

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**COMPARACIÓN DE EDIFICIOS CONFORMADOS POR SISTEMAS
ESTRUCTURALES DE ACERO EN EL PERÚ Y EN EL
EXTRANJERO**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLERA
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORA:

Ivanna Francesca Sanchez Carrasco

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES:

Breyton Luis Dávila Andía

Christian Gustavo Mora Chihuantito

Roy Sulluchuco Otake

Michael Francescolli Hidalgo Ramírez

Jim Fernando Gonzales Santillana

ASESOR:

Diego Villagómez Molero

Lima, Diciembre, 2021

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centró en el uso de acero estructural en la construcción de una vivienda multifamiliar y una oficina en el extranjero. A partir de ello, se plantearon los factores sismorresistentes y de diseño que limitan la masificación del uso de acero estructural en la construcción de viviendas multifamiliares en el Perú. El objetivo principal de este trabajo consistió en determinar la viabilidad de construir edificios destinados a viviendas multifamiliares como un desafío de realizarlos, actualmente, en el Perú.

Primero, se desarrolló la metodología a partir de la recopilación de información de investigaciones recientes, publicaciones académicas, libros y *papers*. Asimismo, se revisaron las normas E.020 Cargas, E.030 Diseño Sismorresistente, E.060 Concreto armado, E090 Estructuras Metálicas, AISC 341-16 y AISC 360-10. Luego, con la información recolectada, se eligieron edificaciones en acero estructural idealizadas en el extranjero y el Perú para comparar sus sistemas sismorresistentes.

Cabe mencionar, que las consideraciones de sismorresistencia y diseño para los edificios del extranjero se contrastaron con las normas peruanas, a fin de ver si las consideraciones del extranjero son las mismas o varían y su posibilidad de construirlas. Finalmente, se compararon los indicadores económicos de las edificaciones escogidas en el Perú con la finalidad de analizar la factibilidad de construir viviendas multifamiliares en acero estructural en nuestro país. En conclusión, se obtuvo que si es posible la construcción en acero estructural en edificaciones de viviendas multifamiliares en el Perú si es que existiera una industria complementaria de acero adecuada.

ÍNDICE

1.	Generalidades	1
1.1.	Introducción.....	1
1.2.	Justificación.....	1
1.3.	Alcance.....	2
1.4.	Objetivos.....	2
1.5.	Metodología.....	3
2.	Revisión de la literatura.....	4
2.1.	Base teórica	4
2.1.1.	Clasificación de los aceros estructurales.....	5
2.1.2.	Perfiles.....	6
2.2.	Filosofía de diseño.....	7
2.2.1.	Métodos de diseño.....	7
2.2.2.	Diseño de conexiones.....	8
2.3.	Sistemas estructurales para construcciones de acero.....	8
2.3.1.	Pórticos no arriostrados.....	8
2.3.2.	Pórticos arriostrados.....	9
2.3.3.	Pórticos con riostras de pandeo restringido.....	10
2.4.	Consideraciones para el diseño estructural según las normas peruanas.....	11
3.	Desarrollo de la investigación	12

3.1. Presentación de edificios de estructura metálica (sistema estructural)	12
3.1.1. Edificios idealizados en el extranjero.....	12
3.1.2. Edificios idealizados en Perú.....	16
3.2. Consideraciones de diseño estructural de los sistemas sismorresistentes de edificios de estructura metálica	21
3.2.1. Edificios idealizados en el extranjero.....	21
3.2.2. Edificios multifamiliares idealizados en Perú	25
3.3. Comparativa de sistemas estructurales en acero y concreto armado de viviendas multifamiliares	30
3.3.1. Ventajas y desventajas de edificios de concreto armado y acero en el Perú.....	30
3.3.2 Indicadores económicos de los sistemas estructurales en concreto armado y acero estructural en Perú.....	31
4. Conclusiones y recomendaciones.....	34
4.1. Conclusiones.....	34
4.2. Recomendaciones.....	36
5. Bibliografía.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de esfuerzo-deformación convencional para un material dúctil.....	5
Figura 2. Curva esfuerzo- deformación de algunas calidades de acero.	5
Figura 3. Perfiles laminados de acero.....	7
Figura 4. Clasificación de los sistemas estructurales.	8
Figura 5. Configuración de arriostres concéntricos.....	9
Figura 6. Configuración de arriostres concéntricos.....	10
Figura 7. Pórtico con riostra de pandeo restringido.	10
Figura 8. Modelo en Etabs del edificio de acero de 3 pisos	13
Figura 9. Vista en elevación del edificio de acero de 5 pisos.....	15
Figura 10. Modelo en Etabs del edificio de acero de 4 pisos	17
Figura 11. Modelo en Etabs del edificio de acero de 8 pisos	19
Figura 12. Perfil de viga metálica W 10x19.....	22
Figura 13. Perfil de columna metálica W 14x68.....	22
Figura 14. Ubicación de los conectores de corte en la viga-columna	23
Figura 15. Detalle de ubicación de pernos en placa base	23
Figura 16. Perfil de la viga principal V027	24
Figura 17. Perfil de columna metálica HSS C400x450x12.....	25
Figura 18. Perfil W8x18	26
Figura 19. Perfil de columna metálica 10 cm x 20 cm x 0.60 cm.....	27

Figura 20. Ubicación de los conectores de corte en la viga	27
Figura 21. Detalle de ubicación de pernos en placa base	28
Figura 22. Perfil de columna metálica 30.50 cm x 30.50 cm x 0.80 cm.....	29
Figura 23. Detalle de ubicación de pernos en placa base	30
Figura 24. Gráfico de costo final de los sistemas estructurales.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes Básicos de Reducción R0	11
Tabla 2. Carga muerta aplicada en la azotea del edificio de 3 niveles	13
Tabla 3. Carga muerta aplicada en el piso típico del edificio de 3 niveles	13
Tabla 4. Carga viva del edificio de 3 niveles	14
Tabla 5. Pesos de los perfiles estructurales usados para el edificio de 5 niveles	15
Tabla 6. Pesos de los perfiles estructurales usados para el edificio de 4 niveles	17
Tabla 7. Velocidad del viento en cada piso del edificio de 4 niveles.....	18
Tabla 8. Pesos de los perfiles estructurales usados para el edificio de 8 niveles	19
Tabla 9. Velocidad del viento en cada piso del edificio de 4 niveles.....	21
Tabla 10. Derivas en ambas direcciones	21
Tabla 11. Derivas en ambas direcciones	24
Tabla 12. Desplazamientos y derivas	26

Tabla 13. Desplazamientos y derivas para el caso más crítico.....	28
Tabla 14. Ventajas y desventajas de edificios de concreto armado y acero.....	31
Tabla 15. Comparación de sistemas estructurales.....	31
Tabla 16. Comparación de presupuestos de los sistemas estructurales.....	32
Tabla 17. Costo de 88 días de diferencia de los sistemas estructurales	32
Tabla 18. Comparación de costos.....	33



1. Generalidades

1.1. Introducción

En el Perú, es muy común la construcción de multifamiliares de viviendas y oficinas con procedimientos constructivos en estructuras de concreto armado y participan elementos las cuales son vigas, columnas y losas desde muchas décadas, porque hay un gran aporte, adherencia y recubrimiento entre el concreto y el acero (barras de corrugado), además de su facilidad lo que la convierte en un sistema estructural muy tradicional. Asimismo, los elementos de concreto armado presentan buenas propiedades mecánicas tanto en compresión y tracción lo cual genera que se obtenga buena rigidez y resistencia frente a las cargas (servicio y sísmicas) en las edificaciones.

En nuestro país, es muy notorio ver construcciones como naves industriales y grandes almacenes en acero estructural, pero muy poco en el uso de viviendas multifamiliares y oficinas.

Cabe mencionar, que el análisis y diseño de los edificios de elementos estructurales de acero, al igual que los de concreto armado, se realizan mediante programas computacionales como el ETABS y SAFE. Asimismo, los elementos estructurales de acero logran que las secciones de vigas, columnas se reduzcan, ello es favorable, ya que reduce las cimentaciones y, por consiguiente, el peso de la edificación y los costos en la construcción.

Sin embargo, no se fomenta mucho su uso por la falta de información en las propiedades mecánicas, comportamiento del sistema estructural y porque requiere de un personal más capacitado tanto en la preparación e instalación de los elementos estructurales.

1.2. Justificación

Esta investigación se realiza a partir del poco uso de elementos de acero estructural en la construcción de viviendas multifamiliares, oficinas y plantear a partir de ello las razones por las

cuales no se usa, y proponer fundamentos que incentiven el mayor uso de elementos de acero estructural.

Se espera que esta investigación pueda conllevar a que los proyectos de vivienda puedan implementar el uso de acero estructural y de esa manera obtener mejores rentabilidades y seguridad frente a condiciones sísmicas y de durabilidad.

1.3. Alcance

Mediante la presente investigación se pretende describir los factores por las cuales no se usa el acero estructural en nuestro país, con respecto a otros países. Para ello, se analizan los beneficios y las limitaciones que implican desarrollar el acero estructural en el uso de multifamiliares de viviendas y oficinas.

Ello conlleva a desarrollar la eficiencia sísmica de los sistemas estructurales en acero, los costos por metro cuadrado que genera su instalación, la disponibilidad de la mano de obra especializada, la velocidad en la ejecución de la construcción de multifamiliares de vivienda y oficina, y la capacidad arquitectónica que presenta el uso de este. Luego, señalar las limitantes que se generan en nuestro país, medir los costos y ver qué tan viable será su uso en nuestro país.

1.4. Objetivos

Objetivo General:

- Determinar la viabilidad de construir edificios multifamiliares de acero estructural en el Perú.

Objetivos específicos:

- Describir el uso de elementos de acero estructural en multifamiliares de viviendas y oficinas en diferentes países.

