

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**“ANÁLISIS SISMORRESISTENTE DE UNA EDIFICACIÓN DE
ESTRUCTURA METÁLICA CONVENCIONAL FRENTE A UN
SISTEMA DIAGRID EN LA REGIÓN TACNA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Bach. Guido Lupaca Cotrado

TACNA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

**“ANÁLISIS SISMORRESISTENTE DE UNA EDIFICACIÓN DE
ESTRUCTURA METÁLICA CONVENCIONAL FRENTE A UN
SISTEMA DIAGRID EN LA REGIÓN TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 12 de diciembre de 2019; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTA:

MTRA. DINA MARLENE COTRADO FLORES

SECRETARIO:

ING. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERON JUAREZ

VOCAL:

ING. LUIS ENRIQUE VALLE CASTRO

ASESOR:

MTRO. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

TACNA – PERÚ
2019

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo GUIDO LUPACA COTRADO, identificado con DNI 43058713, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: "Análisis Sismorresistente de una Edificación de Estructura Metálica Convencional Frente a un Sistema Diagrid en la Región Tacna" la misma que presento para optar: el título profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, diciembre del 2019.



Bach. Guido Lupaca Cotrado

DNI 43058713

DEDICATORIA

A mis padres Alfredo y Gilma, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, brindándome ejemplos dignos a seguir, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	i
CONTENIDO	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema principal	2
1.2.2. Problemas secundarios.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. Desde el aspecto sísmico	3
1.3.2. Desde el aspecto estructural.....	3
1.3.3. Desde el aspecto normativo.....	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. VARIABLES	4
1.5.1. Identificación y/o caracterización de las variables	4
1.5.1.1. Variable general.....	4
1.5.1.2. Variables específicas	5
1.6. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	6
2.1.1. Antecedentes locales.....	6

2.1.2.	Antecedentes internacionales	6
2.2.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	8
2.2.1.	Propiedades del acero A36	8
2.2.2.	Acero estructural.....	9
2.2.3.	Evolución del acero estructural	10
2.2.4.	Propiedades del acero estructural.....	10
2.2.5.	Propiedades mecánicas del acero	11
2.2.6.	Ventajas del acero en estructuras	12
2.2.7.	Desventajas del acero estructural	13
2.2.8.	Normas y códigos de diseño estructural.....	14
2.2.9.	Fundamentos de las estructuras	15
2.2.10.	Métodos de diseño de elementos de acero.....	15
2.2.11.	Tipos de cargas en estructuras y edificios.....	15
2.2.11.1.	Cargas muertas (D)	16
2.2.11.2.	Cargas vivas (L).....	16
2.2.11.3.	Cargas de sismo (E)	17
2.2.12.	Combinaciones de cargas según el método LRFD.....	17
2.2.13.	Diseño estructural	18
2.2.14.	Pórticos especiales resistentes a momentos (SMF).....	19
2.2.15.	Control de la deriva para cargas sísmicas.....	19
2.2.16.	Programa SAP2000	20
2.2.17.	Sistema diagrid	20
2.2.17.1.	Ventajas del sistema diagrid	21
2.2.17.2.	Limitaciones.....	21
2.2.17.3.	Geometría del sistema diagrid	21
2.2.17.4.	Nodo del sistema diagrid	22
2.2.17.5.	La función del núcleo en un edificio diagrid.....	23
2.2.17.6.	Comportamiento estructural en el sistema diagrid	23
2.3.	ANÁLISIS SÍSMICO.....	25

2.3.1.	Fuerza cortante sísmica en la base del edificio	26
2.3.2.	Espectro de respuesta	26
2.3.3.	Espectro de diseño	27
2.3.4.	Factor de zona sísmica (Z).....	27
2.3.5.	Factor de uso (U)	28
2.3.6.	Factor de suelo (S).....	30
2.3.7.	Parámetros de sitio (S, TP Y TL).....	30
2.3.8.	Factor de amplificación sísmica (C)	31
2.3.9.	Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas	31
2.3.10.	Coeficiente básico de reducción para el sistema diagrid	32
2.3.11.	Límites de la deriva de piso.....	33
2.3.12.	Estimación del peso (P)	34
	CAPÍTULO III METODOLOGÍA	35
3.1.	RECOPIACIÓN Y ESTUDIO DE LA INFORMACIÓN PREVIA.....	35
3.2.	ESTUDIO PARAMÉTRICO DE DIAGRID Y CONVENCIONAL	35
3.2.1.	Configuración y parámetros típicos del edificio	35
3.2.2.	Evaluación de cargas actuantes en la estructura	38
3.2.3.	Espectro de diseño NTE E.030-2018	39
3.3.	ANÁLISIS COMPARATIVO EN LAS COLUMNAS INTERIORES.....	39
	CAPÍTULO IV RESULTADOS	41
4.1.	MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS EN EL PROGRAMA SAP2000	41
4.1.1.	Índices de la resistencia de los elementos respecto a los permisibles..	43
4.1.2.	Combinaciones de diseño	48
4.1.3.	Diseño de estructura del sistema diagrid y convencional	49
4.1.4.	Análisis de periodos de vibración	50
4.1.5.	Análisis del desplazamiento lateral producidos por efecto sísmico.....	53
4.1.6.	Análisis de derivas	56
4.1.7.	Peso propio del edificio	58

4.1.8. Evaluación fuerza cortante en la base.....	59
4.1.9. Espectros de diseño sísmico.....	61
CAPÍTULO V DISCUSIÓN.....	63
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXO 1 Matriz de Consistencia	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura del módulo diagrid	22
Figura 2. Diagrama de transferencia de carga puntual	23
Figura 3. Diagrama de transferencia de carga distribuida uniforme	24
Figura 4. Fuerza lateral cargada en rejilla simple.....	24
Figura 5. Arreglo de nodos en diagrid	25
Figura 6. Trayectoria de la carga en el nodo.....	25
Figura 7. Método de determinación del espectro de respuesta	27
Figura 8. Mapa de zonas sísmicas	28
Figura 9. Configuración en planta del modelo estructural diagrid y convencional ...	36
Figura 10. Modelo estructural Convencional, Pórtico 1-1, 4-4, A-A y D-D.....	37
Figura 11. Modelo estructural diagrid, Pórtico 1-1, 4-4, A-A y D-D.....	38
Figura 12. Columnas seleccionadas para sistema convencional y diagrid	40
Figura 13. Numeración por piso de las columnas de los miembros seleccionados .	40
Figura 14. Modelo del sistema estructural diagrid en el programa SAP2000	42
Figura 15. Modelo del sistema estructural convencional en el programa SAP2000	43
Figura 16. Barra de colores en los elementos estructurales.....	44
Figura 17. Índice de resistencia modelo diagrid vista en elevación	45
Figura 18. Índice de resistencia modelo diagrid vista en planta	46
Figura 19. Índice de resistencia modelo convencional vista en elevación	47
Figura 20. Índice de resistencia modelo convencional vista en planta	48
Figura 21. Desplazamiento por efecto sísmico en dirección X-X.....	54
Figura 22. Desplazamiento por efecto sísmico en dirección Y-Y.....	55
Figura 23. Nivel de piso Vs deriva	57
Figura 24. Nivel de piso Vs deriva	58
Figura 25. Espectro de respuesta elástico sistema diagrid	61
Figura 26. Espectro de respuesta elástico sistema convencional	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Composición química de la colada	9
Tabla 2 Factores de zona "Z"	28
Tabla 3 Categoría de las edificaciones y factor "U"	29
Tabla 4 Factores de Suelos "S"	30
Tabla 5 Periodos "Tp" y "TL"	31
Tabla 6 Sistemas estructurales	32
Tabla 7 Coeficiente de reducción para el sistema diagrid	33
Tabla 8 Límites para la distorsión del entrepiso.....	34
Tabla 9 Cargas permanentes y variables en losas de entrepisos	39
Tabla 10 Dimensión de los miembros estructurales	50
Tabla 11 Modos de vibración y masa participativa para el sistema diagrid.....	51
Tabla 12 Modos de vibración y masa participativa para el sistema convencional ...	52
Tabla 13 cuadro comparativo del periodo de vibración.....	53
Tabla 14 Desplazamiento por efecto sísmico en dirección X-X	54
Tabla 15 Desplazamiento por efecto sísmico en dirección Y-Y	55
Tabla 16 Máximas derivas de la estructura	56
Tabla 17 Máximas derivas de la estructura	57
Tabla 18 Peso del edificio	59
Tabla 19 Cortante estática basal.....	60

RESUMEN

Tacna es una de las regiones más propensas a sismos de gran magnitud como el ocurrido el 23 de junio del 2001, que ocasiono pérdidas humanas y daño en las edificaciones, es por ello la necesidad de diseñar edificaciones sismorresistentes que tengan la capacidad para resistir las cargas sísmicas brindando así la seguridad adecuada.

Como una solución alternativa para el diseño de edificaciones sismorresistente se procede a realizar un estudio del sistema diagrid, que consiste en una rejilla exterior formada por una serie de sistemas de columnas trianguladas y vigas y el sistema diagrid está formado por la intersección de los componentes diagonal y horizontal. Los miembros diagonales en las estructuras de diagrid actúan como columnas inclinadas y como elementos de arriostramiento, y transportan cargas de gravedad y cargas laterales debido a la configuración de triangulación.

En esta tesis, se presenta un estudio comparativo de los resultados del análisis en términos de período de tiempo, desplazamiento y deriva de pisos del sistema estructural diagrid y del sistema estructural convencional para una edificación de acero de 10 pisos con la misma configuración y distribución de cargas de gravedad y de sismo. El software SAP2000 v20 se utiliza para modelar y analizar los miembros estructurales, dando como resultado a lo largo de la presente tesis que el sistema diagrid se comporta más eficientemente ante la acción de cargas sísmicas en comparación con el sistema convencional, ya que estas cargas son transmitidas por las columnas diagonales proporcionándose así una mayor resistencia a la edificación.

Palabras clave: Deriva de pisos; Desplazamiento de pisos; Diagrid; Período de tiempo y Sistema estructural.

ABSTRACT

Tacna is one of the regions most prone to earthquakes of great magnitude such as that occurred on June 23, 2001, which caused human losses and damage to buildings, which is why the need to design seismic-resistant buildings that have the capacity to withstand loads seismic thus providing adequate security.

As an alternative solution for the design of seismic-resistant buildings, a study of the Diagrid system is carried out, which consists of an external grid formed by a series of triangulated column systems and beams and the diagonal system is formed by the intersection of the diagonal components and horizontal. The diagonal members in the diagonal structures act as inclined columns and as bracing elements, and carry gravity loads and lateral loads due to the triangulation configuration.

In this thesis, a comparative study of the results of the analysis is presented in terms of time period, displacement and drift of floors of the diagrid structural system and of the conventional structural system for a 10-story steel building with the same configuration and distribution of gravity and earthquake loads. SAP2000 v20 software is used to model and analyze the structural members, resulting throughout this thesis that the diagrid system behaves more efficiently in the face of seismic loads compared to the conventional system, since these loads are transmitted by the diagonal columns thus providing greater resistance to the building.

Keywords: Floor drift; Floor displacement; Diagrid Time Period and Structural System.

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país altamente sísmico, donde la convergencia entre las placas Sudamericana y Nazca originan movimientos telúricos importantes, es por ello la necesidad de diseñar edificaciones sismorresistentes que tengan la capacidad para resistir fuerzas laterales externas a las que se encuentra sometidas, brindando así la seguridad adecuada contra la ocurrencia de fallas.

Actualmente, en diferentes países se están construyendo edificaciones de acero estructural, como una solución constructiva alternativa basada principalmente debido a las características y propiedades que posee frente a otros materiales.

Para aumentar el rendimiento estructural y para un buen desempeño bajo cargas de sismo, se puede proporcionar el sistema estructural diagrid, que consiste en una rejilla exterior formada por una serie de sistemas de columnas trianguladas y vigas y el sistema diagrid está formado por la intersección de los componentes diagonal y horizontal.

La principal diferencia entre una estructura convencional aporticado y las estructuras de diagrid es que, se eliminan las columnas verticales presentes en el perímetro de la estructura de diagrid, mientras que en la estructura convencional aporticado hay una columna vertical presente en el perímetro del edificio. Esto es posible porque los miembros diagonales en los sistemas estructuras de diagrid actúan como columnas inclinadas y como elementos de arriostramiento, y transportan las cargas de gravedad y las cargas laterales mediante esfuerzos axiales de sus miembros de manera eficiente.

En la presente tesis se presenta un estudio comparativo centrándose en algunos puntos críticos como los resultados del análisis en términos de periodo de tiempo, desplazamiento de pisos y deriva de pisos del sistema estructural de diagrid y el sistema estructural convencional para una edificación de 10 pisos con una altura de piso de 3,0 m y con la misma configuración. Se considera un plano de planta regular de 18mx18m para ambas estructuras. El programa SAP2000 v20 se utiliza para modelar y analizar los miembros estructurales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La región de Tacna está expuesta a un alto nivel de peligro sísmico debido a la interacción por subducción de la Placa Continental Sudamericana con la Placa Oceánica Nazca la cual es responsable de la mayor fuente generadora de sismos. El evento sísmico de gran intensidad ocurrido el 23 de junio de 2001 en la región sur del Perú, fue uno de los más destructivos ocurridos en el país, ocasionando la pérdida de vidas humanas, daños materiales y económicos sin embargo, la presencia de este tipo de fenómeno natural sirve de gran ayuda para la investigación y desarrollo de edificaciones sismorresistentes.

En la actualidad, se observa que la construcción de edificaciones sismorresistente ha ido tomando mayor importancia y se han propuesto varios métodos nuevos que ofrecen mejores resultados que las estructuras convencionales como el sistema diagrid, este sistema se ha desarrollado exitosamente ya que proporciona excelentes resultados ante la acción de cargas sísmica y reduce los efectos de la fuerza sísmica sobre la estructura.

En la presente tesis se pretende demostrar que el sistema diagrid posee un mejor comportamiento sismorresistente y es más recomendable que un sistema convencional aporticado bajo la acción de las mismas cargas sísmicas y de gravedad en la región de Tacna, por lo que se realizara un análisis comparativo entre una estructura metálica convencional y un sistema diagrid mediante el uso del programa de modelamiento estructural SAP2000 v20, aplicado al diseño de un edificio de 10 pisos de altura, que cumpla con los requerimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones y las Normas Internacionales como el AISC, evaluándose los dos sistemas estructurales propuestos con especificaciones que garanticen la seguridad ante un evento sísmico.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema principal

¿Como realizar de manera comparativa el comportamiento sismorresistente de una edificación de estructura metálica convencional y de un sistema diagrid?

1.2.2. Problemas secundarios

¿Como realizar el diseño de una edificación de 10 pisos de altura con estructura metálica comparándola con una de sistema diagrid?

¿Cómo determinar el comportamiento sísmico de un pórtico de acero frente a un sistema diagrid?

¿Según el comportamiento sísmico como realizar un análisis de ventajas y desventajas del sistema diagrid frente a una estructura convencional?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente tesis se justifica por las siguientes razones:

1.3.1. Desde el aspecto sísmico

La región de Tacna se encuentra ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, siendo afectado por terremotos como el 23 de junio del 2001; el cual fue uno de los mayores sismos que causó daños a la población, se ha visto afectada tanto vidas humanas como daños en elementos estructurales y el colapso total de edificaciones, estos sucesos nos obligan a realizar estudios de nuevas formas de mejorar el comportamiento de las edificaciones ante los eventos sísmicos.

1.3.2. Desde el aspecto estructural

En las últimas décadas se ha desarrollado nuevos sistemas que contribuyen a mejorar la resistencia de la edificación cuando están sometidas a sismos de gran magnitud. En la actualidad en nuestro país hay un cierto incremento en la construcción de estructuras con perfiles de acero estructural como materia prima debido a sus propiedades físicas y mecánicas que ha logrado incrementar su consumo y debido a los antecedentes mencionados anteriormente, surge la necesidad de comenzar a estudiar e implementar nuevos sistemas, como el diagrid, los cuales permiten reducir la demanda sísmica sobre las estructuras, asegurar su capacidad de resistencia frente a sismos destructivos y garantizando estructuras más seguras frente a dichos eventos. En el Perú su estudio es reducido, debido a su desconocimiento de las ventajas que conlleva su empleo.

1.3.3.Desde el aspecto normativo

Dado que la región de Tacna se encuentra ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, el Ingeniero Civil debe garantizar que las diferentes estructuras diseñadas cumplan con la normativa sismorresistente vigente en nuestro país, así como en otros países.

Por ello, el propósito de la presente tesis plantea realizar el análisis y estudio comparativo del comportamiento estructural de un edificio de estructura metálica que permita determinar las diferencias ante el comportamiento sísmico de una estructura con sistema diagrid y una estructura metálica convencional, de manera que se pueda ver reflejado el comportamiento de cada una para luego validar y confirmar las ventajas y la resistencia estructural ante la ocurrencia de cargas de sismos.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1.Objetivo general

Realizar de manera comparativa el análisis sismorresistente de una edificación de estructura metálica convencional y de un sistema diagrid.

1.4.2.Objetivos específicos

- Realizar el diseño de una edificación de 10 pisos de altura con estructura metálica comparándola con una de sistema Diagrid.
- Determinar el comportamiento sísmico de un pórtico de acero frente a un sistema diagrid.
- Según el comportamiento sísmico encontrado realizar un análisis de ventajas y desventajas del sistema diagrid frente a una estructura convencional.

