirección del eje que se está analizando.

El esfuerzo máximo a compresión se ha definido como el evento más desfavorable; es decir cuando las cargas gravitatorias sean las máximas (cargas muertas + cargas vivas + sobrecargas) estén mayoradas y se produce el sismo más desfavorable, es decir el sismo estático, en la dirección del eje que se está analizando.

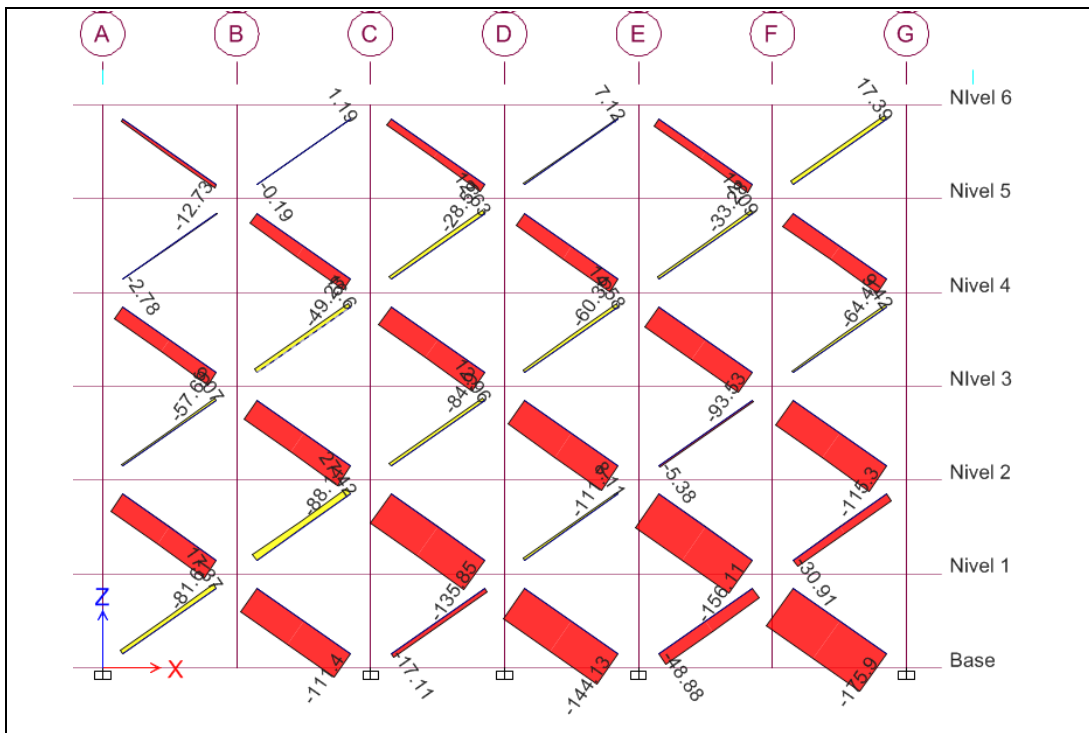


Figura 5.20: Fuerzas axiales, en los ejes de los números, máxima de tracción.

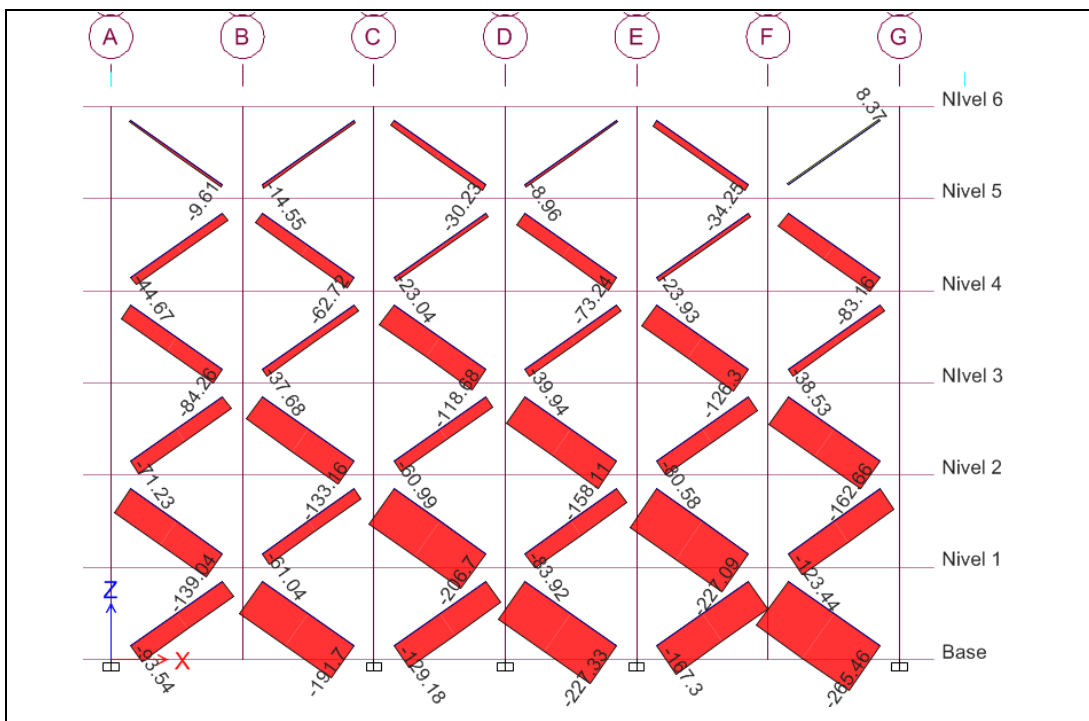


Figura 5.21: Fuerzas axiales, en los ejes de los números, máxima compresión.

En la figura 5.20 nos muestra las Fuerzas axiales, en los ejes de los 1, 3, 4 y 6, con la máxima de tracción y en la figura 5.21 se aprecian las Fuerzas axiales en la máxima compresión, ambas figuras están sometidas a un sismo en el sentido X.

En la figura 5.22 nos ilustra sobre la variación de las fuerzas axiales en los ejes A, D y G, por la máxima compresión para el sismo en Y, nótese que la máxima fuerza axial en compresión de 231.85 tonf, que para una sección de 30x70 representa un esfuerzo de 20.05 kg/cm² muy por debajo del f'_c .

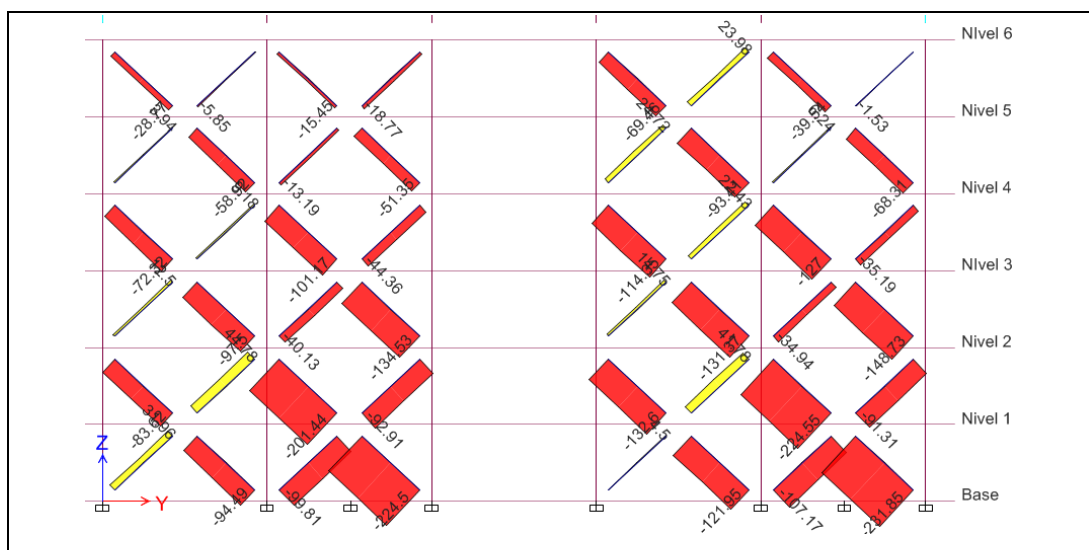


Figura 5.22: Fuerzas axiales en los ejes A, D y G, la máxima compresión para el sismo en Y.

5.2.2. Periodos naturales de vibración de la estructura

Tabla 25: modos versus periodos de vibración

Case	Mode	Periodo seg.
Modal	1	0.435
Modal	2	0.308
Modal	3	0.249
Modal	4	0.245
Modal	5	0.243
Modal	6	0.243
Modal	7	0.240
Modal	8	0.235
Modal	9	0.235

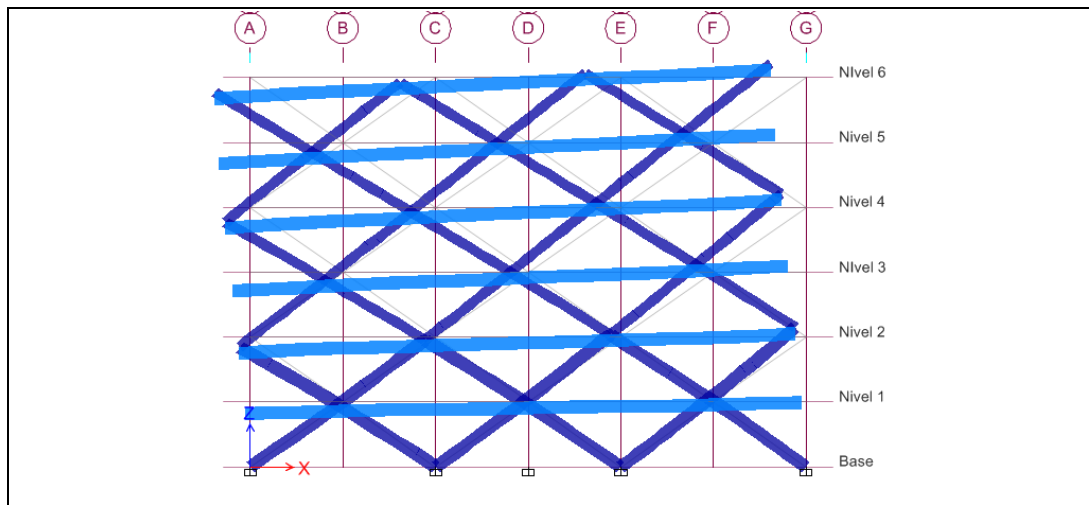


Figura 5.23: Modo2: traslación en el sentido X, con un periodo de 0.308 seg

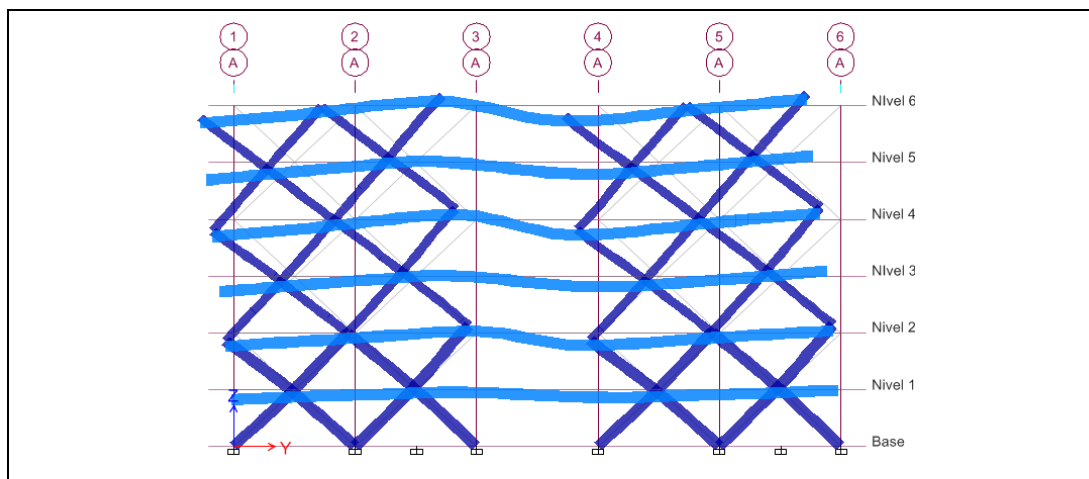


Figura 5.24: Modo1: traslación en el sentido Y, con un periodo de 0.435 seg.

Comparando la Figura 5.23 con la Figura 5.24, podemos visualizar mayores desplazamientos en el sentido Y que en el sentido X. Esto se debe a que en el sentido X, hay continuidad de todas las diagonales y tiene 04 ejes Diagrid, mientras que, en el sentido Y solo tiene 03 ejes Diagrid. Por eso el primer modo de vibración es de traslación en el sentido Y, el 2° modo es de traslación en el sentido X y el 3° modo es de rotación de la estructura, tal como se aprecia en la Figura 5.25.

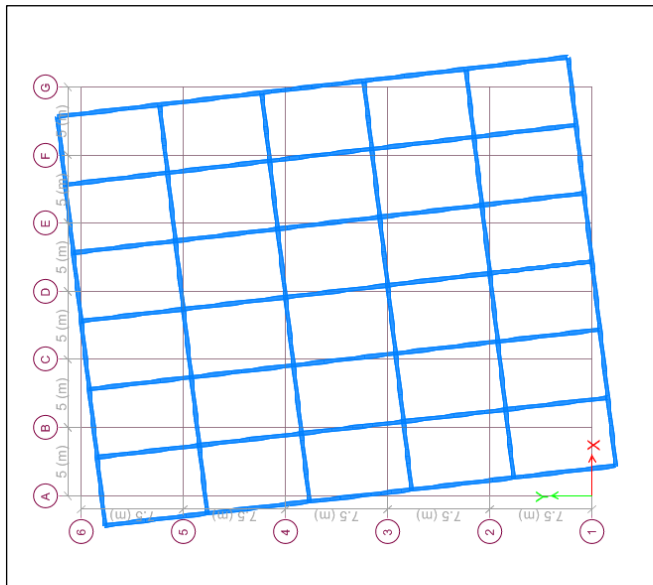


Figura 5.25: Modo3 - rotación de la estructura Diagrid Modelo A.

5.2.3. Cortantes estáticos, Peso de la estructura y cortantes dinámicos

Peso de la Estructura Diagrid

En la tabla 26 se muestra el Peso en cada Piso, el Software realiza el Metrado de masas de la estructura los que al multiplicarse por la gravedad obtenemos el Peso propio de la estructura tal como sigue:

Tabla 26: Masa y Peso de la estructura

Story	UX tonf-s/m
Story6	95.21
Story5	117.49
Story4	117.49
Story3	117.49
Story2	119.56
Story1	121.62
Base	16.32
Masa total	705.18
Peso total	6,915.70

Cálculo Manual del Cortante estático:

$$V = C * P = 0.16875 * 7\,039.86 = 1188.33 \text{ ton}$$

$$V = \mathbf{1,188.33 \text{ ton}}$$

Tabla 27: Cortante estático calculado con el Programa Etabs.

Piso	Load Case/Combo	VX (tonf)	VY(tonf)
Nivel 1	Sismo X	-1,182.39	0.00
Nivel 1	Sismo Y	0.00	-1,182.39

Entre el cálculo manual y el del programa hay una diferencia de 0.5%, que no es significativa.

Tabla 28: Peso Propio de los elementos estructurales

Tipo de Elemento	Material	Peso Total tonf	# Piezas	Participación
Columnas	CONC280	145.15	48	2%
Vigas	CONC280	1,041.23	408	15%
Diagonales	CONC280	734.23	288	10%
Losa	CONC280	2,520.00	6	35%
Peso Propio		4,440.61		62%
Carga Viva	0.4	2,205.00		31%
Peso Total		6,645.61		93%

En la tabla 28 se lista el resumen del Metrado de cargas de los pesos propios de cada elemento estructural, el número de elementos y su incidencia en el Peso total del edificio que en este caso es de 6 645.61 tonf: Si dividimos entre el área techada obtenemos el Peso Total por m² de la estructura = 1 090 kgf/m².

Cálculo del Cortante Dinámico

Tabla 29: Cortante Dinámico calculado con el Programa Etabs

Piso	Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
Nivel 1	SDX Max	909.64	0.54
Nivel 1	SDY Max	0.53	869.56

Escalamiento del cortante dinámico

Tabla 30: Factor de escalamiento

Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
estático	-1,182.39	-1,182.39
dinámico	909.64	869.56
%	-77%	-74%
FS	-1.16986	-1.22378

El factor de escalamiento se obtiene por la siguiente ecuación de proporcionalidad:

$$F_{esc} = \frac{V_{estático} * 90\%}{V_{dinámico}}$$

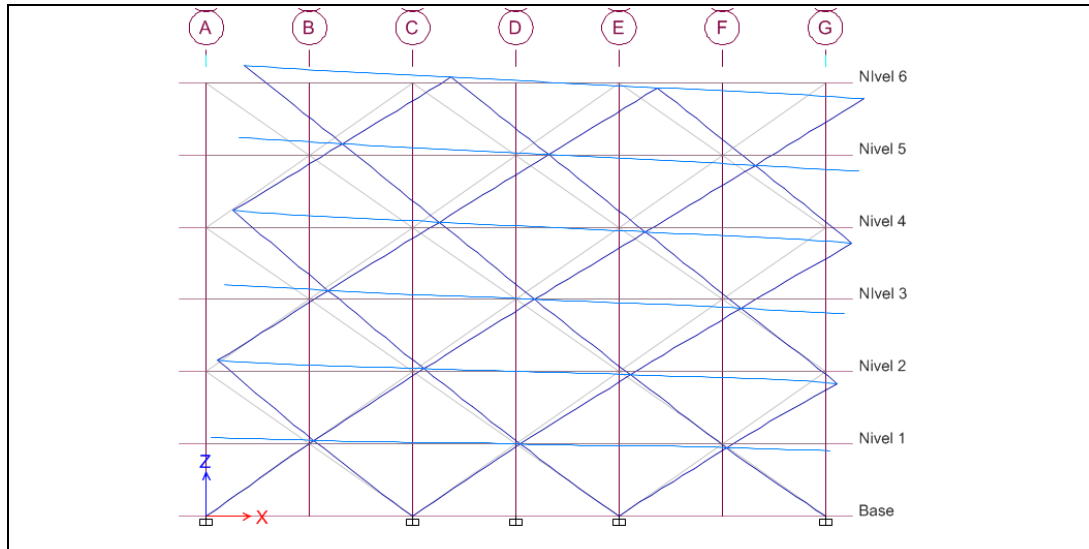
Al aplicar el factor de escalamiento, los **cortantes dinámicos de diseño**, quedan de la siguiente manera:

Tabla 31: Cortantes con el sismo de diseño.

Piso	Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
Nivel 1	SDX[Diseño] Max	1,064.15	
Nivel 1	SDY[Diseño] Max		1,064.15

5.2.4. Desplazamientos y Derivas de Piso

La figura 5.26 ilustra el desplazamiento por sismo estático en X en la elevación 1, este esquema expresa los valores indicados en la tabla 32, donde cuantifica los desplazamientos en centímetros en todos los pisos.



Figuras 5.26: Desplazamiento por sismo estático en X en la elevación 1.

Los desplazamientos (con sismo estático) por piso son los siguientes:

Tabla 32: Desplazamientos en el sentido X.

Piso	Load Case/Combo	UX cm	UX real cm
Nivel 6	Sismo X	0.692	3.633
Nivel 5	Sismo X	0.599	3.145
Nivel 4	Sismo X	0.482	2.531
Nivel 3	Sismo X	0.343	1.801
Nivel 2	Sismo X	0.208	1.092
Nivel 1	Sismo X	0.082	0.431

Las tablas 32 y 33 calculan el desplazamiento real expresado en centímetros, amplificando el desplazamiento elástico (U) de la siguiente manera: $U \text{ real} = U * 0.75 * 7$, donde 7 es el valor de R (Coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica).

