



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ALTURAS PERMISIBLES PARA EL DISEÑO DE
MUROS DE CORTE, EN NAVES INDUSTRIALES DE ACERO**

Oscar Alexander Macz de la Cruz

Asesor: Msc. Ing. Víctor Alberto Betancourth Balan

Guatemala, agosto de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ALTURAS PERMISIBLES PARA EL DISEÑO DE
MUROS DE CORTE, EN NAVES INDUSTRIALES DE ACERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

OSCAR ALEXANDER MACZ DE LA CRUZ

ASESORADO POR MSC. ING. VÍCTOR ALBERTO BETANCOURTH BALAN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| VOCAL I | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| VOCAL II | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente |
| VOCAL V | Br. Fernando José Paz González |
| SECRETARIA | Ing. Hugo Humberto Rivera Perez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| EXAMINADOR | Inga. Carmen Marina Mérida Alva |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ALTURAS PERMISIBLES PARA EL DISEÑO DE MUROS DE CORTE, EN NAVES INDUSTRIALES DE ACERO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería civil, con fecha 24 de enero del 2022

Oscar Alexander Macz de la Cruz



EEPFI-PP-0389-2022

Guatemala, 14 de enero de 2022

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingenieria Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **ALTURAS PERMISIBLES PARA EL DISEÑO DE MUROS DE CORTE, EN NAVES INDUSTRIALES DE ACERO.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Análisis y Diseño Estructural y Estructuras Complejas - Respuesta estructural**, presentado por el estudiante **Oscar Alexander Macz De La Cruz** carné número **200041672**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en CIENCIAS en Estructuras.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

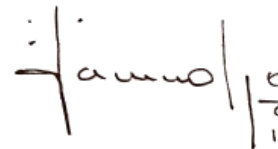
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

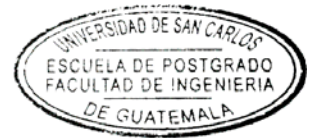


Victor Betancourth
Ingeniero Civil
Msc. en Estructuras
Colegiado 3,477

Mtro. Victor Alberto Betancourth Balan
Asesor(a)



Mtro. Armando Fuentes Roca
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP.EIC.0389.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ALTURAS PERMISIBLES PARA EL DISEÑO DE MUROS DE CORTE, EN NAVES INDUSTRIALES DE ACERO.**, presentado por el estudiante universitario **Oscar Alexander Macz De La Cruz**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela De Ingenieria Civil

Guatemala, enero de 2022



LNG.DECANATO.OI.573.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ALTURAS PERMISIBLES PARA EL DISEÑO DE MUROS DE CORTE, EN NAVES INDUSTRIALES DE ACERO**, presentado por: **Oscar Alexander Macz de la Cruz**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, agosto de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|------------------------------|--|
| Dios | Por su protección, sabiduría, salud y vida. |
| Mis padres | Los verdaderos artífices de este éxito. |
| Mis hermanas | Por sus valiosas palabras de apoyo. |
| Mis hermanos | Por su compañía para alcanzar este logro. |
| Mi esposa e hijos | De quienes seré el ejemplo a seguir. |
| Mis tios y abuelos | Raices que llevaré siempre en el corazón. |
| Mi familia en general | Que de una u otro forma me tendieron una mano. |

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por su valioso aporte a mi formación como profesional de la ingeniería.

Mis amigos Por cada grano de arena que me aportaron.

Mi asesor Por su apoyo, interés y compromiso.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | III |
| INTRODUCCIÓN | V |
| ANTECEDENTES..... | XI |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | XVII |
| JUSTIFICACIÓN..... | XXI |
| OBJETIVOS..... | XXV |
| ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN | XXVII |
| | |
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| | |
| 2. NAVES INDUSTRIALES | 3 |
| 2.1. Clasificación de las naves industriales por tipo de marco..... | 3 |
| 2.2. Partes de una nave industrial | 5 |
| 2.3. Acciones permanentes | 6 |
| 2.4. Acciones variables..... | 7 |
| 2.5. Analisis estructural | 8 |
| 2.6. Métodos de diseño | 10 |
| 2.6.1. Metodo ASD | 10 |
| 2.6.2. Método LRFD | 11 |
| 2.6.3. Factores de carga..... | 12 |
| 2.6.4. Factores de resistencia..... | 12 |
| | |
| 3. MUROS DE CORTE | 13 |
| 3.1. Ubicación de muros..... | 14 |
| 3.2. Tipos de falla en muros de corte | 15 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.3. | El muro como parte de un sistema estructural resistente..... | 15 |
| 3.4. | Resistencia a cortante..... | 16 |
| 3.5. | Mampostería con buen desempeño estructural | 17 |
| 3.6. | Resistencia lateral de la mampostería confinada..... | 18 |
| HIPÓTESIS | | 19 |
| PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO..... | | 21 |
| METODOLOGÍA..... | | 25 |
| TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN | | 27 |
| CRONOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN..... | | 31 |
| FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN..... | | 33 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 35 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Tipos de marcos..... 4
2. Isométrico de las partes de la nave industrial..... 6

TABLAS

- I. Resumen de la metodología del desarrollo del trabajo 25
- II. Tiempo de ejecución 31
- III. Presupuesto de ejecución 34

INTRODUCCIÓN

El acero se constituye como uno de los materiales en la actualidad con mayor presencia en el mercado, y es tal la presencia que está prácticamente en todos los procesos constructivos de nuestro diario vivir. El acero cuenta con gran éxito que se debe a su funcionalidad la que viene ligada a sus propiedades físicas que le aportan durabilidad y flexibilidad. El acero podría considerarse como el mejor material en la construcción de una nave industrial, debido a su alto control de calidad en su fabricación y sumado a los tiempos cortos para su implementación.