1.5. VARIABLES

1.5.1.Identificación y/o caracterización de las variables

1.5.1.1. Variable general

- Dependiente
 - Análisis Sismorresistente
- Independiente

- Estructura metálica convencional
- Sistema Diagrid

1.5.1.2. Variables específicas

- Dependiente
 - Diseño de una edificación
 - Comportamiento sísmico
- Independiente
 - Estructura metálica convencional
 - Pórtico de acero
 - Sistema Diagrid

1.6. TIPO Y NIVEL DE LA 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 con sistemas estructurales tipo diagrid y sistema convencional aporticado, ambos de estructura metálica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Todos los documentos encontrados sobre el sistema estructural Diagrid, se encuentran en las referencias bibliográficas, sin embargo, para el sistema Diagrid de acero existe muy poca investigación y pocos edificios ejecutados dentro de ellos podemos mencionar a los pioneros: el Hearst Tower (New York City), Nueva York, Estados Unidos y el 30 St Mary Axe - Swiss Re building ("the Gherkin"), Londres, Inglaterra.

2.1.1. Antecedentes locales

José (2018), desarrolló la tesis titulada "Análisis comparativo de edificios con sistemas estructurales de concreto armado: duales versus diagrid", de la Universidad Privada de Tacna – Perú. El autor analizó 3 modelos de edificios de concreto armado de 06 niveles ubicado en una zona de alta sismicidad en el Perú, realizando 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. Se concluyó en la investigación que de los edificios estudiado los que son con el sistema estructural diagrid de concreto armado son más eficiente que el sistema convencional en los aspectos de desplazamiento lateral, deriva, peso, menor costo, ductilidad.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Julio & Mauro (2015), desarrolló la tesis titulada "Análisis del comportamiento estructural de edificaciones de acero sismorresistentes de gran altura, utilizando el sistema estructural diagrid", de la Universidad Rafael Urdaneta – Venezuela. El autor concluyó en que el sistema estructural diagrid contó con una considerable rigidez lateral, superior al del sistema aporticado, brindando una mejor respuesta ante las cargas horizontales sísmicas, demostrándose valores mucho más favorables en los periodos de vibración, desplazamientos máximos y derivas.

Amador, Arturo & Gerardo (2014), desarrollaron el trabajo de investigación denominado "Uso de rejillas perimetrales (diagrid) para estructurar edificios altos de acero ubicados en zonas de alta sismicidad" presentado en el XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Jalisco – México. Los autores proponen una metodología

que permite estimar de manera razonable el periodo fundamental de vibración de sistemas DIAGRID con diferentes configuraciones estructurales con el fin de sentar las bases de una metodología basada en desplazamientos que permita su concepción y diseño preliminar.

José (2016), realizó el tema de investigación “Analysis and comparison of diagrid and conventional structural system” [Análisis y comparación de diagrid y sistema estructural convencional], presentado en la revista científica International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology – IJAREST. En esta tema de investigación el autor realizó el análisis comparativo del sistema estructural diagrid y el sistema estructural convencional para un edificio de 20 pisos utilizando el software ETABS, se realizó el análisis de los resultados en términos de deriva, desplazamiento, fuerza cortante en planta y también el aspecto económico en donde se observó que los desplazamientos en cada planta y las desviaciones de la planta son menores en los sistemas diagrid en comparación con el aporticado concluyendo que la estructura diagrid proporciona más eficiencia que la estructura convencional.

Manthan & Snehal (2016) desarrollaron el trabajo de investigación denominado “Comparative study of diagrid structures with conventional frame structures” [Estudio comparativo de estructuras de diagrid con estructuras aporticadas], presentado en la revista científica International Journal of Engineering Research and Applications – IJERA. Los autores realizaron el modelamiento de siete edificios de acero de base y cargas idénticas con diferentes alturas tanto para sistemas estructurales diagrid y aporticado utilizando el software ETABS. Luego del análisis se concluyó que la estructura diagrid proporciona una mejor solución para el sistema de resistencia a la carga lateral en términos de desplazamientos laterales, peso del acero y rigidez.

Saket & Vivek (2015) desarrollaron el trabajo de investigación denominado “Advantage of steel diagrid building over conventional building” [Ventaja del edificio de acero diagrid sobre el edificio convencional], presentado en la revista científica International Journal of Civil and Structural Engineering Research. Los autores plantean el estudio de la respuesta estructural del edificio convencional y de diagrid bajo gravedad y carga sísmica para evaluar los beneficios estructurales del sistema de diagrid. Un edificio de acero 15 pisos ubicado en una zona sísmica, es analizado y diseñado por el Software STAAD Pro, se concluyó en que en la estructura diagrid, la mayor parte de la carga lateral es tomada por los miembros diagonales externos, que a su vez liberan las fuerzas en otros miembros de la estructura. El uso de diagrids disminuye significativamente la fuerza de corte y el momento de flexión en las vigas

internas y perimetrales. El momento de flexión en la columna interna también disminuye en la construcción de diagrid, esto reduce el requisito seccional de vigas y columnas en la construcción de diagrid. Se logra una economía general aproximada de 12% en peso en la construcción de diagrid en comparación con la construcción convencional.

Harish, Narendra & Dipesh (2015) desarrollaron el trabajo de investigación denominado “Análisis comparativo del sistema estructural diagrid y el sistema estructural convencional para edificios de acero de gran altura” presentado en la revista científica International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology – IJAREST. Los autores concluyeron en que, a partir del estudio, se observa que las columnas diagonales se resisten a las cargas laterales de la estructura, el desplazamiento del piso superior es mucho menor en la estructura diagrid en comparación con la construcción de una estructural convencional.

Kyoung (2008) desarrollaron el trabajo de investigación denominado “Estrategias de diseño de ahorro de materiales para estructuras de edificios altos” presentado en la escuela de arquitectura, Universidad de Illinois – EE. UU. El autor examinó la influencia de las configuraciones geométricas de las estructuras diagrid y aportado donde concluyo que, para en las estructuras de diagrid, a medida que un edificio se vuelve más alto, el ángulo óptimo también se vuelve más inclinado dentro del rango típico de aproximadamente 60 a 70 grados.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.2.1. Propiedades del acero A36

El acero es uno de los metales más comunes utilizados para aplicaciones estructurales. Es fuerte, resistente, dúctil, moldeable y soldable. Como hay muchos tipos diferentes de acero disponibles, cada uno con propiedades químicas y mecánicas únicas, es importante conocer algunos de los atributos clave del acero A36.

El acero A36 es un acero bajo en carbono. Esto permite que el acero A36 se pueda mecanizar, soldar y conformar fácilmente, lo que lo hace extremadamente útil como acero de uso general. El bajo carbono también evita que el tratamiento térmico tenga un gran efecto sobre el acero A36. El acero A36 generalmente también tiene pequeñas cantidades de otros elementos de aleación, incluyendo manganeso, azufre, fósforo y silicio. Estos elementos de aleación se agregan para dar al acero A36 sus propiedades químicas y mecánicas deseadas. Como A36 no contiene

grandes cantidades de níquel o cromo, no tiene una excelente resistencia a la corrosión.

Tabla 1
Composición química de la colada

Carbono (C)	0,26% máximo
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máximo
Azufre (S)	0,05% máximo
Silicio (Si)	0,40% máximo
* Cobre (Cu)	0,20% mínimo *Cuando se especifique

Fuente: (Jack C. McCormac - Stephen F. Csernak, 2012)

2.2.2. Acero estructural

El acero estructural es un acero al carbono, lo que significa que tiene un contenido de carbono de hasta el 2,1% en peso. Después del hierro, el carbono es el elemento más importante en el acero al carbono. El aumento de la cantidad de carbono en la composición del acero da como resultado materiales que tienen alta resistencia y baja ductilidad.

El acero con bajo contenido de carbono, también conocido como acero suave, es la forma más ampliamente utilizada de acero al carbono y lo que se usa más comúnmente para fines de construcción, por lo que el acero con bajo contenido de carbono es lo que más se piensa al referirse al acero estructural. El acero con bajo contenido de carbono generalmente contiene un contenido de carbono de 0,04% a 0,30%, lo que lo hace más fuerte y dúctil que otras formas de acero con mayor contenido de carbono.

El acero estructural es una categoría de acero que se usa para fabricar materiales de construcción en una variedad de formas. Las formas, tamaños, composición química, propiedades mecánicas de acero estructural, tales como resistencias, etc., están reguladas por normas en la mayoría de los países industrializados.

Debido a la ductilidad del acero estructural, la variedad de formas, espesores e incluso tamaños se pueden personalizar para satisfacer las necesidades específicas de construcción.

En una categoría regulada de acero, el acero estructural debe cumplir con los estándares de la industria en cuanto a tolerancias dimensionales y composición.

2.2.3. Evolución del acero estructural

Los sistemas constructivos han ido evolucionando rápidamente y el desarrollo del acero estructural como material de construcción ha desempeñado un papel importante en el crecimiento. En la actualidad se construye con acero estructural debido a su alta relación resistencia/peso y es muy duradera, estas características lo hacen ideal para la construcción de edificios sismorresistentes.

Es por eso que el acero está empezando a tener una mayor importancia en el Perú. En comparación con el concreto armado, esto se debe al volumen mucho mayor requerido para que un miembro de concreto estructural soporte la misma carga, el acero ya no es una industria que requiere mucha mano de obra, lo que inicialmente resultó en recortes en la fuerza laboral, de tiempo en ejecución y de costos haciendo que hoy en día su uso para todo tipo de aplicaciones en la construcción de edificaciones.

2.2.4. Propiedades del acero estructural

Las propiedades del acero estructural resultan tanto de su composición química como de su método de fabricación, incluido el procesamiento durante la fabricación.

Debido a sus propiedades materiales, el acero estructural es posiblemente el material de ingeniería y construcción más importante del mundo.

Las propiedades más importantes del acero estructural son su gran formabilidad y durabilidad, buena resistencia a la tracción y rendimiento.

El acero estructural se puede utilizar para crear formas complejas de edificios, económicamente y con relativa facilidad.

Según el manual de construcción de acero LRFD las propiedades del acero estructural que deben ser consideradas por los diseñadores al especificar productos de construcción de acero son:

- Esfuerzo de fluencia: $F_y = 36 \text{ klb/plg}^2$ (2 530 kg/cm²)
- Resistencia última: $F_u = 58 \text{ klb/plg}^2$ (4 080 kg/cm²)
- Módulo de elasticidad: $E = 29\,000 \text{ klb/plg}^2$ (200 000 MPa)
- Módulo al corte: $G = 11\,200 \text{ ksi}$ (787437,92 Kg/cm²)

- Densidad $\rho = 7\,860$ (kg/m³)
- Relación de Poisson $\nu = 0,30$
- Coeficiente Expansión térmica $\alpha = 6,5 \times 10^{-6}/F$

2.2.5. Propiedades mecánicas del acero

El acero deriva sus propiedades mecánicas de una combinación de composición química, tratamiento térmico y procesos de fabricación, mientras que el principal componente del acero es el hierro, la adición de cantidades muy pequeñas de otros elementos puede tener un efecto marcado en las propiedades del acero.

Las propiedades físicas del acero incluyen: alta resistencia, bajo peso, durabilidad, ductilidad y resistencia a la corrosión. El acero ofrece una gran resistencia, aunque es ligero en peso. De hecho, la relación entre resistencia y peso para el acero es más baja que cualquier otro material de construcción.

Otras propiedades físicas del acero que son totalmente diferentes son sus elementos componentes, a saber, hierro y carbono. Las propiedades físicas dependen de la composición porcentual de los elementos constituyentes y del proceso de fabricación.

Dentro de algunas de las propiedades que este material presenta se pueden mencionar las siguientes:

- Alta resistencia: La resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de la estructura comparado con otros materiales, esto lo hace adecuado para utilizarse en edificios de altura.
- Uniformidad: Las propiedades del acero no cambian significativamente en el tiempo.
- Elasticidad: El comportamiento del acero frente a estados de carga es el que mejor se ajusta a la Ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos.
- Plasticidad: Es la propiedad que posee un material, en este caso el acero, de deformarse permanente e irreversiblemente una vez que ha sido sometido a tensiones por encima de su límite plástico.

- Ductilidad: El acero es un material que tiene la capacidad de soportar grandes deformaciones sin fallar, bajo esfuerzos de tensión relativamente alta, hasta llegar al punto de fractura. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.
- Tenacidad: Es la capacidad del acero de soportar grandes fuerzas inclusive cuando presenta grandes deformaciones, es decir, poseen resistencia y ductilidad.
- Límite de fluencia F_y : Es la tensión a partir de la cual el material pasa a sufrir deformaciones permanentes, es decir, hasta este valor de tensión.
- Resistencia a la fractura F_u : Es el Máximo esfuerzo de que puede soportar el acero antes de la ruptura.
- Resistencia a la fatiga: Es el valor del esfuerzo que puede resistir un material durante una cantidad dada de ciclos de carga.
- Módulo de elasticidad: Es la relación entre el esfuerzo y la deformación en el rango elástico.
- Relación de Poisson, $\mu=0,30$: Se denomina a la relación entre la deformación transversal y la longitudinal del acero para un determinado rango de esfuerzos.
- Módulo de la elasticidad en corte G : Relación entre el esfuerzo en corte aplicado y la deformación correspondiente en el rango elástico.
- Soldabilidad: Es la capacidad del acero que tiene a ser soldado y depende de la composición química del material.

2.2.6. Ventajas del acero en estructuras

Brevemente se detallan algunas de las ventajas que resultan de la utilización del acero como elemento estructural:

- Alta resistencia: La alta resistencia del acero por unidad de peso permite estructuras relativamente livianas.
- Elasticidad: El acero en comparación con la mayoría de los materiales es el material que más se acerca a un comportamiento linealmente elástico (Ley de Hooke) hasta alcanzar esfuerzos altos.

- Homogeneidad: Las propiedades del acero no varían ni se alteran con el tiempo, ni varían con la localización en los elementos estructurales.
- Durabilidad: Las estructuras de acero con mantenimiento adecuado duraran indefinidamente.
- Rapidez de montaje: La velocidad de construcción en acero es superior a la de otros materiales.
- Fácil conexión: Facilidad de unir diversos elementos a través de varios tipos de conectores como son los remaches, soldadura o tornillos.
- Reciclaje/Costo de recuperación: Este es un material 100 % reciclable por lo que pueden reutilizarse después de desmontar una estructura tienen un costo de recuperación en el peor de los casos como chatarra de acero, además de ser degradable, por lo que no contamina.
- Prefabricación: Por tratarse de un proceso industrializado y de prefabricación en serie, su elaboración se hace con un alto grado de eficiencia y un riguroso control de calidad.
- Precisión dimensional: Los perfiles laminados están fabricados bajo estándares que permiten establecer de manera muy precisa las propiedades geométricas de la sección.
- Disponibilidad de secciones y tamaños: El acero se encuentra disponible en perfiles comerciales para optimizar su uso en gran cantidad de tamaños y formas.

2.2.7.Desventajas del acero estructural

El acero estructural presenta ciertas desventajas o limitaciones que deben considerarse en el diseño y construcción. Dentro de algunas de las desventajas que este material presenta se pueden mencionar las siguientes:

- Corrosión: El acero expuesto a la intemperie es susceptible a la acción de agentes corrosivos por lo tanto deben ser protegido con esmaltes o pinturas anticorrosivas en esas condiciones, exceptuando a los aceros especiales como el inoxidable.

- Costo de la protección contra el fuego: El acero es un excelente conductor de calor, haciendo disminuir considerablemente su resistencia durante los incendios. Por consiguiente, la estructura de acero de un edificio debe de presentar protección con recubrimiento aislantes del calor y del fuego.
- Susceptibilidad al pandeo: Debido a su propiedad de alta resistencia por unidad de peso, los perfiles largos y esbeltos sujetos a compresión son muy susceptibles a pandearse.
- Fatiga: La resistencia del acero puede verse afectada si se somete a un gran número de inversiones de carga o a cambios frecuentes de magnitud de esfuerzos a tensión.
- Fractura frágil: Este efecto se presenta bajo ciertas condiciones, posterior a la pérdida de ductilidad del acero y en lugares de concentración de esfuerzos. Algunos factores que agravan esta situación son las cargas que producen fatiga y las bajas temperaturas.
- Costo de mantenimiento: La mayoría de los elementos de acero son afectados por diversos factores ambientales al estar expuestos al aire y al agua, los cuales generan corrosión por consiguiente deben pintarse periódicamente con pintura anticorrosiva.

2.2.8. Normas y códigos de diseño estructural

Los distintos códigos de diseño estructural, que existen en la actualidad, son documentos que brindan requerimientos que deben cumplir las estructuras y sus elementos que la conforman, para asegurar que cuando estén bajo la acción de diferentes estados de carga no sufran ni produzcan un colapso. Estos requerimientos son productos de la experiencia e investigación de ingenieros durante muchos años, analizando las diversas fallas a las que son susceptibles los miembros estructurales, su principal propósito es disminuir el riesgo y mantener la seguridad de las construcciones en niveles socialmente aceptables.

Para el proceso de diseño de la estructura se utilizarán los siguientes Códigos y Normas:

- Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.020 Cargas.

- Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente.
- Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.090 Estructuras Metálicas.
- ANSI/AISC 360-10 – Specification for Structural Steel Buildings.
- ANSI/AISC 341-10 – Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.
- ASCE/SEI 7-10 – Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- AISC Steel Construction Manual 13th.

2.2.9. Fundamentos de las estructuras

En ingeniería estructural, una estructura es un cuerpo o combinación de piezas de cuerpos rígidos en el espacio que forman un sistema de acondicionamiento físico para soportar cargas y resistir momentos. Los efectos de las cargas y los momentos en las estructuras se determinan a través del análisis estructural. Una estructura de acero está compuesta por elementos estructurales que están hechos de acero, generalmente con perfiles de sección transversal estándar y estándares de composición química y propiedades mecánicas.

2.2.10. Métodos de diseño de elementos de acero

Las especificaciones vigentes para la construcción de estructuras de acero consideran dos métodos generales de diseño: el Método de las Tensiones Admisibles ASD (Allowable Strength Design) y el Método de Factores de Carga y Resistencia LRFD (Load and Resistance Factor Design).