Tabla 33: Desplazamientos en el sentido Y.

Piso	Load Case/Combo	UY cm	UY real cm
Nivel 6	Sismo Y	1.462	7.676
Nivel 5	Sismo Y	1.204	6.321
Nivel 4	Sismo Y	0.915	4.804
Nivel 3	Sismo Y	0.609	3.197
Nivel 2	Sismo Y	0.348	1.827
Nivel 1	Sismo Y	0.089	0.467

Tabla 34: Derivas por piso aplicando el sismo estático X:

Piso	Tipo de Carga	Derivas Δ elástica	Deriva inelástica	Derivas inelásticas Δ (%)	Deriva límite Δ limite	ratio
Nivel 6	Sismo X	0.0003	0.0016	0.1559	0.7	22%
Nivel 5	Sismo X	0.0004	0.0019	0.1901	0.7	27%
Nivel 4	Sismo X	0.0004	0.0023	0.2279	0.7	33%
Nivel 3	Sismo X	0.0004	0.0022	0.2189	0.7	31%
Nivel 2	Sismo X	0.0004	0.0020	0.2027	0.7	29%
Nivel 1	Sismo X	0.0003	0.0013	0.1349	0.7	19%

La tabla 34 calculan la deriva real o deriva inelástica expresado en centímetros, amplificando la deriva elástica la siguiente manera: Δ real = Δ * 0.75*7, donde 7 es el valor de R (Coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica).

En la figura 5.28 grafica la Derivas en el sentido X, la variación por piso, mostrando con una línea vertical el límite máximo para estructuras de concreto armado.

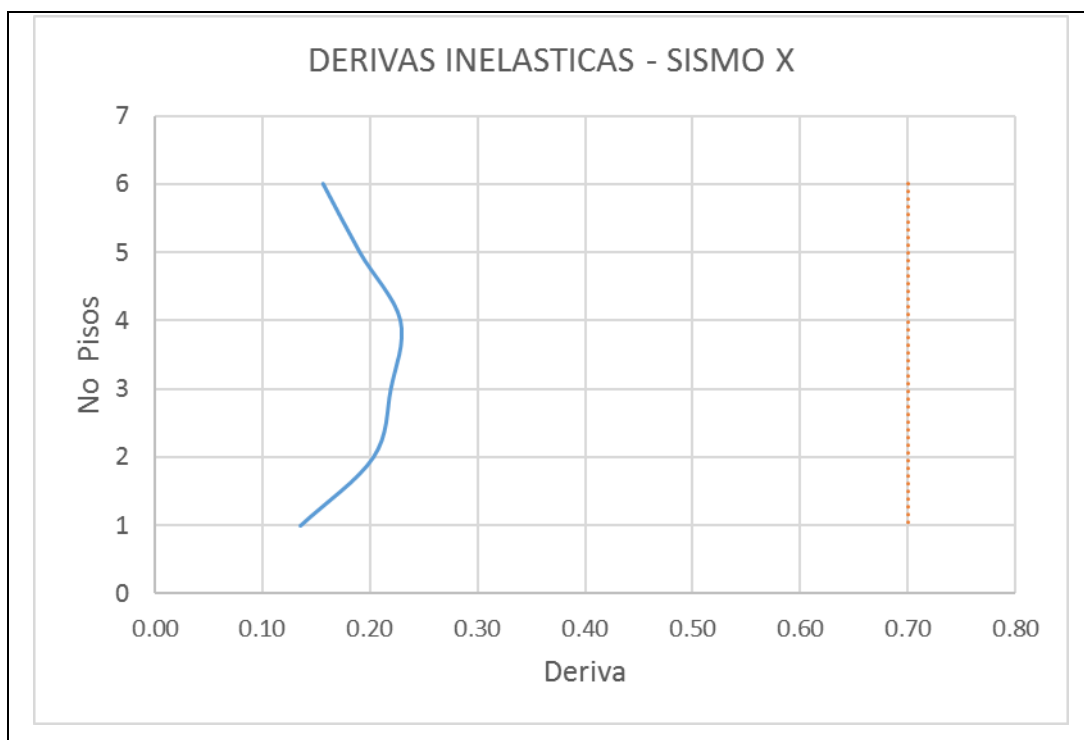


Figura 5.28: Derivas en el sentido X.

Derivas en el sentido Y

Tabla 35: Derivas por piso aplicando el sismo estático Y:

Piso	Tipo de Carga	Derivas Δ elástica	Deriva inelástica	Derivas inelásticas $\Delta(\%)$	Deriva límite Δ limite	ratio
Nivel 6	Sismo Y	0.000765	0.0040	0.4016	0.7	57%
Nivel 5	Sismo Y	0.000858	0.0045	0.4505	0.7	64%
Nivel 4	Sismo Y	0.000900	0.0047	0.4725	0.7	68%
Nivel 3	Sismo Y	0.000770	0.0040	0.4043	0.7	58%
Nivel 2	Sismo Y	0.000765	0.0040	0.4016	0.7	57%
Nivel 1	Sismo Y	0.000276	0.0014	0.1449	0.7	21%

La tabla 35 calculan la deriva real o deriva inelástica expresado en centímetros, amplificando la deriva elástica la siguiente manera: Δ real = Δ * 0.75*7, donde 7 es el valor de R (Coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica).

En la figura 5.29 grafica la Derivas en el sentido Y, la variación por piso, mostrando con una línea vertical el límite máximo para estructuras de concreto armado.

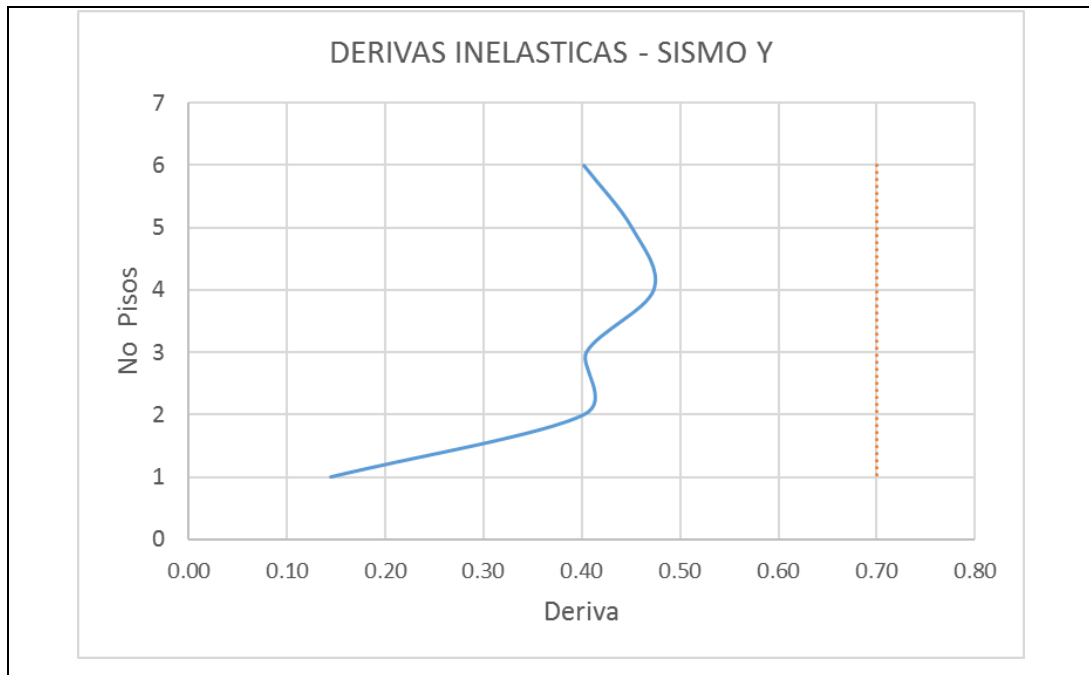


Figura 5.29: Derivas en el sentido Y.

5.2.5. Fuerzas cortantes, Momentos flectores y fuerzas axiales.

Los mayores esfuerzos internos de la estructura se presentan en los elementos diagonales.

En la figura 5.30 nos muestra el mayor valor de las fuerzas cortantes se encuentra en el nivel 2 con un valor de 3.53 tonf, el que resulta ser muy pequeño comparado con los 273 tonf que se presentan en los muros estructurales del modelo convencional ortogonal.

a) Fuerzas Cortantes en cada Diagonal.

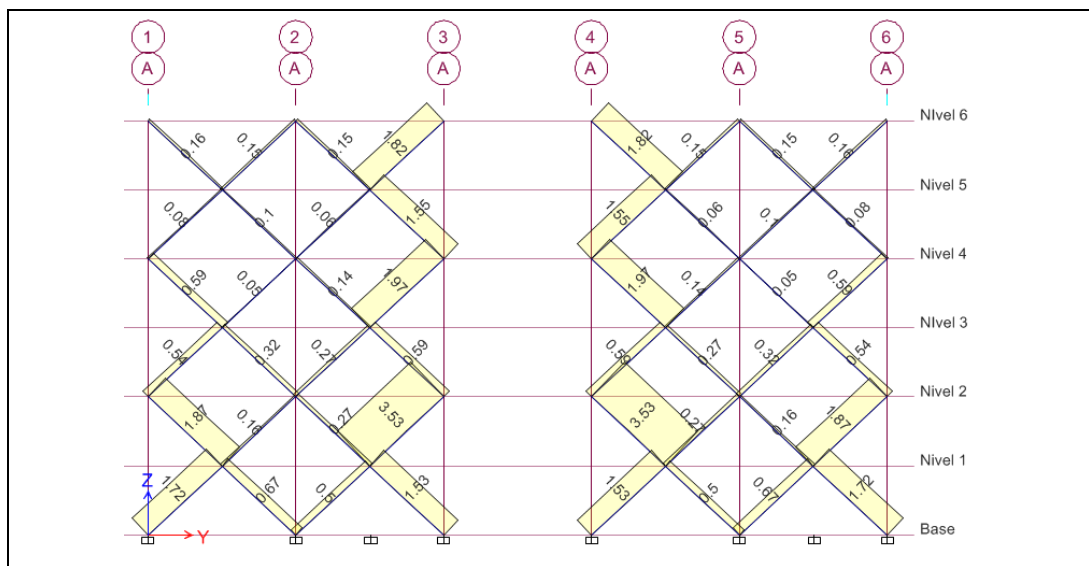


Figura 5.30: Fuerzas cortantes en el eje A por el sismo de diseño SDY.

En la Figura 5.31, los Momentos flectores en el eje 1 con el sismo de diseño X, por el sismo de diseño SDX, se aprecia que el mayor valor de 2.0 tonf-m, resulta ser muy pequeño comparado con el momento de 6993.18 tonf- que se presentan en los muros del modelo convencional ortogonal.

Figura 5.32, los Momentos flectores en el eje A con la envolvente de cargas, el mayor valor de 21 tonf-m, el que resulta ser muy pequeño comparado con el momento de 6993.18 tonf- que se presentan en los muros del modelo convencional ortogonal.

b) Momentos flectores

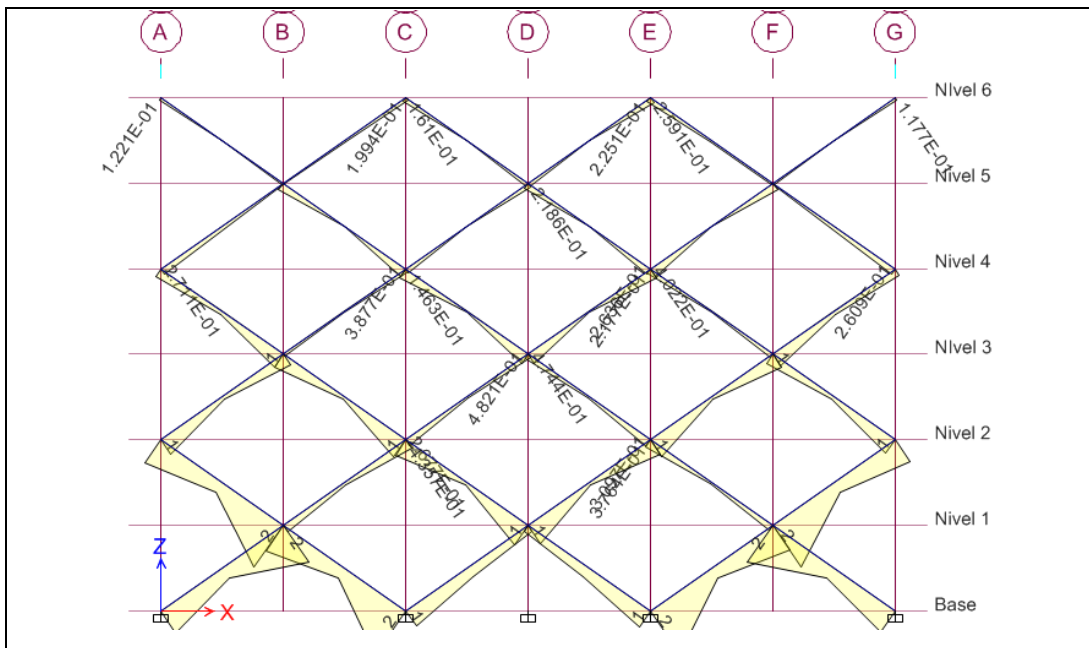


Figura 5.31: Momentos flectores en el eje 1 con el sismo de diseño X.

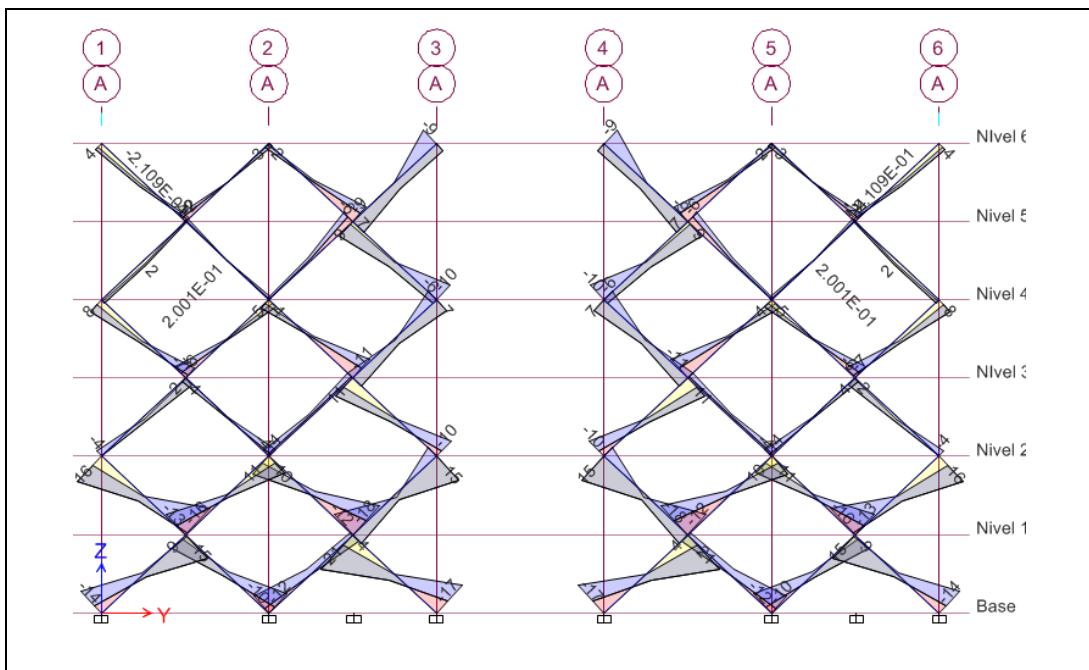


Figura 5.32: Momentos flectores en el eje A con la envolvente de cargas

5.2.6 Cantidad del acero de refuerzo en muros y columnas

Para determinar la cantidad de acero de las diagonales se realizarán dos verificaciones, la primera por tracción y la segunda por flexión.

Para la tracción se tiene que el acero grado 60 tiene una capacidad a la fluencia de 4200 kg/cm², por lo que asumiremos la cuantía de 0.7% para los dos primeros niveles con una sección de 30 x 70 tendremos un área de acero 14.7 cm que es capaz de resistir hasta 61.74 tonf antes de entrar en fluencia, como la máxima tracción es de 38.55 tonf el acero estaría trabajando al 62% de su capacidad máxima.

Para verificar por flexión se tiene que los momentos flectores en los dos primeros niveles están en un rango de 10 tonf-m a 21 tonf-m, por lo que aplicando las siguientes ecuaciones:

$$PB = B1 * 0.85 * f_c / f_y * (6000 / (6000 + f_y))$$

$$a = A_s * f_y / (0.85 * f_c * b)$$

$$M_n = A_s * f_y * (d - a/2)$$

Tenemos que el acero de refuerzo necesario está en el siguiente rango: 3.96 cm² y 7.91 cm². Por lo que tenemos una cuantía por flexión de 0.305% en la cara en tracción. Teniendo las áreas de acero procedemos a su metrado.

Tabla 36: Cuadro Resumen de metrado de acero:

Elemento	Nivel	Long	Área	Cuantía	As diag. cm2	As total cm2	As tot2 cm3	Volumen m3
Ejes X								
Diag. 30x70	1y2	6.10	2100	0.70	14.70	705.60	430,416.00	0.43
Diag. 30x60	3y4	6.10	1800	0.45	8.10	388.80	237,168.00	0.24
Diag. 30x55	5y6	6.10	1650	0.25	4.13	198.00	120,780.00	0.12
Ejes Y								
Diag. 30x70	1y2	5.13	2100	0.70	14.70	705.60	361,972.80	0.36
Diag. 30x60	3y4	5.13	1800	0.45	8.10	388.80	199,454.40	0.20
Diag. 30x55	5y6	5.13	1650	0.25	4.13	198.00	101,574.00	0.10
Total acero (m3)								1.45

La tabla 36 de una manera simplificada, realiza una aproximación para el cálculo del Metrado de acero longitudinal para reforzar el comportamiento de los momentos flectores de las diagonales, donde se ingresa a la tabla la sección y longitud de los elementos, así como la cuantía promedio obtenida con el programa Etabs, para determinar el área de acero se multiplica el área de la sección por la cuantía, el valor obtenido multiplicado por el número de elementos nos da As total y este por la longitud de los elementos nos proporcional el acero como volumen en cm³.

Si el volumen lo multiplicamos por la densidad del acero que es de 7850 kg/m³ obtenemos la cantidad de acero en ton, tal como se muestra a continuación:

Descripción	Valor
Volumen (m ³)	1.45
Densidad del acero grado 60 (kg/m ³)	7850.00
Cantidad de acero en (Ton)	11.39

Volumen de Concreto

Tabla 37: Metrado de concreto armado

Descripción	Valor
Peso de la Estructura (tonf)	4,440.61
Peso volumétrico concreto (ton/m ³)	2.4
Volumen de concreto (m³)	1,850.25

Donde:

$$\text{Volumen de concreto (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso de la Estructura (tonf)}}{\text{Peso volumétrico concreto}}$$

Esta edificación requerirá del vaciado de 1,850.25 m³ de concreto f'c =280 kg/cm².

5.3. SISTEMA DIAGRID MODELO TIPO “B”

CONSIDERACIONES INICIALES

Similar al Diagrid tipo “A”, solo que ahora la modulación es cada 4 pisos, lo que permite elevaciones más transparentes (mayor iluminación natural).

En la Figura 5.33: podemos apreciar la estructuración de la Planta Típica del Sistema Diagrid Modelo B, con tan solo 14 columnas interiores, conformadas principalmente por elementos diagonales y vigas.