Los muros de cortante son usados para resistir fuerzas laterales o como muros de carga, el muro cortante actúa como una viga vertical en voladizo y al proporcionar soporte lateral, este queda sometido a flexión y fuerza cortante. En base a lo anterior podemos indicar que los muros de corte pueden ser de gran utilidad al ser incorporados de forma correcta a un sistema combinado.

Los muros de corte son todavía más importantes en zonas altamente vulnerables ya que proporcionan la estabilidad y seguridad estructural, que una edificación solicita ante eventos sísmicos o acciones del viento.

La seguridad estructural que una edificación pueda proporcionar a sus ocupantes, también, es de suma importancia ya que genera confianza y tranquilidad al personal que las utiliza.

Las naves industriales, recientemente, han pasado a ser una parte importante en desarrollo económico del país, esto se debe a que dichas

estructuras pueden ser construidas para bodegas de almacenamiento de grandes luces y dimensiones, sin que se tengan obstáculos internos que limiten el libre tránsito interno para vehículos de carga.

Todos los normativos estructurales, tanto nacionales como internacionales deben de ser aplicados a cada solución estructural que se plantee. Su correcta interpretación y aplicación a una solución en específica nos aportará una edificación que resultará óptima, tanto en su desarrollo constructivo, la cual va ligado a ser una estructura segura y económica.

Para alcanzar la estructura de una nave industrial económica, se deben de reducir las dimensiones que pueden alcanzar los elementos estructurales en acero. Esto se verá reflejado en la reducción del peso de los elementos que conforman la edificación.

El acero es un material noble que aporta estabilidad a la estructura, sin embargo, su costo es fluctuante y en cualquier momento puede sufrir un alza que potencie el precio de implementación. Contrario al acero la mampostería es un material masivo que su precio a lo largo del tiempo no ha sufrido incrementos significativos.

Para equilibrar el costo y aprovechar la nobleza del acero se incorporará un muro de cortante a la edificación, esta contará con elementos estructurales de acero, con las menores dimensiones posibles que las normas permitan. De esta manera, se adapta el muro y convertirlo en un sistema combinado que sea capaz de resistir fuerzas laterales y que sus derivas se encuentren dentro de los parámetros que las normas estructurales dictan.

El muro cortante también deberá tener una altura máxima que garantice que su esbeltez no represente ningún peligro para el sistema. Por ello se determinará la altura máxima permisible que puede alcanzar un muro cortante dentro de la estructura de una nave industrial.

Para determinar la máxima altura permisible, se modelará el muro cortante del sistema combinado, para diversas alturas de muro, luego, se generará una estadística que permita representar el comportamiento del muro cortante mientras este vaya ganando altura dentro de la nave industrial. Se buscará que el muro cumpla siempre con su función de proveer arriostramiento lateral y que su relación directa con la altura que pueda alcanzar, no sea una limitante para que se pueda considerar como muro de corte.

Los resultados serán interpretados de la forma más exhaustiva posible para que la investigación pueda aportar el conocimiento necesario al gremio de los diseñadores estructurales y que al estar ya a su disposición pueda aumentar la utilización de un sistema estructural combinado que resulte en un sistema económicamente factible para la industria.

En el primer capítulo, se aborda sobre la importancia del acero y la manera como este se constituye. La forma en que uno de los elementos en la con mayor presencia en el mercado, y es tanta su presencia que está prácticamente en todos los procesos de nuestro diario vivir. El acero cuenta con un gran éxito que se debe a su funcionalidad la que viene ligado a sus propiedades físicas que le aportan durabilidad y flexibilidad. El acero podría considerarse como el mejor material en la construcción de una nave industrial, debido a su alto control de calidad en su fabricación y sumado a los tiempos cortos para su implementación.

En el segundo capítulo, nos apoyamos en todos los normativos estructurales, tanto nacionales como internacionales deben de ser aplicados a cada solución estructural que se plantee. Su correcta interpretación y aplicación a una solución en específica nos aportará una edificación que resultará óptima, tanto en su desarrollo constructivo, la cual va ligado a ser una estructura segura y económica.

En el tercer capítulo, se diseñarán los elementos estructurales en acero de forma óptima y con ello alcanzar que la estructura de una nave industrial resulte en ser una estructura económica. Para cumplir con la finalidad de nuestra investigación, se deben de reducir las dimensiones que pueden alcanzar los elementos estructurales en acero, esto se verá reflejado en la reducción del peso de los elementos que conforman la edificación.

En el cuarto capítulo, se diseñará el muro cortante considerando las diversas tipologías de muro que, hasta hoy en día, se ha estudiado, su resistencia, las combinaciones de diseño que se pueden obtener y los controles de la sección por cortante y sus derivas. Todo esto nos permitirá aplicar la mejor solución al problema planeado. El muro cortante garantizará que deberá satisfacer, que su esbeltez no representa ningún peligro para el sistema.

En el quinto capítulo, se determinará la máxima altura permisible, se modelará el muro cortante del sistema combinado, para diversas alturas de muro, se generará una estadística que permita representar el comportamiento del muro cortante mientras este vaya ganando altura dentro de la nave industrial. Se buscará que el muro cumpla siempre con su función de proveer arriostramiento lateral y que su relación directa con la altura que pueda alcanzar no sea una limitante para que se pueda considerar como muro de corte.

En el sexto capítulo, se presentarán los resultados obtenidos de los diversos análisis estadísticos los cuales serán interpretados de la forma más exhaustiva posible para que la investigación pueda aportar el conocimiento necesario al gremio de los diseñadores estructurales y que al estar ya a su disposición pueda aumentar la utilización de un sistema estructural combinado que resulte en un sistema económicamente factible para la industria.

En séptimo capítulo, discutiremos los resultados para obtener la respuesta del problema propuesto y con ello realizar una tabla de valores que permitan observar de manera precisa el análisis realizado.