En la presente tesis utilizaremos el método LRFD, en este método, las cargas factorizadas se aplican a un componente de acero para determinar la resistencia absoluta requerida y esto se evalúa con la resistencia supuesta del componente y un factor de resistencia.

2.2.11. Tipos de cargas en estructuras y edificios

Los tipos de cargas que actúan sobre estructuras para edificios y otras estructuras pueden clasificarse en términos generales como cargas verticales, cargas

horizontales y cargas longitudinales. Las cargas verticales consisten en carga muerta, carga viva y carga de impacto.

En una construcción de edificios, dos factores principales considerados son la seguridad y la economía. Si las cargas se adjudican y se elevan, la economía se ve afectada. Si se considera la economía y se toman menos cargas, se compromete la seguridad.

2.2.11.1. Cargas muertas (D)

La primera carga vertical que se considera es carga muerta. Se define como la fuerza cuya magnitud, posición y dirección permanecen constantes a lo largo del tiempo.

También conocidas como cargas permanentes o estáticas, la carga muerta se debe principalmente al peso propio de la estructura. Las cargas muertas pueden incluir el peso de cualquier elemento estructural, particiones permanentes no estructurales, accesorios que conserven una posición fija en la edificación como muros divisorios, fachadas, los revestimientos, acabados, las instalaciones.

El cálculo de las cargas muertas de cada estructura se calcula por el volumen de cada sección y se multiplica por el peso unitario. Esto significa que, en teoría, debería ser posible calcular las cargas muertas con un buen grado de precisión.

2.2.11.2. Cargas vivas (L)

La segunda carga vertical que se considera en el diseño de una estructura son las cargas impuestas o las cargas vivas.

Las cargas vivas son cargas móviles suelen ser temporales, modificables y dinámicas incluido las cargas tales como tráfico, ocupantes, muebles móviles, etc. causadas por el uso esperado y la ocupación de la estructura. Se supone que estas cargas son producidas por el uso u ocupación previstos del edificio Estas cargas deben ser adecuadamente asumidas por el diseñador. La intensidad de estas cargas puede variar según la hora del día, por lo que cada miembro de la estructura debe estar diseñado para la posición de la carga en su magnitud máxima en ese miembro.

2.2.11.3. Cargas de sismo (E)

Las cargas sísmicas incluyen las sacudidas verticales y horizontales que experimenta una estructura durante un terremoto. La vibración total causada por un terremoto puede resolverse en tres direcciones mutuamente perpendiculares, generalmente tomadas como direcciones verticales y dos horizontales. El movimiento en dirección vertical no causa fuerzas en la estructura de manera significativa pero el movimiento horizontal del edificio en el momento del terremoto debe considerarse durante el diseño.

Las estructuras en las regiones del país comúnmente conocidas por su actividad sísmica deben cumplir con los estrictos requisitos de construcción escritos para garantizar que un edificio no falle catastróficamente.

2.2.12. Combinaciones de cargas según el método LRFD

LRFD aplica factores de carga a las cargas de nivel de servicio para que sean comparables de manera segura a las resistencias de los miembros (que generalmente son inelásticas) mientras mantienen las cargas reales (de servicio) en la región elástica. La fuerza del miembro es generalmente entre 1,3 y 1,4 veces la fuerza que causará el rendimiento en un miembro. Estos factores de carga se aplican en las ecuaciones de combinación de carga y varían en magnitud según el tipo de carga y lo que se busca encontrar es la envolvente de estos valores mayorados y la mayor de estas es la que se utiliza en los cálculos de momentos, cortantes, entre otras. Estas cargas no deben ser mayores que las resistencias nominales de los miembros.

Los factores de reducción de resistencia se aplican a la resistencia nominal (diseño), pero se reduce por un factor de resistencia ϕ que está configurado para un tipo de material específico (acero, hormigón de madera, etc.) bajo un tipo de carga específico (flexión, tensión, compresión, etc.) y a menudo para un tipo específico de modo de falla o estado límite. La ecuación que rige para este método viene a ser el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Factor de reducción } (\phi) \times \text{Resistencia nominal} &\geq \text{fuerza} \\ &\text{factorizada calculada} \\ \phi R_n &\geq R_u \end{aligned}$$

Las combinaciones de carga que se aplican para el método diseño de factores de carga y resistencia (LRFD por sus siglas en inglés) se hicieron considerando la condición más desfavorable en el elemento. Las combinaciones a considerar son:

1. $U = 1,4D$ (Ec. A4-1 del LRFD)
2. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$ (Ec. A4-2 del LRFD)
3. $U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ o } S \text{ o } R) + (0,5L \text{ o } 0,8W)$ (Ec. A4-3 del LRFD)
4. $U = 1,2D + 1,3W + 0,5L + 0,5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$ (Ec. A4-4 del LRFD)
5. $U = 1,2D \pm 1,0E + (0,5L \text{ o } 0,2S)$ (Ec. A4-5 del LRFD)
6. $U = 0,9D \pm (1,3W \text{ o } 1,0E)$ (Ec. A4-4 del LRFD)

Las abreviaturas mencionadas se interpretan como:

U = Carga factorizada o de diseño

D = Carga muerta

L = Carga viva según su función

Lr = Carga viva de techo

S = Carga de nieve

R = Carga nominal debido a la precipitación pluvial o hielo

W = Carga de viento

E = Carga de sismo

2.2.13. Diseño estructural

Se puede describir como el métodos o herramientas que se utilizan para determinar especificaciones seguras y económicas de una estructura o un miembro de la estructura para garantizar que sea lo suficientemente fuerte como para transportar carga prevista de manera segura.

El objetivo básico en el análisis y diseño estructural es producir una estructura capaz de resistir todas las cargas aplicadas sin fallas durante su vida útil prevista. El propósito principal de una estructura es transmitir o soportar cargas.

2.2.14. Pórticos especiales resistentes a momentos (SMF)

Un pórtico especial resistente a momentos consiste en un sistema de columnas y vigas que están conectadas entre sí con conexiones de momento total o parcialmente restringidas, constituidas en una rejilla rectangular para soportar los pisos, el techo y las paredes de un edificio que están unidos al pórtico.

Esta estructura rígida es lo suficientemente fuerte como para resistirá los temblores causadas por los sismos; los pórticos de momento combatirán las fuerzas laterales experimentadas durante los movimientos sísmicos la edificación podría sufrir algún daño, pero no colapsará.

Con una conexión de momento, una columna se une a una viga sin liberaciones en la articulación cuando se analiza estructuralmente. Las cargas se resisten en sistemas de pórtico de momentos mediante flexión en las vigas y columnas que inducen corte y momentos en las vigas, columnas y sus uniones relacionadas con el momento.

Se espera que las SMF soporten una deformación inelástica significativa en sus miembros y conexiones como resultado de las fuerzas laterales y requieren el uso de conexiones precalificadas por AISC o conexiones que hayan sido sometidas y pasen una prueba cíclica calificada.

2.2.15. Control de la deriva para cargas sísmicas

Además de las disposiciones de diseño de los miembros de cada código de diseño, también se requiere que las estructuras de construcción cumplan con ciertas limitaciones de deriva producidas en las edificaciones durante movimientos sísmicos.

La norma técnica E.030 indica los límites para la distorsión del entrepiso de una estructura no debe exceder el límite que se indica en la Tabla 8. Para aplicaciones sísmicas, la limitación de la deriva de piso no solo sirve como una comprobación práctica, sino que es un requisito inherente de ductilidad para el diseño sísmico relacionado con el Coeficiente de Modificación de Respuesta (valor R), así como la estabilidad estructural.

En la filosofía actual de diseño sísmico, las estructuras no tienen que ser diseñadas para las fuerzas de terremoto considerado máximo. La reducción en las fuerzas de diseño está relacionada principalmente con el valor R en los sistemas de resistencia lateral estructural. El valor R para cada sistema lateral está relacionado con la ductilidad y los códigos de diseño han tenido esto en cuenta al asignar valores R más altos a sistemas más dúctiles.

2.2.16. Programa SAP2000

SAP2000 es un programa de análisis estructural de uso general que realiza una amplia variedad de análisis y diseño de cualquier tipo de sistema estructural, tiene una interfaz fácil de usar que permite a los ingenieros crear modelos estructurales de forma rápida e intuitiva.

SAP2000 es un programa de elementos finitos de propósito general que realiza el análisis estático o dinámico, lineal o no lineal de sistemas estructurales. También es una poderosa herramienta de diseño para diseñar estructuras siguiendo los códigos de construcción ACI y AISC. Estas características y muchas más hacen de SAP2000 el programa de análisis estructural de vanguardia.

2.2.17. Sistema diagrid

La palabra "diagrid" es una combinación de las palabras "diagonal" y "cuadrícula" y se refiere a un sistema estructural que obtiene su integridad estructural mediante la triangulación.

Consiste en una rejilla exterior formada por una serie de sistemas de columnas trianguladas y vigas y el sistema diagrid está formado por la intersección de los componentes diagonal y horizontal.

Por lo tanto, los miembros diagonales en las estructuras de diagrid actúan como columnas inclinadas y como elementos de arriostramiento, y transportan cargas de gravedad y cargas laterales debido a la configuración de triangulación, principalmente las estructuras diagrid son efectivas para minimizar la deformación por corte debido al corte lateral por acción de las fuerzas axiales internas en los miembros diagonales.

Las estructuras de diagrid generalmente no necesitan núcleos de alta rigidez al corte porque el corte lateral puede ser llevado por los miembros diagonales ubicados en la periferia.

2.2.17.1. Ventajas del sistema diagrid

Las principales ventajas que posee el sistema estructural diagrid, son las siguientes:

- Aumento de la estabilidad debido a la triangulación.
- Contribuye a la rigidez total lateral.
- Mayor resistencia ante el volcamiento.
- Fácil y eficiente distribución de las cargas.
- La estética que adopta el diseño resulta ser bastante expresivo.
- Provisión de rutas de carga alternativas, indispensable en el caso de un fallo estructural.
- La posibilidad de prescindir de columnas genera mayores espacios libres que pueden ser destinados para diferentes usos.

2.2.17.2. Limitaciones

- Falta de disponibilidad de trabajadores calificados. Los equipos de construcción tienen poca o ninguna experiencia en la creación de una estructura diagrid.
- Los edificios de diagrid son inusuales. Esto incluiría la disponibilidad y el costo de los materiales.
- El diagrid puede dominar estéticamente, lo que puede ser un problema dependiendo de la intención del diseño.
- Sus articulaciones son más complicadas y tienden a ser más costosas que los de las estructuras ortogonales convencionales.
- Dificultades asociadas al montaje o ensamblaje.

2.2.17.3. Geometría del sistema diagrid

El sistema diagrid utiliza su dimensión global como plan de construcción para contrarrestar el momento de volcamiento y proporcionar rigidez a través de la acción axial en las diagonales, que actúan como columnas inclinadas.

Los elementos de soporte que conforman el Diagrid son modelados como columnas, y se subdividen longitudinalmente en módulos de acuerdo a un patrón diagonal repetitivo, que se extienden a través de los diferentes niveles que constituyen el edificio. Dicha distribución geométrica se puede apreciar con mayor claridad en la figura 1.

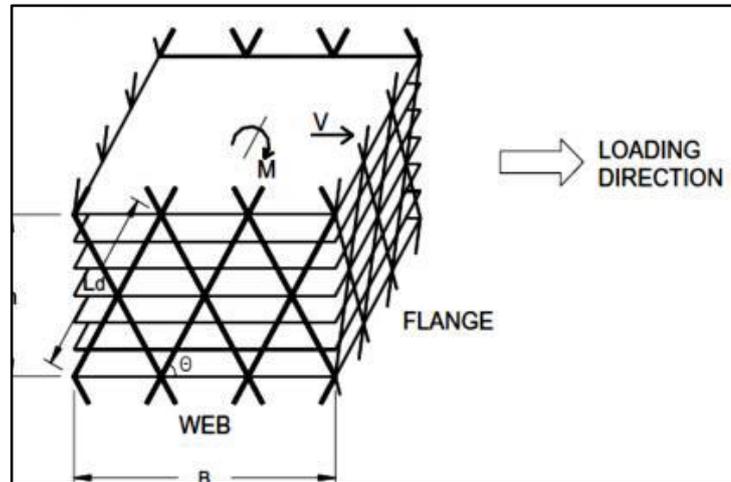


Figura 1. Estructura del módulo diagrid

Fuente: An overview on diagrid structures for tall buildings.

La configuración de los módulos por lo general tiene una geometría triangular isósceles, esta juega un papel importante en la distribución interna de la fuerza axial, así como en conferir una mayor resistencia al corte y rigidez a la flexión.

El ángulo óptimo de los elementos diagonales, cuya rigidez soporte el esfuerzo cortante máximo se encuentra dentro de un rango entre los 35° y 90° . Diversos estudios concluyen que al aumentar la altura de una estructura el ángulo óptimo de inclinación también crece.

2.2.17.4. Nodo del sistema diagrid

Una estructura diagrid se construye conectando los miembros diagrid a una serie de nodos en un patrón determinado, típicamente triangulado, que está compuesto de módulos. La selección del tamaño y ángulo del módulo infiere los requisitos de los nodos y los miembros diagrid.

Realmente es la escala, el tamaño de los miembros y el diseño del nodo lo que diferencia un sistema de estructural diagrid de soporte perimetral (cargas de piso de soporte) de un sistema convencional aporticado.

Aunque la construcción de una estructura de diagrid es un desafío debido a sus nodos complicados, su capacidad de construcción puede mejorarse mediante métodos de prefabricación apropiados.

2.2.17.5. La función del núcleo en un edificio diagrid

Uno de los principales beneficios de usar un sistema de diagrid para la estructura perimetral del edificio es su capacidad para resistir la mayoría de las cargas de gravedad y las cargas laterales. La magnitud de estas cargas está determinada por los códigos de construcción locales. Esto disminuye la dependencia y la función del núcleo para crear la rigidez general requerida del edificio para resistir las cargas laterales.

2.2.17.6. Comportamiento estructural en el sistema diagrid

- Una carga puntual vertical y vertical distribuida en un sistema diagrid

Esta capacidad para manejar tipos de cargas gravimétricas como las cargas muerta y vivas con tanta eficacia, es la razón por la cual las diagrids son tan valiosas. Su buena eficiencia le permite manejar cargas estáticas sin necesidad de un diseño excesivo.

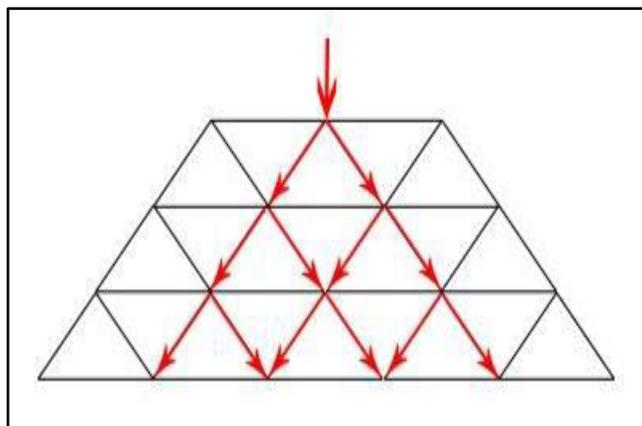


Figura 2. Diagrama de transferencia de carga puntual

Fuente: Constructability of diagrid structures

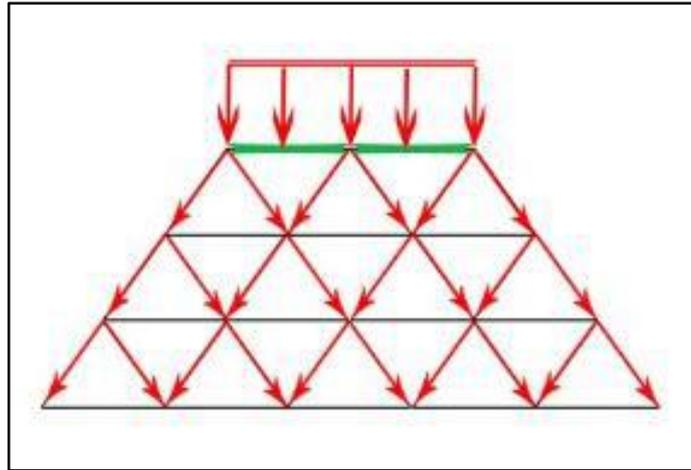


Figura 3. Diagrama de transferencia de carga distribuida uniforme
Fuente: Constructability of diagrid structures

- Un sistema diagrid cargado lateralmente

Los miembros horizontales reciben la carga y la transfieren a los miembros verticales mediante fuerzas de corte antes de llegar finalmente a la base. Esta es la razón por la cual las diagrids tienden a tener miembros horizontales más gruesos que los miembros diagonales.