- Mencionar los sistemas sismorresistente de edificios multifamiliares de viviendas y oficina e indicar los más comunes.
- Identificar las consideraciones para el diseño estructural en los sistemas estructurales de los edificios en acero estructural en el extranjero.
- Indicar las consideraciones para el diseño estructural en los sistemas estructurales de edificios de acero estructural en el Perú.

1.5. Metodología

En la presente investigación se desarrollará la metodología en base a los objetivos mencionados. Para ello, se empezará con la búsqueda y revisión de la bibliografía a fin de desarrollar la definición del acero y sus propiedades, perfiles, las consideraciones de diseño en acero estructural, la filosofía del diseño y sistemas estructurales. Luego, se revisará la norma técnica peruana E.030 de Diseño Sismorresistente y la norma técnica peruana E.090 Estructuras Metálicas a fin de ver las consideraciones que demandan diseñar los sistemas estructurales en el Perú. Después, se recopilará información de los edificios de viviendas multifamiliares, oficinas y hoteles construidos en acero estructural a nivel nacional e internacional. Cabe resaltar, que se tendrá énfasis en el sistema estructural de los edificios a revisar y cuáles de estos sistemas son los más comunes. A continuación, se indicarán las consideraciones en diseño estructural presente en los sistemas estructurales de los edificios elegidos. Para ello, se extraerán las consideraciones de las normas E.030 y E.090 a fin de ver si es posible estas construcciones en Perú según sus requisitos de las normas. Finalmente, según el estudio realizado se determinará la factibilidad de construir edificios multifamiliares de viviendas y oficinas respecto a los edificios existentes en concreto armado en Perú.

2. Revisión de la literatura

2.1. Base teórica

En la recopilación de bases teóricas encontramos diversas fuentes de revisiones sistemáticas donde encontramos los conceptos relacionados a sistemas estructurales de acero aplicados a edificaciones estructurales y viviendas convencionales:

(Bernabe & Paredes, 2021) indica que el acero que se usan en las estructuras metálicas son producto de una aleación en donde el mayor compuesto es de hierro y le siguen el carbono, silicio y manganeso en pequeñas cantidades, así mismo se basó en la recopilación de McCormac & Csenak (2015) donde se afirma que al hierro se le añade minerales metálicos y no metálicos a fin de mejorar su trabajabilidad y propiedades mecánicas. Así mismo asevera que los elementos más apropiados para la ferroaleación son el carbono y manganeso, pero en cantidades apropiadas. Si se excede en carbono se obtiene un producto de mucha dureza y con elevada fluencia, pero se pierde la capacidad dúctil, el cual es muy esencial en un acero destinado a estructuras metálicas. Por otro lado, al exceder el manganeso beneficia en tener un acero más resistente, pero se resta la ductilidad. Por ello, se debe tener muy cuenta la correcta dosis de estos elementos a fin de obtener un acero de buenas propiedades.

Para (Chango & Ruiz, 2021) define al acero como una amalgama de compuestos que en su mayoría se constituye de hierro y cantidades añadidas ,no muy considerables, de carbono básicamente y manganeso. Estas añadiduras mejoran las características del producto en lo que concierne a ser más dúctil, más resistente y rígido. Así mismo, se muestra la curva de esfuerzo-deformación, en la siguiente imagen.

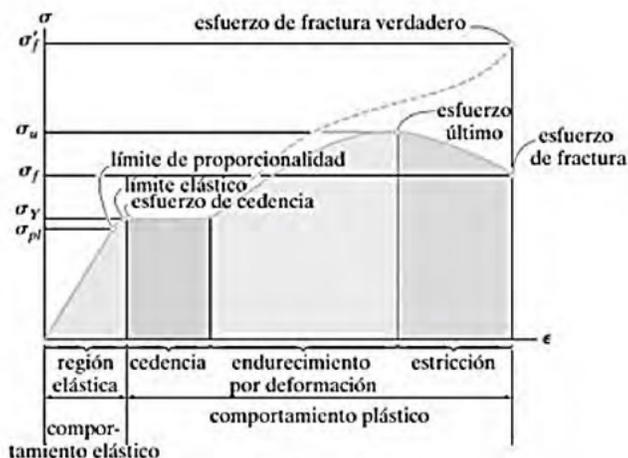


Figura 1. Diagrama de esfuerzo-deformación convencional para un material dúctil.

Tomado de “*Mecánica de materiales*”, por Hibbeler, 2011

2.1.1. Clasificación de los aceros estructurales.

Carrasco (2020) menciona los siguientes tipos de acero a partir de su procesamiento y composición química: Aceros al carbono o aceros al carbono-manganeso, alta resistencia baja aleación (HSLA), alta resistencia apagados y templados (QT) aceros aleados, alta resistencia apagados y auto templados (QST) aceros de aleación.

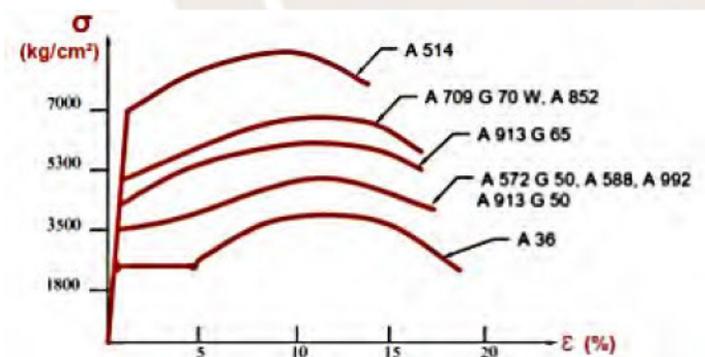


Figura 2. Curva esfuerzo- deformación de algunas calidades de acero.

Tomado de “*Elección de tipo de acero para estructuras*”, por Alvarez Veladez & Chazaro Rosario, 2018

a. aceros al carbono o aceros al carbono-manganeso.

Según Cuellar & al (2021) son los aceros que contienen elementos de resistencia al carbono y manganeso en cantidades racionadas, si no se controlan las cantidades podría alterar sus propiedades, resalta entre los más comunes el A36 con un esfuerzo mínimo de 36ksi(2530)

b. aceros de alta resistencia, baja aleación. (HSLA). (Tong San Guzman, 2014)

Para Vinnakota (2006) informa, que las propiedades deben contener cantidades moderadas en diferentes elementos al carbono, entre ellos cromo, columbio, cobre, manganeso, vanadio y se les considera de poca participación porque es muy ínfima a menos del 5%.

Según Alvarez y Chazaro (2018) los aceros HSLA poseen facilidad al soldar y buena resistencia a la corrosión.

c. aceros de alta resistencia, apagados y templados (QT) Aceros aleados.

Según Balcazar (2021), estos aceros se encuentran en placas y presentan una fluencia entre a 90 a 100 ksi. Además, la alta resistencia que las caracteriza se logra mediante una adición en minoría de carbono y, posteriormente, se somete a un descenso de temperatura acelerado.

d. aceros de alta resistencia, apagados y auto-templados (QST), aceros de aleación.

Para Alvarez & Chazaro (2018) la resistencia elevada es producto de enfriar ciertas secciones del perfil del acero. Asimismo, en el proceso de rolado, el calor que absorbe el material genera un efecto de templado. Estos aceros no están muy disponibles en el mercado.

2.1.2. Perfiles.

Para Zapata (2018) indica que hay muchos productos del acero. Los productos no planos como ángulos, tubos, lisas, perfiles, canales, varillas, etc. Los productos planos como planchas.

Asimismo McCormac & Csernak (2015) dentro de los perfiles de acero hay un tipo que se usa con mayor frecuencia y son los tipos I, T y C.

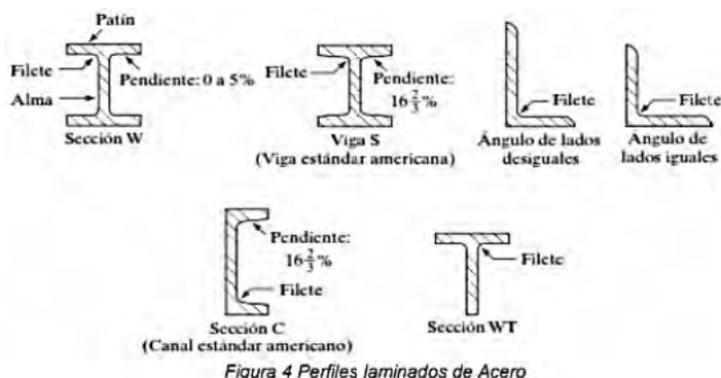


Figura 3. Perfiles laminados de acero.

Tomado de “Diseño de estructuras de acero”, por McComac & Csernak, 2015

2.2. Filosofía de diseño.

2.2.1. Métodos de diseño.

Crisafulli (2018) indica 2 métodos en el diseño de estructuras metálicas que son el método ASD (tensiones admisibles) y el método LRFD (factores de carga y resistencia). Estos se detallan a continuación:

a. Método ASD: consiste en lograr que el esfuerzo admisible de las vigas y columnas sea mayor a igual al esfuerzo requerido que se obtiene al aplicar las diferentes combinaciones de carga (Lucas Velasco, 2021)

b. Método LRFD: para Bernabe & Paredes (2021) este método analiza los estados límites de servicio y resistencia, compara las cargas de requeridas y las cargas de diseño. De esa forma, maximiza las cargas de demanda o requeridas y minimiza las cargas de diseño. Cabe resaltar, que este método es más confiable, reduce la incertidumbre y presenta mejor seguridad.

2.2.2. Diseño de conexiones.

Es un tema relevante el cual definirá cuanta estabilidad va a poseer las uniones de los elementos estructurales o la estructura. Según Zapata (2018) es de mucha relevancia el tipo de conexión que se elegirá en los elementos estructurales. El análisis estructural indicara el requerimiento por la conexión a partir de las cargas de diseño de los miembros estructurales.