ANTECEDENTES

La tecnología actual no puede garantizar una condición de vulnerabilidad nula. Siempre existe la probabilidad de que la estructura y elementos no estructurales sufran daño por cargas, especialmente bajo las acciones de eventos naturales como sismo o viento, o sollicitaciones en exceso de las cargas ocupacionales consideradas por las normas. La responsabilidad de diseñadores y constructores queda limitada a lo requerido por las normas. (NSE-1, p.12)

El diseño deberá extraer las consideraciones mínimas de las normas, para garantizar que la estructura, al estar en servicio, garantice su funcionalidad y que, al estar sometida a las fuerzas externas, para las cuales fue diseñada, cumpla con su funcionalidad.

Según (Candebat Sanchez & Gonzales, 2018):

Las estructuras de las naves industriales metálicas son proyectadas y construidas para soportar y resistir las sollicitaciones de fuerzas axiales, momentos y cortantes; los cuales son producidos por el peso propio de la estructura, el uso que se hace de ella y las fuerzas de la naturaleza (viento, sismo, lluvia, etc.). (p.3)

Las naves industriales, (Gongora, 2018) indica que son construcciones que sirven para el beneficio de una industria, se utilizan para actividades de almacenaje. No cuenta con apoyos intermedios ya que de esta manera

la operación no tiene obstáculos ni restricciones, facilitando la manera de trabajar.

Cuando se plantea el diseño y cálculo de una nave industrial son muchas las variables a tener en cuenta y son muchos los casos que se pueden presentar, así que el calculista debe abordarlos de forma que se garantice la eficacia resistente, constructiva y económica de la estructura. (Martínez, 2013, p.17)

Por el crecimiento económico en nuestro país, ha sido necesario la construcción de naves industriales de acero. Las bodegas no cuentan con columnas intermedias y es necesario cubrir grandes luces lo que conlleva a la utilización de estructuras combinadas para dar solución para cubrir grandes distancias sin apoyos internos.

En estructuras de acero, la resistencia a la carga sísmica depende del tipo de sistema que se implemente para el efecto. A diferencia de otros tipos de estructuras, en las estructuras de acero, no necesariamente toda la edificación se diseña para que sea capaz de soportar la carga lateral. (SGR, 2016, p.15)

Las naves industriales son estructuras que, al estar expuestas a sismo y viento, son vulnerables a deformaciones debido a su relativo bajo peso y las fuerzas externas que las afectan pueden producir grandes desplazamientos laterales por lo que la utilización de muros de corte puede servir para generar rigidez y reducir desplazamientos laterales.

Según (McCormac & Csernak, 2012):

Algunas fallas estructurales ocurren porque no se da una atención adecuada a las deflexiones, fatiga de miembros, arriostramiento contra ladeos, vibraciones y la posibilidad de pandeo de miembros en compresión o de los patines de compresión de vigas. La estructura típica, cuando está terminada, y suficientemente arriostrada con los pisos, muros, conexiones y arriostramiento especial, pero hay ocasiones durante la construcción en que muchos de estos elementos no están presentes. (p.36)

El arriostramiento de los elementos estructurales de las naves industriales, durante el proceso de montaje, es algo que no debe tomarse a la ligera. El arriostramiento lateral se hace un punto crítico que debe ser evaluado de forma integral.

Los arriostramientos se posicionan dentro de marcos de acero para funcionar, es decir, un sistema formado por dos columnas conectadas por una viga en sus extremos superiores. A estos marcos que incluyen arriostramientos se les conocen como marcos arriostrados, distinguiéndose, principalmente, dos tipos: marcos arriostrados concéntricamente (CBF, por las siglas en inglés de Concentrically Braced Frames) y marcos arriostrados excéntricamente (EBF, por las siglas en inglés de Eccentrically Braced Frames). (Jose Durán, 2017, p.5)

La utilización de las normas y metodologías disponibles y su correcta aplicación a una solución en particular. Esta nos ayudará en la evaluación del muro de corte y su aplicación a una nave industrial para generar la rigidez necesaria al edificio incorporando el muro de mampostería.

En cuanto a los muros estructurales especiales, (ACI-318, 2019) nos recomienda:

Que se deben detallar según las disposiciones del capítulo 18.10 en donde usa el término “muro estructural” como sinónimo de “muro de cortante, la definición de muro estructural del capítulo 2 establece que “un muro de cortante es un muro estructural. (p.295)

El muro de mampostería es un elemento que no ha sido incorporado en naves industriales y que la normativa considera que puede ser utilizada como un elemento estructural que aporte estabilidad a la edificación.

Según (Ramírez, 2009):

La mampostería puede ser estructural y no estructural, la primera se refiere a muros que deben soportar tanto su peso propio como las cargas horizontales y verticales que llegan a éstos por la acción del viento, empuje de tierra o por sismo. En la mampostería no estructural los muros deben soportar solamente su propio peso y sirven generalmente como muros divisorios. (p.1)

La mampostería es un material masivo que al tomar en cuenta las distintas investigaciones y ensayos que se han realizado, sobre este material, y que, al ser incorporados a la presente investigación, nos genere las alturas máximas permisibles a las cuales pueden ser llevadas al estar incorporado a un sistema combinado.

En el diseño por viento y su interacción con las estructuras, se pueden mencionar como las variables más importantes que hay que considerar en el fenómeno viento: la Velocidad de viento, la Turbulencia, los Efectos en dirección del viento, los Efectos transversales y la Inestabilidad. El viento actúa en general en diferentes direcciones, para el diseño debe investigarse cuál es la dirección que produce los efectos más desfavorables en el sistema estructural. (Mendoza O, Zermeño, Arroyo C, & Lopez L, 2015, p.20)

El viento se considera una fuerza lo suficientemente grande para causar, en una estructura, deformaciones que provoquen su colapso al no contar con un adecuado arriostamiento lateral.

El sistema combinado es un sistema estructural en el cual: (a) las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente complejo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o (b) las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momento, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual. (ICCA, 2017, p.22)

Los sistemas combinados han ayudado a resolver problemas estructurales al conocer sus propiedades mecánicas. Al conocer sus propiedades y unificarlos maximizan sus aportes hacia la edificación.