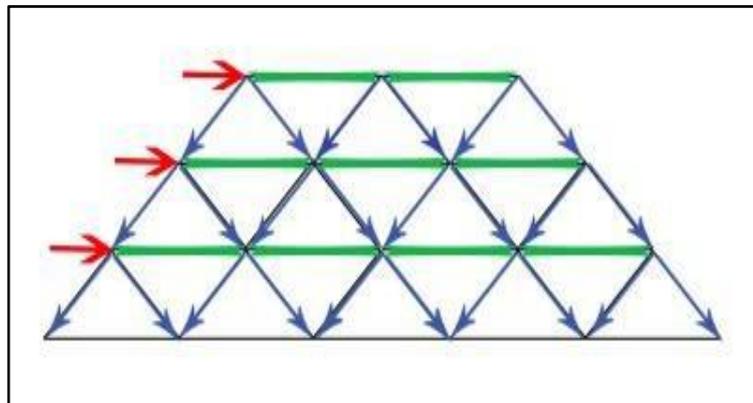


Figura 4. Fuerza lateral cargada en rejilla simple
Fuente: Constructability of diagrid structures

- Los nodos de un sistema diagrid

Entonces, mientras que el manejo de cargas verticales se mejora y prácticamente no hay ganancia o pérdida en el manejo de cargas horizontales, hay un problema para el sistema de diagrid, las juntas. Al igual que un triángulo, lo que determina la resistencia general son los nodos que se utilizan para conectar a todos los miembros. Debido a la naturaleza de la diagrid, la mayoría de los nodos tienen al menos 6 miembros a los que están unidos. Esto significa que los nodos deben ser muy fuertes y dejar muy poca flexibilidad para cualquier otra cosa que no sea una conexión fija

ya que el nodo debe poder tomar y aplicar fuerzas en al menos 3 ejes simultáneamente.

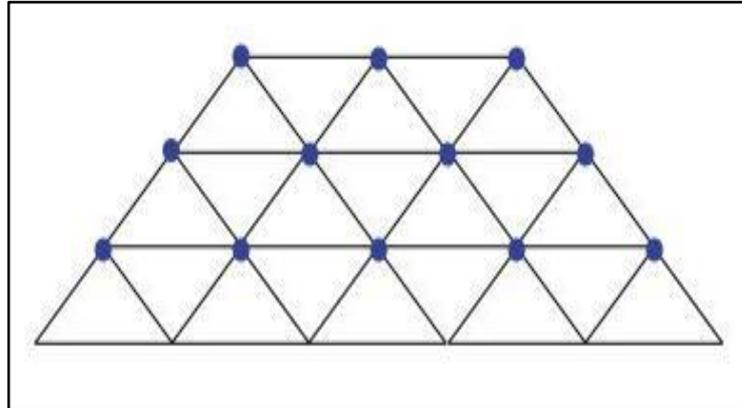


Figura 5. Arreglo de nodos en diagrid

Fuente: Constructability of diagrid structures

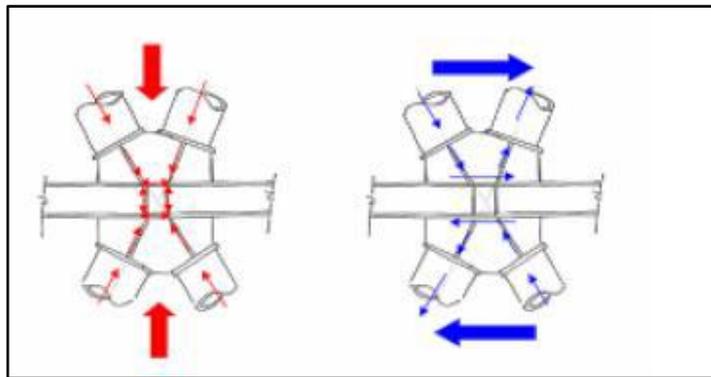


Figura 6. Trayectoria de la carga en el nodo

Fuente: An overview on diagrid structures for tall buildings

2.3. ANÁLISIS SÍSMICO

El análisis sísmico es un subconjunto del análisis estructural y es el cálculo de la respuesta de una estructura de edificio a los terremotos. Es parte del proceso de diseño estructural, se basa en métodos estáticos definidos en estándares como la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), en regiones donde prevalecen los terremotos.

Un edificio tiene el potencial de "agitarse" de un lado a otro durante un terremoto. Esto se denomina "modo fundamental" y es la frecuencia más baja de respuesta de construcción. Sin embargo, la mayoría de los edificios tienen modos de respuesta más altos, que se activan de forma única durante los terremotos. Sin embargo, los modos primero y segundo tienden a causar el mayor daño en la mayoría de los casos.

2.3.1. Fuerza cortante sísmica en la base del edificio

La fuerza cortante total en la base de la estructura V , es la fuerza total que actúa en todo el primer entrepiso del edificio. La fuerza cortante se determina a partir de un coeficiente sísmico multiplicado por el peso de la estructura y se determinará por la siguiente expresión:

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

Donde:

V = El cortante basal o en la base

Z = Factor de zona sísmica

U = Factor de uso e importancia

C = Factor de amplificación sísmica

S = Factor de tipo de suelo

R = Coeficiente básico de reducción sísmica

P = Cargas de gravedad (kg)

2.3.2. Espectro de respuesta

Un espectro de respuesta puede definirse como un gráfico de la respuesta máxima (desplazamiento, velocidad, aceleración o cualquier otro parámetro de interés) que produce una determinada acción dinámica en un oscilador de un grado de libertad, para un valor de amortiguamiento determinado.

El procedimiento para la construcción de un espectro de respuesta consiste en una serie de estructuras de un grado de libertad u osciladores simples con diferentes periodos de vibración (T), y con igual factor de amortiguamiento, los cuales son sometidos a la acción de un mismo terremoto o registro de aceleraciones.

Con la respuesta de los osciladores simples se determinan la máxima respuesta en valor absoluto de cada uno de ellos para finalmente realizar un gráfico en función del periodo de vibración, para obtener así un espectro de respuesta. El procedimiento puede observarse en la Figura 7.

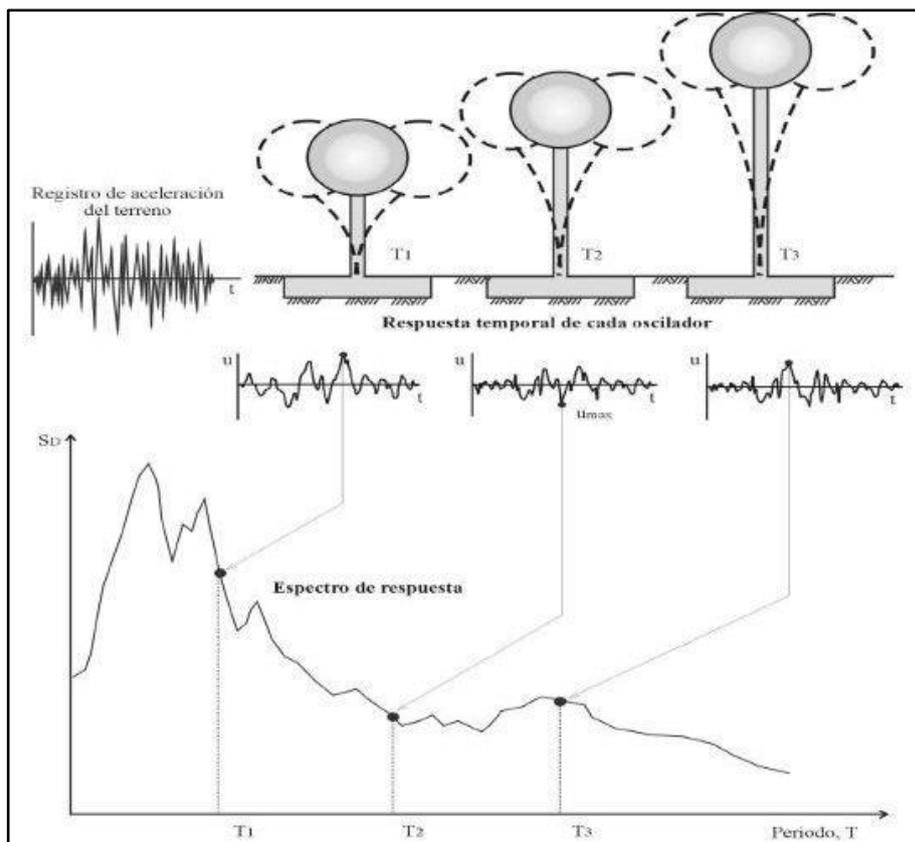


Figura 7. Método de determinación del espectro de respuesta

Fuente: Ingeniería Sismorresistente, Facultad de Ingeniería – U. N. Cuyo

2.3.3. Espectro de diseño

El espectro de diseño es la gráfica de una curva normalizada que representa la envolvente de una familia de espectros de respuesta que han sido construidos para un tipo de suelo en particular.

Desde el punto de vista estructural, la aceleración es uno de los parámetros más importantes para el diseño sismorresistente. A través de los espectros de aceleración es posible definir la amenaza sísmica de un determinado lugar.

2.3.4. Factor de zona sísmica (Z)

La Norma técnica de edificaciones E.030 divide el territorio nacional en cuatro zonas, tal como se muestra en la Figura 8, donde además se muestran los valores del factor de zona Z para cada una de las cuatro zonas y está basado en las aceleraciones pico efectiva de cada zona, las cuales han sido obtenidos a través de métodos estadísticos, para una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, en un periodo de retorno de 500 años.

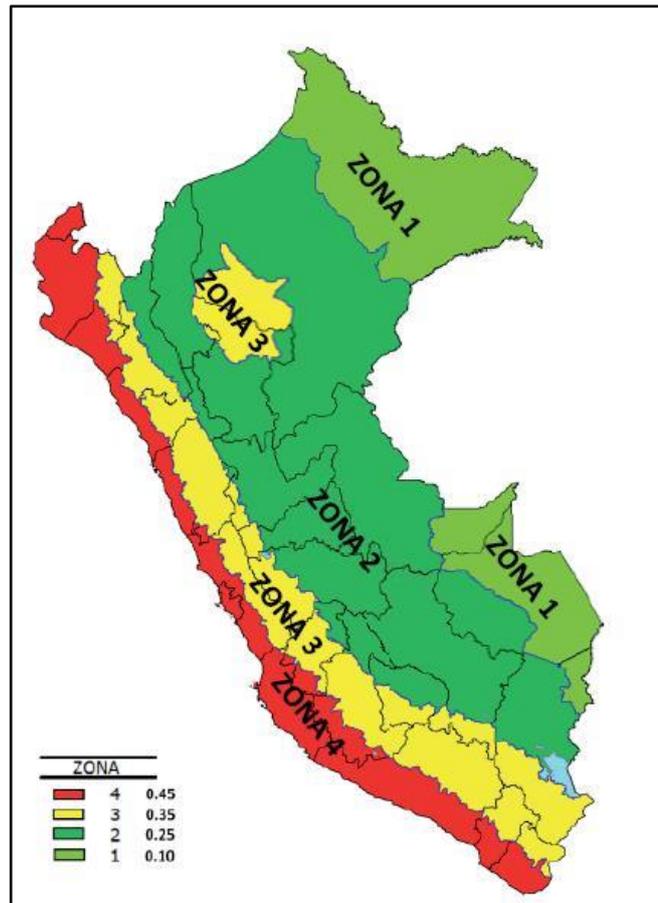


Figura 8. Mapa de zonas sísmicas
Fuente: Norma Técnica E.030 2018

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla 2. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 2
Factores de zona "Z"

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: Norma Técnica E.030 2018

2.3.5. Factor de uso (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla 3. El factor de uso o importancia (U), depende del nivel de importancia y función de la edificación. A mayor importancia de la edificación, mayor será el factor de uso.

Tabla 3
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. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	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

Fuente: Norma Técnica E.030 2018

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se

utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U será como mínimo 1,5.

Nota 2: En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

2.3.6. Factor de suelo (S)

La norma técnica de edificaciones considera el factor de amplificación de suelo S con respecto a la aceleración sísmica en el lecho rocoso. Los factores de amplificación sísmica S, considerados por la norma corresponden a 5 perfiles de suelos, los cuales

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

2.3.7. Parámetros de sitio (S, TP Y TL)

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4
Factores de Suelos "S"

ZONA\SUELO	S0	S1	S2	S3
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

Fuente: Norma Técnica E.030 2018

Tabla 5
Periodos " T_p " y " T_L "

	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
T_P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: Norma Técnica E.030 2018

2.3.8. Factor de amplificación sísmica (C)

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

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

$$\text{Si: } T < T_p \quad C = 2,5$$

$$T_p < T < T_l \quad C = 2,5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_l \quad C = 2,5 \left(\frac{T_p \cdot T_l}{T^2} \right)$$

T es el período y se determina con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{h_n}{C_t}$$

Donde; h_n es la altura de la edificación y C_t se considerará "35" para pórticos de concreto armado sin muros de corte y pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos; "45" para pórticos de concreto armado con muros de ascensor y pórticos de acero con arriostres; y "60" para edificios de concreto armado duales y muros de ductilidad limitada.

2.3.9. Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas

Los factores de reducción son valores que permiten reducir las fuerzas sísmicas de una estructura, aceptando deformaciones inelásticas.

Los valores del coeficiente básico de reducción R, se determinará según el sistema estructural y el tipo de material a usar, tal como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6
Sistemas estructurales

Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción R_0
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Norma Técnica E.030 2018

2.3.10. Coeficiente básico de reducción para el sistema diagrid

En nuestra norma técnica peruana E.030 presenta valores de coeficiente de reducción para diferentes sistemas estructurales.

Para la determinación del coeficiente de reducción sísmica para un sistema diagrid se realizó una revisión bibliográfica de diferentes autores en temas de investigación del sistema diagrid con el propósito de determinar cómo consideran el factor de reducción de respuesta; también se analizó sus limitaciones y aspectos positivos para su posible utilización en la norma técnica peruana E.030. Teniendo como resultado los siguientes valores.

Tabla 7
Coeficiente de reducción para el sistema diagrid

Tesis o Investigación	Coeficiente de reducción R para el sistema diagrid
Análisis del comportamiento estructural de edificaciones de acero sismorresistentes de gran altura, utilizando el sistema estructural diagrid	4
Estudio comparativo de estructuras de diagrid con estructuras de marco convencionales	5
Estudio comparativo de estructuras de diagrid sobre estructuras de tubos arriostrados	5
Estudio sobre el comportamiento de las estructuras de diagrid tubulares durante la excitación sísmica	5
Una revisión sobre el desarrollo estructural novedoso en edificios altos: estructura diagrid	5
Ventaja del edificio de acero diagrid sobre el edificio convencional	5

Fuente: Norma Técnica E.030 2018

Por lo tanto, tomando en cuenta la revisión bibliográfica se considera como factor de reducción para la presente tesis un valor de 5.

2.3.11. Límites de la deriva de piso

La deriva de piso es una de las condiciones más importantes a cumplir y se define como desplazamiento horizontal relativo de un piso con respecto a un piso consecutivo debido a la acción de una fuerza horizontal.

con alguno de los métodos descritos en dicha norma, dichos desplazamientos no rebasarán los siguientes valores de acuerdo al tipo de estructuración.

Para la revisión de las derivas de piso se utiliza el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos de la estructura, causada por el sismo de diseño. Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0,75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso no deberá exceder de los valores establecidos en la tabla Tabla 8.

Tabla 8*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: Norma Técnica E.030 2018

2.3.12. Estimación del peso (P)

El peso (P), se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- a. En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50 % de la carga viva.
- b. En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25 % de la carga viva.
- c. En depósitos, el 80 % del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se toma el 25 % de la carga viva.
- e. En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100 % de la carga que puede contener.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. RECOPIACIÓN Y ESTUDIO DE LA INFORMACIÓN PREVIA

En este paso se buscó toda la información existente en libros, temas de investigación, revistas de investigación, apuntes en páginas web así como toda la información pertinente para el desarrollo de la presente tesis.

La información recopilada fue leída y analizada para extraer los datos y conceptos relevantes a tener en cuenta al momento de realizar el análisis de los resultados.

3.2. ESTUDIO PARAMÉTRICO DE DIAGRID Y CONVENCIONAL

3.2.1. Configuración y parámetros típicos del edificio

Se diseñaron dos modelos de edificaciones de sistema estructural en acero de 10 pisos; una estructura con un sistema aporticado convencional y otra estructura con un sistema diagrid, para lograr comparar su comportamiento frente a cargas de sismo mediante el uso del programa de diseño estructural SAP2000 v20.

Este estudio ha utilizado modelos de construcción de edificios con una planta regular simétrico para la estructura de diagrid y la estructura convencional, las edificaciones tienen una dimensión de planta de 18m x 18 m y una altura total de 30 metros (10 pisos). La altura del piso de cada nivel se mantiene uniforme de 3 m para ambas estructuras. El plano típico para sistema diagrid y convencionales se muestra en la figura 8. Las vistas en elevación del sistema convencional y diagrid se muestran en las figuras 9 y 10. Los datos de construcción se mantienen igual para ambos modelos. El grosor de la losa es de 100mm. La sección de acero de grado 36, la sección de perfil de la diagonal es W10x49 para la estructura de diagrid y tiene un ángulo de 63,43°. Y para la construcción del sistema convencional, los perfiles de acero en las columnas internos y perimetrales son W18x119. Se asume que los modelos de construcción se encuentran en la región de Tacna lo que implica que existe un riesgo sustancial para la vida humana y la edificación en caso de sismo. La carga sísmica de diseño se calcula en función del factor de zona, para el tipo de suelo S2.

La carga muerta es de 200 kg/m², no incluye las contribuciones de la estructura de acero.

La contribución de carga viva se ha asumido igual a 250 kg/m² de acuerdo con las disposiciones de la norma técnica E.020 Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Todos estos criterios serán analizados posteriormente a la modelación y análisis de cada una de las edificaciones.

Los parámetros seleccionados para la comparación son el período de tiempo fundamental, fuerza cortante en la base, desplazamiento y deriva de pisos.

La estructura diagrid cuentan con arriostramiento diagonal en el perímetro del edificio para proporcionar rigidez lateral al edificio debido a que los refuerzos diagonales están ubicados más alejados del centro de gravedad del edificio. Sin embargo, los tirantes diagonales también sirven para transportar cargas de gravedad, eliminando la necesidad de columnas verticales en el edificio. Los tirantes diagonales transportan cargas laterales y de gravedad axialmente. Las diagonales también se pueden integrar en la fachada y ayudan a definir la visión estética del edificio para los observadores.