2.3. Sistemas estructurales para construcciones de acero

Según, (Melendez, 2021), divide al acero estructural según el sistema sismorresistente sin arriostras y los arriostrados, ambos empleado en las estructuras de pórticos metálicos. Asimismo Crisafulli (2018) realiza una clasificación en pórticos a momento sin arriostre y pórticos arriostrados con muros de corte, según las siguientes imágenes:

Sistemas de pórticos a momento	Pórticos no arriostrados ordinarios, OMF	Sistemas de pórticos arriostrados y muros de corte	Pórticos ordinarios arriostrados concéntricamente, OCBF
	Pórticos no arriostrados intermedios, IMF		Pórticos especiales arriostrados concéntricamente, SCBF
	Pórticos no arriostrados especiales, SMF		Pórticos arriostrados excéntricamente, EBF
	Pórticos no arriostrados especiales con vigas reticuladas, STMF		Pórticos con riostras de pandeo restringido, BRBF
	Sistemas de columnas ordinarias en voladizo, OCCS		Muros de corte especiales con placas de acero, SPSW
	Sistemas de columnas especiales en voladizo, SCCS		

Figura 4. Clasificación de los sistemas estructurales.

Tomado de “Diseño sismorresistente de estructuras de acero”, por Crisafulli, 2018

2.3.1. Pórticos no arriostrados.

Según Crisafulli (2018) indica que estos pórticos están compuestos por elementos estructurales tales como viga y columnas. Estas se conectan a través de soldaduras y pernos o la unión de ambos. Estos pórticos son muy flexibles, pero carecen de arriostres que son elementos estructurales que aportan rigidez a la estructura frente a la acción de los sismos.

2.3.2. Pórticos arriostrados.

Se caracterizan por ser pórticos constituidos por vigas, columnas y riostras. Los arriostres son barras diagonales que aportan carácter sismorresistente y genera disminución de desplazamientos de la estructura, deformaciones.

a. pórticos arriostrados concéntricamente.

Para Crisafulli (2018) estos pórticos se caracterizan , principalmente, por la forma en que se conectan las riostras en los nudos. Los ejes de las barras de riostras se cortan en un punto, ello se debe a que, al cortarse de esa manera prevenir las excentricidades y con ello que no haya momentos flectores ni esfuerzos de corte en estas barras.

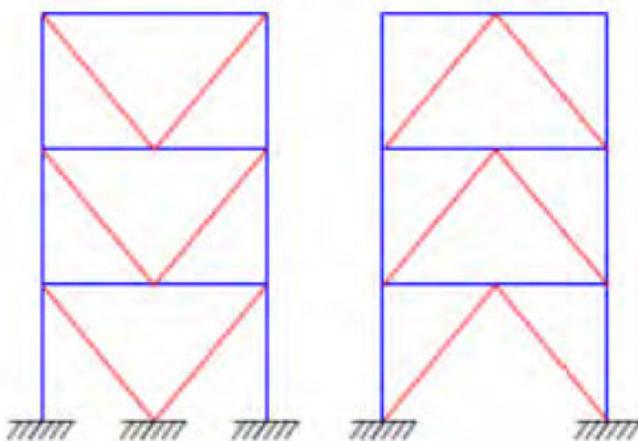


Figura 5. Configuración de arriostres concéntricos.

Tomado de “Diseño sismorresistente de estructuras de acero”, por Crisafulli, 2018

b. pórticos arriostrados excéntricamente.

Asimismo Razo (2021) estos pórticos se distinguen por el tipo de conexión que genera excentricidad entre las barras de arriostre y el lugar de cruce en la viga donde se producen los momentos flectores y esfuerzos de corte.

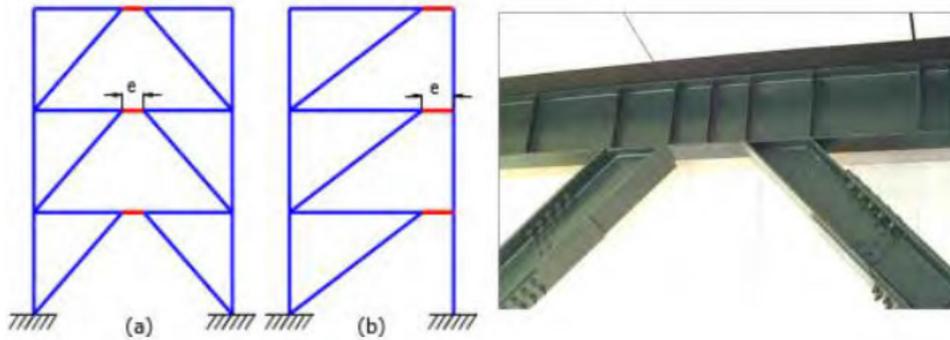


Figura 6. Configuración de arriostres concéntricos.

Tomado de “Diseño sísmoresistente de estructuras de acero”, por Crisafulli, 2018

2.3.3. Pórticos con riostras de pandeo restringido.

(Shelar y Singh Parihar, 2018, como se citó en Escobedo y Vidal (2020) explica que el sistema de riostra con pandeo restringido se origina a fin de contrarrestar la carga lateral provenientes de los sismos y , de esa manera, reducir la energía histerética que producen daños estructurales. Asimismo (Ruiz y Torres, 2018, como se citó en Escobedo y Vidal (2020) menciona que este sistema de pandeo restringido brinda que el pórtico se mantenga en el rango elástico , mientras que las barras del sistema restringido concentran la energía calorífica proveniente de la histéresis y la absorbe el metal de este sistema sísmorresistente.



Figura 7. Pórtico con riostra de pandeo restringido.

Tomado de “Diseño sísmoresistente de estructuras de acero”, por Crisafulli, 2018

2.4. Consideraciones para el diseño estructural según las normas peruanas

La norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018) señala los coeficientes básicos de reducción de las fuerzas sísmicas de acuerdo al sistema estructural de la edificación a diseñar.

Estos factores se muestran a continuación en la siguiente tabla de la norma E.030:

Tabla 1. Coeficientes Básicos de Reducción R_0

Tabla N° 7 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	7(**)

Nota. Tomado de “Norma Técnica E.030 *Diseño Sismorresistente*”, 2018

La norma E.020 Cargas (2006) indica las cargas nominales utilizadas para el diseño, las cuales son la carga muerta (D), carga viva (L), carga viva en azoteas (Lr), carga de viento (W), carga de nieve (S), carga de sismo (E) y carga de lluvia (R). A partir de estas cargas nominales, se tienen combinaciones para el diseño en estructuras metálicas según el método LRFD, las cuales son señaladas en la norma peruana E.090 (2006) y se muestran a continuación:

Combinación 1: 1.4D

Combinación 2: 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr ó S ó R)

Combinación 3: 1.2D + 1.6(Lr ó S ó R) + (0.5L ó 0.8W)

Combinación 4: 1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(Lr ó S ó R)

Combinación 5: 1.2D ± 1.0E + 0.5L + 0.2S

Combinación 6: 0.9D ± (1.3W ó 1.0E)

Además, la norma E.090 Estructuras Metálicas (2006) acepta los dos diseños anteriormente mencionados de Factores de Carga y Resistencia (LRFD) y por Esfuerzos Admisibles (ASD), los cuales son obligatorios y están reglamentados en esta misma norma. A continuación, se muestra los criterios de diseño para cada elemento estructural.

Para el diseño de las columnas, se tiene la resistencia de diseño en compresión para pandeo por flexión para ambos métodos ($\phi_c = 0.85$ para el método LRFD) y la resistencia de diseño en compresión para pandeo flexo-torsional.

Para el diseño de las vigas por flexión, primero para el método LRFD ($\phi_b = 0.90$) se tiene la fluencia y pandeo lateral torsional que varía según su perfil. Segundo para el método ASD se tiene elementos de sección I y Canales con flexión alrededor del eje mayor, alrededor del eje menor y flexión de elementos de sección cajón, tubos rectangulares y circulares.

Para el diseño de las vigas por corte, primero para el método LRFD ($\phi_v = 0.90$) se basa en la resistencia de diseño por corte para almas no rigidizadas. Segundo, para el método ASD se basa en los esfuerzos admisibles de corte.

Para las conexiones, se tiene el diseño por resistencia a la rotura según la norma E.090, donde se realiza en corte, en tracción y por bloque de corte (todos con un valor de $\phi = 0.75$).

3. Desarrollo de la investigación

3.1. Presentación de edificios de estructura metálica (sistema estructural)

3.1.1. Edificios idealizados en el extranjero

Edificio de acero de 3 pisos

El edificio destinado a oficinas es de 3 pisos, ubicado en el departamento de Managua, Nicaragua. Presenta en sus tres niveles una altura de piso a piso de 4 m. Es así que, se obtiene

una El edificio destinado a oficinas es de 3 pisos, ubicado en el departamento de Managua, Nicaragua. Presenta en sus tres niveles una altura de piso a piso de 4 m. Es así que, se obtiene una altura total de 12 m para toda la edificación. Esta edificación cuenta con un área de techado en cada nivel de 447 m² y con un área techada total de 1341 m². Se considera un sistema estructural de acero.