“Las estructuras se analizarán con modelos matemáticos tridimensionales para determinar acciones en los componentes estructurales y desplazamientos estructurales causados por cargas externas, deformaciones autoinducidas y

deformaciones aplicadas. Los modelos deberán incluir la rigidez de todos los componentes relevantes” (NSE-3, 2020, p.1-30).

La utilización del software nos permite conocer que las consideraciones iniciales sean satisfechas, es por ello que en esta investigación también se utilizará, para verificar si el muro propuesto satisface la necesidad y los parámetros que puede alcanzar.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Falta de normativa que establezca las alturas máximas permisibles de un muro de corte, para que funcione como elemento estructural resistente a carga lateral al estar como un sistema combinado

En nuestro medio es poco común encontrar diseños de naves industriales que utilicen muros de corte contruidos con mampostería. Se tiene la idea de que un muro de mampostería que cubre un claro relativamente largo y una altura considerablemente alta, resulten en un elemento estructural poco confiable y que visualmente, generen la percepción de que es poco rígido e incapaz de soportar desplazamientos laterales.

La mampostería es un material masivo en nuestro medio el cual puede aprovecharse para diseñar muros de corte, sin embargo, debido a su limitante de espesor es necesario delimitar las alturas máximas que puede alcanzar para que funcione de manera correcta como muro de corte en una nave industrial.

La falta de teoría e información disponible, conduce al diseñador a no considerar un muro de mampostería como una solución que puede implementar en su diseño, para una nave industrial, de dimensiones considerables, para que funcione como un elemento que resista y funcione como un muro estructural.

La incorrecta interpretación que se realiza de las normas existentes, para realizar el diseño de un muro de corte, puedan generar un diseño

sobredimensionado o, un muro demasiado esbelto que, al verse expuesto a un evento sísmico, provoque una falla del elemento estructural.

La ductilidad, dentro de la cual se clasifique un elemento estructural, debe de ser el indicado por las normas, para que la estructura al momento de actuar como un elemento combinado sea capaz de resistir las cargas laterales, sin sufrir deformaciones fuera de la tolerancia que establecen los códigos.

La falta de un adecuado análisis de la interacción entre muro de corte de mampostería y el marco estructural de acero de una nave industrial, reducen la posibilidad de encontrar o identificar errores, durante el proceso de diseño, que puedan minimizar el adecuado comportamiento del sistema combinado.

El no incluir el modelo de diseño a un software de diseño, evita que se visualice, los posibles defectos en el diseño del muro de corte, los cuales pueden ser un sobredimensionamiento del elemento estructural, que se traduzcan a un costo alta para su construcción o en su defecto diseñar un muro que no cumpla con los parámetros necesarios para ser considerado como muro de corte y que permita realizar su función de manera eficiente.

En la norma AGIES se incluyen los parámetros que se utilizan para el diseño del sistema combinado, que servirán, en especial, para el diseño del muro de corte que resistirá las cargas laterales que nos ayudaran a concluir las alturas máximas de los muros de corte de mampostería que puede será aplicado a una nave industrial.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente pregunta principal:

¿Se pueden establecer alturas máximas permisibles, de un muro de corte en naves industriales?

Para ello se debe dar respuesta a las siguientes preguntas secundarias:

¿Cuáles pueden ser los valores de alturas máximas de muros de corte de mampostería, en un sistema combinado?

¿Es posible verificar mediante un software, los efectos de interacción de un sistema combinado?

¿Cuáles son las consideraciones técnicas para el chequeo estructural de una estructura de sistema combinado?

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el acero estructural se ha convertido en el material más utilizado en la construcción de grandes estructuras ya que es uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil, más adaptable y más ampliamente usado. La supuesta perfección de este metal, talvez el más versátil de todos los materiales estructurales parece más razonable cuando se considera su resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades convenientes. Entre algunas ventajas podemos mencionar, alta resistencia, uniformidad, elasticidad, durabilidad, ductilidad.

Un sistema estructural básico debe ser capaz capaces de resistir cargas sin que exista una deformación excesiva de una de las partes con respecto a otra. Por ello la función de una estructura consiste en transmitir las fuerzas de un punto a otro en el espacio, resistiendo su aplicación sin perder la estabilidad. La anterior definición genera diferentes tópicos tales como: fuerza, momento de una fuerza, esfuerzo, deformación etc., que buscan cumplir con la premisa expuesta anteriormente.

El sistema de arriostramiento de una estructura deberá ser adecuado para evitar el pandeo de las estructuras bajo la acción de cargas verticales y horizontales y conservar la estabilidad lateral de la estructura.

La ingeniería estructural realiza la búsqueda de soluciones tendientes a disminuir el nivel de vulnerabilidad de construcciones ubicadas en zonas de

elevado riesgo sísmico y Guatemala, se encuentra ubicada geográficamente dentro de una zona de alta vulnerabilidad.

Los muros de corte se convierten en una solución para el arriostramiento lateral de un marco metálico que, aprovechando la versatilidad del acero, pueden utilizarse como un sistema combinado capaz de resistir efectos sísmicos y de viento que minimicen los daños que puedan ocasionarle.

Las naves industriales son estructuras que cubren grandes luces y la utilización de muros de corte, como arriostramiento lateral está limitado en nuestro país, debido a la falta de investigaciones para su aprovechamiento. Se toma en cuenta la esbeltez que debería tener una estructura de tal naturaleza. La mampostería es una materia prima masiva que puede ser ubicado en cualquier lugar del país y de la cual es posible aprovechar sus capacidades estructurales.

La investigación determinará que un muro de mampostería, considerándolo como muro estructural, será capaz de proveer a una nave industrial el arriostramiento lateral que se requiere. Según el diseño, para sustituir un sistema de arriostramiento de acero y con ello utilizar el muro de corte con doble propósito, el cual sería estructural y de cerramiento.