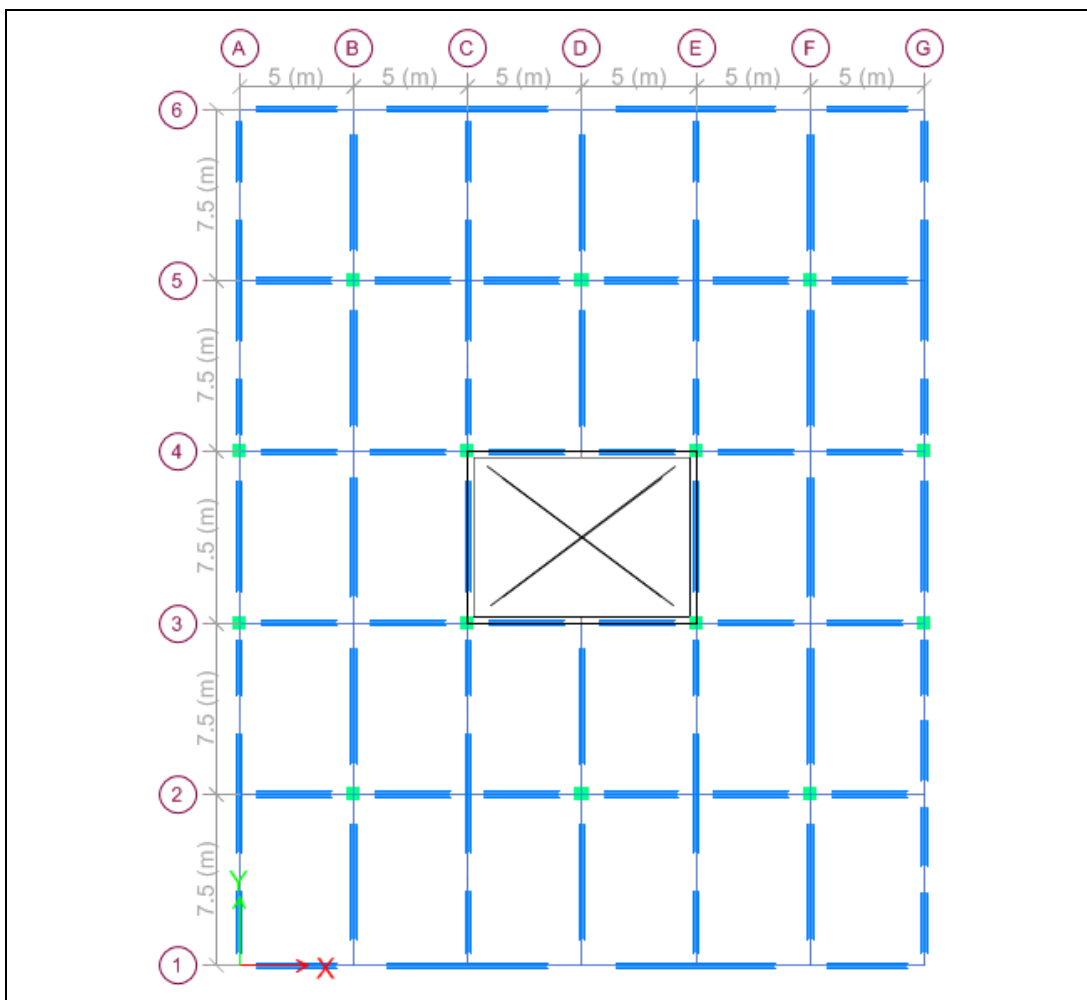


Figura 5.33: Estructuración Planta Típica del Sistema Diagrid Modelo B.

En la figura 5.34, nos muestra la elevación en los ejes 1, 3, 4, 6, (04 ejes Diagrid y 02 ejes de pórticos) donde las diagonales tienen un Angulo de 58° con la proyección horizontal. En la figura 5.35, nos muestra elevación en los ejes A, C, E, G (04 ejes Diagrid y 2 pórticos), donde las diagonales tienen un Angulo de 64.59° con la proyección horizontal.

Las diagonales con una sección rectangular que varía de acuerdo al nivel de la siguiente manera: de 30x70 para los dos primeros niveles, de 30x60 para los niveles del 2 al 4 y de 30x55 para los dos últimos niveles.

En la figura 5.36, donde se aprecia la predominancia de los elementos diagonales (termino en inglés: braces), en la Vista en 3D de la Estructuración del Sistema Diagrid Modelo B.

Figura 5.37: ilustra una vista en 3D, donde las diagonales en los ejes de las letras, no tienen continuidad por el eje de circulación tipo pórtico, entre los ejes 3y 4.

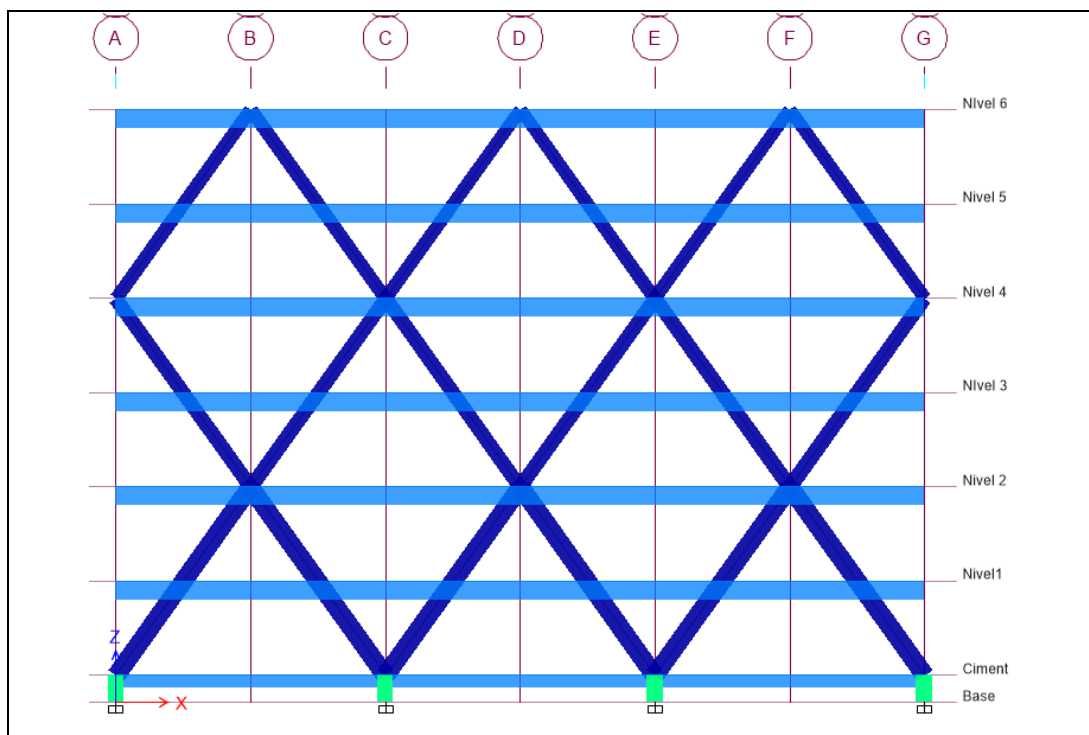


Figura 5.34: Elevación 1,3,4,6. Modelo B

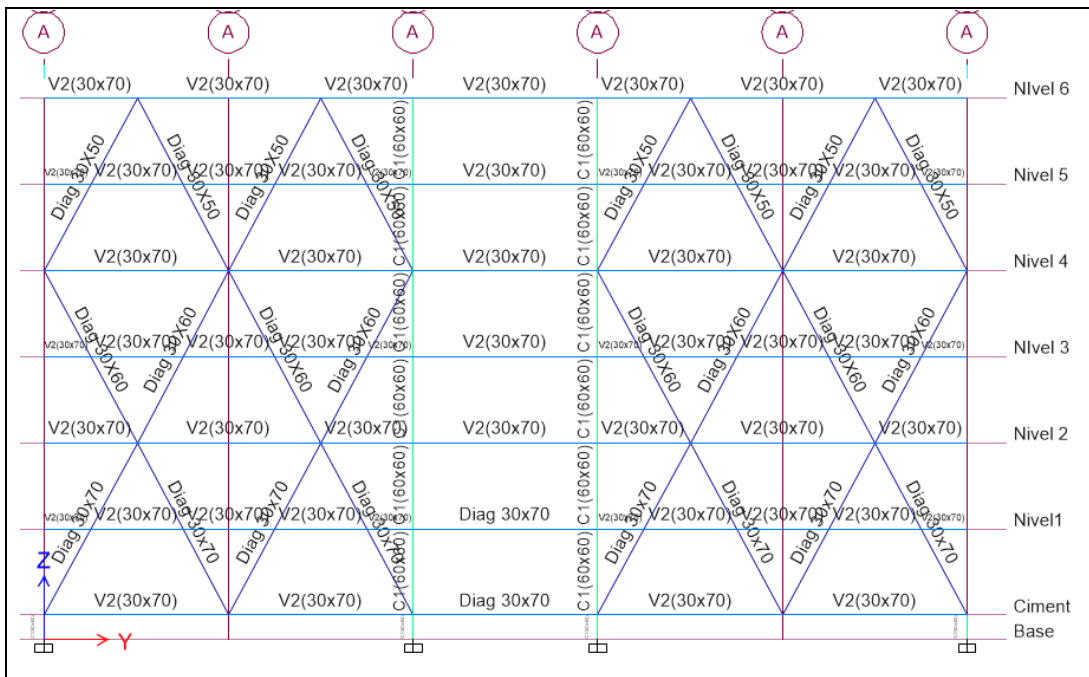


Figura 5.35: Elevación A, C, E, G. Modelo B

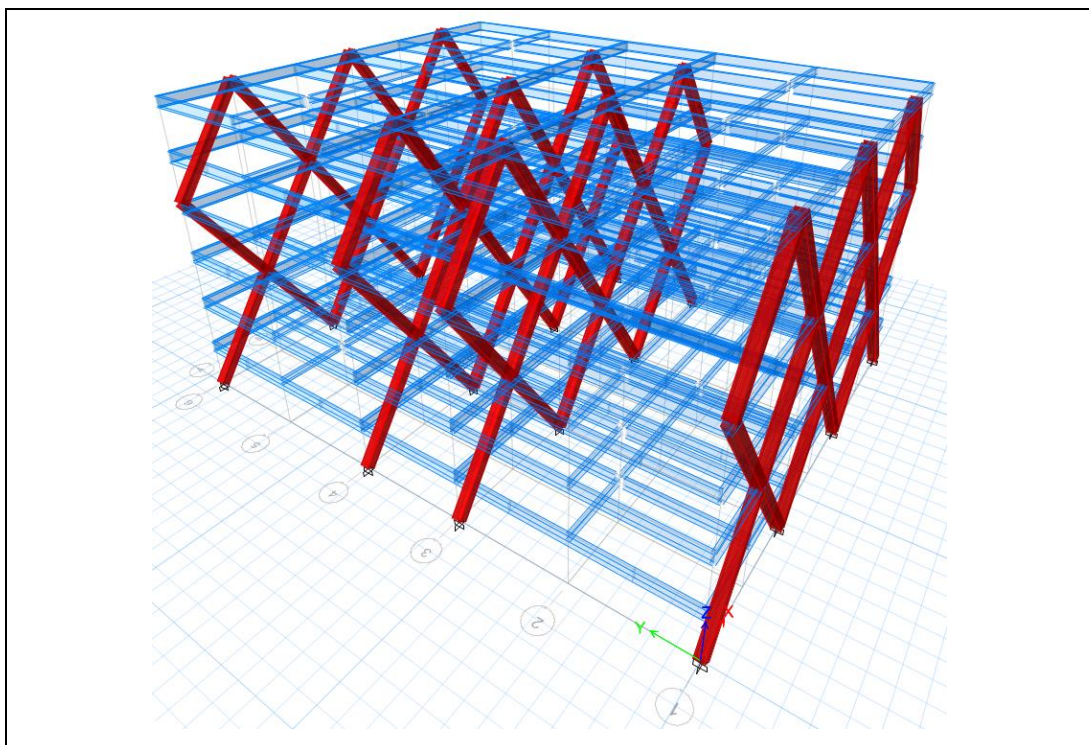


Figura 5.36: Vista 3D (Ejes 1, 3, 4, 6), con modulación cada 04 pisos.

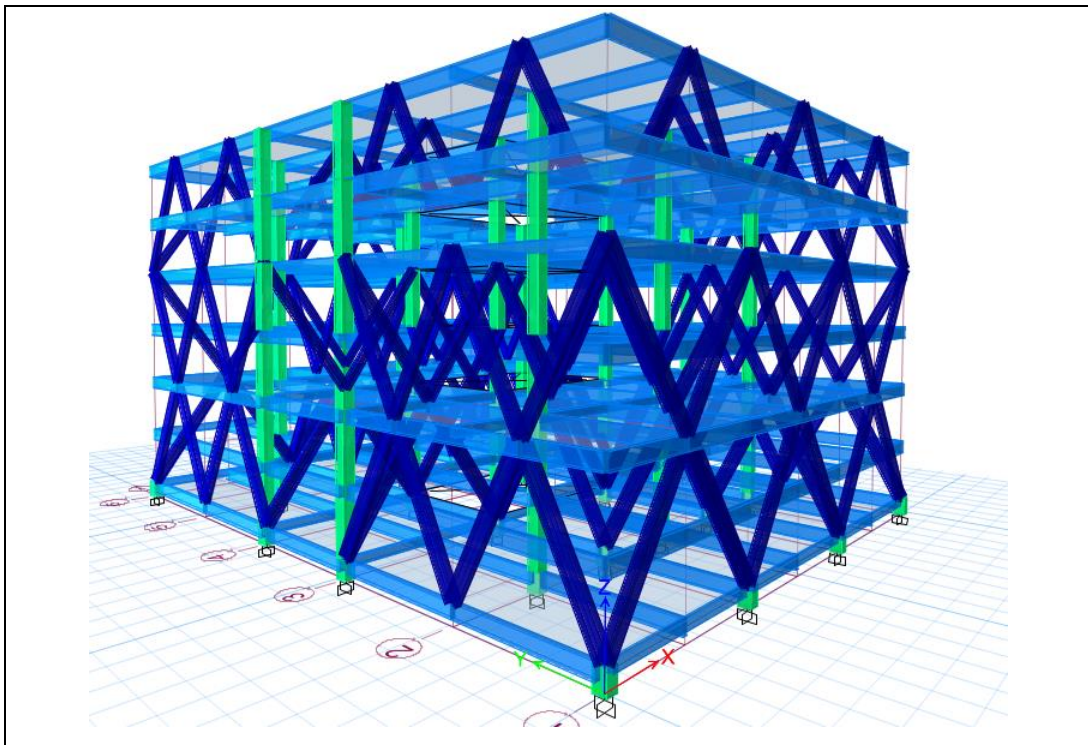


Figura 5.37: VISTA EN 3D, Diagrid con pórtico central

5.3.1 Dimensión de las Diagonales por esfuerzos axiales

Los valores máximos de esfuerzo axiales, en tracción y en compresión se muestran a continuación.

Tabla 38: Máximos esfuerzo de tracción en las diagonales

Eje X

Nivel	Seccion	máx tracción tonf	esf tracc kg/cm2	límite kg/cm2
1-2	30 x 70	62.31	29.67	33.4
3-4	30 x 60	53.63	29.79	33.4
5-6	30 x 50	28.99	19.33	33.4

Eje Y

Nivel	Sección	máx tracción	esf tracc	límite
		tonf	kg/cm2	kg/cm2
1-2	30 x 70	60.18	28.66	33.4
3-4	30 x 60	54.22	30.12	33.4
5-6	30 x 50	28.18	18.79	33.4

Nota: para la tabla 38; hay tener claro que los esfuerzos máximos a tracción se realizan teniendo en combinando el peso propio de la estructura, más la fuerza sísmica, el esfuerzo a tracción = Fuerza de tracción / área de la sección.

En la tabla 38, se evidencia que los esfuerzos de tracción están por debajo del módulo de rotura del concreto para este caso igual 33.4 kg/cm², por lo que las secciones han sido dimensionadas cada 02 pisos.

Tabla 39: Máximos esfuerzo de compresión en las diagonales

Eje X

Nivel	sección	Ac cm ²	Max compr	Esf. Compres. Kgf/cm ²	%
1-2	30 x 70	2100	215.86	102.79	36.7%
3-4	30 x 60	1800	163.39	90.77	32.4%
5-6	30 x 50	1500	79.74	53.16	19.0%

Eje Y

Nivel	sección	Ac cm ²	Max compr	Esf. Compres. Kgf/cm ²	%2
1-2	30 x 70	2100	284.36	135.41	48.4%
3-4	30 x 60	1800	133.95	74.42	26.6%
5-6	30 x 50	1500	70.02	46.68	16.7%

En la tabla 39, se muestra los esfuerzos de compresión y que están por debajo del esfuerzo admisible del concreto $f'_c = 280$ kg/cm².

En la figura 5.38 y 5.39 muestra los máximos valores de tracción de 65 kgf. y compresión de 215 kgf, respectivamente.

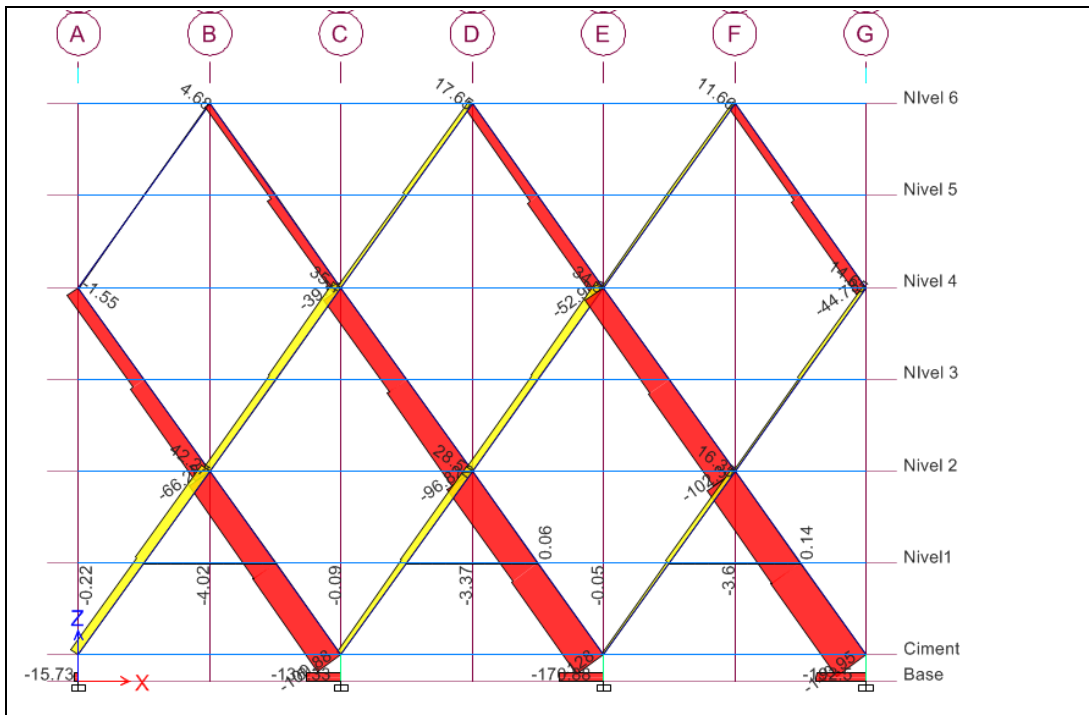


Figura 5.38: Fuerzas axiales, máxima tracción para el sismo en X.