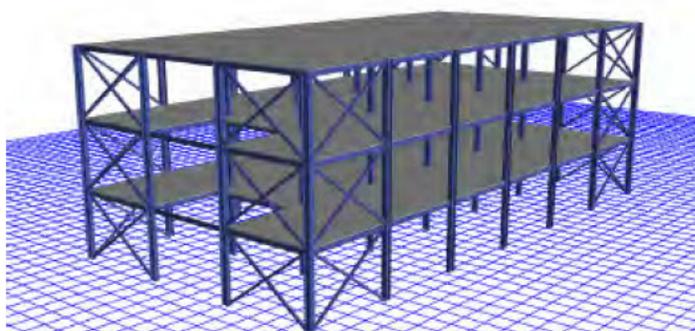


Figura 8. Modelo en Etabs del edificio de acero de 3 pisos

Tomado de “Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente”, por Bermúdez y Castillo, 2020

Metrado de cargas:

Para carga muerta, se tienen los siguientes elementos:

Tabla 2. Carga muerta aplicada en la azotea del edificio de 3 niveles

Descripción	Peso (Kg/m ²)
Impermeabilizante	30
Pendiente de piso	120
Yeso con perfiles de Aluminio	8
Lámparas y accesorios	10

Nota. Tomado de “Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente”, por Bermúdez y Castillo, 2020

Tabla 3. Carga muerta aplicada en el piso típico del edificio de 3 niveles

Descripción	Peso (Kg/m ²)
Yeso con perfiles de Al	30
Ladrillo de cerámica	120
Cascote (3cm)	8
Lámparas y accesorios	10
Paneles de doble electromalla de acero con núcleo de poroplast	150

Tomado de “Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente”, por Bermúdez y Castillo, 2020

Para carga viva, se tiene lo siguiente:

Tabla 4. Carga viva del edificio de 3 niveles

Destino	Peso (Kg/m ²)
Oficinas: Despachos	250
Techo losa con pendiente no mayor a 5%	100

Nota. Tomado de “Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente”, por Bermúdez y Castillo, 2020

Para carga de sismo, se coloca un factor de comportamiento sísmico (Q) de 3, que es para marcos rígidos de acero para ductilidad alta y arriostramiento concéntrico dúctil según el Reglamento Nacional de la Construcción de Nicaragua del 2007 (RNC-07). Se consideró según el AISC 341-10, un sistema estructural de acero de pórticos especiales arriostrados concéntricamente (SCBF).

Además, este edificio solo presenta irregularidad debido a la abertura en el eje X que exceden el 20%, por lo que el valor de Q se reduce a 1/3 de su valor, lo cual resulta un valor de 2.7. Los parámetros sísmicos que se usan son $S=1.5$, $a_o=0.31$, $Q'=2.7$ y $\Omega=2$.

Según el artículo 26 RNC-07, la fórmula para hallar la cortante estática en la base de la edificación es $F_s = C * W_o$, donde $C = S * (2.7 * a_o) / (Q' * \Omega)$. Se utiliza la expresión anterior, el peso total de la estructura (W_o) de 797.14 tonf. Se obtiene $V_x = V_y = 370.67$ tonf como cortantes estáticas en la base de la edificación. En este edificio, se consideraron las combinaciones del artículo 12.4.3.2. del American Society of Civil Engineers (ASCE 7), para el diseño de los elementos estructurales. Estas combinaciones consideran carga muerta de servicio, carga viva de servicio y carga por sismo.

Edificio de acero de 5 pisos

El edificio destinado a oficinas es de 5 pisos, ubicado en la provincia de Pichincha, Ecuador. Presenta en sus cinco niveles una altura de piso a piso de 3.15 m y una tapagrada de 2.50 m. Es así que, se obtiene una altura total de 20.45 m para toda la edificación. Esta

edificación cuenta con un área de techado en cada nivel de 334.90 m² y con un área techada total de 1729 m². Se considera un sistema estructural de acero.

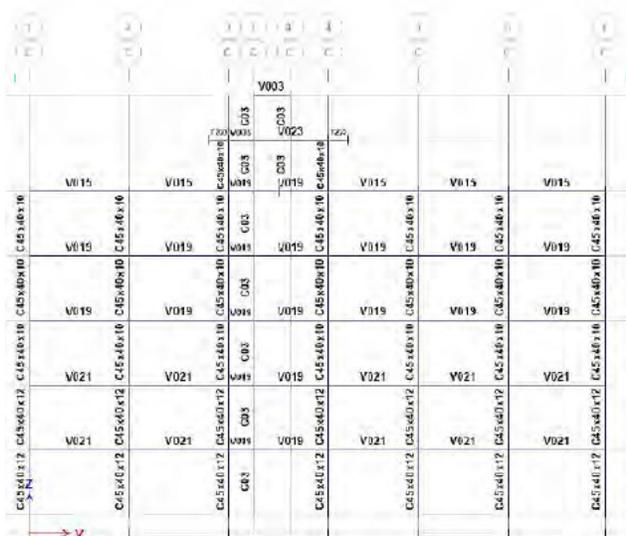


Figura 9. Vista en elevación del edificio de acero de 5 pisos

Tomado de “Estudio comparativo técnico-Económico de un edificio de estructura metálica con pórticos resistentes a momento con columnas de acero huecas y con columnas de acero compuestas rellenas de hormigón”, por Chango y Ruiz, 2021

Metrado de cargas:

Para carga muerta se tienen los siguientes perfiles de acero:

Tabla 5. Pesos de los perfiles estructurales usados para el edificio de 5 niveles

Mc	DIMENSIONES mm	ÁREA m ²	CANTIDAD u	LONGITUD m	PARCIAL Ton	PESO TOTAL Ton
C16	400x450x12	0,0198	14	3,15	0,49	6,86
C17	350x400x12	0,0174	20	3,15	0,43	8,62
C18	400x350x10	0,0146	8	3,15	0,36	2,89
C16x10	400x450x10	0,0166	21	3,15	0,41	8,62
C17x10	350x400x10	0,0146	30	3,15	0,36	10,83
C18x8	400x350x8	0,0117	12	3,15	0,29	3,48
						41,30

Nota. Tomado de “Estudio comparativo técnico-Económico de un edificio de estructura metálica con pórticos resistentes a momento con columnas de acero huecas y con columnas de acero compuestas rellenas de hormigón”, por Chango y Ruiz, 2021

Para carga viva, se emplea una sobrecarga igual a 200 kgf/m² en piso típico, ya que pertenece a una vivienda multifamiliar.

Para carga de sismo, se coloca un factor de reducción de resistencia sísmica (R) de 8, que es para pórticos especiales sismorresistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales

rigidizadoras (excéntricas o concéntricas). Este edificio tiene un sistema estructural formado por pórticos resistente a momentos. Los parámetros sísmicos que se usan son $I= 1$, $S_a= 0.794$, $R= 8$, $\phi_p = 1$, $\phi_E = 1$, $T= 0.805$ ($C_t = 0.072$ y $\alpha = 0.8$: estos valores son para estructuras de acero sin arriostramiento).

Según la norma ecuatoriana de construcción (NEC15), la fórmula para hallar la cortante estática en la base de la edificación es $V=I*S_a*T_a*W/(R*\phi_p*\phi_E)$. Donde I : coef. De importancia, ϕ_p, ϕ_E : Factores de configuración estructural, R : Factor de reducción de resistencia sísmica, W : Carga sísmica reactiva. Se utiliza los datos mencionados anteriormente y el peso sísmico de la estructura (W) de 997.01 tonf. Por lo tanto, se obtiene $V_x = V_y = 98.95$ tonf como cortantes estáticas en la base de la edificación.

En este edificio, se consideraron las combinaciones del American Society of Civil Engineers del 2016, para el diseño de los elementos estructurales. Estas combinaciones consideran carga muerta de servicio, carga viva de servicio y carga por sismo.

3.1.2. Edificios idealizados en Perú.

Edificio de acero de 4 pisos

El edificio multifamiliar es de 4 pisos, presenta en su primer nivel y piso típico una altura igual de piso a piso de 2.60 m. Es así que, se obtiene una altura total de 10.4 m para toda la edificación. Esta edificación cuenta con un área de techado en cada nivel de 99.72 m² y con un área techada total de 398.88 m². Se considera un sistema estructural de acero.

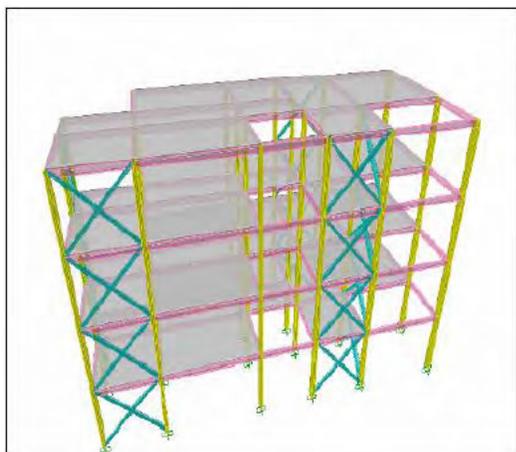


Figura 10. Modelo en Etabs del edificio de acero de 4 pisos

Nota. Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Metrado de cargas:

Para carga muerta, se tienen los siguientes perfiles usados

Tabla 6. Pesos de los perfiles estructurales usados para el edificio de 4 niveles

Perfil	Peso (lb/ft)	Peso (kg/m)
T 150x200x6.0	15.3	31.10
W8x18	18.0	26.78
2L4x4x1/4	13.2	19.65

Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Para carga viva, se emplea una sobrecarga igual a 200 kgf/m^2 en cada nivel, ya que pertenece a una vivienda multifamiliar.

Para carga de sismo, se coloca un coeficiente de reducción de 6, que es para arriostres en cruz según la norma E.030 del 2003. Además, este edificio solo presenta irregularidad de esquina entrante, por lo que el valor de R se reduce a sus $\frac{3}{4}$, lo cual resulta un valor de 4.5 en ambas direcciones. Los parámetros sísmicos para el edificio son: $Z=0.45$, $S=1$, $C=2.5$, $U=1$ y $R_x=R_y=4.5$.

Según la norma peruana E.030, la fórmula para hallar la cortante estática en la base de la edificación es $V = Z*U*C*S*P/(R_o*I_p*I_a)$. Se utiliza la expresión anterior, los parámetros sísmicos y el peso sísmico de 162 tonf, para hallar la cortante estática en la base para ambas direcciones. El coeficiente de amplificación sísmica (C) es igual para ambos ejes, por lo cual, la cortante basal resulta igual para ambas direcciones. Se obtiene $V_x = V_y = 36$ tonf como cortantes estáticas en la base de la edificación.

Para carga de viento, la Norma E.020 de 1985 en 5.3. establece que para edificios de altura de hasta 10m la velocidad mínima adecuada que se emplea para el diseño es 75 km/h. En este caso, para los tres primeros niveles, donde su altura es menor a 10 m, la velocidad de diseño es 75 km/h. Por otro lado, para el cuarto nivel, la velocidad se calcula como $V_h = V_x(h/10)^{0.22}$, lo cual da un resultado de 75.65 km/h.