Se busca concretar un sistema estructural que permita obtener un incremento de resistencia, rigidez, ductilidad y capacidad de disipación de energía, y que esto se traduzca en optimización de espacio para movilidad operativa y de recursos financieros iniciales, para su puesta en servicio.

Este trabajo se encuentra enmarcado dentro de la línea de investigación de “Análisis y diseño estructural de estructuras complejas”, que pertenece al pensum de estudios de la maestría en estructuras, de la Escuela de Estudios de

Postgrado, de la Facultad de Ingeniería, USAC, específicamente en la sub línea de respuesta estructural.

OBJETIVOS

General

Diseñar un muro de corte de mampostería, para establecer los valores de la altura máxima permisible en naves industriales de acero, que pueda ser utilizado como elemento estructural y se considere como sistema combinado.

Especificos

1. Evaluar valores de las alturas máximas de muros de corte de mampostería, en sistemas combinados.
2. Verificar mediante software, los efectos de interacción de un sistema combinado, con énfasis en el muro de corte de mampostería.
3. Implementar las consideraciones técnicas, para el chequeo estructural de una estructura de sistema combinado.

ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación proporcionará los conocimientos necesarios para el diseño de muros estructurales de mampostería, y que los parámetros de los valores diseñados puedan ser incorporados en una nave industrial para su interacción con la misma, a efecto de minimizar los riesgos de colapso de la estructura metálica.

Se definirán las alturas máximas permisibles a las cuales puede ser llevado un muro de corte para que pueda ser lo suficientemente rígido, eficiente y actuar como un elemento estructural, que resista las cargas laterales. De tal manera, que este ofrezca la seguridad adecuada a la estructura metálica, compuesta de marcos de acero, que al estar ambos, sometidos a un evento sísmico o fuertes vientos, ofrezca la estabilidad necesaria y que las derivas estén dentro de los rangos permisibles.

Al ser la mampostería un elemento que proporciona una alta rigidez, se podrán diseñar naves industriales, de un nivel, que puedan cubrir grandes longitudes y luces más anchas que garanticen seguridad estructural y ocupacional.

Se minimizará el riesgo de colapso de las naves industriales, siendo innecesario una inversión por reparaciones tras un evento sísmico o fuertes. La inversión se limitaría a una inspección visual post evento, para determinar la inexistencia de daños estructurales.

Los beneficiarios de esta investigación serán principalmente, los profesionales dedicados al diseño estructural de naves industriales o acero, que podrán ampliar su gama de productos presentando soluciones innovadoras, a las diferentes industrias que hacen uso de este tipo de estructuras y, que normalmente son utilizadas para bodegas de almacenamiento de productos.

Además, el sector estudiantil de la ingeniería civil y arquitectura, los cuales podrán disponer de esta investigación, para sustentar sus conocimientos en el diseño estructural y arquitectónico de estructuras combinadas.

También, el sector industrial que tendrá la opción de disponer de una solución que garantice la seguridad estructural y proteja a su personal y sus activos ante un evento natural que pueda producir daños.

Finalmente, la industria contará con diseños más óptimos que se traducen a inversiones eficientes y de larga duración

1. MARCO TEÓRICO

ALTURA PERMISIBLES PARA EL DISEÑO DE MUROS DE CORTE EN NAVES INDUSTRIALES DE ACERO

Nuestro modelo de análisis incluye las consideraciones estructurales de una edificación de un nivel, considerado como una estructura combinada.

Las construcciones ejecutadas con estructuras metálicas permiten luces mayores, especialmente interesante para locales comerciales, industrias, donde se requieran edificios sin pilares intermedios, así como para edificios de grandes alturas, sin pilares excesivamente gruesos, evitando ocupar espacios importantes.

El acero es el material estructural por excelencia para grandes alturas, puesto que resuelve con éxito los planteamientos estructurales de: soportar el peso con pilares de dimensiones reducidas, resistir el empuje ante el vuelco y evitar movimientos debidos a la acción del viento. (Perez Rodriguez, 2009, p.9-11)

La utilización de muros de mampostería en naves industriales para su funcionamiento como elemento combinado, no es común observarlo, debido a la baja investigación sobre una solución de esta naturaleza. Un muro estructural, para ser considerado como tal, debe de permitir la restricción de deformaciones que lleven al pórtico, en análisis, a valores a los cuales pueda garantizar los límites de servicio.

2. NAVES INDUSTRIALES

Según (Matanzas, 2015), “Una nave Industrial es un edificio de uso industrial que alberga la producción o almacena los bienes industriales, junto con los obreros, las máquinas que los generan, el transporte interno, la salida y entrada de mercancías, etcétera” (p.2).

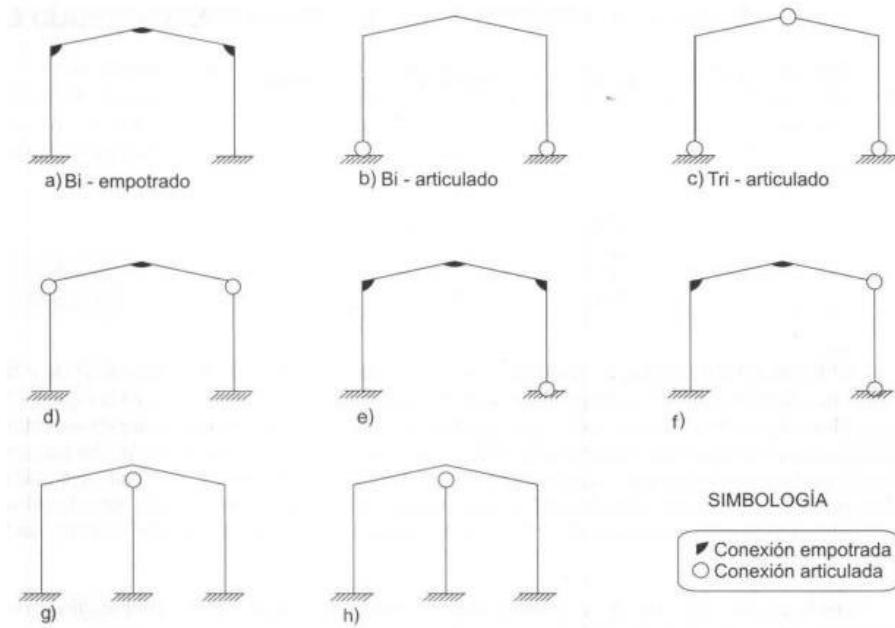
Las naves industriales construidas en acero son estructuras que cubren grandes espacios y que suelen ser estructuras rígidas y ligeras, la sumatoria de cada uno de sus elementos aporta e incrementa la rigidez necesaria al sistema.