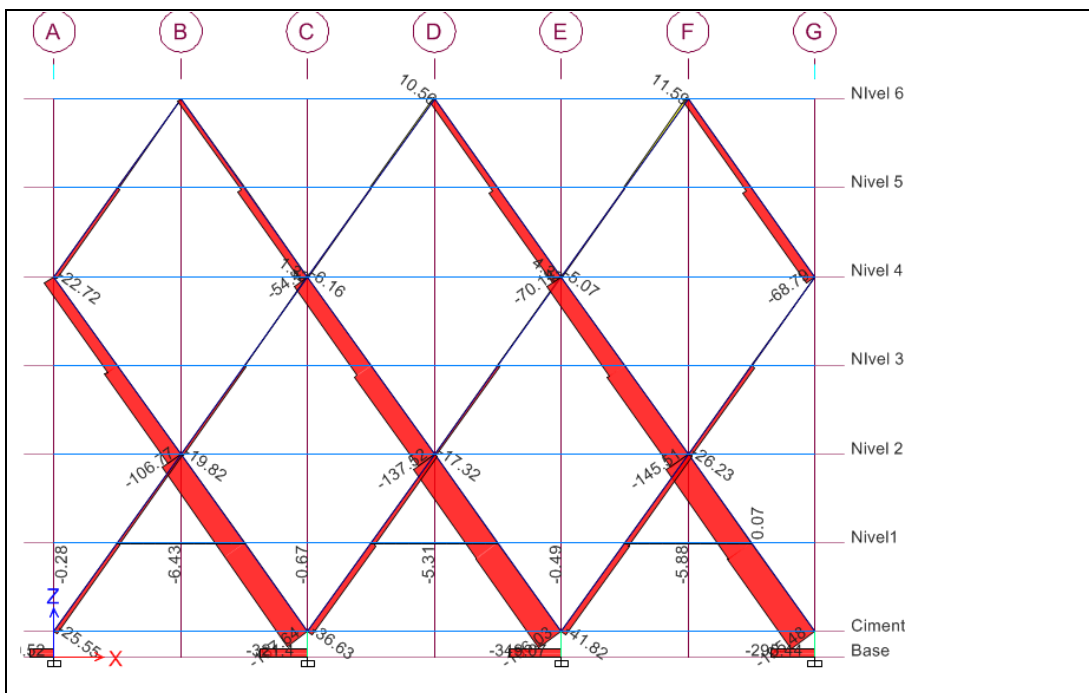


Figura 5.39: Fuerzas axiales, máxima compresión para el sismo en X.

En la figura 5.40 se muestra las Fuerzas axiales, máxima tracción para el sismo en Y. el primer nivel el máximo valor en compresión de 284 tonf.

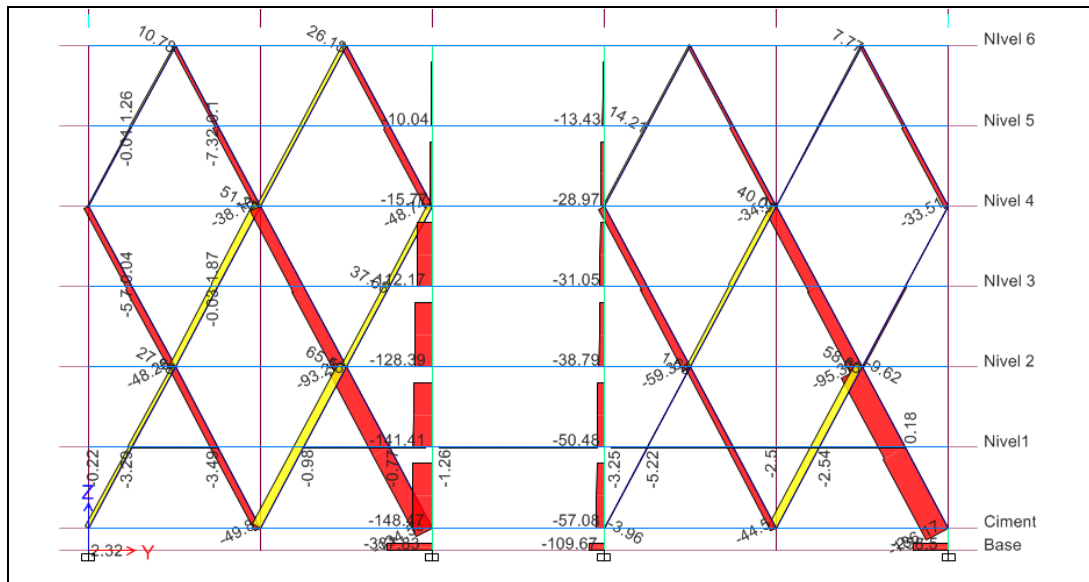


Figura 5.40: Fuerzas axiales, máxima tracción para el sismo en Y.

5.3.2. Periodos naturales de vibración de la estructura:

Tabla 40: Modos & Periodos de vibración

Case	Mode	Periodo (seg.)
Modal	1	0.344
Modal	2	0.326
Modal	3	0.274
Modal	4	0.149
Modal	5	0.135
Modal	6	0.121
Modal	7	0.116
Modal	8	0.115
Modal	9	0.104

En la tabla 40, se muestran los periodos de vibración de la estructura del sistema Diagrid modelo B, donde el primer modo corresponde al desplazamiento en el sentido del eje Y con un valor de 0.344 seg, mientras que para el eje X el periodo

es de 0.326 seg, es importante recalcar que la diferencia es solo del 5% mientras que en el modelo A la diferencia era del 41%.

En la figura 5.41 ilustra el desplazamiento modal para el Modo2: traslación en el sentido X y en la en la figura 5.42 ilustra el desplazamiento modal para el Modo1: traslación en el sentido Y. En la figura 5.43 muestra el Modo3 desplazamiento por rotación, esta se da en el modo 3 y no antes ya los periodos de traslación en X y Y solo difieren en un 5%.

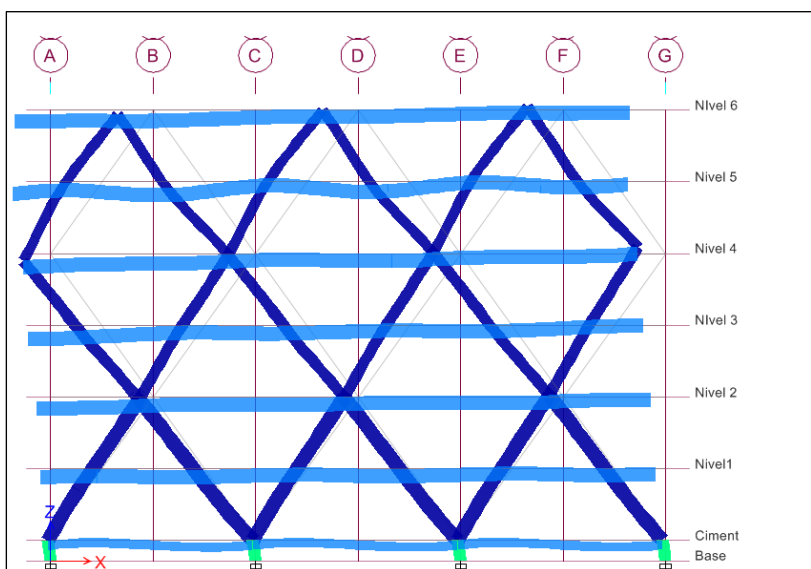


Figura 5.41: Modo2: traslación en el sentido X.

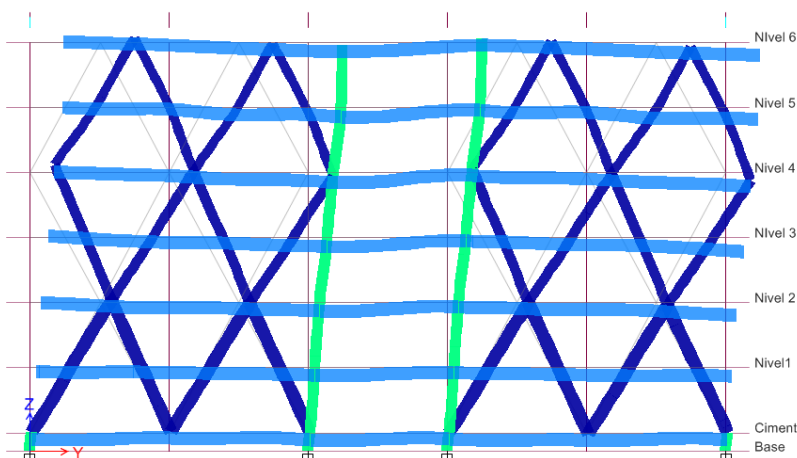


Figura 5.42: Modo1: traslación en el sentido Y.

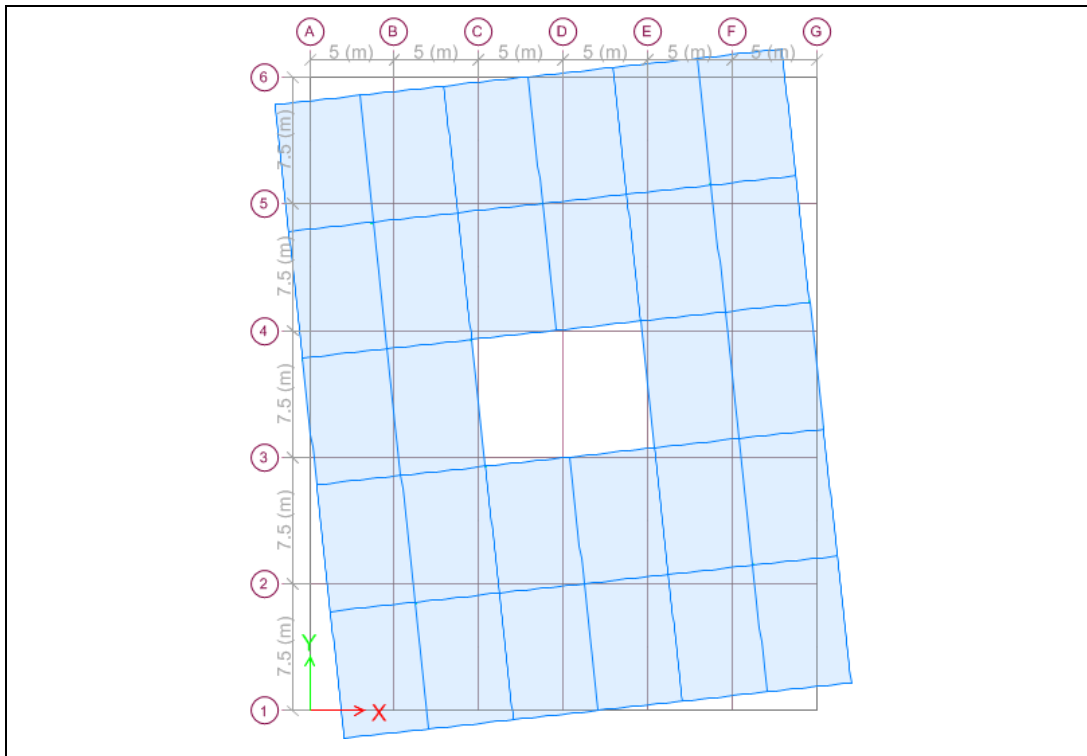


Figura 5.43: Modo3: rotación, esta se dá en el modo 3

5.3.3. Cortantes estáticos, Peso de la estructura y cortantes dinámicos

Masa en cada Piso

Tabla 41: Masa y Peso de la estructura

Piso	UX
	tonf-s/m
Piso 6	99.25
Piso 5	93.91
Piso 4	130.71
Piso 3	93.91
Piso 2	136.96
Piso 1	39.52
Base	110.98
Masa total	705.24
Peso total	6,916.29

En la tabla 41 se muestra el Peso en cada Piso, el Software realiza el Metrado de masas de la estructura lo que, al multiplicarse por la gravedad, obtenemos el Peso propio de la estructura.

Cálculo Manual del Cortante estático:

$$V = C * P = 0.16875 * 6,916.29 = 1,167.47 \text{ ton}$$

$$\mathbf{V = 1,167.47 \text{ ton}}$$

Tabla 42: Cortante estático calculado con el Programa Etabs.

Nivel	Load Case/Combo	VX	VY
		tonf	tonf
Cimentación	Sismo X	-1,167.44	0.00
Cimentación	Sismo Y	0.00	-1,167.44

Entre el cálculo manual 1,167.47 ton y el del programa 1,167.44 tonf, no hay diferencia significativa.

Peso de la edificación

Tabla 43: Peso Propio de los elementos estructurales

Tipo de Elemento	Material	Peso Total	# Piezas	Participac
Columnas	CONC280	278.21	112	4%
Vigas	CONC280	1,074.49	548	16%
Diagonales	CONC280	580.32	168	9%
Losa	CONC280	2,520.00	6	38%
Peso Propio		4,453.02		67%
Carga Viva	0.4	2,205.00		33%
Peso Total		6,658.02		100%

En la tabla 43 se lista el resumen del Metrado de cargas de los pesos propios de cada elemento estructural, el número de elementos y su incidencia en el Peso total del edificio que en este caso es de 6 658.02 tonf: Si dividimos entre el área techada obtenemos el Peso Total por m2 de la estructura = 1 057 kgf/m2.

Cortante Dinámico

Tabla 44: Cortante Dinámico calculado con el Programa Etabs

Nivel	Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
Cimentación	SDX Max	904.57	0.52
Cimentación	SDY Max	0.52	875.58

Escalamiento del cortante dinámico

Tabla 45: Factor de escalamiento

Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
estático	-1,167.44	-1,167.44
dinámico	904.57	875.58
%	-77%	-75%
FS	1.16154	1.20000

El factor de escalamiento indicado en la tabla 45, se obtiene por la siguiente ecuación de proporcionalidad:

$$F_{esc} = \frac{V_{estático} * 90\%}{V_{dinámico}}$$

Cortante de Diseño

Al aplicar el factor de escalamiento, los **cortantes dinámicos de diseño**, quedan de la siguiente manera:

Tabla 46: Cortantes con el sismo de diseño.

Nivel	Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
Cimentación	SDX[Diseño] Max	1,050.70	0.00
Cimentación	SDY[Diseño] Max	0.00	1,050.70

5.3.4. Desplazamientos y Derivas de Piso

En la figura 5.44: ilustra el desplazamiento por sismo estático en X en la elevación 1, el esquema representa los valores calculados en la tabla 47.

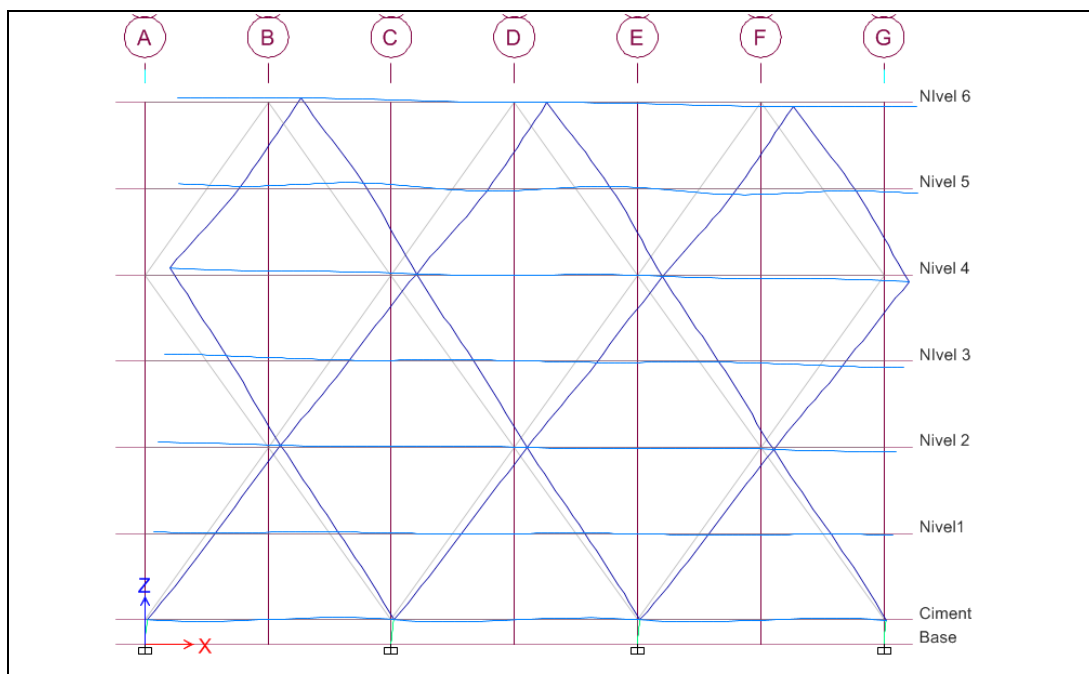


Figura 5.44: Desplazamiento por sismo estático en X en la elevación 1

Los desplazamientos (con sismo estático) por piso son los siguientes:

Tabla 47: Desplazamientos en el sentido X

Piso	Load Case/Combo	UX cm	UX real cm
Nivel 6	Sismo X	0.785	4.121
Nivel 5	Sismo X	0.822	4.316
Nivel 4	Sismo X	0.606	3.182
Nivel 3	Sismo X	0.488	2.562
Nivel 2	Sismo X	0.31	1.628
Nivel 1	Sismo X	0.061	0.320

Tabla 48: Desplazamientos en el sentido Y.

Piso	Load Case/Combo	UY cm	UY real cm
Nivel 6	Sismo Y	0.929	4.877
Nivel 5	Sismo Y	0.887	4.657
Nivel 4	Sismo Y	0.677	3.554
Nivel 3	Sismo Y	0.514	2.699
Nivel 2	Sismo Y	0.312	1.638
Nivel 1	Sismo Y	0.049	0.257

Las tablas 47 y 48 calculan el desplazamiento real expresado en centímetros, amplificando el desplazamiento elástico (U) de la siguiente manera: $U_{real} = U * 0.75 * 7$, donde 7 es el valor de R (Coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica).

Derivas en el sentido de X

Tabla 49: Derivas por piso aplicando el sismo estático:

Piso	Tipo de Carga	Derivas Δ elástica	Deriva inelástica	Derivas inelásticas $\Delta(\%)$	Deriva límite Δ limite	ratio
Nivel 6	Sismo X	0.00028	0.0015	0.1454	0.7	21%
Nivel 5	Sismo X	0.00065	0.0034	0.3402	0.7	49%
Nivel 4	Sismo X	0.00044	0.0023	0.2294	0.7	33%
Nivel 3	Sismo X	0.00053	0.0028	0.2783	0.7	40%
Nivel 2	Sismo X	0.00038	0.0020	0.1969	0.7	28%
Nivel 1	Sismo X	0.00047	0.0025	0.2489	0.7	36%

La tabla 49 y 50 calculan la deriva real o deriva inelástica expresado en centímetros, amplificando la deriva elástica la siguiente manera: Δ real = Δ * 0.75*7, donde 7 es el valor de R (Coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica).

En la figura 5.45: Derivas en el sentido X, las derivas en este modelo no presentan curvas con tendencia definida como en los modelos anteriores, esto se debe a los cambios de sección de las diagonales conforme cambian de piso.