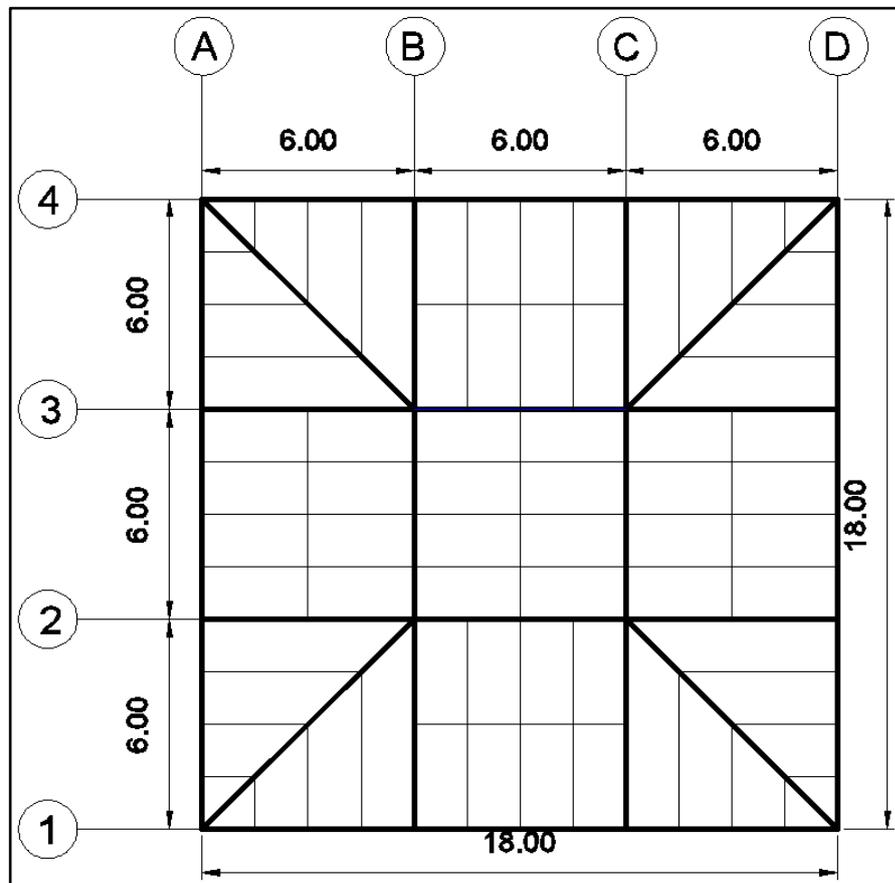


Figura 9. Configuración en planta del modelo estructural diagrid y convencional

Fuente: Elaboración propia

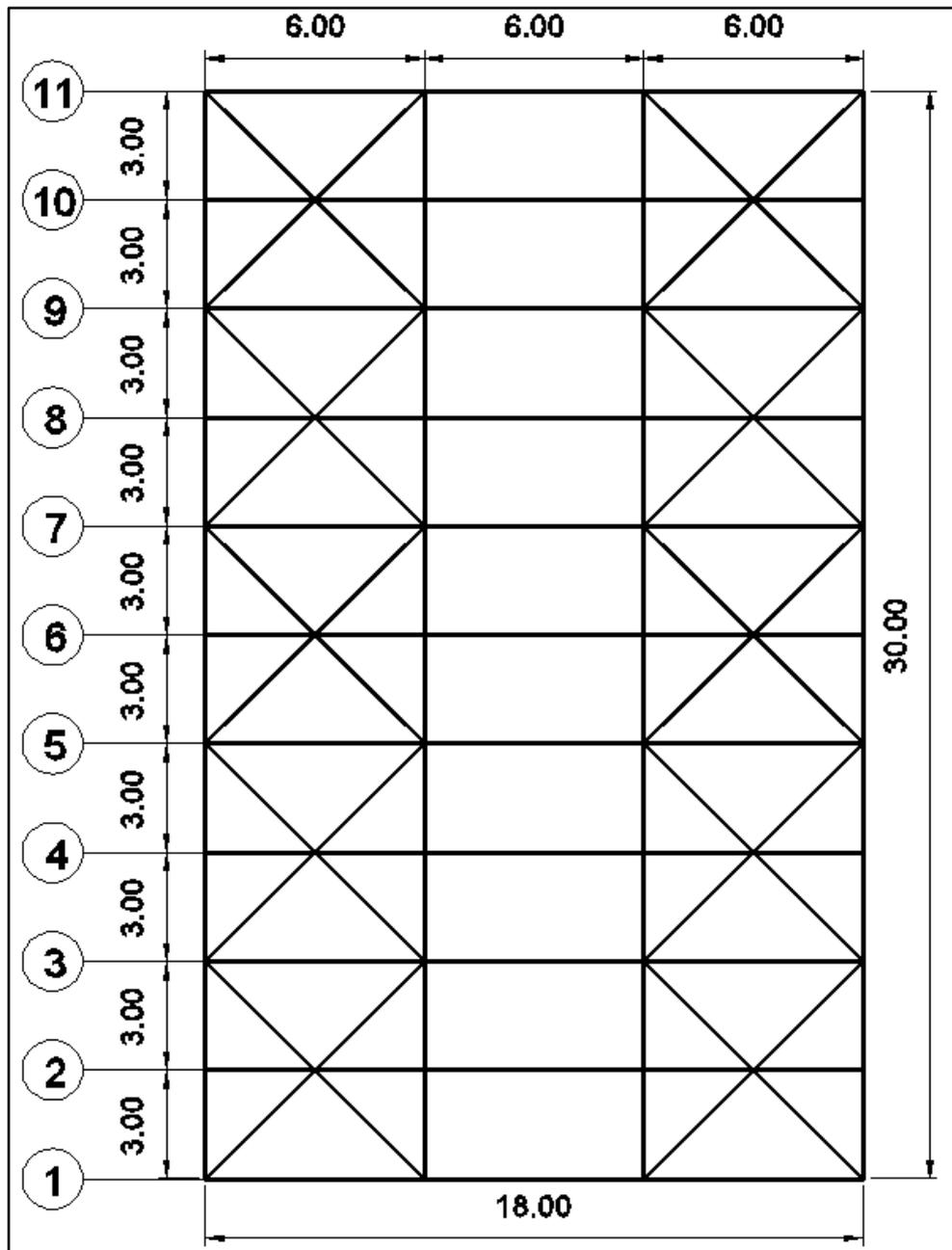


Figura 10. Modelo estructural Convencional, Pórtico 1-1, 4-4, A-A y D-D

Fuente: Elaboración propia

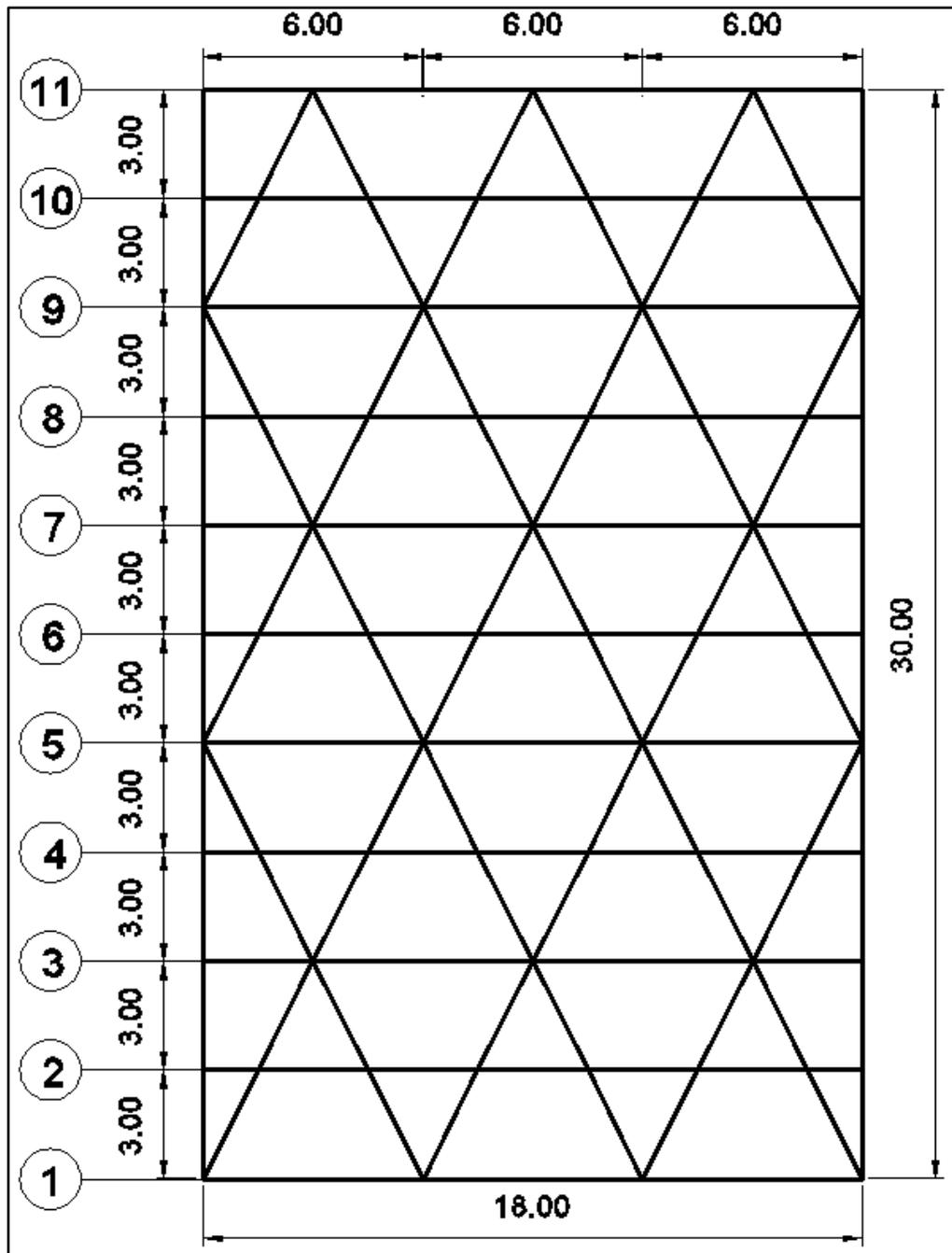


Figura 11. Modelo estructural diagrid, Pórtico 1-1, 4-4, A-A y D-D
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Evaluación de cargas actuantes en la estructura

Las cargas permanentes considerados para el análisis y diseño comparativo de los elementos que componen la estructura metálica han sido tomadas de la norma técnica peruana E.020 Cargas para los requisitos de diseño, los valores a considerar se detallan en la tabla 9.

Tabla 9*Cargas permanentes y variables en losas de entresijos*

Tipo de Carga	Nombre	Valor (kgf/m²)	Patrón
Muerta	DL	200	Dead
Viva Entrepiso	LL	250	Live
Viva Techo	LLr	100	Roof Live

Fuente: Elaboración propia

El peso propio de la estructura metálica como son las columnas vigas y las diagonales es calculado directamente por el programa SAP2000 V20.

3.2.3. Espectro de diseño NTE E.030-2018

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

Z= Factor de zona sísmica (Zona 4): 0,45

U = Factor de uso e importancia (Oficinas): 1,0

S = Factor de tipo de suelo (Suelos Intermedios): 1,05

Tp = Periodo que define la plataforma del factor C (S2):0,6

TL = Periodo que define el inicio de la zona del factor C (S2): 2,0

R = Coeficiente básico de reducción sísmica

- Convencional: R: 7
- Diagrid: R: 5

3.3. ANÁLISIS COMPARATIVO EN LAS COLUMNAS INTERIORES

Para evaluar el efecto de diagrid en las columnas, las columnas se eligen según la figura 12 y la numeración según el nivel de las columnas se muestra en la figura 13.

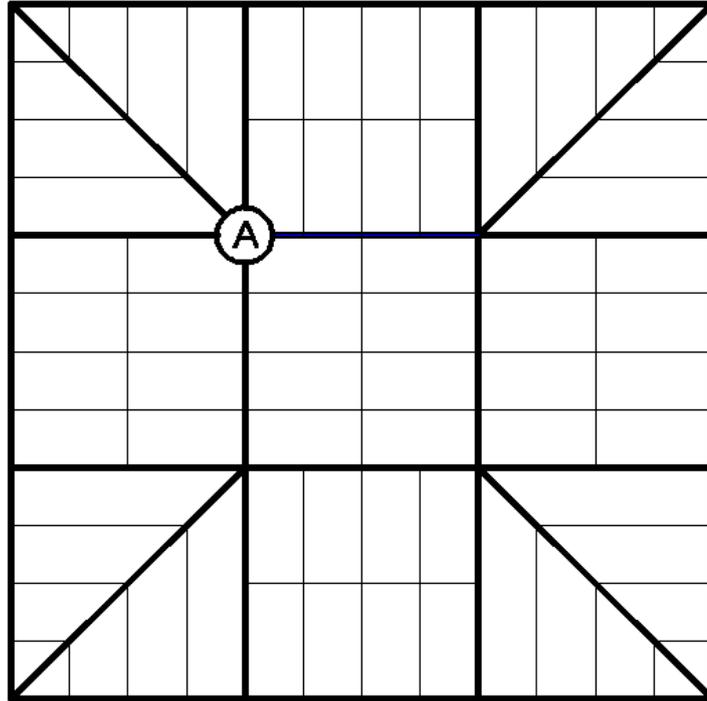


Figura 12. Columnas seleccionadas para sistema convencional y diagrid
Fuente: Elaboración propia

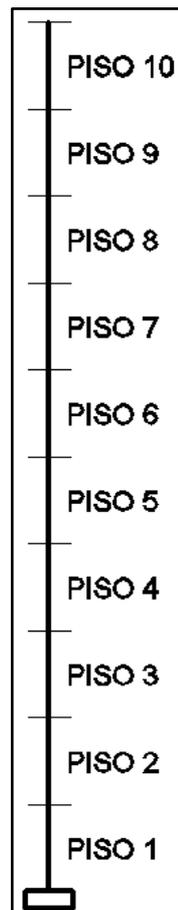


Figura 13. Numeración por piso de las columnas de los miembros seleccionados
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS EN EL PROGRAMA SAP2000

El presente capítulo tiene por objeto el análisis comparativo de las estructuras de dos edificios que serán modelados y analizados en el programa SAP2000, para obtener criterios técnicos valederos sobre el comportamiento de cada una de estas estructuras de edificación de forma que sean funcionales ante las cargas, uso u ocupación cumpliendo con los requisitos mínimos de diseño estructural y sismorresistente. Esto se conseguirá diseñando las estructuras para que tengan la capacidad de resistir las cargas especificadas; presenten las derivas de piso, ante dichas cargas, inferiores al máximo admisible del material, ya que antes de determinar las evaluaciones se debe comprobar que las estructuras cumplan con las especificaciones dadas en la norma técnica peruana y las especificaciones LRFD. Una vez analizados estos resultados se puede determinar si las estructuras están bien prediseñadas, sino se tiene que verificar y dimensionar los elementos estructurales, interactuando con el diseño, aumentando o disminuyendo las secciones, definición de materiales, asignación de cargas.

La estructura diagrid presenta las mismas características que las mencionadas para la estructura convencional. La única diferencia en el sistema diagrid son los elementos de diagonales en todo el perímetro en la estructura y algunas pequeñas modificaciones para el mejor comportamiento y distribución de los diagrids.

El sistema diagrid se disponen de tal manera que se sitúen en los elementos que transmiten la carga a la cimentación.

Con estas características se ingresó al modelo al programa SAP2000, y posteriormente se añadieron las cargas de diseño con lo cual el programa analizó dicho modelo. El diseño estructural incluye la disposición y dimensionamiento de las estructuras y sus partes de tal forma que las mismas soporten en forma satisfactoria las cargas asignadas sobre ellas, esto quiere decir que los elementos han pasado la revisión de los requerimientos de diseño de acuerdo a la norma técnica peruana y la AISC LRFD realizadas en el programa. Los factores más determinantes evaluados son los índices de la resistencia de los elementos, la comprobación de los periodos de sismo y la revisión de los desplazamientos y derivas.