La carga externa producida por el viento se asumió estática y perpendicular a la superficie donde actúa y se calculó con $Ph = 0.005x C_x V_h^2$. Se reemplaza cada valor de V_h obtenido en la tabla anterior y se asume que los factores de forma (C) para el edificio son de +0.8 en barlovento y de -0.6 en sotavento. Reemplazando los valores se obtienen las siguientes fuerzas que se muestran:

Tabla 7. Velocidad del viento en cada piso del edificio de 4 niveles

C	C	Ph	Ph
barlovento	sotavento	kg/m2	kg/m2
0.8	-0.6	22.89	-17.17
0.8	-0.6	20.17	-15.13
0.8	-0.6	16.87	-12.66
0.8	-0.6	12.44	-9.33

Nota. Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

En este edificio, se consideraron las 6 combinaciones de la norma peruana E.090 del 2006 y solo los casos positivos para el diseño de los elementos estructurales. Estas combinaciones consideran carga muerta de servicio, carga viva de servicio, carga por viento y carga por sismo.

Edificio de acero de 8 pisos

El edificio multifamiliar es de 8 pisos ubicado en Lurigancho - Chosica, presenta en su primer nivel y piso típico una altura igual de piso a piso de 3.00 m. Es así que, se obtiene una altura total de 24 m para toda la edificación. Esta edificación presenta un área techada total de 639 m². Se considera un sistema estructural de acero.

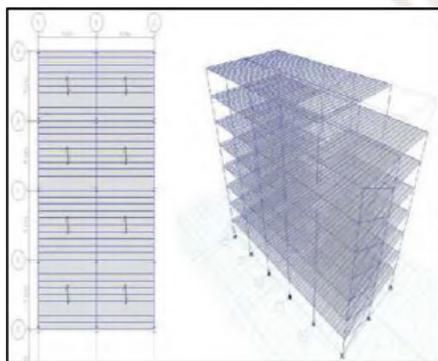


Figura 11. Modelo en Etabs del edificio de acero de 8 pisos

Tomado de “Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares”, por Corzo y Saldaña, 2017

Metrado de cargas:

Para carga muerta, se tienen los siguientes perfiles usados:

Tabla 8. Pesos de los perfiles estructurales usados para el edificio de 8 niveles

PERFIL	PESO (lb/ft)	PESO (kg/m)
W 12X40	40.00	60.00
HSS 12x12x5/16	48.86	72.71
IP140	8.67	12.90
AD-730 gage 20	80.70 lb/ft ²	394.00 kg/m ²

Nota. Tomado de “Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares”, por Corzo y Saldaña, 2017

Para carga viva, se emplea una sobrecarga igual a 200 kgf/m^2 en piso típico, ya que pertenece a una vivienda multifamiliar. Para la azotea, se colocó una sobrecarga de 100 kgf/m^2 . Asimismo, se colocó una sobrecarga adicional para el piso típico de 150 kgf/m^2 y para la azotea, una sobrecarga de 100 kgf/m^2 .

Para carga de sismo, se coloca un coeficiente de reducción de 6, que es para un sistema de Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF) según la norma E.030 del 2016. Además, este edificio es regular, por lo que el valor R mantiene su valor. Los parámetros sísmicos son $Z=0.45$, $S=1$, $U=1$, $C=1.88$ y $R_x=R_y=6$.

Según la norma E.030, la fórmula para hallar la cortante estática en la base de la edificación es $V = Z \cdot U \cdot C \cdot S \cdot P / (R_o \cdot I_p \cdot I_a)$. En la expresión anterior, se usan los datos de los parámetros sísmicos y el peso sísmico de 2006.52 tonf , para hallar la cortante estática en la base para ambas direcciones. El coeficiente de amplificación sísmica (C) es igual para ambos ejes, por lo cual, la cortante basal resulta igual para ambas direcciones. Se obtiene $V_x = V_y = 282.92 \text{ tonf}$ como cortantes estáticas en la base de la edificación.

Para carga de viento, la Norma E.020 de 1985 en 5.3. establece que para edificios de altura de hasta 10 m la velocidad mínima adecuada que se emplea para el diseño es 75 km/h . En este caso, para los tres primeros niveles, donde su altura es menor a 10 m , la velocidad de diseño es 75 km/h . Por otro lado, para los demás niveles, la velocidad es igual a $V_h = V \cdot (h/10)^{0.22}$.

La carga exterior ejercida por el viento se supondrá estática y perpendicular a la superficie donde actúa y se calcula con $Ph = 0.005 \cdot C \cdot V_h^2$. Se reemplaza cada valor de V_h obtenido en la tabla anterior y se asume que los factores de forma (C) para el edificio son de $+0.8$ en barlovento y de -0.6 en sotavento. Reemplazando los valores se obtienen las siguientes fuerzas que se muestran:

Tabla 9. Velocidad del viento en cada piso del edificio de 4 niveles

C	C	Ph	Ph
barlovento	sotavento	kg/m2	kg/m2
0.8	-0.6	22.89	-17.17
0.8	-0.6	20.17	-15.13
0.8	-0.6	16.87	-12.66
0.8	-0.6	12.44	-9.33

Nota. Tomado de “Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares”, por Corzo y Saldaña, 2017

En este edificio, se consideraron las 6 combinaciones de la norma peruana E.090 del 2006 y se consideró ambos casos positivo y negativo para el diseño de los elementos estructurales. Estas combinaciones consideran carga muerta de servicio, carga viva de servicio, carga por sismo y carga de viento.

3.2. Consideraciones de diseño estructural de los sistemas sismorresistentes de edificios de estructura metálica

3.2.1. Edificios idealizados en el extranjero.

Edificio de acero de 3 pisos para oficinas

Como primer ejemplo se tiene un edificio de acero de tres niveles diseñado por Alejandro Bermúdez y Lourdes Castillo (2020), en el cual se muestra los resultados del diseño en estructuras metálicas para este edificio de acero.

Primero, las derivas obtenidas se muestran a continuación y se cumple con el RNC-07 de ser menores a 0.015 para ambas direcciones.

Tabla 10. Derivas en ambas direcciones

Nivel	hi(cm)	Des X (cm)	Δ Des X			Des Y (cm)	Δ Des Y		
			(cm)	Deriva X	Estado		(cm)	Deriva Y	Estado
3	352.00	1.145	0.345	0.005881	Cumple	1.084	0.325	0.005540	Cumple
2	511.60	0.8	0.435	0.005102	Cumple	0.759	0.407	0.004773	Cumple
1	475.80	0.365	0.365	0.004603	Cumple	0.352	0.352	0.004439	Cumple

Nota. Tomado de “Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente”, por Bermúdez y Castillo, 2020

Con respecto al diseño de los principales elementos estructurales de acero según la norma AISC 360-10, se tiene lo siguiente:

Para el diseño de diagonales, cuya función es controlar los desplazamientos laterales del edificio a diseñar, se obtuvo del Etabs una carga axial de 82.024 Kip, con la que se diseña y se escoge el perfil (HSS 5-1/2x5-1/2x3/8) para comprobar que se cumple por compresión ($\phi P_n = 105.813 \text{ Kip} > P_u = 82.024 \text{ Kip}$).

Para el diseño de vigas, se empleó el método LRFD y se usó los valores de momentos flectores para elegir el perfil W10x19 que se indica en la siguiente figura:

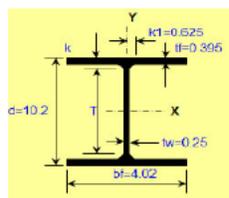


Figura 12. Perfil de viga metálica W 10x19

Tomado de “Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente”, por Bermúdez y Castillo, 2020

Con el perfil elegido se verificó la compacidad del ala y el alma. Además, se comprueba el estado límite de fluencia ($\phi M_n = 335.205 \text{ Kip-in} > M_u = 213.66 \text{ Kip-in}$) y el estado límite de pandeo lateral torsional ($L_b = 196.85 \text{ in} > L_r = 116.76 \text{ in}$). Por último, se realizó la revisión por cortante donde el $\phi V_n = 76.50 \text{ Kip}$ resultó mayor a $V_u = 9.28 \text{ Kip}$.

Para el diseño de columna, se realizó diseño con las cargas axiales y momentos y se eligió el perfil W 14x68:

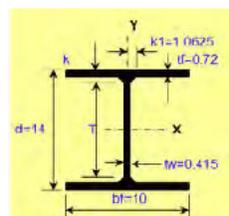


Figura 13. Perfil de columna metálica W 14x68

Tomado de “Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente”, por Bermúdez y Castillo, 2020

Con el perfil elegido se verificó la resistencia de diseño en compresión para pandeo por flexión según el método LRFD. Para lo cual se identificó primero si el pórtico es arriostrado o no para obtener el parámetro de esbeltez. Luego, se halló $KL/r = 64.016 < 113.432$, con el cual se halló $\phi P_n = 666.98 \text{ Kip}$, que resultó mayor al $P_u = 444.939 \text{ Kip}$ obtenido del Etabs.

Para el caso de la losa continua, se empleó techos rígidos y resistentes con una pendiente no mayor al 5%.

Con respecto al diseño de una conexión a cortante simple, se siguieron las condiciones para determinar la resistencia de la conexión disponible según el AISC y se obtuvo la siguiente distribución de pernos en la conexión de viga – columna.