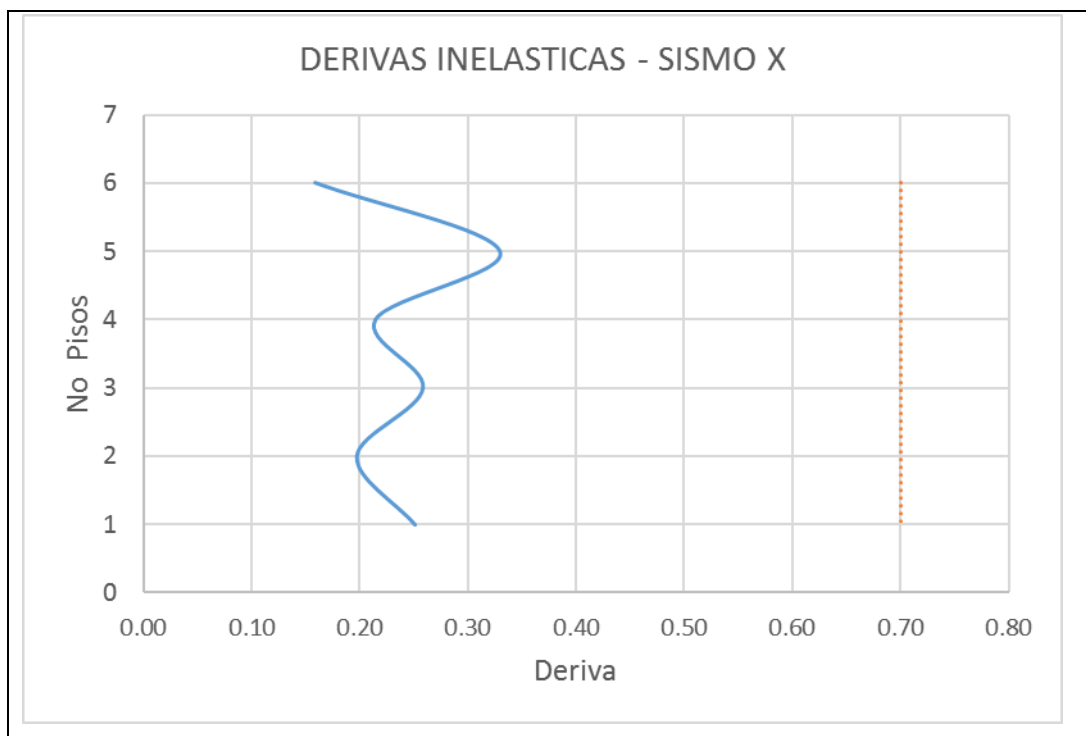


Figura 5.45: Derivas en el sentido X.

Derivas en el sentido de Y

Tabla 50: Derivas por piso aplicando el sismo estático Y:

Piso	Tipo de Carga	Derivas Δ elástica	Deriva inelástica	Derivas inelásticas $\Delta(\%)$	Deriva Δ limite	ratio
Nivel 6	Sismo Y	0.000373	0.0020	0.1958	0.7	28%
Nivel 5	Sismo Y	0.000601	0.0032	0.3155	0.7	45%
Nivel 4	Sismo Y	0.000521	0.0027	0.2735	0.7	39%
Nivel 3	Sismo Y	0.000577	0.0030	0.3029	0.7	43%
Nivel 2	Sismo Y	0.000376	0.0020	0.1974	0.7	28%
Nivel 1	Sismo Y	0.000438	0.0023	0.2300	0.7	33%

En la figura 5.46: Derivas en el sentido Y, similar a la figura 3.45, ver descripción en la tabla 50.

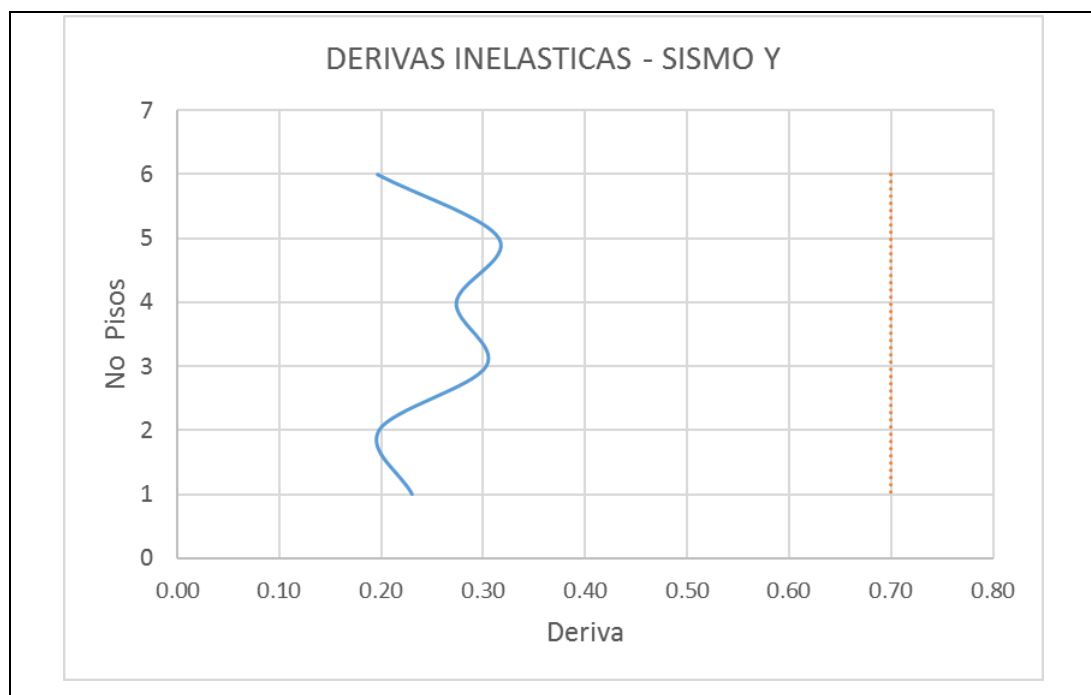


Figura 5.46: Derivas en el sentido Y.

5.3.5. Fuerzas cortantes, Momentos flectores y fuerzas axiales.

Los mayores esfuerzos internos de la estructura se presentan en el primer nivel para los elementos diagonales (brace).

a) Fuerzas Cortantes en cada Diagonal.

Figura 5.47: Fuerzas cortantes en el eje A por el sismo de diseño. Por el sismo de diseño SDY, el mayor valor se encuentra con un valor de 2.04 tonf, el que resulta ser muy pequeño comparado con los 273 tonf que se presentan en los muros del modelo convencional ortogonal.

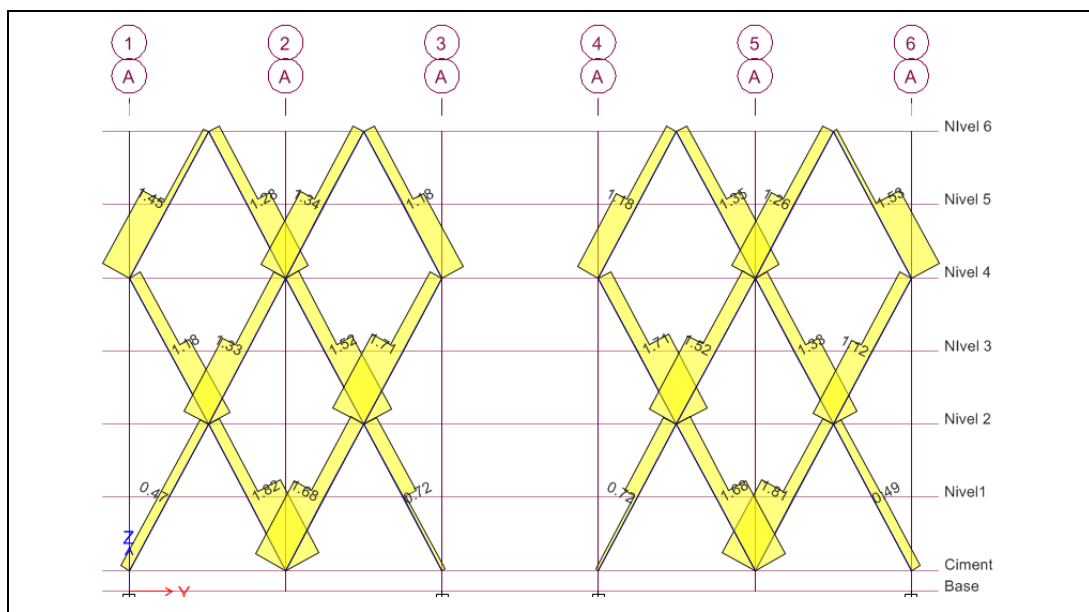


Figura 5.47: Fuerzas cortantes en el eje A por el sismo de diseño.

b) Momentos flectores

En la figura 5.48, se muestran los Momentos flectores en el eje 1 con el sismo de diseño X, A por el sismo de diseño. Por el sismo de diseño SDX, el mayor valor se encuentra con un valor de 4.0 tonf,

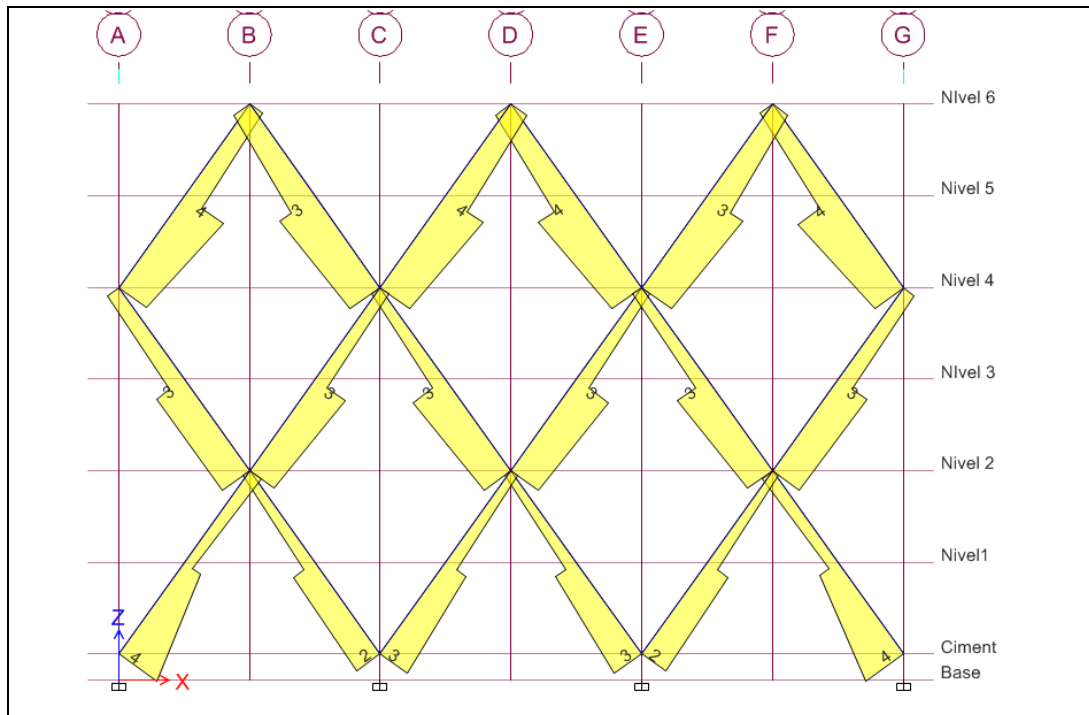


Figura 5.48: Momentos flectores en el eje 1 con el sismo de diseño X.

5.3.6 Cantidad del acero de refuerzo en muros y columnas

El procedimiento para determinar la cantidad de acero de las diagonales se realizó de igual manera que el que se hizo para el sistema Diagrid tipo A, en este caso los valores de esfuerzos axiales y momentos flectores son menores que el tipo A, por lo que se consideran las mismas cuantías definidas en el tipo A.

Tabla 51: Cuadro Resumen de metrado de acero:

Elemento	Nivel	Long	Área	Cuantía	As cm2	As2 cm2	As3 cm3	Volumen m3
Ejes X								
Diag. 30x70	1y2	8.60	2100	0.70	14.70	352.80	303,408.00	0.30
Diag. 30x60	3y4	8.60	1800	0.45	8.10	194.40	167,184.00	0.17
Diag. 30x55	5y6	8.60	1650	0.25	4.13	99.00	85,140.00	0.09
Ejes Y								
Diag. 30x70	1y2	7.96	2100	0.70	14.70	470.40	374,438.40	0.37
Diag. 30x60	3y4	7.96	1800	0.45	8.10	259.20	206,323.20	0.21
Diag. 30x55	5y6	7.96	1650	0.25	4.13	132.00	105,072.00	0.11
Total acero (m3)								1.24

Descripción	Valor
Volumen (m3)	1.24
Densidad del acero grado 60 (kg/m3)	7850.00
Cantidad de acero en (Ton)	9.75

La tabla 51 de una manera simplificada, realiza una aproximación para el cálculo del Metrado de acero longitudinal para reforzar el comportamiento de los momentos flectores de las diagonales, donde se ingresa a la tabla la sección y longitud de los elementos, así como la cuantía promedio obtenida con el programa Etabs, para determinar el área de acero se multiplica el área de la sección por la cuantía, el valor obtenido multiplicado por el número de elementos nos da As total y este por la longitud de los elementos nos proporciona el acero como volumen en cm³. Si el volumen lo multiplicamos por la densidad del acero que es de 7850 kg/m³ obtenemos la cantidad de acero en ton, tal como se muestra a continuación:

Volumen de Concreto

Tabla 52: Metrado de concreto armado

Descripción	Valor
Peso de la Estructura (tonf)	4453.02
Peso volumétrico concreto (ton/m3)	2.4
Volumen de concreto (m3)	1855.43

Esta edificación requerirá del vaciado de 1,855.43 m³ de concreto $f'c = 280$ kg/cm².

CAPITULO VI

6. COMPARACION ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL (ORTOGONAL) Y EL DIAGRID DE CONCRETO ARMADO

Análisis Comparativo de los 03 Modelos

Para poder evaluar el comportamiento se presenta tres modelos, con las mismas características de funcionalidad arquitectónicas:

- Área techada total del edificio: 6750 m²
- Área del Lote: 1125 m²
- Número de piso: 06
- 7 ejes sentido X con una Long entre ejes de 5m
- 6 ejes sentido Y con una Long entre ejes de 7.5m

El material empleado para los tres modelos es el concreto armado con una resistencia a la compresión de 280 kg/cm², las vigas y losas aligeradas planteadas son las mismas en los tres modelos.

Las exigencias propias del lugar donde se construirían y el uso son el mismo para los tres modelos.

Las diferencias entre el planteamiento estructural de los tres modelos es la siguiente:

Tipo	Sistema Estructural
Convencional	Dual de Concreto armado
Diagrid tipo A	Diagrid de Concreto armado
Diagrid tipo B	Diagrid de Concreto armado

La diferencia principal en la estructuración de los modelos Diagrid es la siguiente:

- Diagrid tipo A, cuya modulación es cada dos pisos.
- Diagrid tipo B, cuya modulación es cada cuatro pisos.

Para poder satisfacer las exigencias de funcionabilidad y flujos de tránsito los modelos Diagrid no se plantearon en todos los ejes, por lo que las características se muestran en el cuadro siguiente:

Diagrid Tipo	Sentido	Ángulo	# ejes Diagrid
A	X	35°	4
B	X	58°	4
A	Y	43°	3
B	Y	64°	4

6.1 Fuerzas internas en los muros y diagonales

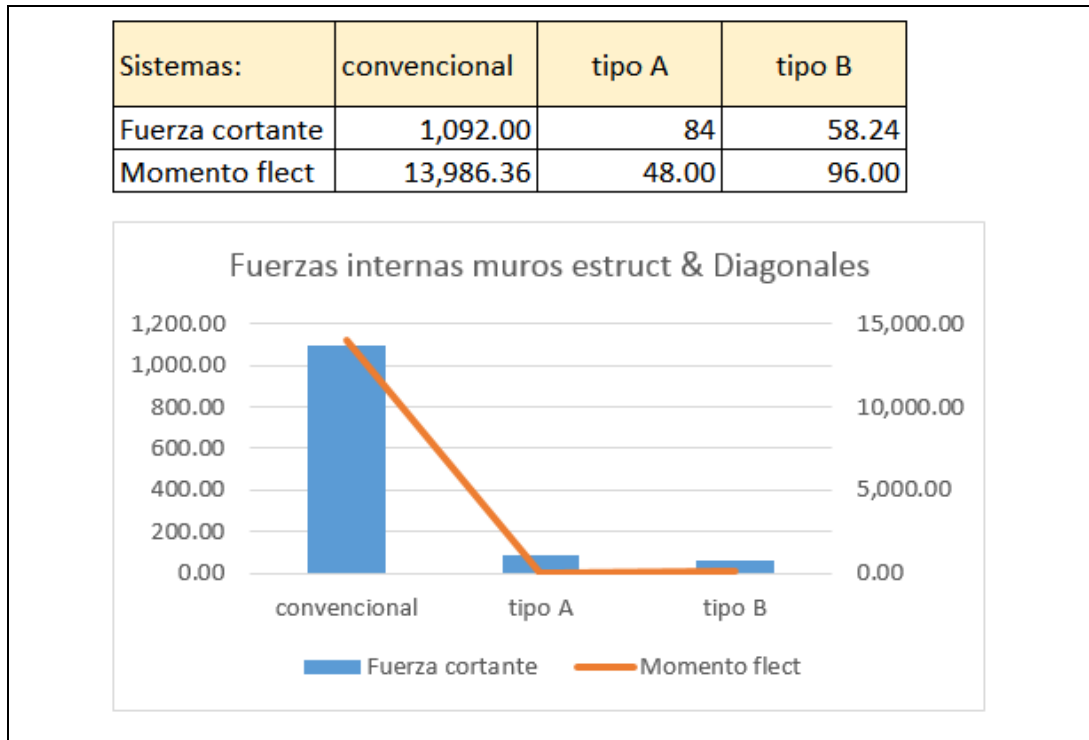


Figura 6.1: Fuerzas internas en los muros y diagonales

En el sistema convencional compuesto por pórticos o muros estructurales las fuerzas sísmicas producen fuerzas internas de cortante y momento flector, mientras en los sistemas estructurales Diagrid se manifiestan en las fuerzas axiales. En la figura 6.1, podemos apreciar que para las fuerzas cortantes en las diagonales no son ni el 8% de las fuerzas cortantes en los muros estructurales. De manera similar, pero con mayor diferencia se da con los momentos flectores donde en las diagonales no son ni el 0.7 % de los momentos que se producen en los muros estructurales.

6.2. Sobre el Costo de la Edificación

Existen muchas variables que determinan el costo de la Edificación, por lo que se ha analizado solamente los más relevantes y que están directamente relacionados con los elementos estructurales que se diferencian entre el sistema convencional ortogonal y el sistema Diagrid y estos son: el reemplazo de columnas y muros estructurales, por Diagonales usadas en el sistema Diagrid.

La diferencia de los volúmenes de concreto armado y Peso de la estructura se aprecia en la figura siguiente:

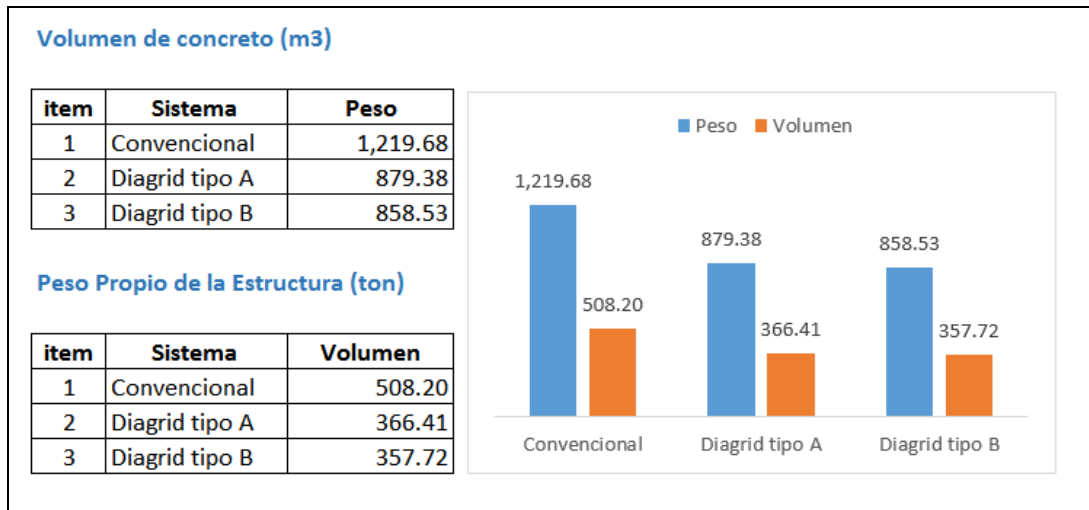


Figura 6.20: Comparación del Peso y cantidad de concreto entre los 03 modelos

Como podemos apreciar en la figura 6.2, la variación entre el volumen del concreto utilizado en los elementos del sistema convencional (muros y columnas) y el utilizado en los elementos Diagonales es considerable, donde se destaca lo siguiente:

- El Sistema estructural tipo Diagrid tipo “A” es más liviano y requiere menos concreto en un 28%.
- El Sistema estructural tipo Diagrid tipo “B” es más liviano y requiere menos concreto en un 30%.