Las grandes luces que se desean cubrir, nos arrojan dos variables determinantes que son la altura y el ancho, las cuales están determinadas por la separación entre columnas. Esto permitirá la inexistencia de elementos intermedios que obstaculicen el espacio interior y que por el contrario permita una adecuada movilidad interna.

2.1. Clasificación de las naves industriales por tipo de marco

La forma más común de las naves industriales es un prisma rectangular cuya tapa presenta una o más inclinaciones. Existe una amplia gama de sistemas estructurales aplicables a las naves industriales, cada uno de ellos aporta valores a las variables de la función de una nave industrial, lo cual se expone en resultados diferentes.

Figura 1. Tipos de marcos



Fuente: Arnal, Gutierrez, Montemayor, & Achabal. (2007). *Seproinca*. Consultado el 27 de 08 de 2021. Recuperado de <http://aulaseproinca.blogspot.com/2019/01/todo-sobre-naves-industriales-o-galpones.html>

Generalmente los marcos más utilizados en naves industriales son:

- Marcos rígidos
- Marcos triarticulado

Los sistemas antes mencionados pueden ser de alma llena o abierta y de sección constante o variable y se describen de la siguiente forma, las naves industriales tipo marco rígido: están formados por columnas y trabes.

Como lo indica (Garcia Benitez, Sorto Maltez, & Villalobos Amaya, 2009):

Son estructuras compuestas por dos o más miembros que se unen mediante conexiones, algunas de las cuales, o todas ellas, son resistentes a momentos para formar una configuración rígida, Las ventajas de estos marcos son: economía, apariencia, ahorro en altura libre. (p.21)

Las trabes se logran por conexiones mecánicas que restringen la rotación al estar sometidas a carga. Estas a su vez se subdividen en apoyos articulados y apoyos empotrados.

Según (Garcia Benitez, Sorto Maltez, & Villalobos Amaya, 2009):

Las características más importantes de un marco triarticulado son las siguientes:

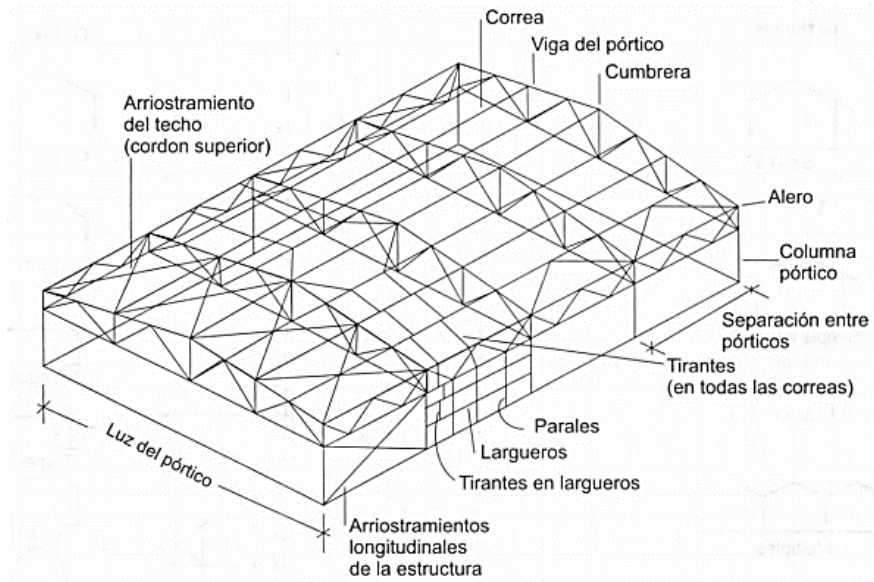
- Está formada por dos elementos iguales y con forma de ángulo, unido en la cumbrera y en el pedestal con un elemento que genere una articulación.
- La placa de acero donde se apoya la estructura está unida al pedestal de la cimentación por medios de pernos. (p.22)

Sin embargo, los sistemas que están en auge corresponden a los sistemas de marcos rígidos en la sección transversal y diagonales en la dirección longitudinal.

2.2. Partes de una nave industrial

Los elementos estructurales que componen una nave industrial se dividen de la siguiente manera:

Figura 2. **Isométrico de las partes de la nave industrial**



Fuente: Arnal, Gutierrez, Montemayor, & Achabal. (2007). *Seproinca*. Consultado el 27 de 08 de 2021. Recuperado de <http://aulaseproinca.blogspot.com/2019/01/todo-sobre-naves-industriales-o-galpones.html>

- Elementos principales: marcos, columnas, diagonales en cubierta y fachada.
- Elementos de techo y fachada: Largueros y puntales.
- Elementos secundarios: Arriostamiento de columnas, largueros y trabes
- Elementos terciarios: Vanos de puertas y ventanas e instalaciones varias.
- Estos elementos, cumplen cada uno, con la transmisión de fuerzas de forma independiente. Con ello se logra que el mecanismo presente una transmisión de cargas bien definida.