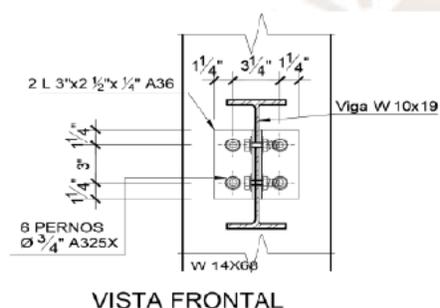


Figura 14. Ubicación de los conectores de corte en la viga-columna

Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Por último, para el diseño de pernos de anclaje en la placa base se empleó 6 pernos de 1” de acero A36, como se muestra en la siguiente imagen:

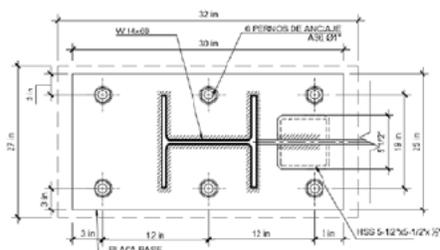


Figura 15. Detalle de ubicación de pernos en placa base

Tomado de “Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente”, por Bermúdez y Castillo, 2020

Edificio multifamiliar de acero de 5 pisos

Como segundo ejemplo se tiene un edificio de acero de cinco niveles diseñado por Byron Chango y Karla Ruiz (2021), en el cual se muestra los resultados del diseño en estructuras metálicas para el caso del modelo 4 con columnas metálicas huecas.

Primero, las derivas obtenidas se muestran a continuación y se cumple con el NEC-2015 de ser menores a 0.020 para ambas direcciones.

Tabla 11. Derivas en ambas direcciones

Story	Output Case	Ux m	Uy m	Uz m	Altura m	Deriva %	NEC 15 %	VERIFICACIÓN	Story	Output Case	Ux m	Uy m	Uz m	Altura m	Deriva %	NEC 15 %	VERIFICACIÓN
Cubierta ascensor	Desplaza XD	0.2025	0.0068	0.0010	2.2	0.09%	2%	CUMPLE	Cubierta ascensor	Desplaza YD	0.0156	0.2426	0.0062	2.2	-0.38%	2%	CUMPLE
Tapagrada	Desplaza XD	0.2011	0.0066	0.0006	2.5	-1.13%	2%	CUMPLE	Tapagrada	Desplaza YD	0.0002	0.2502	0.0006	2.5	0.02%	2%	CUMPLE
Terraza	Desplaza XD	0.2293	0.0446	0.0010	3.15	1.10%	2%	CUMPLE	Terraza	Desplaza YD	0.0111	0.2297	0.0003	3.15	1.16%	2%	CUMPLE
Cuarto Piso	Desplaza XD	0.1948	0.0379	0.0015	3.15	1.47%	2%	CUMPLE	Cuarto Piso	Desplaza YD	0.0050	0.1931	0.0003	3.15	1.57%	2%	CUMPLE
Tercer Piso	Desplaza XD	0.1484	0.0285	0.0014	3.15	1.81%	2%	CUMPLE	Tercer Piso	Desplaza YD	0.0069	0.1435	0.0003	3.15	1.85%	2%	CUMPLE
Segundo Piso	Desplaza XD	0.0905	0.0173	0.0012	3.15	1.81%	2%	CUMPLE	Segundo Piso	Desplaza YD	0.0042	0.0654	0.0003	3.15	1.74%	2%	CUMPLE
Primer Piso	Desplaza XD	0.0336	0.0064	0.0009	3.15	1.07%	2%	CUMPLE	Primer Piso	Desplaza YD	0.0016	0.0307	0.0003	3.15	0.97%	2%	CUMPLE

Nota. Tomado de “Estudio comparativo técnico-Económico de un edificio de estructura metálica con pórticos resistentes a momento con columnas de acero huecas y con columnas de acero compuestas rellenas de hormigón”, por Chango y Ruiz, 2021

Con respecto al diseño de los principales elementos estructurales de acero según la norma AISC 360-10, se tiene lo siguiente:

Para el diseño de vigas principales, se empleó el método LRFD y se usó los valores de momentos flectores para elegir el perfil que se muestra a continuación:

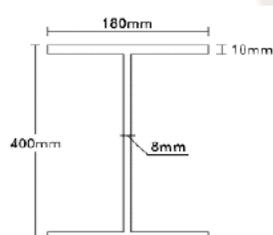


Figura 16. Perfil de la viga principal V027

Tomado de “Estudio comparativo técnico-Económico de un edificio de estructura metálica con pórticos resistentes a momento con columnas de acero huecas y con columnas de acero compuestas rellenas de hormigón”, por Chango y Ruiz, 2021

Con el perfil elegido se comprueba la resistencia a flexión ($\phi M_n = 25.07 \text{ tonf}\cdot\text{m} > M_u = 13.61 \text{ tonf}\cdot\text{m}$) y el estado límite de pandeo lateral torsional ($L_b = 1.50 \text{ m} < L_p = 1.94 \text{ m}$). Por último, se realizó la revisión por cortante donde el $\phi V_n = 46.14 \text{ tonf}$ resultó mayor a $V_u = 10.93 \text{ tonf}$.

Para el diseño de columna, se realizó diseño con las cargas axiales y momentos y se eligió el perfil HSS C400x450x12:

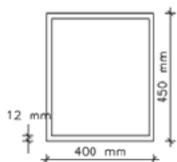


Figura 17. Perfil de columna metálica HSS C400x450x12

Tomado de “Estudio comparativo técnico-Económico de un edificio de estructura metálica con pórticos resistentes a momento con columnas de acero huecas y con columnas de acero compuestas rellenas de hormigón”, por Chango y Ruiz, 2021

Con el perfil elegido se verificó la resistencia de diseño en compresión para pandeo por flexión según el método LRFD. Para lo cual se identificó primero si el pórtico es arriostrado o no para obtener el parámetro de esbeltez. Luego, se halló $L_c/r = 19.58 < 135.70$, con el cual se halló $\phi P_n = 491.82$ tonf, que resultó mayor al $P_u = 139.86$ tonf.

Para el caso de la losa, se consideró una placa colaborante sismorresistente, cuya placa con panel metálico de 0.76 mm de espesor, 55 mm de onda y 60 mm de altura de hormigón considerando una separación no mayor a 2.20 m.

Con respecto al diseño de la conexión viga-columna, se verificó la conexión de columna fuerte y columna débil, para ello se obtuvo la división de la sumatoria de momentos plásticos de la columna y de las vigas que se conectan a esta que resultó 1.33 mayor a 1.00.

3.2.2. Edificios multifamiliares idealizados en Perú

Edificio multifamiliar de acero de 4 pisos

Como primer ejemplo se tiene al edificio multifamiliar diseñado por Ambar Tong (2014), en el cual se muestra los resultados del diseño en estructuras metálicas para este edificio de acero.

Primero, los desplazamientos y derivas obtenidos se muestran a continuación y se cumple con la norma E.030 de ser menores a 0.010 para ambas direcciones.

Tabla 12. Desplazamientos y derivas

PISO	Desplazamiento		PISO	Distorsión		Distorsión	Verificación	
	X (cm)	Y (cm)		X (cm)	Y (cm)		< 0.010	< 0.010
PISO 4	3.25	3.62	PISO 4	0.0033	OK	0.0040	OK	
PISO 3	2.40	2.58	PISO 3	0.0037	OK	0.0042	OK	
PISO 2	1.46	1.50	PISO 2	0.0034	OK	0.0036	OK	
PISO 1	0.59	0.56	PISO 1	0.0023	OK	0.0022	OK	

Nota. Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Con respecto al diseño de los principales elementos estructurales de acero según la norma peruana E.090 del 2006, se tiene lo siguiente:

Para el diseño de diagonales, cuya función es controlar los desplazamientos laterales del edificio a diseñar, se obtuvo del Etabs una carga axial de 2.35 tonf, con la que se diseña y se escoge el perfil (2L4x4x1/4) para comprobar que se cumple por compresión ($\phi P_n = 45.21 \text{ tonf} > P_u = 2.35 \text{ tonf}$).

Para el diseño de vigas, se empleó el método LRFD y se usó los diagramas de momentos flectores para elegir el perfil W8x18 que se muestra a continuación:

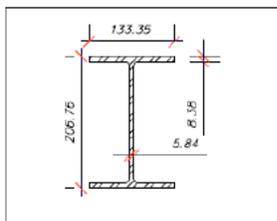


Figura 18. Perfil W8x18

Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Con el perfil elegido se verificó la compacidad del ala y el alma. Además, se comprueba el estado límite de fluencia ($\phi M_n = 6.34 \text{ tonf-m} > M_u = 1.95 \text{ tonf-m}$) y el estado límite de pandeo

lateral torsional ($L_p = 158.42 \text{ cm} < L_r = 457.68 \text{ cm}$). Por último, se comprueba, que las deflexiones son menores al máximo según la norma ($\Delta = 0.88 \text{ cm} < \Delta_{\text{permisible}} = 1.19 \text{ cm}$).

Para el diseño de columna, se realizó diseño con las cargas axiales y momentos y se eligió el perfil tubular de 10 cm x 20 cm x 0.60 cm.

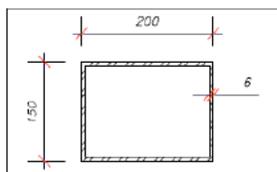


Figura 19. Perfil de columna metálica 10 cm x 20 cm x 0.60 cm

Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Con el perfil elegido se verificó la resistencia de diseño en compresión para pandeo por flexión según el método LRFD. Para lo cual se identificó primero si el pórtico es arriostrado o no para obtener el parámetro de esbeltez. Luego, se halló $\lambda_c = 0.47 < 1.50$, con el cual se halló $\phi P_n = 79.50 \text{ tonf}$, que resultó mayor al $P_u = 50.32 \text{ tonf}$ obtenido del Etabs.

Para el diseño de losa colaborante, se empleó un espesor de 13 cm y la losa será de tipo AD-600 de Acero-Deck cuyo peralte es de 60 mm y ancho de 920 mm, con un calibre de 20.

Con respecto al diseño de conectores de corte, primero para la resistencia nominal máxima según el método LRFD donde se obtuvo $Q_n = 4.09 \text{ tonf}$ menor a $Asc. F_u = 5.18 \text{ tonf}$. Luego, para la resistencia nominal de corte horizontal se obtuvo 18 conectores de corte (para la viga del eje B entre ejes 2 y 4) y un espaciamiento de 20 cm.