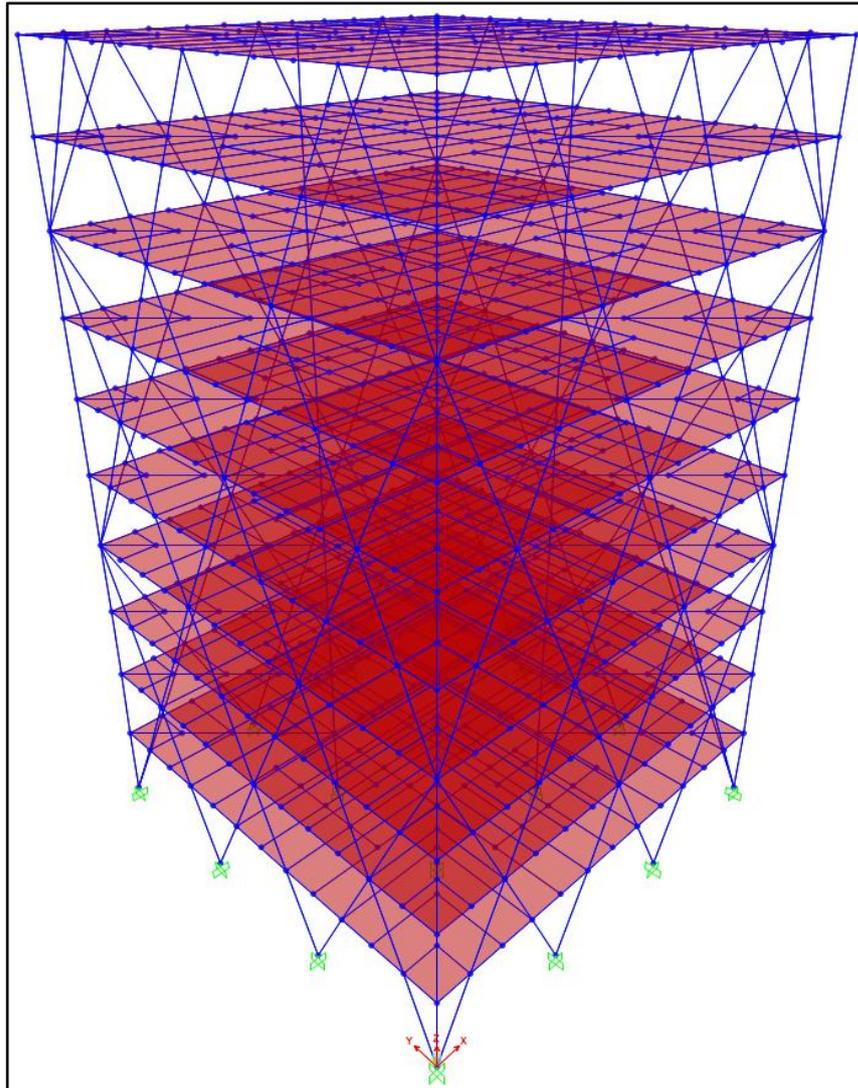


Figura 14. Modelo del sistema estructural diagrid en el programa SAP2000

Fuente: Elaboración propia

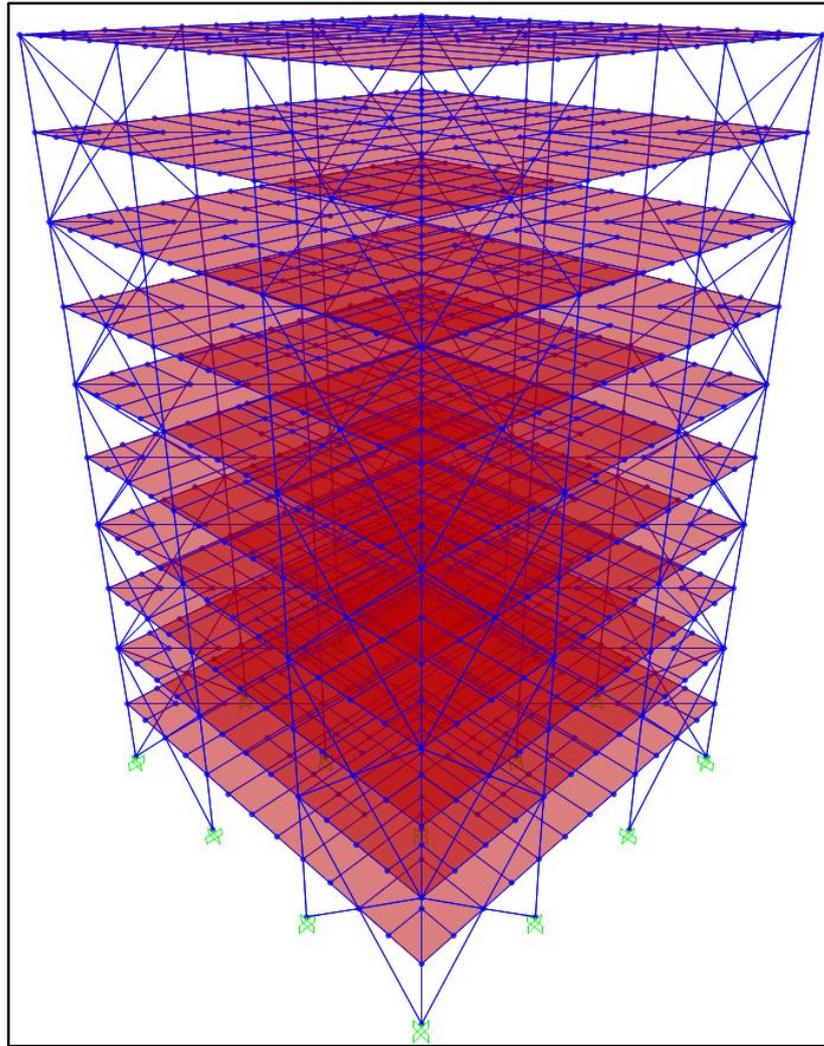


Figura 15. Modelo del sistema estructural convencional en el programa SAP2000
Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Índices de la resistencia de los elementos respecto a los permisibles

Estos resultados se tienen luego de correr el análisis y representan el porcentaje de resistencia de cada elemento que compone la estructura en la edificación, mostrándose a través de colores, los mismos que varían en rangos como se muestra en la figura 16. Un elemento en color rojo significa que ha sobrepasado la resistencia máxima y por lo tanto su sección debe ser cambiada, mientras que un elemento en color celeste resiste sin dificultad, pero está muy sobredimensionado, lo que influye directamente en el costo, de acuerdo a esto se estipula que los elementos correctamente diseñados oscilan entre el 60 - 95% de esfuerzo admisible, que corresponden a los colores verde y amarillo, siempre y cuando su esfuerzo no pase el 100%.

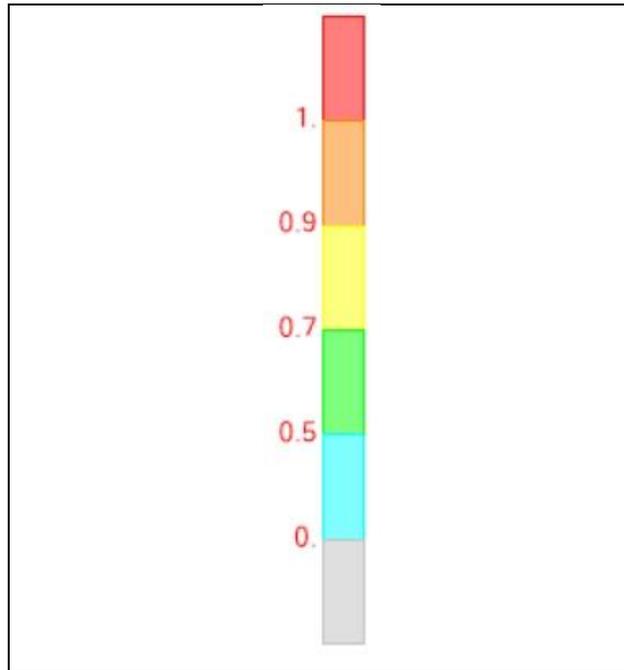


Figura 16. Barra de colores en los elementos estructurales
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo lo mencionado anteriormente las dos edificaciones en estudio fueron sujetos al análisis y diseño respectivos para así determinar que los elementos posean secciones admisibles, la mayor parte de elementos oscilan en el rango de 60 - 95% de resistencia respecto a la máxima admisible del material, por lo que se concluye que las dos edificaciones resisten las cargas aplicadas sobre ellos, dando un criterio de seguridad y confiabilidad en que las edificaciones en estudio fueron correctamente diseñadas y pueden ser realizarse la edificación con las secciones analizadas.

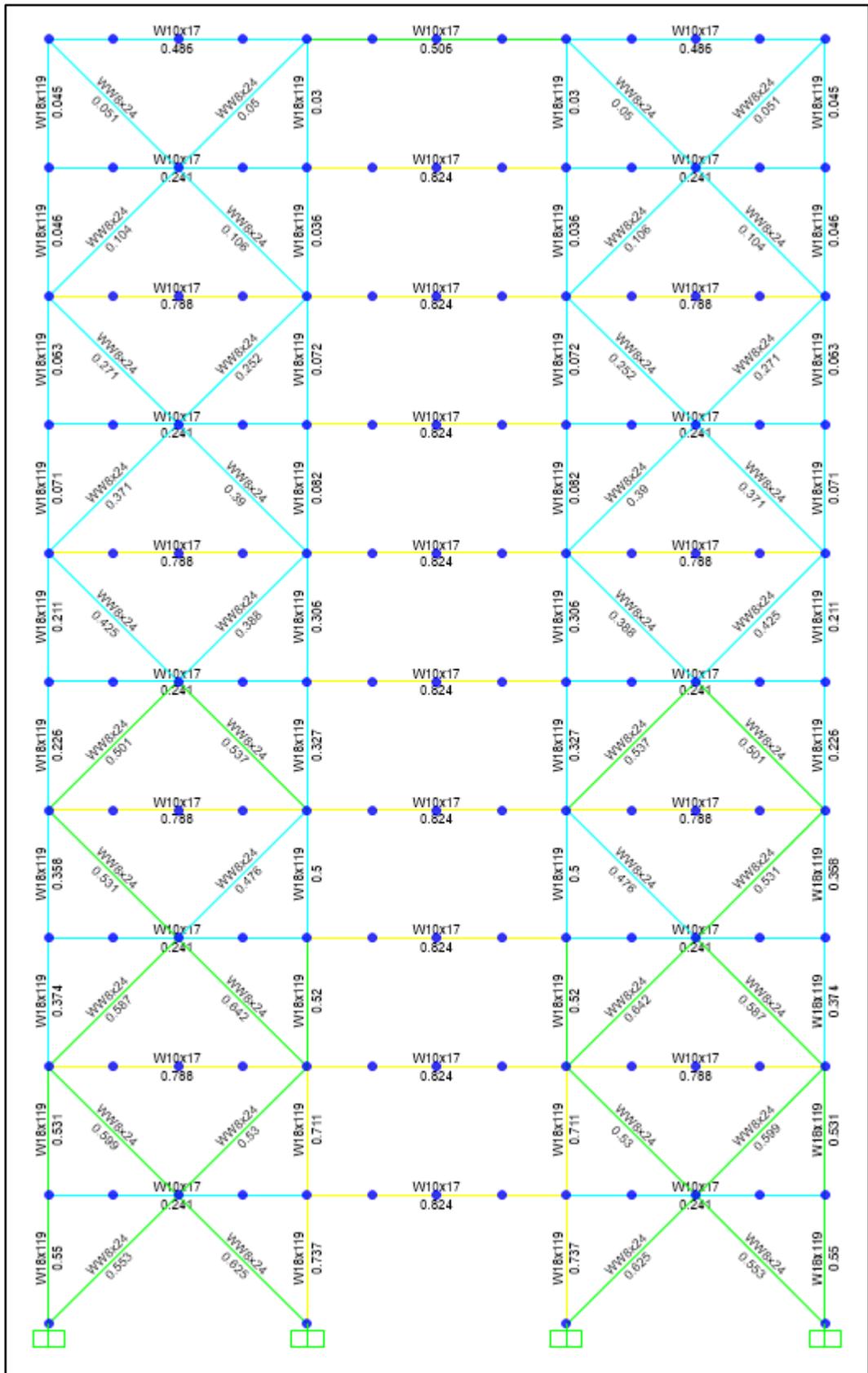


Figura 19. Índice de resistencia modelo convencional vista en elevación

Fuente: Elaboración propia

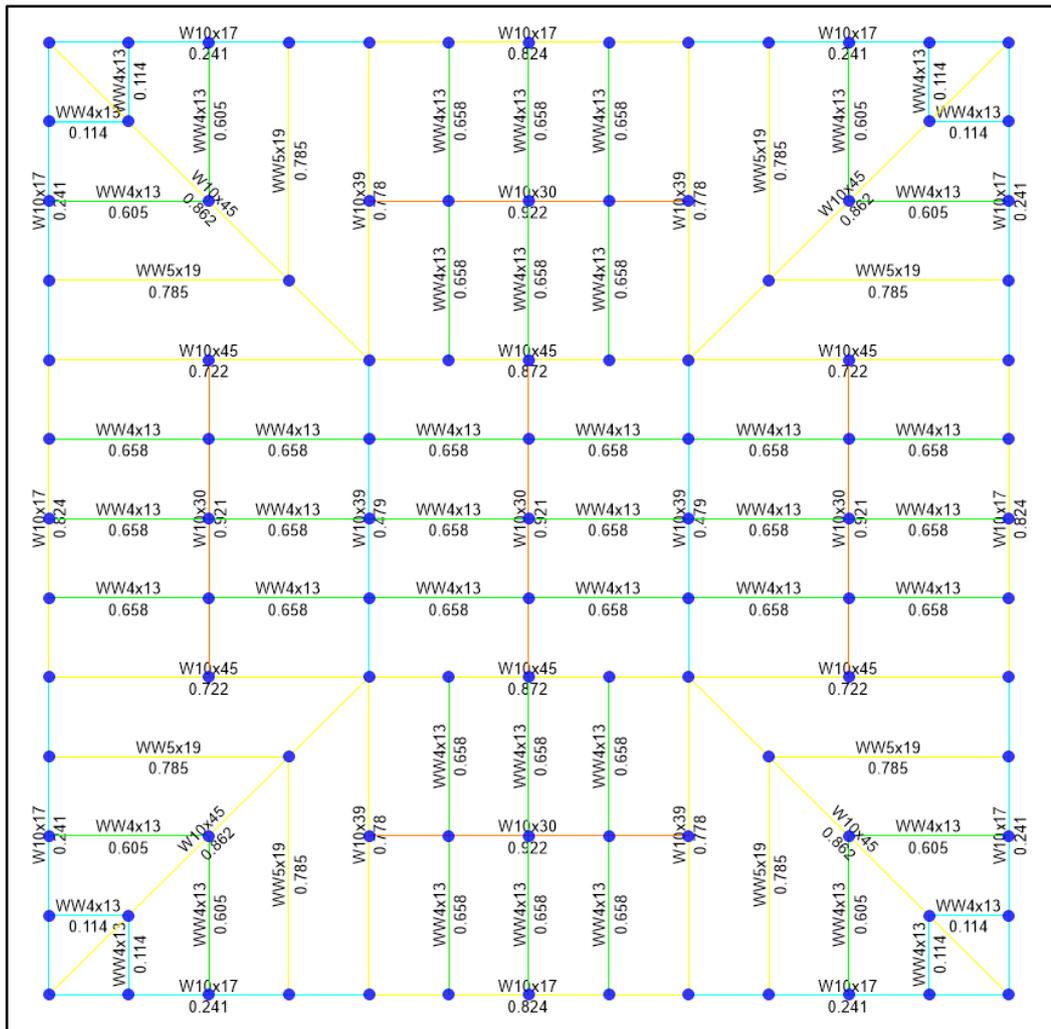


Figura 20. Índice de resistencia modelo convencional vista en planta

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Combinaciones de diseño

Para el diseño de los elementos que componen la estructura metálica se utiliza las combinaciones de carga descritas por el método de diseño de estructuras de acero AISC-LRFD. En total se diseñó con el uso de 11 combinaciones de carga:

- COMBINACIÓN 1 1,4(PP+DL)
- COMBINACIÓN 2 1,2(PP+DL) + 1,6(LL) + 0,5(LLr)
- COMBINACIÓN 3 1,2(PP+DL) + 1,6(LLr) + 0,5(LL)
- COMBINACIÓN 4 1,2(PP+DL) + 0,5(LL) + SX
- COMBINACIÓN 5 1,2(PP+DL) + 0,5(LL) + SY

- COMBINACIÓN 6 $1,2(PP+DL) + 0,5(LL) - SX$
- COMBINACIÓN 7 $1,2(PP+DL) + 0,5(LL) - SY$
- COMBINACIÓN 8 $0,9(PP+DL) + 0,9(LL) + SX$
- COMBINACIÓN 9 $0,9(PP+DL) + 0,9(LL) + SY$
- COMBINACIÓN 10 $0,9(PP+DL) + 0,9(LL) - SX$
- COMBINACIÓN 11 $0,9(PP+DL) + 0,9(LL) - SY$

Se utiliza la siguiente nomenclatura para definir las combinaciones de carga:

PP = Peso propio

DL = Carga permanente

LL = Carga viva

LLr = Carga viva techo

SX = Sismo X

SY = Sismo Y

4.1.3. Diseño de estructura del sistema diagrid y convencional

Las dimensiones de los elementos estructurales como las vigas, columna y diagonales que se presentan, son las que fueron obtenidas mediante el uso del programa SAP2000 como herramienta de análisis y diseño para una edificación de estructura metálica de 10 pisos de altura, por lo tanto las dimensiones de los miembros obtenidos en el proceso de diseño tienen dimensiones óptimos tanto para la estructura convencional como para la estructura diagrid como se muestra en la tabla 10 y se verifico el cumplimiento de los lineamientos establecidos por el reglamento nacional de edificaciones referente a la norma técnica E.030 como requisitos mínimos para el cálculo y diseño de las estructuras, con el fin de resistir eventos de origen sísmico.

Tabla 10*Dimensión de los miembros estructurales*

MIEMBRO	CONVENCIONAL	DIAGRID
Columna Exterior	W18X119	W18X119
Columna Interior	W18x119	W18x143
Viga Perimetral	W10x17	W10x15
		W10x17
		W10x26
Viga Interior	W10x30	W10x30
	W10x39	W10x39
	W10x45	W10x45
Diagrid		W10x49

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Análisis de periodos de vibración

El programa SAP2000 proporciona resultados de los periodos fundamentales de la estructura correspondiente a los diferentes modos de vibración y masa participativa los cuales se detallan en la tabla 11 y 12.

Para cada nivel se tiene 3 grados de libertad y al tener la edificación 10 niveles se obtiene entonces 30 modos de vibración.