2.3. Acciones permanentes

Carga Muerta: según (NSE-2, 2018):

Las cargas muertas comprenden todas las cargas de elementos permanentes de la construcción. Incluyen, pero no necesariamente están limitadas al peso propio de la estructura, pisos, rellenos, cielos, vidrieras, tabiques fijos y equipo permanente rígidamente anclado a la estructura. Se considera como la acción permanente principal. (p.1-2)

2.4. Acciones variables

Es de suma importante verificar cada una las de las acciones variables que determinan las cargas o fuerzas bajo las cuales se expondrá la estructura. Dentro de las acciones variables podemos mencionar los siguientes:

- Carga Viva: nos explica, (NSE-2, 2018) “que las cargas vivas son la que se producen por el uso y la ocupación de la edificación. En general su intensidad estará establecida por norma” (p.3).
- Aspectos sísmicos: los sismos se derivan de las vibraciones de la corteza terrestre que se producen por el movimiento de las placas tectónicas en el subsuelo. En la norma “se establecen los niveles de protección sísmica en base a las condiciones específicas de cada localidad, esto según la clasificación de obra” (NSE-2, 2018, p.4-1). El periodo de vibración está determinado por la masa, la rigidez y el tamaño de la estructura.
- Acciones de viento: El viento es aire en movimiento, y se mueve en una dirección definida a una velocidad dada. Cuando el viento choca contra un objeto fijo, su acción provoca empujes y succiones que pueden volver vulnerable una edificación, Por esta razón la norma vigente, tiene considerado los valores de viento que pueden presentarse en las distintas

ubicaciones de nuestro país, para los cuales puede diseñarse un sistema estructura contra viento, tanto en la edificación como en su fachada.

- Aspectos volcánicos: En la norma (NSE-2, 2018) se establece que las edificaciones y otras estructuras y todas las partes de las mismas que se encuentren en zonas bajo amenaza de caída de ceniza o arena volcánica conforme lo haya establecido autoridad competente deberán diseñarse para resistir las cargas de tefra (arena volcánica aerotransportada) indicadas en la Sección 6.1.2. (p.6-1)

Las cargas bajo las cuales las naves industriales pueden estar mayormente afectadas, es por la acción del viento y el sismo, son sin duda las fuerzas actuantes que en mayor medida provocan desplazamientos laterales a la edificación.

2.5. Análisis estructural

El análisis y diseño de una nave tiene como misión desarrollar un sistema de flujo de fuerzas que responde a una forma funcional prefijada. La geométrica y secciones de los marcos en la dirección transversal son el resultado de la lógica de la mecánica de fuerzas. (Franco, 2009, p.13)

Un diseño estructural debe lograr el menor costo posible y para ello debe cumplirse, como mínimo con lo siguiente:

- Requerimientos de funcionalidad: La estructura debe garantizar la libre movilización interna para la cual fue diseñada, entregando a sus usuarios condiciones de seguridad y condiciones ambientales seguras para su desarrollo.

- Requerimientos de rigidez: garantizar que no se deben de producir deformaciones o vibraciones que alteren los procesos productivos, que provoque daños en elementos no estructurales, perjudiquen la estética del edificio y que no ofrezcan confianza a los usuarios.
- Requerimientos de resistencia: deberá ser capaz de resistir las solicitaciones que de la misma funcionalidad se deriven.

En nuestro medio se cuentan con varios tipos de programas computacionales para realizar el análisis estructural de cualquier edificación. Estos son programas de cómputo especializados, y utilizar estas herramientas para el análisis estructural de una nave industrial no es la excepción.

El análisis computacional debe de realizarse en dos y tres dimensiones para corroborar los resultados ya que ambos deberán ser similares.

- Modelos 2D: El modelo en 2 dimensiones consiste en convertir la estructura a modelos planos utilizando cortes en planta.
- Modelos 3D: En el modelo de 3 dimensiones se unen todos los elementos para formar una sola edificación. Convergen acá todos los elementos que componen una nave industrial.
- Estado límite de servicio: El estado de servicio debe asegurar que la estructura no se deforme, no se fisure, o se desplome de manera de quedar inutilizado. Implica que se debe asegurar una prestación adecuada de la estructura para los niveles de carga de servicio.

2.6. Métodos de diseño

Dentro de los metodos de diseño se pueden mencionar lo siguientes:

2.6.1. Metodo ASD

El método Diseño por Esfuerzos Permisibles ASD (*Allowable Stress Design*), se estiman las cargas de trabajo o servicio (cargas sin factorar), o sea, las cargas que la estructura tienen que soportar para diseñar los miembros estructurales con base en ciertos esfuerzos permisibles. Estos usualmente son cierta fracción del esfuerzo mínimo de fluencia especificado del material. Aunque el término “diseño elástico” se usa comúnmente para describir este método, los términos diseño por esfuerzos permisibles o diseño por esfuerzos de trabajo son más apropiados.

Este método de diseño, basado en cargas de servicio, comportamiento elástico y esfuerzos permisibles, es ampliamente aceptado porque se desarrolló como parte integral del análisis racional de esfuerzos y tiene tras de sí la autoridad de la experiencia y la tradición. En las especificaciones se han incluido muchas reglas empíricas para hacerlo practico. (Garcia Benitez, Sorto Maltez, & Villalobos Amaya, 2009, p.49)

La principal desventaja de este método es que no suministra una capacidad uniforme de sobre carga para todas las partes y tipos de estructuras.

2.6.2. Método LRFD

El método LRFD Diseño por Factores de Carga y Resistencia (*Load and Resistance Factor Design*), se basa en el diseño plástico y en la carga última. Las especificaciones del LRFD se concentran en requisitos muy específicos relativos a los estados límite de resistencia y permiten cierta “libertad” en el área de servicio. En este método, las cargas de trabajo o servicio, se multiplican por factores de carga o “de seguridad”, que son casi siempre mayores que 1 y se obtienen las cargas últimas o factorizadas usadas para el diseño de la estructura.