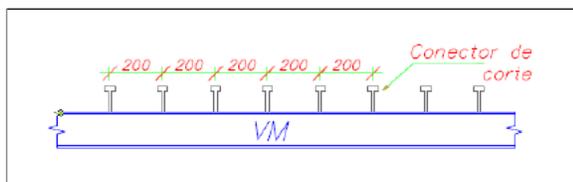


Figura 20. Ubicación de los conectores de corte en la viga

Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Por último, para los siguientes diseños se empleó el método LRFD. Para el diseño de la soldadura se eligió el proceso de soldadura de arco metálico protegido y para el diseño de pernos de anclaje se empleó 4 pernos de 5/8" cada uno que resiste 4.00 tonf.

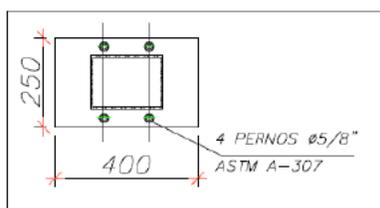


Figura 21. Detalle de ubicación de pernos en placa base

Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Edificio multifamiliar de acero de 8 pisos

Como segundo ejemplo se tiene al edificio multifamiliar diseñado por Denis Corzo e Izza Saldaña (2017), en el cual se muestra los resultados del diseño en estructuras metálicas para este edificio de acero.

Primero, los desplazamientos y derivas obtenidos se muestran a continuación y se cumple con la norma E.030 de ser menores a 0.010.

Tabla 13. Desplazamientos y derivas para el caso más crítico

PISO	Dirección X Nudo B y C	
	DESPLAZAMIENTO	DISTORSION
8	6.20 mm	0.0020
7	5.02 mm	0.0020
6	3.90 mm	0.0020
5	2.86 mm	0.0014
4	1.93 mm	0.0012
3	1.14 mm	0.0010
2	0.53 mm	0.0006
1	0.14 mm	0.0006

Nota. Tomado de “Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares”, por Corzo y Saldaña, 2017

Con respecto al diseño de los principales elementos estructurales de acero según la norma peruana E.090 del 2006, se tiene lo siguiente:

Para el diseño de diagonales, cuya función es controlar los desplazamientos laterales del edificio a diseñar, se obtuvo del Etabs una carga axial de 42.80 tonf, con la que se diseña y se escoge el perfil (WF 12 x 40) para comprobar que se cumple por compresión ($\phi P_n = 162.03 \text{ tonf} > P_u = 42.80 \text{ tonf}$).

Para el diseño de vigas, se empleó el método LRFD y se usó los diagramas de momentos flectores para elegir el perfil W12x40. Una vez seleccionado el perfil se verificó la compacidad del ala y el alma. Además, se comprueba el estado límite de fluencia ($\phi M_n = 21.27 \text{ tonf}\cdot\text{m} > M_u = 8.86 \text{ tonf}\cdot\text{m}$) y el estado límite de pandeo lateral torsional ($L_p = 249 \text{ cm} > L_r = 187 \text{ cm}$). Por último, se comprueba, que las deflexiones son menores al máximo según la norma ($\Delta = 0.72 \text{ cm} < \Delta_{\text{permisible}} = 1.67 \text{ cm}$).

Para el diseño de columna, se realizó diseño con las cargas axiales y momentos y se eligió el perfil tubular de 30.50 cm x 30.50 cm x 0.80 cm.

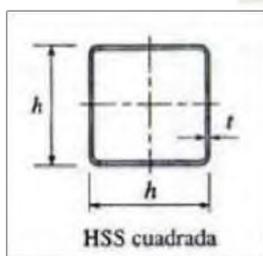


Figura 22. Perfil de columna metálica 30.50 cm x 30.50 cm x 0.80 cm

Tomado de “Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares”, por Corzo y Saldaña, 2017

Con el perfil elegido se verificó la resistencia de diseño en compresión para pandeo por flexión según el método LRFD. Para lo cual se identificó primero si el pórtico es arriostrado o no para obtener el parámetro de esbeltez. Luego, se halló $\lambda_c = 0.31 < 1.50$, con el cual se halló $\phi P_n = 228.23 \text{ tonf}$, que resultó mayor al $P_u = 143.52 \text{ tonf}$ obtenido del Etabs.

Para el diseño de losa colaborante, se empleó un espesor de 20 cm y la losa será de tipo AD-730 de Acero-Deck cuyo peralte es de 75 mm y ancho de 900 mm, con un calibre de 20.

Con respecto al diseño de conectores de corte, primero para la resistencia nominal máxima según el método LRFD donde se obtuvo $Q_n = 6.44$ tonf menor a $A_{sc} \cdot F_u = 7.77$ tonf. Luego, para la resistencia nominal de corte horizontal se obtuvo 12 conectores de corte y un espaciamiento de 50 cm.

Por último, para los siguientes diseños se empleó el método LRFD. Para el diseño de la soldadura se eligió el proceso de soldadura de arco metálico protegido (SMAW) con el tipo de filete y para el diseño de pernos de anclaje se empleó 10 pernos de 32 mm cada uno que resiste 14.40 tonf.

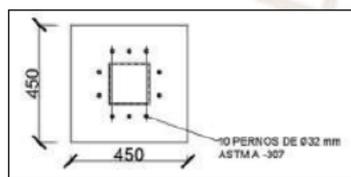


Figura 23. Detalle de ubicación de pernos en placa base

Tomado de “Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares”, por Corzo y Saldaña, 2017

3.3. Comparativa de sistemas estructurales en acero y concreto armado de viviendas multifamiliares

3.3.1. Ventajas y desventajas de edificios de concreto armado y acero en el Perú

Según Tong (2014) menciona las ventajas y desventajas entre el concreto armado y acero estructural. Para ello se diseñó una vivienda multifamiliar de 4 niveles con sistema aporticado de concreto armado y sistema aporticado arriostrado concéntricamente para el acero estructural.

Tabla 14. Ventajas y desventajas de edificios de concreto armado y acero

CONCRETO ARMADO		ACERO ESTRUCTURAL	
VENTAJAS	DÉSVENTAJAS	VENTAJAS	DÉSVENTAJAS
Durable a lo largo del tiempo	Poca resistencia a la tracción.	Alta resistencia	Costo protección contra el fuego.
Gran resistencia a la compresión.	Requiere encofrado (habilitación, vaciado, desencofrado).	Uniformidad	Susceptibilidad al pandeo
Resistente al efecto del agua.	No puede cubrir grandes luces sin aumentar secciones.	Elasticidad	Fatiga
Se le puede dar la forma que uno desea.	Permanente control de calidad.	Ductilidad	Fatiga trafil.
Confiere carácter monolítico		Ampliación de estructuras existentes.	
No requiere mano de obra muy calificada.		Facilidad al unir diversos miembros mediante las conexiones.	
		Rapidez de montaje.	
		Reuso posible después de desmontar la estructura.	

Nota. Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Según Corzo y Saldaña (2017) menciona las diferencias entre ambos sistemas estructurales. Para ello se diseñó una vivienda multifamiliar de 8 niveles con sistema aporticado y placas de concreto armado, y sistema aporticado arriostrado concéntricamente de acero estructural.

Tabla 15. Comparación de sistemas estructurales

MATERIAL	CONCRETO ARMADO	ACERO ESTRUCTURAL
Mano de obra	No requiere mano de obra muy calificada	Requiere mano de obra calificada
Encofrado	Incluye habilitación, vaciado y desencofrado	No requiere encofrado
Tiempo de ejecución	Requiere más tiempo para la ejecución de la estructura	El montaje de la estructura no implica un tiempo considerable.
Agua	Es resistente al agua	No es resistente al agua
Mantenimiento	Menor costo de mantenimiento	Costo alto de mantenimiento
Costo	Mayor costo	Menor costo
Acabado	Requiere control continuo al momento del vaciado, vibrado	Acabado uniforme, debido a los perfiles fabricados.
Medio ambiente	No es un material reciclable.	Es un material reciclable

Nota. Tomado de “Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares”, por Corzo y Saldaña, 2017

3.3.2 Indicadores económicos de los sistemas estructurales en concreto armado y acero estructural en Perú

Según Tong (2014) se muestra los presupuestos del edificio de 4 niveles entre el concreto armado y acero estructural. Se puede apreciar el costo en concreto de S/ 147,305.02 y de acero

estructural en S/ 254,331.79, lo cual indica un costo más elevado a nivel de presupuesto en acero en viviendas multifamiliares.

Tabla 16. Comparación de presupuestos de los sistemas estructurales

MATERIAL	CONCRETO	ACERO
Precio total (S/.)	147,305.02	254,331.79
Costo por m2	369.19	637.42
Tiempo de construcción (días)	135	47

Nota. Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Sin embargo, se puede apreciar que el tiempo de construcción para el concreto es de 135 días y de 47 para el acero estructural. Esta diferencia de tiempos se traduce en ahorro económico con el acero estructural a diferencia del concreto armado. Este ahorro de 88 días implica S/ 105,811.20 nuevos soles.

Tabla 17. Costo de 88 días de diferencia de los sistemas estructurales

Costo por 88 días				
Mano de obra	S/.	h	Total	
Soldador	HH 22.10	704	15558.4	
Operario	HH 17.00	704	11968.0	
Equipos				
Maquina de soldar trifasica	HM 11.2	704	7884.8	
Camión Grúa	HM 100	704	70400.0	
			S/ 105,811.20	

Nota. Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

El ahorro generado por el acero de S/ 105,811.20 reduce su costo elevado de presupuesto. Por lo cual, mediante una diferencia de S/ 254,331.79 – S/ 105,811.20 nos queda S/ 148,520.59 como nuevo costo total para el acero.