Tabla 11
Modos de vibración y masa participativa para el sistema diagrid

Modo vibración	Periodo seg	Porcentaje de masa participativa			
		Dirección X-X	Dirección Y-Y	Sumatoria dirección X-X	Sumatoria dirección Y-Y
1	0,59	79,10%	0,00%	79,10%	0,00%
2	0,58	0,00%	79,10%	79,10%	79,10%
3	0,36	0,00%	0,00%	79,10%	79,10%
4	0,36	0,23%	0,00%	79,30%	79,10%
5	0,36	0,00%	0,20%	79,30%	79,30%
6	0,36	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
7	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
8	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
9	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
10	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
11	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
12	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
13	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
14	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
15	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
16	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
17	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
18	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
19	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
20	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
21	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
22	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
23	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
24	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
25	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
26	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
27	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
28	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
29	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%
30	0,35	0,00%	0,00%	79,30%	79,30%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12*Modos de vibración y masa participativa para el sistema convencional*

Modo vibración	Periodo seg	Porcentaje de masa participativa			
		Dirección X-X	Dirección Y-Y	Sumatoria dirección X-X	Sumatoria dirección Y-Y
1	0,84	73,30%	0,00%	73,30%	0,00%
2	0,83	0,00%	73,40%	73,30%	73,40%
3	0,45	0,00%	0,00%	73,30%	73,40%
4	0,32	0,00%	0,00%	73,30%	73,40%
5	0,32	0,11%	0,00%	73,40%	73,40%
6	0,32	0,00%	0,15%	73,40%	73,60%
7	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
8	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
9	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
10	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
11	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
12	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
13	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
14	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
15	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
16	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
17	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
18	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
19	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
20	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
21	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
22	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
23	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
24	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
25	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
26	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
27	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
28	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
29	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%
30	0,32	0,00%	0,00%	73,40%	73,60%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se puede observar un cuadro resumen de la comparación de los resultados del periodo de vibración en los tres primeros modos de vibración correspondiente al sistema diagrid y al sistema convencional.

Tabla 13
cuadro comparativo del periodo de vibración

Numero de modos de vibración	Periodo de vibración (s)	
	Diagrid	Convencional
1	0,59	0,84
2	0,58	0,83
3	0,36	0,45

Fuente: Elaboración propia

Para el sistema convencional en el primer modo de vibración corresponde a la dirección X-X y tiene un periodo de vibración de 0,84 segundos con un porcentaje de participación de masa del 73,30% y el segundo modo de vibración corresponde a la dirección el Y-Y con un periodo de vibración 0,83 segundos y tiene un porcentaje de masa participativa de 73,40%; estos dos modos son los principales ya que representan a movimientos de traslación en dirección X-X y Y-Y y tienen la mayor masa participativa de la estructura.

Para el sistema diagrid en el primer modo de vibración corresponde a la dirección X-X y tiene un periodo de vibración de 0,59 segundos con un porcentaje de participación de masa del 79,10% y el segundos modo de vibración corresponde a la dirección el Y-Y con un periodo de vibración 0,58 segundos y tiene un porcentaje de masa participativa de 79,10%; estos dos modos son los principales ya que representan a movimientos de traslación en dirección X-X y Y-Y y tienen la mayor masa participativa de la estructura.

4.1.5. Análisis del desplazamiento lateral producidos por efecto sísmico

El punto crucial en el análisis sísmico es conocer los desplazamientos de los entresijos. En este caso se ha estudiado el desplazamiento en la columna A, de las dos edificaciones en estudio, a partir del análisis lineal estático, estos valores son el resultado del programa SAP2000 considerando el edificio de acero de 10 pisos de altura.

La tabla 14 muestra los valores de desplazamiento de la columna interior A en cada nivel de piso en la dirección X-X de la edificación con el sistema diagrid y convencional sometidos a cargas de sismo. De manera similar la Figura 21 muestra las gráficas de comparación del desplazamiento lateral en función del número de piso para el modelo del sistema convencional y del sistema diagrid sometidos a cargas de sismo.

Tabla 14*Desplazamiento por efecto sísmico en dirección X-X*

Nivel de piso	Altura (m)	Desplazamiento dirección X-X (cm)	
		Diagrid	Convencional
1	3,00	1,04	1.08
2	6,00	2,87	3.06
3	9,00	4,78	5.12
4	12,00	6,33	7.57
5	15,00	8,28	10.02
6	18,00	9,31	12.58
7	21,00	10,92	15.05
8	24,00	11,75	17.44
9	27,00	13,55	19.64
10	30,00	13,23	21.64

Fuente: Elaboración propia

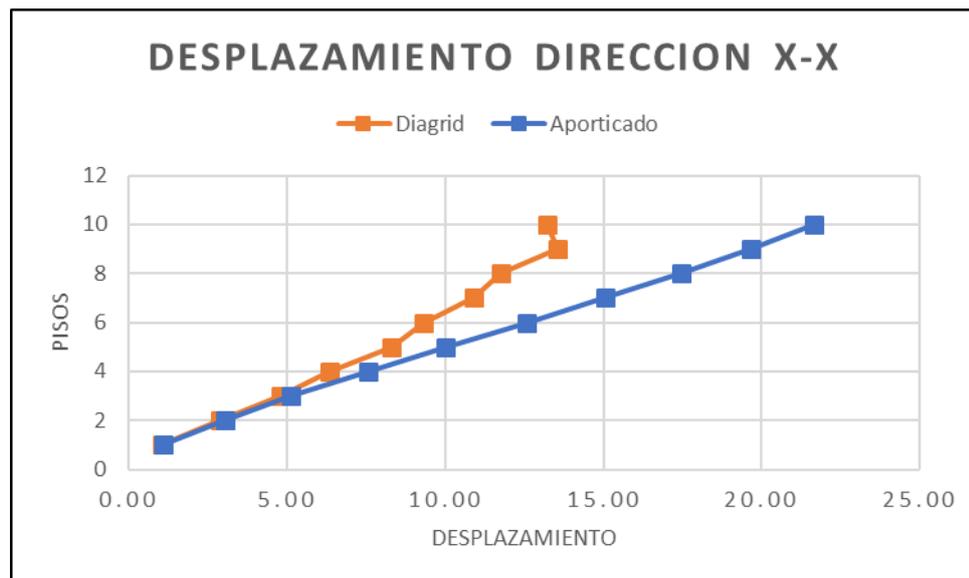


Figura 21. Desplazamiento por efecto sísmico en dirección X-X

Fuente: Elaboración propia

La tabla 15 muestra los valores de desplazamiento de la columna interior A en cada nivel de piso en la dirección Y-Y de la edificación con el sistema diagrid y convencional sometidos a cargas de sismo. De manera similar la Figura 22 muestra las gráficas de comparación del desplazamiento lateral en función del número de piso para el modelo del sistema convencional y del sistema diagrid sometidos a cargas de sismo.

Tabla 15*Desplazamiento por efecto sísmico en dirección Y-Y*

Nivel de piso	Altura (m)	Desplazamiento dirección Y-Y (cm)	
		Diagrid	Convencional
1	3,00	1,01	1.09
2	6,00	2,85	3.04
3	9,00	4,80	5.09
4	12,00	6,30	7.50
5	15,00	8,10	9.91
6	18,00	9,25	12.43
7	21,00	10,83	14.85
8	24,00	11,67	17.17
9	27,00	13,22	19.31
10	30,00	13,13	21.24

Fuente: Elaboración propia

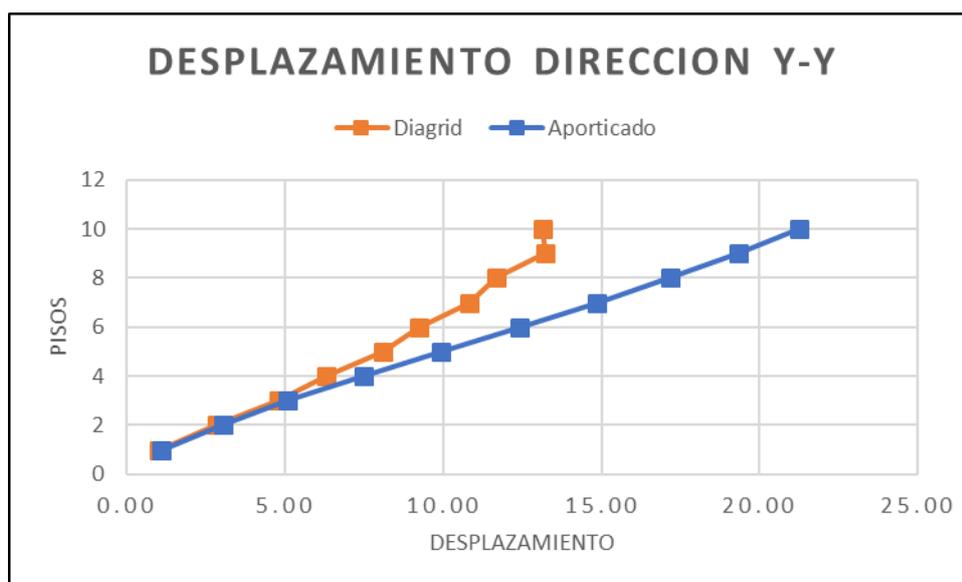


Figura 22. Desplazamiento por efecto sísmico en dirección Y-Y

Fuente: Elaboración propia

Como el modelo de la edificación en estudio es simétrico, se observa que son similares los resultados de los valores del desplazamiento en ambas direcciones, tanto para el sistema diagrid como para el sistema convencional.

Se observa que el desplazamiento para el sistema diagrid debido a las fuerzas sísmicas en dirección X-X y dirección Y-Y presentan un comportamiento más favorable que el modelo del sistema estructural convencional. Esto nos confirma la eficacia del sistema diagrid ante las fuerzas sísmicas.

4.1.6. Análisis de derivas

Para el caso de edificios de acero, la Norma Peruana E.030 del reglamento nacional de edificaciones establece que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso calculado en los puntos de máximo desplazamiento de dos pisos consecutivos no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso de 0,010, el control se hará a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso.

La tabla 16 muestra los valores de deriva elástica y deriva inelástica de cada nivel de piso en la dirección X-X de la edificación con el sistema diagrid y convencional sometidos a cargas de sismo. De manera similar la figura 23 muestra las gráficas de comparación de las derivas en función del número de piso para el modelo del sistema convencional y del sistema diagrid sometidos a cargas de sismo. Se evalúa que estos valores sean menores al valor dado en la tabla 8, lo que mostraría que las edificaciones en estudio estén cumpliendo con los valores límites establecidos en la norma técnica.

A continuación se enumeran las derivas de entrepisos de los modelos de edificios del sistema convencional y del sistema diagrid en la dirección X-X sometidos a cargas sísmicas.

Tabla 16
Máximas derivas de la estructura

Nivel de Piso	Altura m	Diagrid Dirección X-X			Convencional Dirección X-X			Deriva Limite
		Desplazamiento cm	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	Desplazamiento cm	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	
1	3,00	1,04	0,0035	0,0026	1.08	0.0036	0.0027	0,01
2	6,00	2,87	0,0061	0,0046	3.06	0.0066	0.0049	0,01
3	9,00	4,78	0,0064	0,0048	5.12	0.0069	0.0052	0,01
4	12,00	6,33	0,0052	0,0039	7.57	0.0081	0.0061	0,01
5	15,00	8,28	0,0065	0,0049	10.02	0.0082	0.0061	0,01
6	18,00	9,31	0,0034	0,0026	12.58	0.0086	0.0064	0,01
7	21,00	10,92	0,0054	0,0040	15.05	0.0082	0.0062	0,01
8	24,00	11,75	0,0028	0,0021	17.44	0.0079	0.0060	0,01
9	27,00	13,55	0,0060	0,0045	19.64	0.0073	0.0055	0,01
10	30,00	13,23	-0,0011	-0,0008	21.64	0.0067	0.0050	0,01

Fuente: Elaboración propia

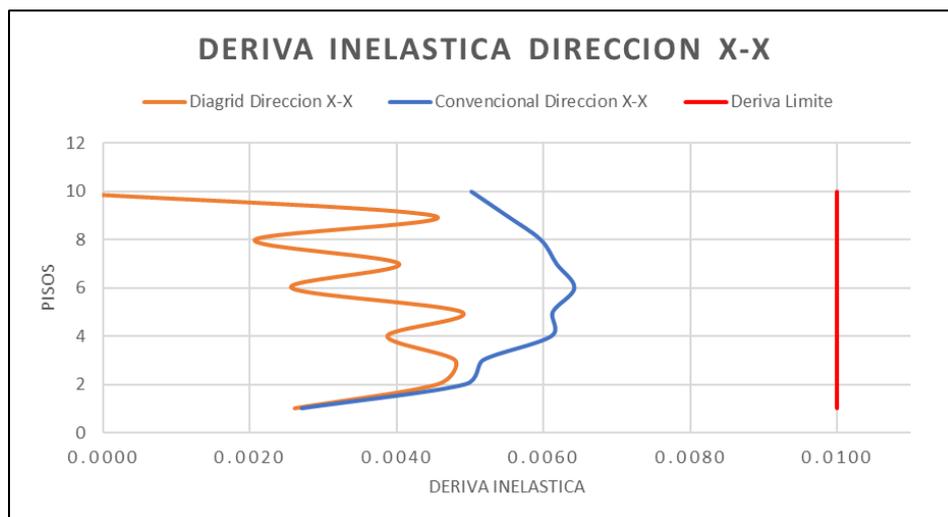


Figura 23. Nivel de piso Vs deriva

Fuente: Elaboración propia

La tabla 17 muestra los valores de deriva elástica y deriva inelástica de cada nivel de piso en la dirección Y-Y. De manera similar la figura 24 muestra las gráficas de comparación de deriva en función del número de piso para el modelo del sistema convencional y del sistema diagrid sometidos a cargas de sismo. Se evalúa que estos valores sean menores al valor dado en la tabla 8, lo que mostraría que las edificaciones en estudio estén cumpliendo con los valores límites establecidos en la norma técnica.

A continuación se enumeran las derivas de entrepisos de los modelos de edificios del sistema convencional y del sistema diagrid en la dirección Y-Y sometidos a cargas sísmicas.

Tabla 17*Máximas derivas de la estructura*

Nivel de Piso	Altura m	Diagrid Dirección Y-Y			Convencional Dirección Y-Y			Deriva Limite
		Desplazamiento cm	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	Desplazamiento cm	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	
1	3,00	1,01	0,0034	0,0025	1.09	0.0036	0.0027	0,01
2	6,00	2,85	0,0062	0,0046	3.04	0.0065	0.0049	0,01
3	9,00	4,80	0,0065	0,0049	5.09	0.0068	0.0051	0,01
4	12,00	6,30	0,0050	0,0038	7.50	0.0080	0.0060	0,01
5	15,00	8,10	0,0060	0,0045	9.91	0.0080	0.0060	0,01
6	18,00	9,25	0,0038	0,0029	12.43	0.0084	0.0063	0,01
7	21,00	10,83	0,0053	0,0040	14.85	0.0081	0.0060	0,01
8	24,00	11,67	0,0028	0,0021	17.17	0.0078	0.0058	0,01
9	27,00	13,22	0,0052	0,0039	19.31	0.0071	0.0053	0,01
10	30,00	13,13	-0,0003	-0,0002	21.24	0.0064	0.0048	0,01

Fuente: Elaboración propia

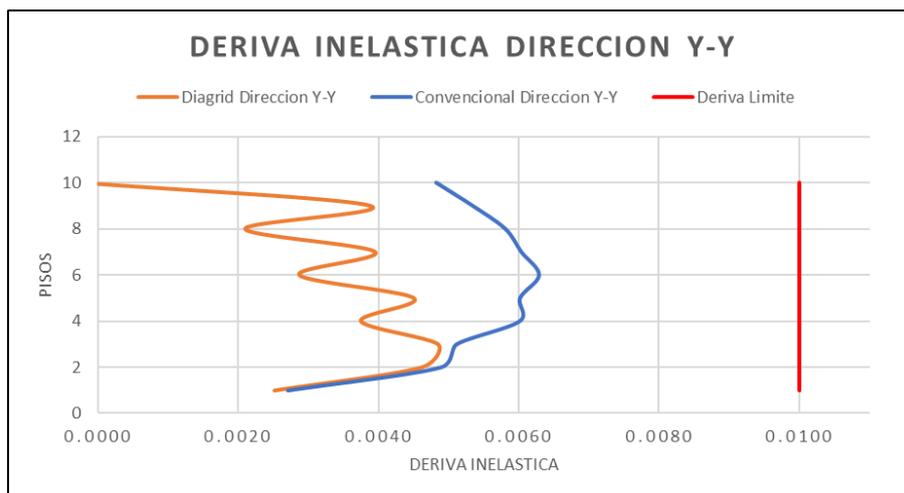


Figura 24. Nivel de piso Vs deriva

Fuente: Elaboración propia

Para el sistema convencional las derivas máximas se encuentran en el sexto piso en la dirección X-X con un valor de 0,0064 mientras para el sistema diagrid las derivas máximas se encuentran en el quinto piso en la dirección X-X con un valor de 0,0049, por lo que se puede observar el comportamiento más favorable de derivas la presenta el sistema diagrid tanto para la dirección X-X como para la dirección Y-Y.

Según la norma técnica E.030, la deriva máxima para una edificación de acero es de 0,010, cuyo valor es ampliamente mayor en cuanto a las derivas del sistema diagrid y del sistema convencional, cumpliendo así lo especificado por el reglamento nacional de edificaciones. En consecuencia, la edificación tiene un comportamiento estructural aceptable.

4.1.7. Peso propio del edificio

La comparación del peso propio de los miembros de la estructura metálica entre los edificios convencionales y de diagrid se muestra en la tabla 18. En el edificio con el sistema diagrid, el requisito seccional de los miembros muestra una ligera disminución en comparación con el edificio convencional. Una reducción general de 1,5% en comparación con la construcción convencional.

Tabla 18
Peso del edificio

Tipo de miembro estructural	Peso (Tn)	
	Diagrid	Convencional
Columna	46,92	85,33
Diagonal	58,71	24,34
Viga	134,68	134,24
Peso Total	240,30	243,91

Fuente: Elaboración propia

4.1.8. Evaluación fuerza cortante en la base

El valor de la fuerza cortante total de diseño por cargas laterales en la base de la estructura depende del factor de amplificación sísmica “C”, este a su vez depende del periodo del edificio en la dirección de análisis “T”.