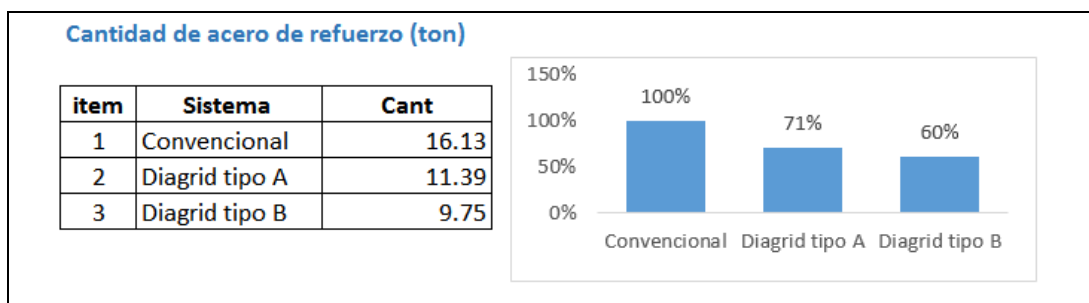


Figura 6.3: Comparación de la cantidad de acero de refuerzo.

La cantidad de acero longitudinal del acero de refuerzo necesaria para la Diagrid tipo A es 29% menos que el acero longitudinal del acero de refuerzo de las placas y columnas del sistema convencional. El Diagrid tipo B requiere 40% menos de acero longitudinal que en el sistema convencional.

El acero de refuerzo transversal, está relacionado directamente con los esfuerzos cortantes, que en sistemas convencionales solicitan concentración de estribos en los extremos de las columnas y distribuido en las placas; en los sistemas Diagrid los cortantes no son significativos (ver tabla figura 6-1), ya que la fuerza sísmica es absorbida por las fuerzas axiales de compresión y tracción de las diagonales, por lo que adicionalmente a lo indicado en el párrafo precedente se debe tener un ahorro de acero de refuerzo transversal en los sistemas Diagrid.

Por lo que podemos concluir que los 03 modelos estudiados lo siguiente:

- ✓ Entre el sistema convencional y los Sistemas estructurales Diagrid, estos últimos, son 28% más livianos y requieren menos concreto.
- ✓ El modelo Diagrid tipo B será más económico de los 03 modelos, analizando ya que requiere 40% menos de acero que los sistemas convencionales con muros o placas.

6.3. SOBRE LA EFICIENCIA ESTRUCTURAL

Para cuantificar la eficiencia estructural de los 03 modelos comparamos las siguientes variables: Periodo de vibración de la estructura por análisis modal y el desplazamiento relativo inelástico o corregido [Deriva (%)].

6.3.1 Periodos y Formas de Modo

Tabla 53: Periodos Naturales

ítem	Sistema	Periodo		
		Modo1	Modo2	Modo3
1	Convencional	0.476	0.451	0.445
2	Diagrid tipo A	0.435	0.308	0.249
3	Diagrid tipo B	0.344	0.326	0.274

En el ítem 3 de la tabla 53, podemos ver la similitud de los valores entre el modo 1 y el modo 2, esto es conveniente para la eficiencia estructural ya que implica una estructuración más eficiente disminuyendo la torsión en planta, por lo que el modo 3 está por debajo del 80% del modo 1.

Tablas 54: Formas de Modo

ítem	Sistema	Periodo		
		Modo1	Modo2	Modo3
1	Convencional	traslación X	rotación	traslación Y
2	Diagrid tipo A	traslación Y	traslación X	rotación
3	Diagrid tipo B	traslación Y	traslación X	rotación

En el ítem 1 de la tabla 54, se evidencia que la rotación se presenta primero que la traslación en Y, esto no es conveniente para la eficiencia estructural ya que implica una falta de rigidez en el eje X en comparación del eje Y, esto se debe a que se tienen dos muros estructurales en X, mientras que en Y se tienen 04.

Tabla 55: Periodo para las formas de modo

ítem	Sistema/Modo	Periodo		
		traslación X	traslación Y	rotación
1	Convencional	0.476	0.445	0.451
2	Diagrid tipo A	0.308	0.435	0.249
3	Diagrid tipo B	0.326	0.344	0.274

En la tabla 55 expone los periodos en sus tres primeros modos, el Sistema Diagrid tipo B es el que mejor se comporta, por dos razones; primero porque tiene los menores periodos de vibración y segundo porque su dos primeros modos son similares.

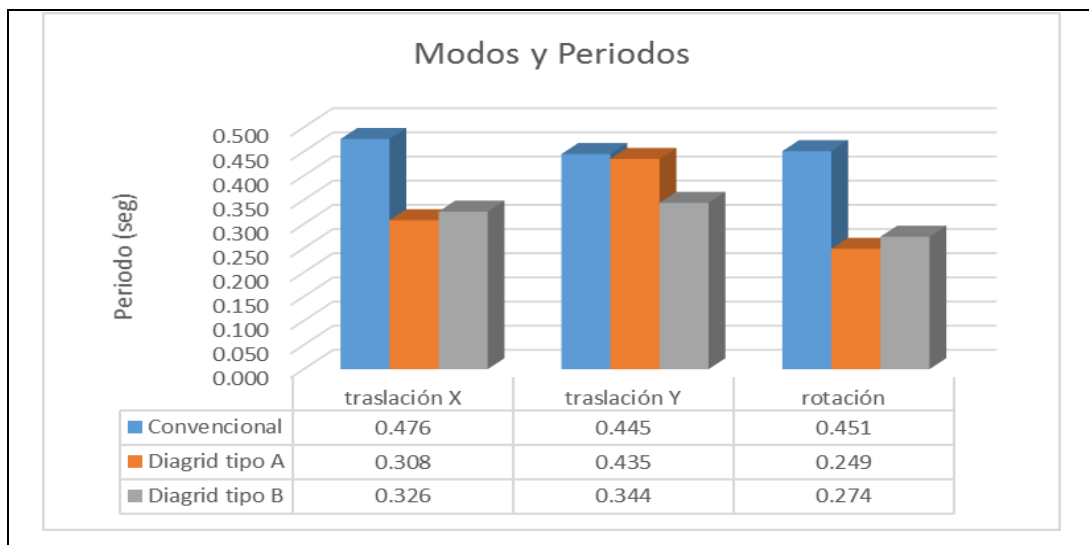


Figura 6.4: Modos y Periodos en orden de las formas de modo

Los periodos de vibración de las estructuras Diagrid son menores a los periodos de las estructuras convencionales, son más notorias en la traslación en el sentido de X donde el Sistema Diagrid es 35% menos que el sistema convencional y en la rotación el Sistema Diagrid es 45% menos que el sistema convencional. En la traslación en el sentido Y El sistema Diagrid tipo “A” con el sistema convencional no hay diferencia significativa, esto se debe a que solo tiene 03 ejes rígidos, mientras que el Diagrid tipo “B” tiene 04 ejes por lo que este sistema es 23% menor que el sistema convencional.

6.3.2 Desplazamientos

Tabla 56: Desplazamiento para el sismo en X

Nivel	Convencional	Diagrid tipo A	Diagrid tipo B
6	9.387	3.6330	4.1213
5	7.565	3.1448	4.3155
4	5.665	2.5305	3.1815
3	3.796	1.8008	2.5620
2	2.100	1.0920	1.6275
1	0.782	0.4305	0.3203

En la tabla 56 y en el grafico 6.5 no muestran gráficamente y con los valores que en el sentido del eje X evidenciando que el Sistema Diagrid tipo A y B controlan mucho mejor los desplazamientos que el sistema convencional siendo sus desplazamientos en ultimo nivel la mitad que en el sistema convencional.

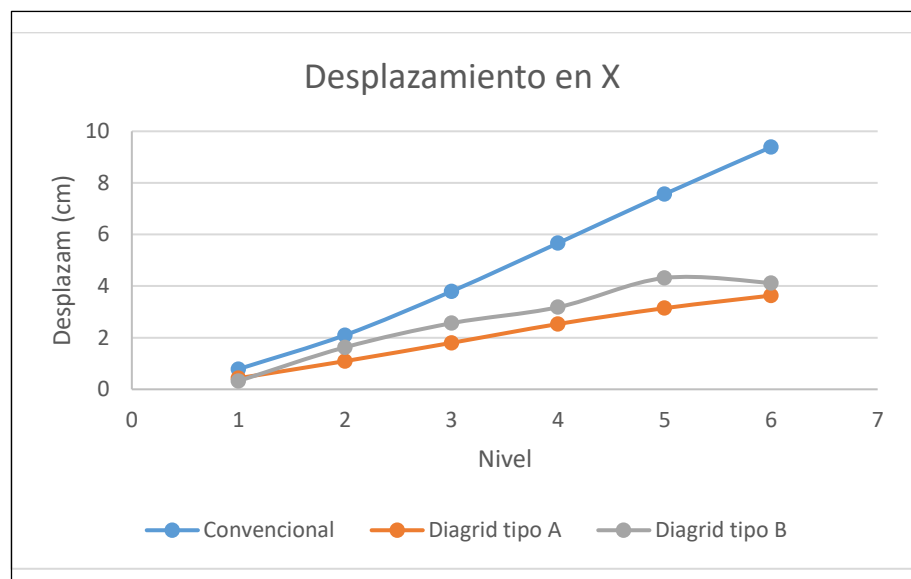


Figura 6.5: Desplazamiento en todos los niveles, en el sentido paralelo al eje X.

Tabla 57: Desplazamientos en sentido Y

Columna1	Convencional	Diagrid tipo A	Diagrid tipo B
6	8.185	7.6755	4.8773
5	6.605	6.3210	4.6568
4	4.946	4.8038	3.5543
3	3.297	3.1973	2.6985
2	1.796	1.8270	1.6380
1	0.630	0.4673	0.2573

En la tabla 57 y en el gráfico 6.6, no muestran gráficamente y con los valores que en el sentido del eje Y, quedando claro que el Sistema Diagrid tipo B controla mucho mejor los desplazamientos, que el sistema convencional, siendo sus desplazamientos en ultimo nivel el 60% que en el sistema convencional.

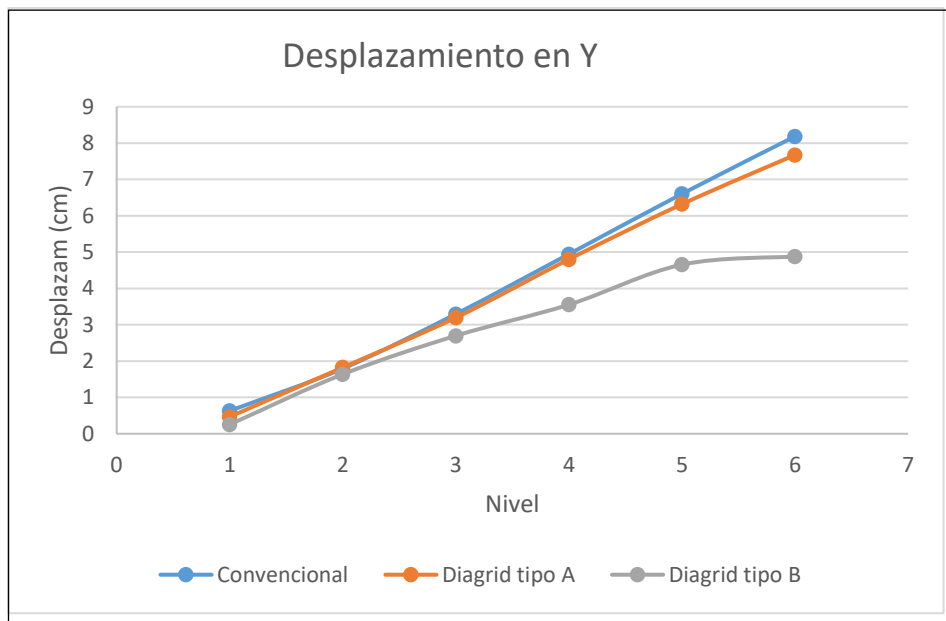


Figura 6.6: Desplazamiento en todos los niveles, en el sentido paralelo al eje Y.

En los desplazamientos o traslaciones las diferencias son contundentes entre los 03 modelos y son los siguientes:

- ✓ El Diagrid tipo A, se desplaza el 61% del sistema convencional, en el sentido X y en el sentido Y son similares.
- ✓ El Diagrid tipo B, se desplaza aproximadamente la mitad que el sistema convencional, tanto en el sentido X como en Y.

6.3.3 Máxima Deriva

En las figuras 6.7 y 6.8 se ilustran el comportamiento de las derivas en el sentido X e Y respectivamente de los sistemas Diagrid tipo A y B.

Figura 6.7: Comparación de las Derivas en el sentido X

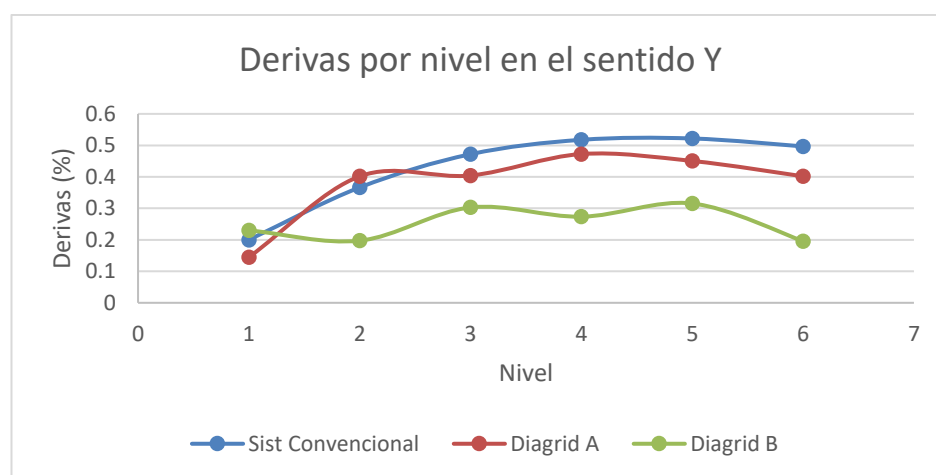


Figura 6.8: Comparación de las Derivas en el sentido Y.

Las Derivas en el sentido X, que presenta el sistema Diagrid (ambos modelos) son aproximadamente la mitad que el sistema convencional, mientras que en el sentido Y la variación en sentido Y, es del 40% menos el sistema Diagrid que el convencional.

Las curvas de desplazamientos y derivas presentan una curvatura fluctuante con tendencias de subida y bajada alternadas, esto se debe a las variaciones de secciones cada dos niveles.

Conclusiones sobre la eficiencia estructural

El Sistema Diagrid de concreto armado, tanto en el modelo tipo A como en el tipo B es tiene menor periodo y menores desplazamientos que el modelo Convencional, destacándose el Modelo tipo B (con modulación cada 04 pisos) lo que representa menores daños ante sismos moderados por lo que podría ser una alternativa competitiva con otros sistemas como los aisladores sísmicos establecimientos de salud, donde los equipos médicos no deben alterarse en un evento sísmico, ni mucho menos dejar de funcionar.

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

En el Análisis estructural de los Edificios estudiados (03 modelos) dos con el Sistema estructural Diagrid de concreto armado (Diagrid tipo A y Diagrid tipo B) y uno con el Sistema convencional (pórticos con muros estructurales), se concluye que el sistema Diagrid de concreto armado es superior en los siguientes aspectos:

- Los Edificios Diagrid tienen un desplazamiento lateral y deriva menor que el sistema convencional.
- Son más livianos pesan 30% menos y se puede ahorrar entre el 30 y el 40% de acero de refuerzo, lo que implica menor costo del edificio.
- Son estructuras más dúctiles, ya que el mayor flujo de las cargas se da en forma axial y no por cortante que son las que producen fallas frágiles.
- Presenta mas redundancia de elementos estructurales, esto sumado a la ductilidad podría representar un mejor comportamiento en el rango inelástico.
- En el aspecto estético y funcional tiene mayores posibilidades.
- Son mas transparentes sus elevaciones, lo que permite mayor aprovechamiento visual e iluminación natural.

Una limitación del sistema Diagrid de concreto armado, es que solo se puede aplicar a edificios robustos donde la relación; ancho en planta entre altura total de la edificación, debe ser mayor que 0.7, en edificios esbeltos (ratios mayores de 1.45) se pueden presentar fuerzas axiales en tracción muy altas, que superen el módulo de rotura del concreto, para ello se debe emplear materiales combinados como el

caso de tubos de acero rellenos con concreto, como es el caso de los siguientes edificios: Guangzhou West Tower, Dorobanti Tower, entre otros.

En busca de edificios más seguros, el desplazamiento lateral y deriva toma cada vez mas importancia sobre todo en edificaciones Esenciales (Categoría A) y Edificaciones importantes (Categoría B). Los edificios Diagrid con una robustez entre 0.9 y 1.4, tienen un mejor comportamiento que los edificios convencionales.

7.2 Recomendaciones

Es necesario que las Universidades y los investigadores, consideren realizar estudios relacionados con los sistemas Diagrid de concreto armado, como la capacidad del concreto armado de soportar fuerzas en tracción, determinar el rango del coeficiente Básico de Reducción R_o que correspondan con la capacidad real ductilidad, sobre resistencia y redundancia de las estructuras Diagrid. En la norma E.30 no se ha incluido el Sistema Diagrid ni sistemas arriostrados de concreto armado, inclusive aclara: *“Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura”*.

Los nudos en el sistema Diagrid, pueden presentar congestión de acero de refuerzo, por lo que los Laboratorios de Estructuras de las Universidades, deben ensayar modelos de nudos, que permitan un sistema constructivo que garantice que el acero longitudinal mantenga el paralelismo axial, sin aglomerar de acero de refuerzo los nudos. Todos estos estudios e investigaciones serían remitidos a la comisión técnica del Reglamento Nacional de Edificaciones perteneciente al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

En el mundo se evidencia por la clara tendencia de construir edificaciones más innovadoras, que la eficiencia de los sistemas Diagrid se va imponiendo a los sistemas convencionales, sin embargo en nuestro País no existen investigaciones sobre Diagrid de; concreto armado, concreto postensados, Materiales Mixtos como los tubos de acero rellenos de concreto, estos estudios que serían de mucha utilidad para el desarrollo de infraestructura en nuestro país, previa incorporación en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA

ALLFORD HALL, MONAGHAN MORRIS. Documento informativo: “The Yellow Building Notting o el Edificio Amarillo” de Dale Village W11 en el Reino Unido, para uso de oficinas, con un área de 15,000m² en siete pisos.

ALTAMIRANO, NICOLAS “Exposición del Edificio Diagrid para la televisión central de china CCTV”

AMADOR TERÁN, GILMORE et al 2016 “Uso de rejillas perimetrales (Diagrid) para estructurar edificios altos de acero ubicados en zonas de alta sismicidad”, Área de Sustentabilidad y Desarrollo Tecnológico en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México.

ARTETA TORRENTES, CARLOS. Tesis de maestría “Alternativas de Rigidización en edificios altos en concreto para la zona de amenaza sísmica baja en la costa caribe Colombia.” 2008 Universidad del Norte, División del Ingeniería, Maestría en Ingeniería Civil Barranquilla.

KHAN, RAVISH. “Analysis of diagrid structure in comparison with exterior braced frame structure”. PG student, Department of Civil Engineering, Jawaharlal Nehru Engineering College, Aurangabad, Maharashtra, India.