Figura 24. Gráfico de costo final de los sistemas estructurales

Tomado de “Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares”, por Tong, 2014

Del gráfico, se puede ver en rasgos económicos que resulta, por una diferencia muy ínfima, más económico construir en concreto armado que en acero estructural. La diferencia de S/ 148,520.59 – S/147,305.02 es igual a S/ 1,215.57 nuevos soles. Es decir, este monto se ahorra al construir en concreto armado que en acero estructural una vivienda multifamiliar de 4 niveles.

Según Corzo y Saldaña (2017) se obtuvo un costo en concreto de S/ 2,285,723.13 y de acero estructural en S/ 1,694,644.56, lo que indica un costo más elevado a nivel de presupuesto en concreto para el edificio de 8 pisos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 18. Comparación de costos

MATERIAL	CONCRETO ARMADO	ACERO ESTRUCTURAL
Costo (s/.)	S/. 2,285,723.13	S/. 1,694,644.56
Costo (\$) T.C. (3.25)	\$ 703,299.43	\$ 521,429.09
Costo (\$) por m2	\$ 266.50	\$ 197.59
tiempo de construcción (días)	113	63

Nota. Tomado de “Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares”, por Corzo y Saldaña, 2017

Además, se observa que existe una diferencia de tiempos de 50 días en la construcción de acero con respecto a la construcción en concreto armado, la cual produce un ahorro económico que reduce aún más el costo del edificio construido de acero estructural.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Existe la posibilidad de construir edificios de estructuras metálicas en su totalidad, ya que anteriormente se mostró dos ejemplos de dos edificios multifamiliares diseñados de acero estructural. Sin embargo, en el Perú se tiene una deficiencia del desarrollo de la industria complementaria que provea el material del acero estructural, por lo que, solo se deben considerar las propiedades del material que solo existen en el mercado actual.

En el Perú, los edificios de acero estructural idealizados antes del 2018, utilizaron pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF) donde el coeficiente básico de reducción era de 6. Actualmente ese coeficiente, en la norma peruana E.030 del 2018, se ha reducido a 4. Por lo que, la cortante estática basal aumenta.

En las dos tesis de Perú se utilizaron pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF). En el extranjero, en la tesis de Nicaragua, se utilizó un sistema estructural de acero de pórticos especiales arriostrados concéntricamente (SCBF), y en la tesis de Ecuador, se utilizó un sistema estructural formado por pórticos resistente a momentos.

Se concluye que, para el diseño de estructuras metálicas, ya sea en el Perú o en el extranjero (Nicaragua y Ecuador), está reglamentada según las normas correspondientes a su país. No obstante, cada norma es muy parecida a las demás debido a que se basan mayormente en el estándar nacional estadounidense del AISC 360-10 editada por el organismo de “American Institute of Steel Construction (AISC)”.

En la actualidad para el diseño de estructuras metálicas en el Perú, se basa mayormente en el diseño por resistencia (LRFD), el cual también se aplica para los demás casos analizados de los otros dos países de Nicaragua y Ecuador.

Los sistemas estructurales empleados para los dos casos analizados en el Perú, emplearon elementos de acero para las columnas, vigas, diagonales y losa colaborante. Para los casos del extranjero, para el edificio de Nicaragua se empleó de igual forma elementos de acero para las columnas, vigas y diagonales, exceptuando para las losas; y para el edificio de Ecuador solo se empleó columnas, vigas y losas colaborante de acuerdo al sistema estructural elegido sin riostras. Además, los perfiles de acero utilizados varían de acuerdo a la elección del diseño respectivo del edificio de acero estructural.

De las comparaciones de edificios de concreto armado y acero respecto a sus indicadores económicos se concluye que, si bien es más caro construir en acero estructural para el edificio multifamiliar de 4 pisos, esta diferencia se reduce debido a la menor cantidad de días que dura la construcción de un edificio de acero y así disminuir el costo para el sistema estructural de acero. Para el caso del edificio de 8 pisos, el costo para el concreto es mucho mayor con respecto al de acero estructural, incluso la diferencia será aún mayor si se considera el ahorro debido a los tiempos de ejecución.

En conclusión, para un edificio de pocos niveles es más conveniente construirlo de acero, ya que, los costos son muy parecidos y además se puede construir más edificios en ese tiempo ahorrado. Con respecto a los edificios de 5 a más pisos, el costo de acero es mucho más barato que del concreto, pero se requiere de una industria complementaria adecuada que actualmente no está muy capacitada.

Existen diferentes ventajas y desventajas para los edificios de acero y concreto, en las cuales las más importantes corresponden a la mano de obra calificada y altos costos de mantenimiento como desventajas para el acero y con respecto al concreto que requiere mayor

tiempo de ejecución y no es un material reciclable. Por lo cual, depende del proyectista elegir la opción más adecuada a las necesidades del proyecto a construir.

4.2. Recomendaciones

Se debe analizar con más profundidad los siguientes temas:

En estructuras metálicas, se recomienda una mejor distribución de los elementos para que el centro de masas (CM) coincida con el centro de rigidez (CR) y así evitar efectos de torsión para garantizar un mejor desempeño estructural.

Para el diseño de los perfiles estructurales de acero, se recomienda utilizar las normas americanas, para validar los resultados obtenidos y complementar lo que no se especifica en las normas nacionales, como algunos ensayos experimentales que solo son hechos en Estados Unidos.

Se recomienda una mayor investigación de edificios multifamiliares de estructuras metálicas de diferentes países para una mejor comparación respecto a los diseñados en el país.

Se recomienda para los casos analizados de los edificios de estructura metálica, analizarlos de acuerdo a metodología Lean Construction para una mejor comparación en los tiempos y costos respecto a los edificios de concreto armado.

Si bien construir con acero estructural una vivienda multifamiliar de 8 pisos puede generar una inversión económicamente con respecto al concreto armado, a largo plazo el mantenimiento de este es costoso, debido a la escasez de mano de obra calificada, y este es sensible al deterioro. Se recomienda promover más capacitaciones y que se difunda más este conocimiento por parte del Estado, a todas las generaciones, y así obtener más ofertas en la prestación de estos servicios.

5. Bibliografía

- Alvarez, B. O., & Chazaro, R. (2018). *Eleccion de tipo de acero para estructuras*. Lima -Perú: El acero Hoy.
- ANSI/AISC 341 (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. ANSI/AISC 341-16. American Institute of Steel Construction.
- ANSI/AISC 360 (2016). *Specifications for Structural Steel Buildings*. ANSI/AISC 360-10. American Institute of Steel Construction
- Balcazar, W. (2021). *Diseño estructural de edificio de viviendas de 11 pisos de muros de concreto armado*. Lima: repositorio institucional HANDLE.
- Bermudez, F., & Castillo, A. L. (2020). *Diseño sismorresistente de un edificio de acero de tres niveles con sistema de marcos especiales arriostrados concéntricamente*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Managua-Nicaragua. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción.
- Bernabe, C. K., & Paredes, C. C. (2021). *Diseño estructural en acero de un edificio de diez niveles para oficinas, usando riostras de pandeo restringido; en la ciudad de Trujillo - La Libertad*. Trujillo-Perú.: UPAO Repositorio institucional .
- Carrasco, P. E. (2020). *Diseño estructural en concreto armado de un edificio de forma irregular para vivienda*. Lima: Repositorio institucional USIL.
- Chango, G., & Ruiz, B. K. (2021). *Estudio comparativo técnico-económico de un edificio de estructura metálica con pórticos resistentes a momento con columnas de acero huecas y con columnas de acero compuestas rellenas de hormigón*. Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil con mención en Estructuras. Quito-Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Corzo, S., & Saldaña, G. Y. (2017). *Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Lima-Perú. Universidad de San Martín de Porres, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Crisafulli, F. (2018). *Diseño sismorresistente de estructuras de acero*. Mendoza-Argentina.: Asociacion latinoamericana de acero.
- Cuellar, M., & al, e. (2021). *Comparacion del comportamiento estructural y económico de los diferentes sistemas de losas de entrepiso, usados en estructuras de concreto reforzado para edificios de cinco pisos de altura*. Lima: Repositorio UDISTRITAL.

- Escobedo Garcia, J. L., & Vidal Vidal, J. R. (2020). *Reforzamiento estructural de una edificación de concreto armado implementando disipadores de fluencia - Lima, Perú.*
- Hibbeler R. C. (2011). *Mecánica de materiales*. Octava edición. Ed. Pearson.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2015). *Diseño de estructuras de acero*. México D.F.: Alfaomega.
- Melendez, P. S. (2021). *Análisis estructural del desempeño sísmico del edificio de la carrera de ingeniería civil mediante la medición de vibraciones*. Ambato.: Universidad técnica de Ambato.
- NEC-SE-AC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Estructuras de acero*.
- NEC-SE-DS. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Cargas Sísmicas Diseño Sismorresistente*.
- Razo, T. (2021). *Diseño estructural del edificio de posgrado de la universidad técnica de Cotopaxi para garantizar su correcto desempeño sísmico*. Ambato: Universidad técnica de Ambato.
- RNC. (2007). *Reglamento Nacional de Construcción*. Nicaragua.
- Sencico, *Norma técnica de edificación E.020 Cargas (1985)* Junio. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Sencico, *Norma técnica de edificación E.020 Cargas (2006)* Marzo. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Sencico, *Norma técnica de edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2003)* Abril. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Sencico, *Norma técnica de edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2016)* Abril. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Sencico, *Norma técnica de edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2018)* Octubre. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Sencico, *Norma técnica de edificación E.090 Estructuras Metálicas (2006)* Junio. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

- Tong, S. A. (2014). *Factibilidad del uso de estructuras metálicas en el diseño de viviendas multifamiliares*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Lima-Perú. Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería.
- Velasco, F. L . (2021). *Sistema de doble fachada a partir de acero, aluminio, vidrio para edificios autosustentables*. Guayaquil: repositorio institucional ULVR.
- Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero. En comportamiento de LRFD*. México .DF.: McGRAW HILL / INTERAMERICANNA.
- Zapata, B. L. (2018). *Diseño estructural de acero*. Lima -Perú: Colegio de ingenieros del Perú.