- T = Periodo Fundamental de Vibración:

$$T_{convencional} = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30}{35} = 0,86$$

$$T_{diagrid} = \frac{h_n}{C_T} = \frac{30}{45} = 0,67$$

- C = Factor de amplificación sísmica:

$$\text{Condición } T_P < T < T_L \quad C = 2,5 \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

$$0,60 < T < 2,00$$

Para el sistema convencional:

$$0,60 < 0,86 < 2,00$$

$$C_{convencional} = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T} \right) = 2,5 \cdot \left(\frac{0,60}{0,86} \right) = 1,74$$

Para el sistema diagrid

$$0,60 < 0,67 < 2,00$$

$$C_{diagrid} = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T} \right) = 2,5 \cdot \left(\frac{0,60}{0,67} \right) = 2,23$$

La fuerza cortante en la base de la estructura en cada dirección de análisis para la región de Tacna se obtiene con la expresión siguiente:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P \quad \frac{C}{R} \geq 0,125$$

Donde:

$$Z = 0,45$$

$$U = 1,0$$

$$C = 2,5$$

$$S = 1,05$$

$$R_{diagrid} = 5$$

$$R_{convencional} = 7$$

P = Cargas de gravedad (Tn)

Peso convencional: 1 748,67Tn

Peso diagrid: 1 745,06Tn

Por lo tanto, la fuerza cortante total en la base de la estructura:

Cortante Convencional

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,45 \times 1 \times 2,5 \times 1,05}{7} \times 1748,67 = 295,09$$

Cortante diagrid

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,45 \times 1 \times 2,5 \times 1,05}{5} \times 1745,06 = 412,27$$

Tabla 19

Cortante estática basal

Sistema	Periodo (seg)	R	C	C/R	P (Tn)	V (Tn)
Convencional	0,85	7	1,74	0,25	1 748,67	295,09
Diagrid	0,59	5	2,23	0,45	1 745,06	412,27

Fuente: Elaboración propia

Los valores de cortante basal calculados con los parámetros del sistema diagrid, son mayores al 62,62% del obtenido con los valores del sistema convencional, por lo tanto, se determina la demanda sísmica que actuará sobre la estructura utilizando el cortante basal generado por el sistema diagrid.

4.1.9. Espectros de diseño sísmico

En el caso de la definición de los efectos de Sismo, es necesario definir en primer lugar los espectros de diseño.

A continuación se presentan los espectros de diseño del sitio en la dirección X-X y dirección Y-Y, considerando todos los parámetros y factores explicados con anterioridad.

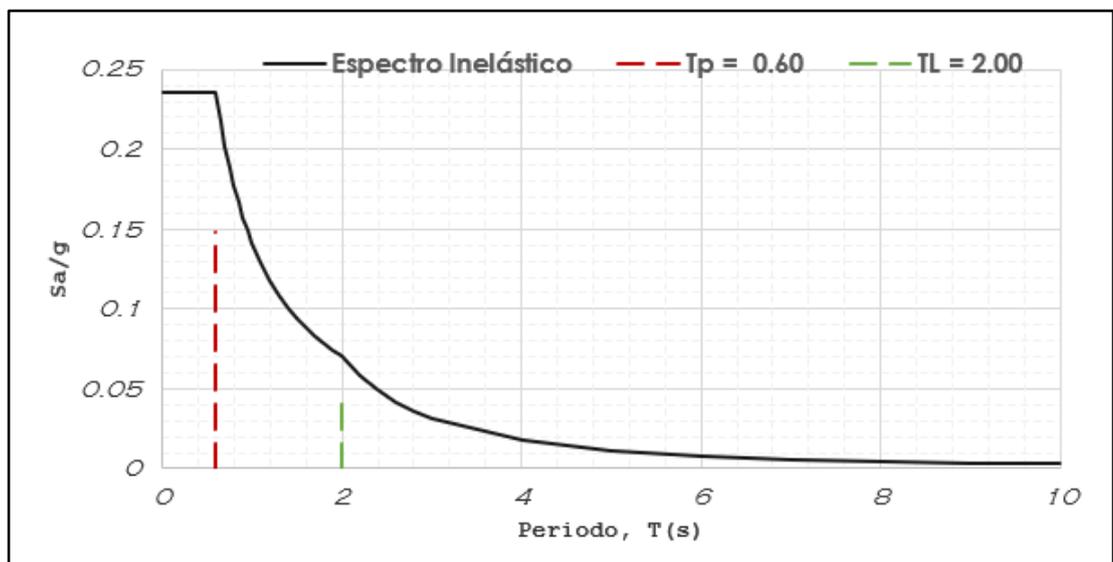


Figura 25. Espectro de respuesta elástica sistema diagrid

Fuente: Elaboración propia

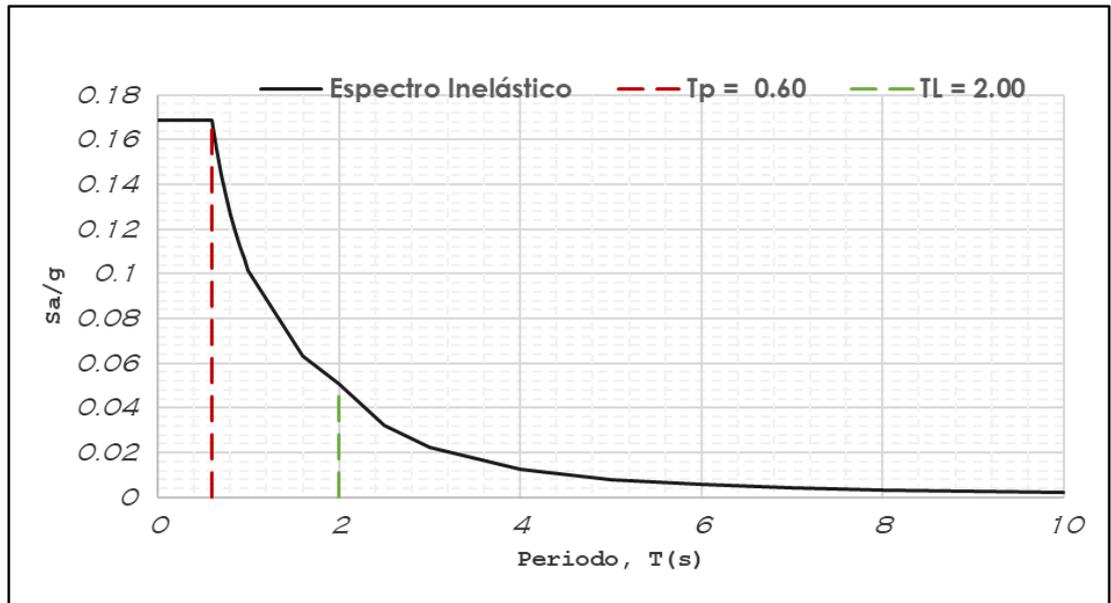


Figura 26. Espectro de respuesta elástico sistema convencional

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

El objetivo general de esta tesis es de analizar de manera comparativa el comportamiento sismorresistente de una edificación de estructura metálica convencional y de un sistema diagrid, por lo que se comparó los resultados obtenidos de ambas edificaciones y se ha concluido que el sistema diagrid presenta un mejor comportamiento ante la acción de cargas sísmicas.

Durante el desarrollo de la presente tesis se ha podido observar que en la región de Tacna y a nivel nacional no existe tesis referente al estudio de una edificación de estructura metálica con el sistema diagrid, encontrándose solo material de estudio y análisis de investigación internacional.

Se realizó el modelamiento de dos edificaciones de estructura metálica, una con un sistema diagrid y la otra con un sistema convencional, ambas con los mismos parámetros como dimensión de planta y altura de entresijos y de elevación, a su vez también contó con similares características para el análisis sismorresistente, Factor de zona, de uso, suelo y periodos T_p y T_L .

Una vez que se establecieron las condiciones de la edificación y con la finalidad de realizar el análisis comparativo del comportamiento sismorresistente fue necesario realizar el modelamiento con ayuda del programa SAP2000 v20. Los resultados obtenidos validaron plenamente los cálculos manuales y la teoría estudiada a lo largo de la investigación, presentando un comportamiento adecuado y no se presentan incoherencias.

A su vez también cumple con los parámetros establecido en el reglamento nacional de edificaciones en sus normas técnicas E.020, E.030 y E.070, no sobrepasando los valores límites.

Con respecto al desplazamiento, que según las tablas 14 y 15 la estructura diagrid sometido a cargas de sismo, presenta valores inferiores a las que presenta el sistema convencional en las dos direcciones analizadas.

Con respecto a la deriva inelástica, este factor es importante porque permite determinar si una estructura cumple o no con un adecuado diseño sismorresistente según lo especificado en la norma técnica E.030 diseño sismorresistente el valor máximo permitido es de 0,010 para una edificación de acero. Observando las tablas

de deriva inelástica 16 y 17 se ve claramente que el sistema diagrid presenta un mejor comportamiento que el del sistema convencional y que su valor está mucho más alejado que el valor máximo permitido.

Con respecto a otros temas de investigación, al comparar las conclusiones con otras investigaciones realizadas, estas guardan relación con lo que sostienen otros autores con respecto a las ventajas del diagrid en términos de desplazamiento y derivas de pisos, esto nos permite estar seguros de que se tiene las respuestas esperadas en el estudio realizado.

Finalmente, después de realizar el análisis dinámico modal espectral de cada estructura y de haber comparado los resultados de ambas situaciones, podemos anticipar la conclusión de que una estructura que cuenta con un sistema de diagrid, siempre tendrá un mejor desempeño que una estructura convencional, durante un movimiento sísmico.

CONCLUSIONES

En la presente tesis se hizo el análisis comparativo sismorresistente de una edificación de estructura metálica convencional y de un sistema diagrid permitiendo evaluar las diferencias y utilidad del sistema diagrid como un sistema viable para el diseño de una edificación sismorresistente.

Para cada sistema en estudio se realizó el modelamiento de una edificación de 10 pisos de altura en el programa SAP2000 con una configuración geométrica simétricos y bajo la acción de las mismas cargas de gravedad y cargas sísmicas, dando como resultado que en el sistema diagrid se encuentra una disminución significativa en los resultados del desplazamiento, deriva, periodo de piso en las dirección X-X y Y-Y en comparación con el sistema convencional por lo que lo hace más eficientemente ante la acción de cargas sísmicas ya que estas cargas son transmitidas por las columnas diagonales proporcionándose así una mayor resistencia a la edificación.

En la presente tesis se determinó que la utilización de diagrids en el perímetro de un edificio de estructura metálica, favoreció significativamente a diferencia que en el comportamiento sísmico de una edificación de 10 pisos diseñada con un sistema convencional aporticada, se determinó las diferencia en desplazamiento entre estos dos sistemas es de 61% y de acuerdo al control de deriva inelástica de la norma técnica E 030, el sistema diagrid cumple con el valor límite de control, teniendo un valor máximo de 0,0049 menor que el límite de 0,010, eso nos da una mayor seguridad en nuestras edificaciones lo cual el sistema diagrid presenta una alternativa válida para el diseño sismorresistente.

RECOMENDACIONES

Considerando la importancia que tiene esta investigación y en función de los resultados obtenidos se formulan algunas recomendaciones para futuros tesisistas o investigadores, para ello se hace llegar las siguientes recomendaciones.

En base a los resultados obtenidos, es recomendable el uso de un sistema diagrid para el diseño de una edificación de estructura metálica de 10 pisos

Para futuras investigaciones se sugiere realizar modelamientos de edificios con sistema diagrids para varios tipos de niveles de piso, así como también la influencia del ángulo de inclinación de las diagrids para analizar su comportamiento ante las cargas sísmicas.

Se sugiere continuar realizando el análisis comparativo de la estructura diagrid conservando la misma configuración estructural pero con diferentes tipos de parámetros sísmicos como factores de zona, de uso y de suelo o el uso de aisladores y comparar estos resultados con el desplazamiento de la edificación.

La capacidad de construcción es una preocupación seria, las uniones de las estructuras de diagrid son más complicadas que las estructuras ortogonales convencionales por lo que se debería de considerar el uso de métodos de prefabricación apropiados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISC Steel Construction Manual 13th [Manual de construcción de acero].
- Amador Terán, Gilmore “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.
- ANSI/AISC 341-10, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings [Disposiciones sísmicas para edificios de acero estructural].
- ANSI/AISC 360-10, especificación para construcciones de acero.
- ASCE/SEI 7-10, Cargas mínimas de diseño para edificios y otras.
- Avnish Kumar Rai & Rashmi Sakalle, Artículo Investigación “Comparative Analysis of a High Rise Building Frame With and Without Diagrid Effects Under Seismic Zones III & V” [Análisis comparativo de un Sistema aporticado de gran altura con y sin efectos diagonales en las zonas sísmicas III y V] 2017. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology
- Francisco Crisafulli & Elbio Villafañe. Guía de estudio “Espectros de respuesta y de diseño”. 2002. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.
- Harish, Narendra & Dipesh. Trabajo de investigación “Análisis comparativo del sistema estructural diagrid y el sistema estructural convencional para edificios de acero de gran altura”. 2015. revista científica International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology – IJAREST.
- Jose. Revista científica “Analysis and comparison of diagrid and conventional structural system” [Análisis y comparación de diagrid y sistema estructural convencional]. 2016. International Journal of

Advance Research in Engineering, Science & Technology – IJAREST.

Kyoung Sun Moon. Artículo de Investigación “Material-Saving Design Strategies for Tall Building Structures” [Estrategias de diseño de ahorro de materiales para estructuras de edificios altos] 2008. Structures Division, School of Architecture, University of Illinois at Urbana-Champaign, Champaign.

Manthan & Snehal, trabajo de investigación “Comparative study of diagrid structures with conventional frame structures” [Estudio comparativo de estructuras de diagrid con estructuras aporticadas]. 2016. Revista científica International Journal of Engineering Research and Applications – IJERA.

Maurizio, Toreno, “An overview on diagrid structures for tall buildings” [Una visión general de las estructuras diagrid para edificios altos].

Mauro Morón, Julio Diéguez y Michele Casarin. Tesis “Análisis del comportamiento estructural de edificaciones de acero sismorresistentes de gran altura, utilizando el sistema estructural Diagrid”. 2015. Universidad Rafael Urdaneta.

McCormac, Jack. (2002). Diseño de estructuras en acero método LRFD, 2da Edición, México.

Megha, Shroti. Artículo “Constructability of Diagrid Structures” [Constructabilidad de estructuras diagonales] Volumen 6 – 2017, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).

Meyer Boake, Terri. “Diagrid Structures; system, connection, details” [Estructuras diagrid; sistema, conexión, detalles] School of Architecture, University of Waterloo, Cambridge, ON, Canada.

Núñez Herrera, José Luis. Tesis de maestría “Análisis Comparativo de Edificios con Sistemas Estructurales de Concreto Armado: Duales Versus Diagrid.”

2018 Universidad Privada de Tacna, División del Ingeniería, Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras.

Quiroz Ramírez, Arturo & Serrano Medrano, Montserrat. Revista “Ventajas Sismorresistentes y Ambientales del Sistema de Rejillas Rígidas Diagrid para Edificios en Zonas de Alta Sismicidad”. Volumen 97 – 2017. Revista de Ingeniería Sísmica.

Ravish Khan¹, S.B. Shinde. Artículo de Investigación “Analysis of Diagrid Structure in Comparison With Exterior Braced Frame Structure” [Análisis de la estructura diagrid en comparación con la estructura aporticado]. Volumen 4 - 2015. International Journal of Research in Engineering and Technology.

Reglamento Nacional de Edificaciones, NTE E.020 Cargas, 2006.

Reglamento Nacional de Edificaciones, NTE E.030 Diseño Sismorresistente, 2018.

Reglamento Nacional de Edificaciones, NTE E.090 Estructuras Metálicas, 2006

Saket & Vivek. revista científica “Advantage of steel diagrid building over conventional building” [Ventaja del edificio de acero diagrid sobre el edificio convencional]. 2015. International Journal of Civil and Structural Engineering Research.

ANEXO 1
Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
Título: “Análisis sismorresistente de una edificación de estructura metálica convencional frente a un sistema diagrid en la región Tacna”			
Autor:	Guido Lupaca Cotrado		
Problemas	Objetivos	Variables	
Problema Principal	Objetivo General	V. D.	V. I.
¿Como realizar de manera comparativa el análisis sismorresistente de una edificación de estructura metálica convencional y de un sistema diagrid?	Realizar de manera comparativa el análisis sismorresistente de una edificación de estructura metálica convencional y de un sistema diagrid.	Análisis Sismorresistente.	Estructura metálica convencional y sistema diagrid.
Problema Secundarios	Objetivos Específicos	V. D.	V. I.
¿Como realizar el diseño de una edificación de 10 pisos de altura con estructura metálica comparándola con una de sistema diagrid?	Realizar el diseño de una edificación de 10 pisos de altura con estructura metálica comparándola con una de sistema diagrid.	Diseño de una edificación.	Estructura metálica convencional y sistema diagrid.
¿Como determinar el comportamiento sísmico de un pórtico de acero frente a un sistema diagrid?	Determinar el comportamiento sísmico de un pórtico de acero frente a un sistema diagrid.	Comportamiento sísmico.	Pórtico de acero y sistema diagrid.
Según el comportamiento sísmico ¿Como realizar un análisis de ventajas y desventajas del sistema diagrid frente a una estructura convencional?	Según el comportamiento sísmico encontrado, realizar un análisis de ventajas y desventajas del sistema diagrid frente a una estructura convencional.	Comportamiento sísmico.	Ventajas y desventajas del sistema diagrid.