KUMAR SINGH ROHIT, Dr. VIVEK GARG, Dr. ABHAY SHARMA.” Analysis and Design of Concrete Diagrid Building and Its Comparison with Conventional Frame Building”, Department of Civil Engineering, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India.

MCCAIN, IAN. Exposition: “Diagrid Structural Efficiency & Increasing Popularity”.

MELE ELENA, TORENO MAURIZIO. “Diagrid structures for tall buildings: case studies and design considerations”. University of Naples Federico II, Faculty of Engineering, Department of Structural Engineering (DIST), Naples, Italy.

MEYER BOAKE, TERRI. “Diagrid Structures; system, connection, details”
School of Architecture, University of Waterloo, Cambridge, ON, Canada.

PANCHAL, NISHITH. “Diagrid Structural System: strategies to reduce lateral forces on high-rise buildings”. PG student, Applied Mechanics & Structural

QUIROZ ARTURO Y TERÁN AMADOR et al. 2016 “Rejillas Rígidas en zonas de alta sismicidad: ventajas sísmo resistentes y sustentables”. Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México.

SEPIDEH KORSAVI et al. 2014 “El proceso evolutivo de las estructuras Diagrid para Conceptos Arquitectónicos, estructurales y de sostenibilidad: revisión de casos de estudiados”.

SUN, MINGZE et al.2007 “A comparative study on the seismic performance of concrete and steel Diagrid structures”, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental

SUN MOON, KYOUNG et al. 2007 “Diagrid Structural Systems for tall buildings: characteristics and methodology for preliminary design”

NTE 030.2016, la norma técnica e.030 “Diseño Sismo resistente” del reglamento nacional de edificaciones, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Lima, Perú.

ANEXO I

INFLUENCIA DE LA ESBELTEZ EN EL SISTEMA DIAGRID

En el presente trabajo de investigación, se ha demostrado las ventajas de emplear el sistema Diagrid de concreto armado sobre el sistema convencional ortogonal con pórticos y muros de concreto, sin embargo, este tiene limitaciones y estas están enfocadas a la limitada capacidad de resistir el concreto fuerzas en tracción. La robustez o esbeltez del edificio determina si es adecuado o eficiente el empleo del sistema Diagrid.

Para determinar cuantitativamente la eficiencia del Diagrid relacionada a la esbeltez del edificio, vamos a tomar un eje ideal, asumiendo una estructura simétrica en planta y elevación, con un área tributaria de 7.50m, altura de entrepisos constante de 3.50 m y ejes transversales cada 5.0 m.

Evaluaremos 05 casos, donde progresivamente aumentaremos la esbeltez; primero disminuyendo la longitud en planta y luego incrementando el número de pisos. El rango de esbeltez esta entre 0.47 a 1.36.

Procedimiento Paso a Paso

- 1) Modelamos los 05 casos:

Caso	# ejes	Largo (m)	# pisos	Altura (m)	esbeltez
1	7	30	6	22	1.364
2	5	20	6	22	0.909
3	5	20	9	29	0.690
4	5	20	11	36	0.560
5	5	20	13	43	0.470

- 2) Aplicamos una fuerza sísmica correspondiente a las siguientes características:

$$ZUSC/R = 0.45 * 1 * 1.05 * 2.5 / 7 = 0.16875$$

Es decir, igual al 16.88% del peso de la estructura.

Introducimos este valor en el Etabs de la siguiente manera:

[Define → Load Patterns → Load = Sismo X → Modify Lateral Load
→ Base Shear Coefficient, C = 0.1688]

- 3) La combinación de carga más desfavorable, que produce los mayores valores de fuerzas axiales en tracción, se da cuando solo se considera las cargas muertas más el sismo estático en el sentido que se está analizando en nuestro caso el Sismo X.

Combinación: Máx tracción = CM total + Sismo en X

También se verifica el comportamiento en compresión, esta se da cuando confluyen todas las cargas por gravedad más el Sismo X, por lo que la combinación se expresa:

Combinación: Máx compresión = CU + Sismo en X

Donde: $CU = 1.4 CM + 1.7 CV$.

- 4) Verificamos que la fuerza horizontal de sismo se está aplicando a la estructura (FH) y que corresponde al 16.88% del peso de la estructura, por lo que solicitamos al software que calcule el peso propio, de la siguiente manera:

[Tables → Model → Structure Data → Mass Summary by Story].

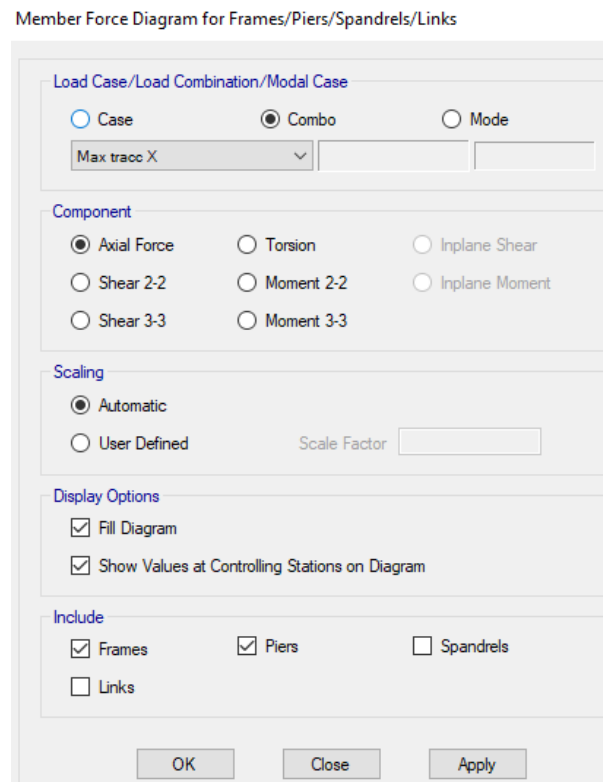
La masa la multiplicamos por la aceleración de la gravedad y obtenemos el peso.

Para obtener el valor del Cortante total en la base de la estructura:

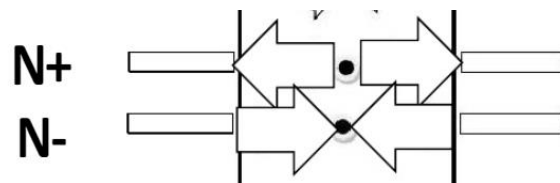
[Tables → Structure Results → Story Forces].

$$FH = \% P = \frac{\text{Cortante Total en la Base}}{\text{Peso de la Estructura}}$$

5) Visualizamos los Diagramas de Axiales (tecla de función F8)



Buscamos el mayor valor; con signo positivo para la tracción y negativo para la compresión:



6) Calculamos el esfuerzo axial, para la tracción y para la compresión
 $\text{Esfuerzo} = \text{Fuerza} / \text{Área de la sección}$

7) Evaluamos con los límites que tiene el material (concreto)

Donde:

F_{t1} = esfuerzo máximo a la tracción del concreto

F_c = esfuerzo máximo a la compresión = 45% f'_c .

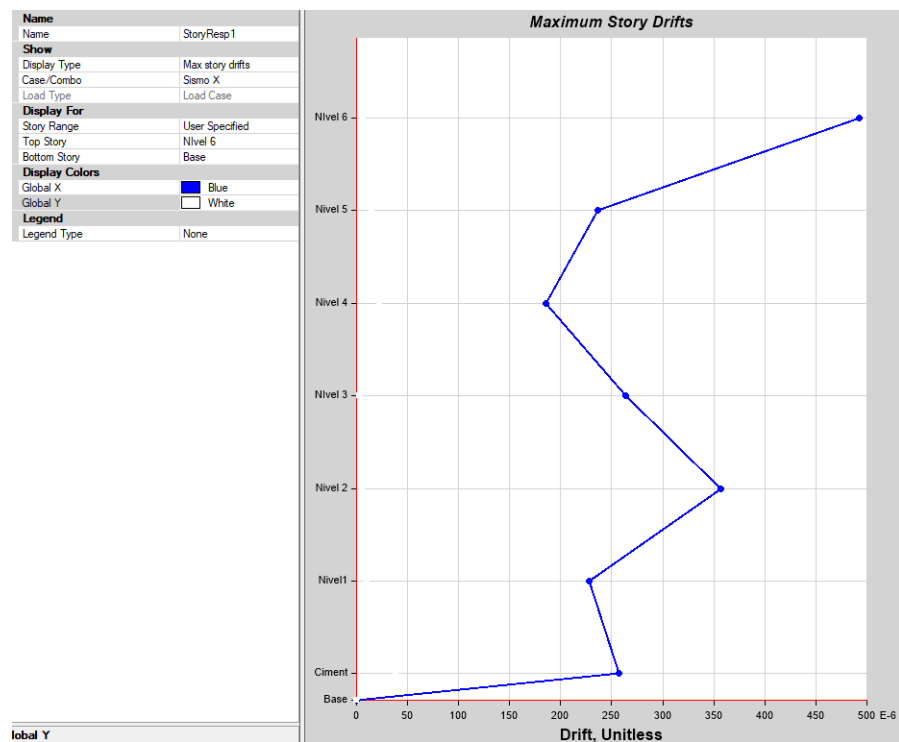
- 8) Por último, verificamos que la Deriva no sobrepase el límite para estructuras de concreto armado, menor a 0.007

[Tables → Results → Displacements → Story Drifts → Load case = Sismo X].

También se puede visualizar de la siguiente manera:

Menú: Display → Story Response plots

Y apreciaremos las derivas de manera similar a lo siguiente:



A continuación, la ficha resumen de cada caso:

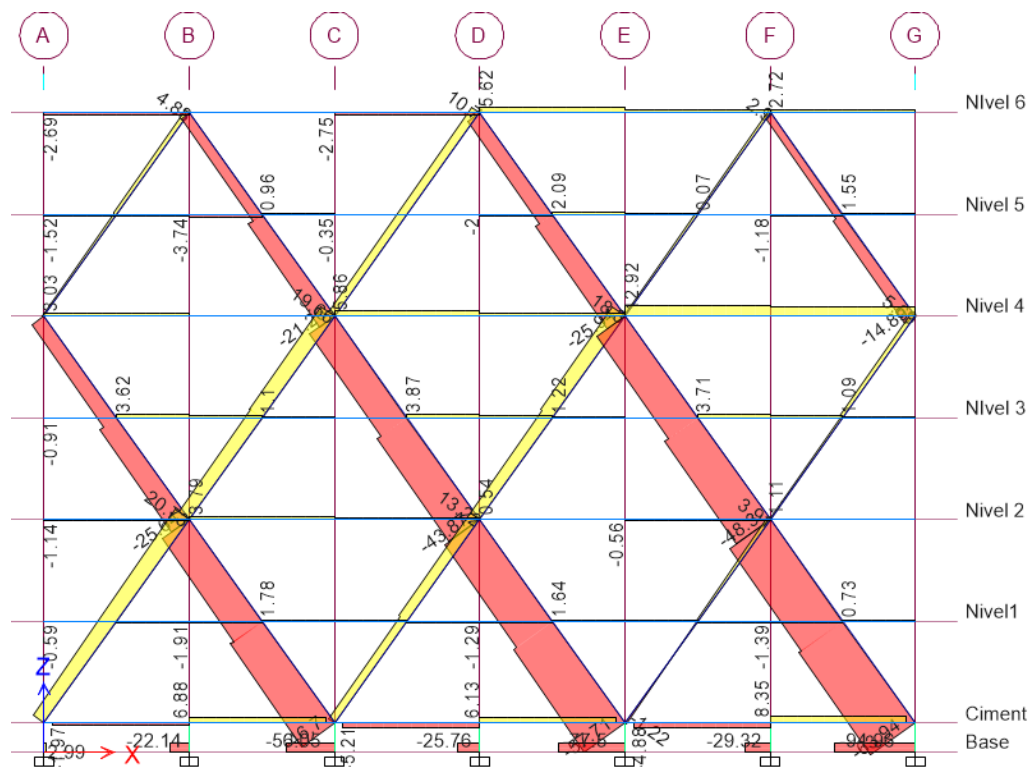
Caso 1: 7 ejes (A, B, C, D, E, F, G), 6 pisos**Datos:**

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $ft1 = 21 \text{ kg/cm}^2$
 $ft2 = 28.98 \text{ kg/cm}^2$

Sección de las diagonales:
 30x50 cm

Carga Axial	Valor tonf	Ancho cm	Peralte cm	Area Secc cm2	esf axial kgf/cm2	eval	ratio
máx. tracción	20.78	30	50	1,500	13.85	ok	0.66
máx. Compres	-94.67	30	50	1,500	-63.11	ok	-0.30

Masa ton	Peso tonf	Cortante tonf	FH %P	Dimensiones en Elevación			Deriva
				Largo	Altura	ratio	
132.45	1,298.80	219.27	16.88%	30.00	22.00	1.364	0.003451



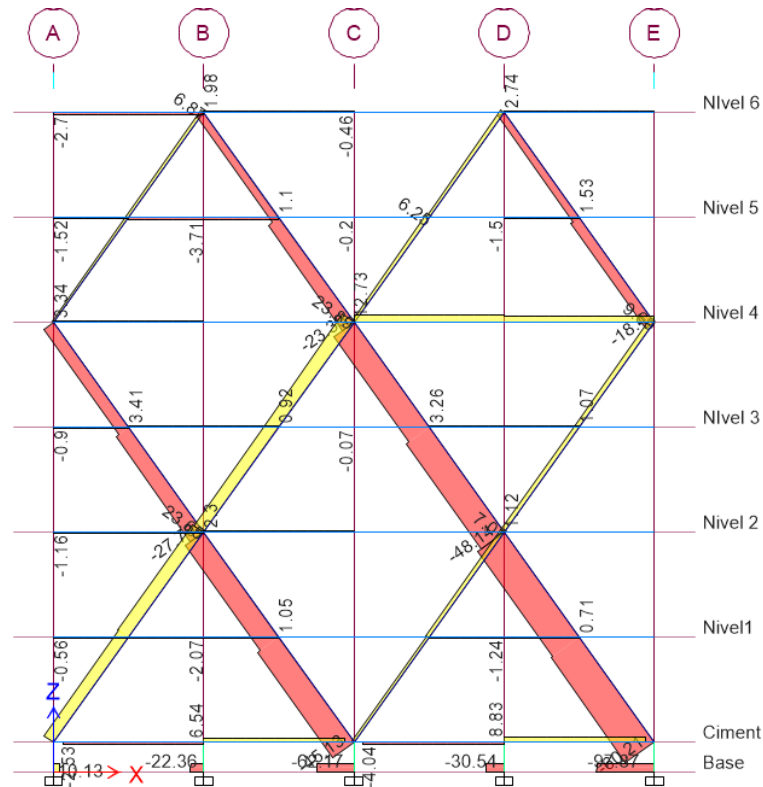
Conclusión: Cuando la longitud en planta del edificio es mayor que su altura (ratio de 1.36), los esfuerzos axiales máximos en tracción no superan el 66% de la capacidad del concreto.

Caso 2: 5 ejes (A, B, C, D, E), 6 pisosDatos:

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $ft1 = 21 \text{ kg/cm}^2$
 $ft2 = 28.98 \text{ kg/cm}^2$

Carga Axial	Valor tonf	Ancho cm	Peralte cm	Area Secc cm2	esf axial kgf/cm2	eval	ratio
máx. tracción	23.44	30	50	1,500	15.63	ok	0.74
máx. Compres	-94.29	30	50	1,500	-62.86	ok	-0.30

Masa ton	Peso tonf	Cortante tonf	FH %P	Dimensiones en Elevación			Deriva
				Largo	Altura	ratio	
92.08	902.94	152.39	16.88%	20.00	22.00	0.909	0.00385



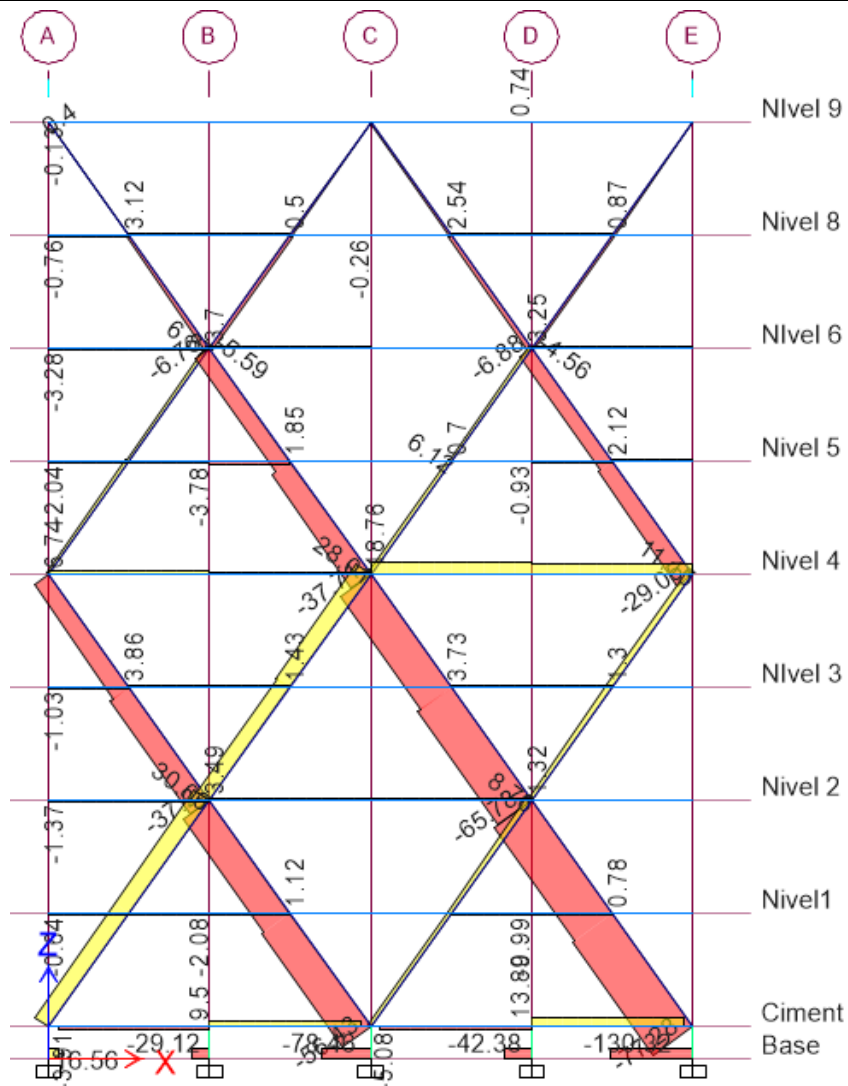
Conclusión: Cuando la longitud en planta del edificio es ligeramente menor que su altura (ratio de 0.91), los esfuerzos axiales máximos en tracción no superan el 74% de la capacidad del concreto.

Caso 3: 5 ejes (A, B, C, D y E) y 9 pisosDatos:

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $f_{t1} = 21 \text{ kg/cm}^2$
 $f_{t2} = 28.98 \text{ kg/cm}^2$

Carga Axial	Valor tonf	Ancho cm	Peralte cm	Area Secc cm ²	esf axial kgf/cm ²	eval	ratio
máx. tracción	30.06	30	50	1,500	20.04	ok	0.95
máx. Compres	-122.58	30	50	1,500	-81.72	ok	-0.39

Masa ton	Peso tonf	Cortante tonf	FH %P	Dimensiones en Elevación			Deriva
				Largo	Altura	ratio	
119.32	1,170.05	197.50	16.88%	20.00	29.00	0.69	0.004872



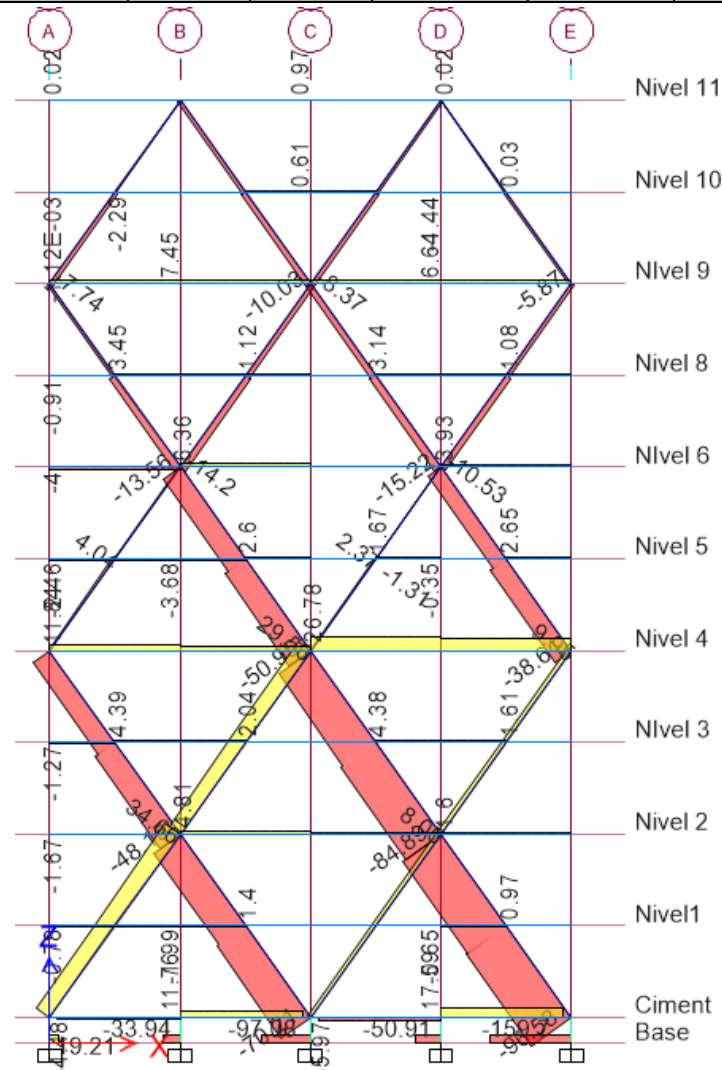
Conclusión: Cuando la longitud en planta del edificio es menor que su altura (ratio de 0.69), los esfuerzos axiales máximos en tracción no superan el 95% de la capacidad del concreto.

Caso 4: 5 ejes (A, B, C, D y E) y 11 pisosDatos:

$f'c =$ 210 kg/cm²
 $f_{t1} =$ 21 kg/cm²
 $f_{t2} =$ 28.98 kg/cm²

Carga Axial	Valor tonf	Ancho cm	Peralte cm	Area Secc cm ²	esf axial kgf/cm ²	eval	ratio
máx. tracción	34.66	30	50	1,500	23.11	nopasa	1.10
máx. Compres	157.23	30	50	1,500	104.82	ok	0.50

Masa ton	Peso tonf	Cortante tonf	FH %P	Dimensiones en Elevación			Deriva
				Largo	Altura	ratio	
147.71	1,448.44	244.50	16.88%	20.00	36.00	0.556	0.006027



Conclusión: Cuando la longitud en planta del edificio es menor que su altura (ratio de 0.56), los esfuerzos axiales máximos en tracción supera la capacidad del concreto a tracción.

Caso 5

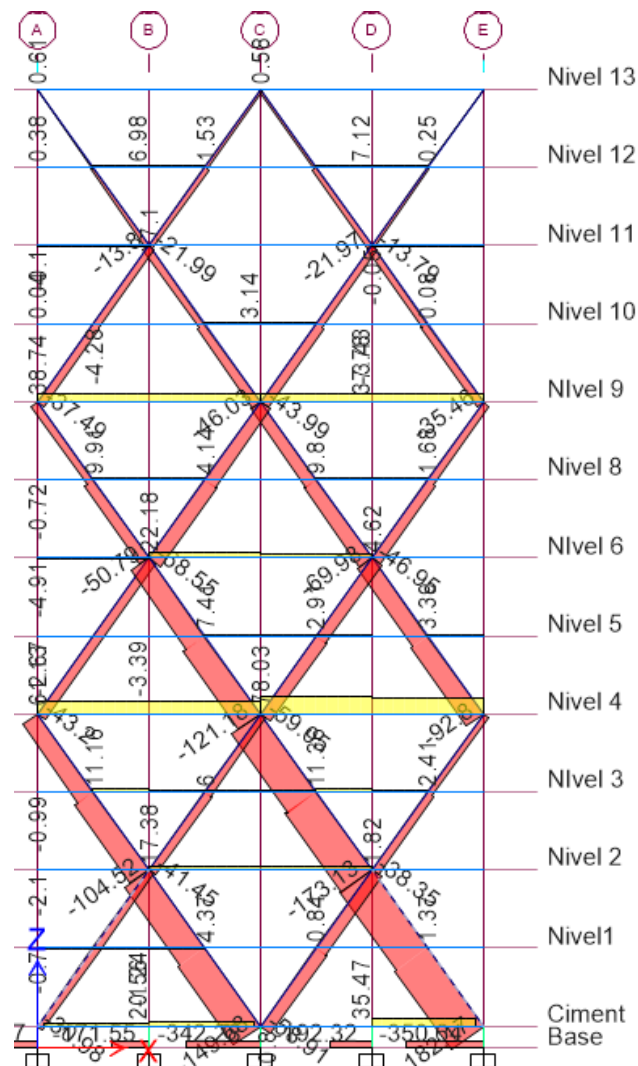
5 ejes (A, B, C, D y E) y 13 pisos

Datos:

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $ft1 = 21 \text{ kg/cm}^2$
 $ft2 = 28.98 \text{ kg/cm}^2$

Carga Axial	Valor tonf	Ancho cm	Peralte cm	Area Secc cm2	esf axial kgf/cm2	eval	ratio
máx. tracción	41.71	30	50	1,500	27.81	nopasa	1.32
máx. Compres	182.17	30	50	1,500	121.45	ok	0.58

Masa ton	Peso tonf	Cortante tonf	FH %P	Dimensiones en Elevación			Deriva
				Largo	Altura	ratio	
174.30	1,709.19	288.21	16.86%	20.00	43.00	0.465	0.007112

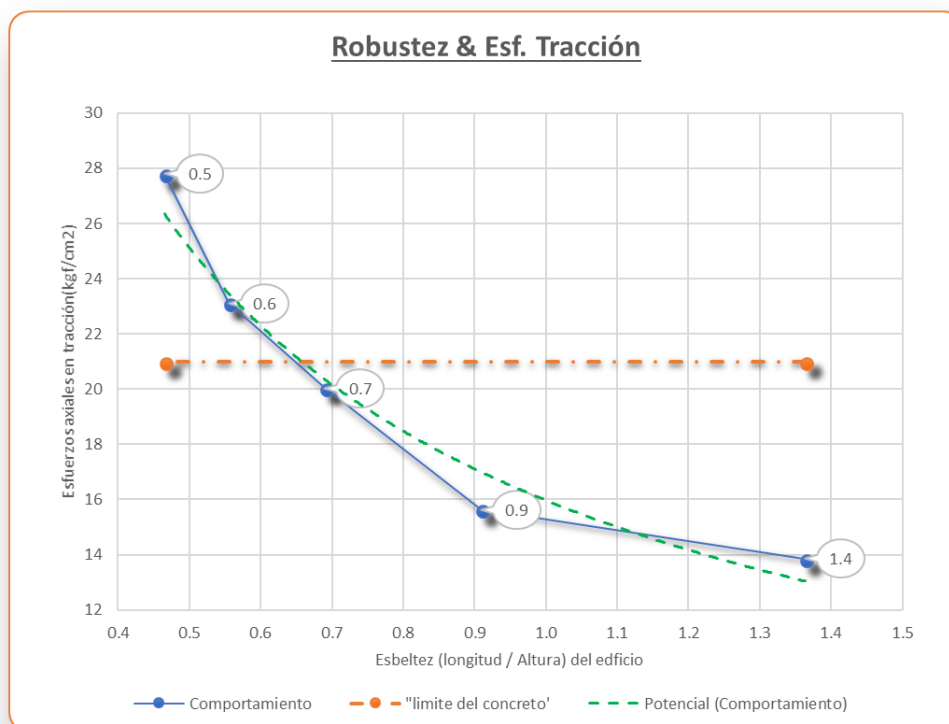


Conclusión: Cuando la longitud en planta del edificio es menor que su altura (ratio de 0.46), los esfuerzos axiales máximos en tracción supera la capacidad del concreto a tracción y supera la deriva máxima.

Resumen: Relación Robustez & Eficiencia

Caso	Robustez	esf tracc	limite	eficiencia
1	1.4	13.85	21	1.5
2	0.9	15.63	21	1.3
3	0.7	20.04	21	1.0
4	0.6	23.11	21	0.9
5	0.5	27.81	21	0.8

El cuadro anterior es el resumen de las fichas de cada caso analizado, donde la robustez (para expresar lo contrario a la esbeltez) disminuye, la eficiencia del sistema Diagrid para soportar esfuerzos axiales en tracción también disminuye, en el grafico siguiente se aprecian las tendencias. Los casos 4 y 5 fallan por lo que son relaciones de largo alturas no recomendables; el caso 4 con una Robustez del 60% falla por tracción axial y el caso 5 con una Robustez del 50% falla por tracción axial y sobre pasa la deriva máxima.



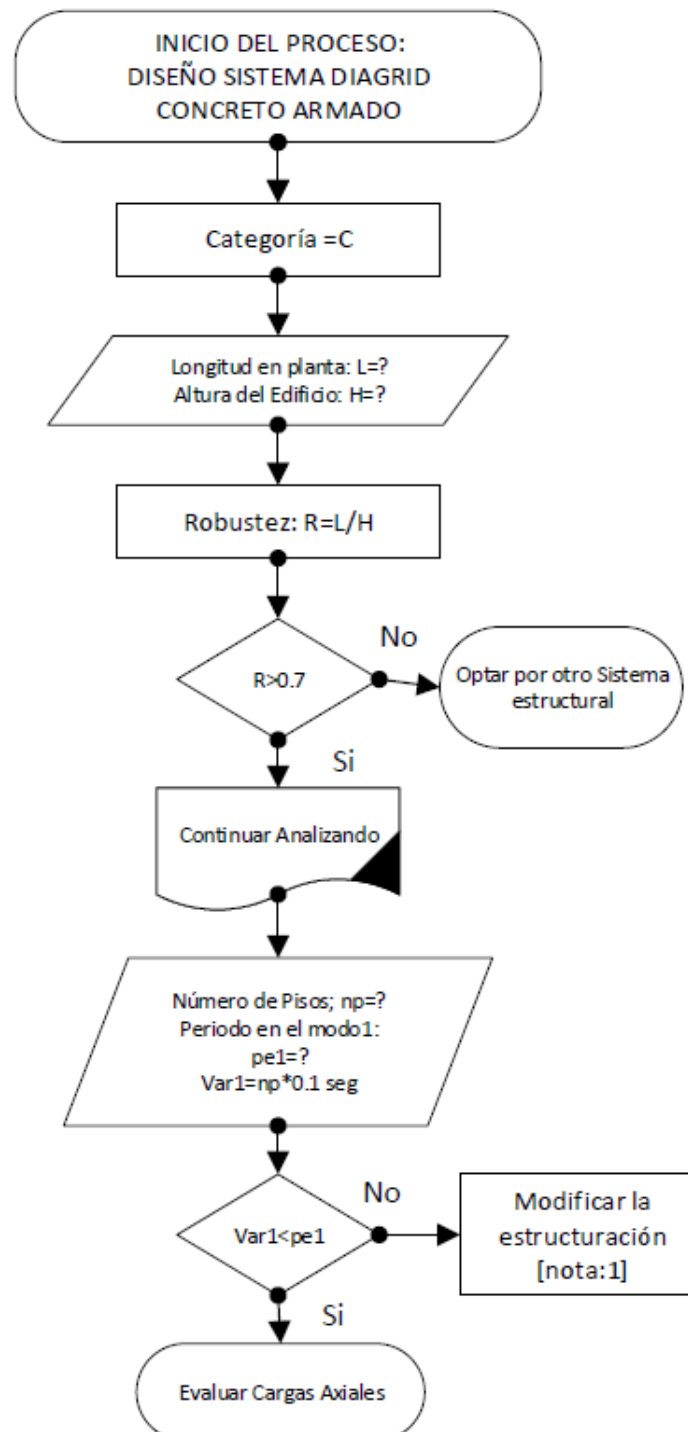
Resumen: Relación Robustez & Uso de la Edificación

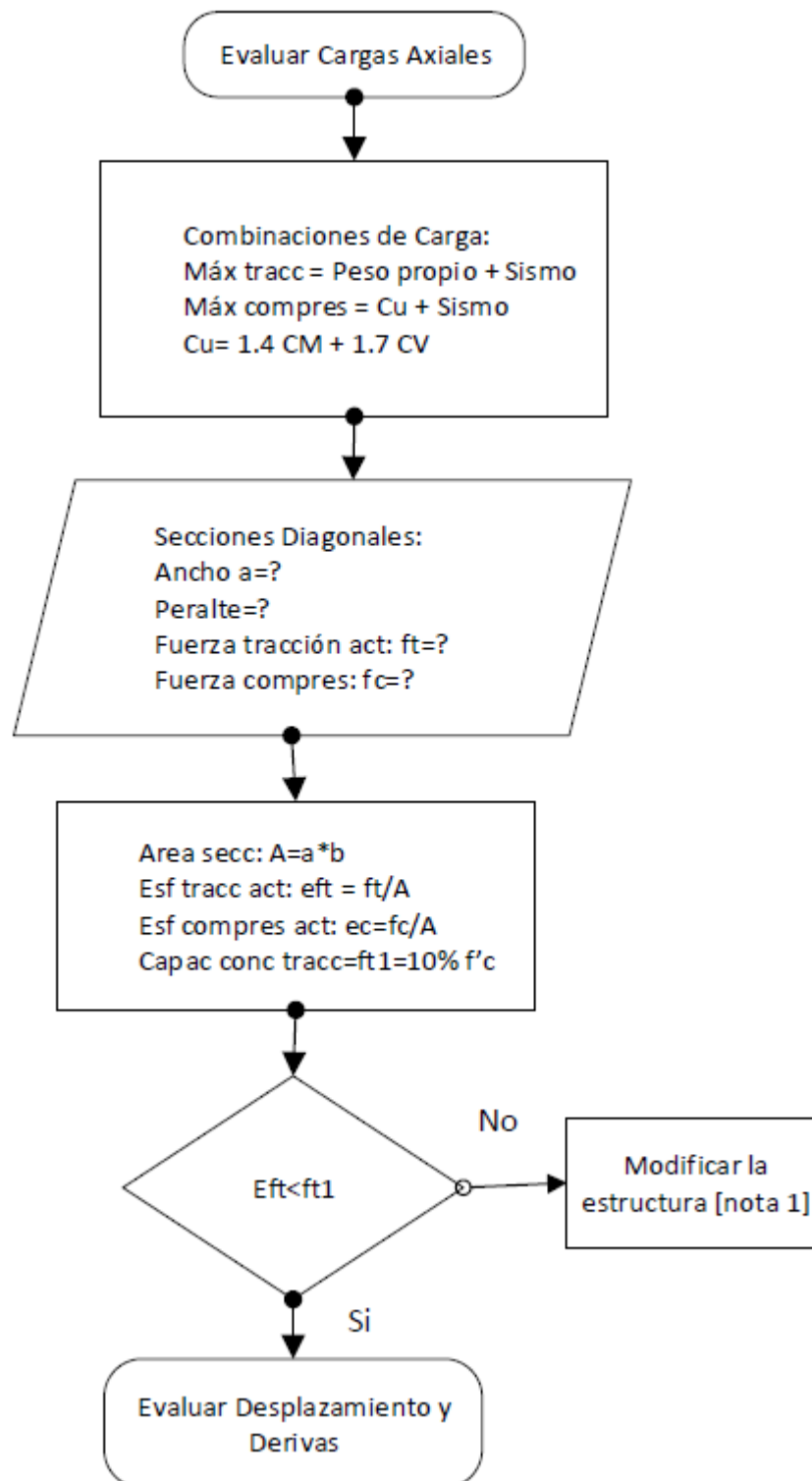
Caso	Robustez	Deriva	Control Desplazam	Importancia edif
1	1.4	0.003	2.03	A
2	0.9	0.004	1.82	B
3	0.7	0.005	1.44	C

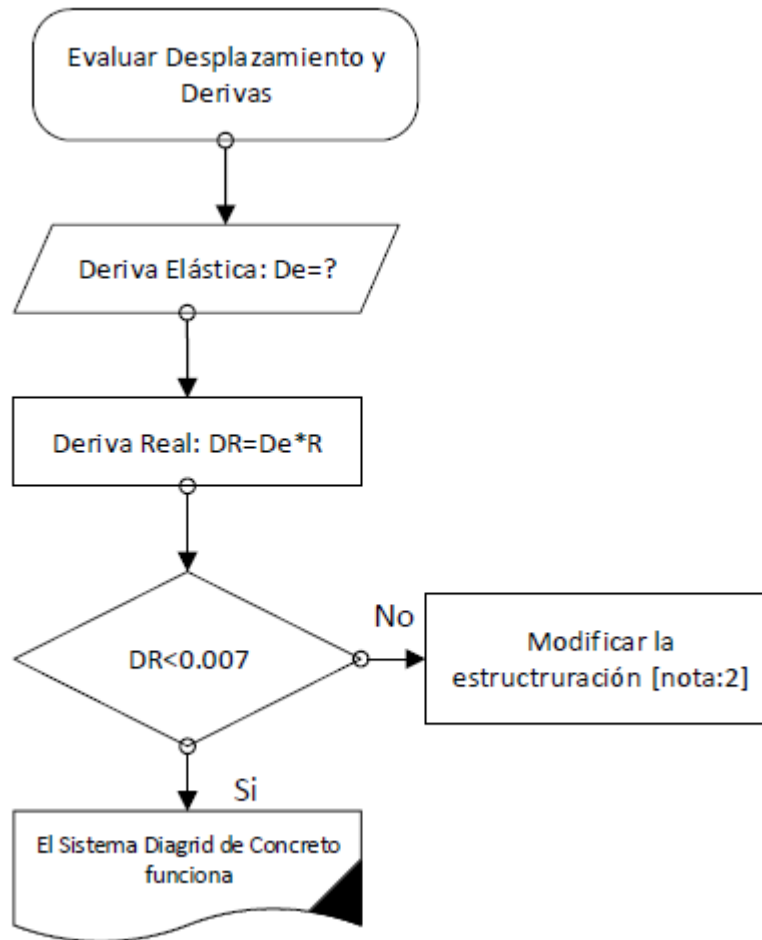
En el cuadro anterior, relaciona la robustez del Edificio Diagrid con su aplicación o Uso por categoría según la importancia, que están normadas en la E.030 vigente, capítulo 3, Tabla N° 5.

Se puede asociar Robustez mayores a 1.4 para edificaciones esenciales (Categoría A), Para edificaciones Importantes (Categoría B) con una robustez mayor a 0.9 y para Edificaciones Comunes (Categoría C) robustez mayor a 0.7.

A continuación, para sistematizar estos procedimientos se muestran los diagramas de flujo que resumen todo lo anteriormente descrito.

DIAGRAMA DE FLUJO – SISTEMA DIAGRID





Nota 1: Se puede aumentar la sección, incrementar el número de diagonales, a mayor redundancia se reducen los esfuerzos unitarios o mejorar la calidad del concreto.

Nota2: Es muy improbable que después de haber superado todos los filtros anteriores, se presente un desplazamiento mayor al límite, pero si esto sucediera, tendría que revisarse las conexiones en los nudos.