Las magnitudes de los factores de carga varían, dependiendo del tipo de combinación de las cargas. El propósito de los factores es incrementar las cargas para tomar en cuenta las incertidumbres implicadas al estimar las magnitudes de las cargas vivas, muertas y accidentales durante la vida útil de la estructura.

El valor del factor de carga usado para cargas muertas es menor que el usado para cargas vivas, ya que los proyectistas pueden estimar con más precisión las magnitudes de las cargas muertas que las de las cargas vivas. La estructura se proporciona para que tenga una resistencia última de diseño suficiente para resistir las cargas factorizadas. Esta resistencia se considera igual a la resistencia teórica o nominal, R_n , del miembro estructural, multiplicada por un factor de resistencia Φ , que es normalmente menor que 1. Con este factor, se intenta tomar en cuenta las incertidumbres relativas a resistencia de los materiales, dimensiones y mano de obra, etc.. (McCormac, 2004, p.51-52)

2.6.3. Factores de carga

El propósito de los factores de carga es incrementar las cargas para tomar en cuenta las incertidumbres implicadas al estimar las magnitudes de las cargas vivas, muertas y accidentales durante la vida útil de la estructura.

2.6.4. Factores de resistencia

Para estimar con “precisión” la resistencia última de una estructura, es necesario tomar en cuenta las incertidumbres que se tiene en la resistencia de los materiales, en las dimensiones, en la mano de obra, etc. Algunas de las incertidumbres que afectan a estos factores son:

- La resistencia de los materiales puede variar inicialmente en forma considerable respecto a los valores supuestos y la variación será mayor con el paso del tiempo debido al flujo plástico, a la corrosión y a la fatiga.
- Los métodos de análisis están sujetos con frecuencia a errores apreciables o no se tiene un criterio definido para la estructuración.
- Los fenómenos naturales como sismos, huracanes, tornados, etc., causan condiciones difíciles de predecir.
- Las incertidumbres durante el proceso constructivo, así como el maltrato que puedan recibir las estructuras durante la fabricación y montaje. Las cargas constructivas pocas veces consideradas en los análisis de cargas, etc.
- Las cargas muertas de una estructura pueden estimarse con bastante exactitud, pero no así las cargas vivas.
- Otras incertidumbres son la presencia de esfuerzos residuales y concentraciones de esfuerzos, variaciones en las dimensiones de las secciones, etc.

3. MUROS DE CORTE

Son elementos que proporcionan rigidez lateral a una estructura y ayudan a resistir las fuerza laterales o gravitacionales que afectan las estructuras. Estas son comúnmente utilizadas en donde el riesgo sísmico es altamente riesgoso. En síntesis, los muros estructurales controlan el desplazamiento lateral de una estructura siempre que cuenten con una adecuada disposición y cuantía en planta, esto eleva la seguridad estructural del edificio ante un evento sísmico.

Los muros estructurales tienen la característica que ofrecen una gran rigidez lateral, pero por su bajo espesor, presentan muy baja rigidez cuando es sometido a cargas perpendiculares a él.

En los edificios es común observar la utilización de muros que pueden ser de carga o de relleno, pero dependiendo del material estos pueden ser prefabricados o colocados in situ.

Al incrementarse las alturas de los edificios, se hace necesario proporcionarles una adecuada rigidez lateral para que puedan soportar cargas o fuerzas laterales debido a sismos o vientos. Por lo que estos muros no solo proveen una alta seguridad estructural, sino además proporcionan una adecuada protección contra daños a elementos no estructurales.

Un sistema estructural, tal como el de muros estructurales especiales, es escogido por consideraciones de desempeño sísmico, funcionalidad, facilidad de construcción y, costo. En edificios bajos y medianos, este

sistema es comparable con otros tales como los pórticos especiales resistentes a momentos. (ESPE, 2019, p.108)

3.1. Ubicación de muros

En Planta

Los dos problemas principales que se enfrentan en la ubicación en planta de muros estructurales son:

- Torsión en planta
- Estabilidad del muro

Según (ESPE, 2019):

Para superar la torsión en planta es necesario que el centro de masas y el de rigideces estén lo más cercanos posible. Una alternativa es ubicar los muros alrededor del centro de masas. Otra, colocarlos en pares en el perímetro porque de esta forma se crean fuerzas separadas por un brazo de palanca máximo.

Además, los muros se colocan no tan sólo en una dirección resistente principal sino también en la otra. Por otra parte, como se observa en los diagramas de interacción momento-fuerza axial, los muros aumentan su estabilidad si la carga axial aumenta moderadamente. Entonces, resulta deseable mover los muros hacia el interior porque de esta manera tienen mayores áreas cooperantes. Pero la carga axial no debe ser excesiva lo que obliga a distribuirla no en uno sino sobre varios muros.

Finalmente, por su rigidez, los muros, si se colocan alineados, pueden restringir el acortamiento elástico y por creep de las losas, provocando fisuramientos importantes alrededor de ellos. (p.111-112)

3.2. Tipos de falla en muros de corte

Nos indica (Damian, 2018):

El comportamiento de los muros de corte ante cargas laterales es similar al de una viga en voladizo, entonces los máximos valores para los momentos y fuerzas cortantes se encuentran a nivel de su base, esto hace que los muros puedan fallar por flexión o por corte, dependiendo del modo dominante de falla.

Sin embargo, el detallado del refuerzo y otras características de su diseño, pueden hacer que el muro falle por deslizamiento en la base o por pandeo, o por falla de su cimentación, antes de que puedan desarrollarse las tensiones últimas de su capacidad a flexión o a corte. (p.5)

3.3. El muro como parte de un sistema estructural resistente

La importancia nos indica (ESPE, 2019):

El muro estructural es sólo una parte de un sistema resistente. Hay que pensar en que las cargas sísmicas, por ser inerciales, aparecen en los elementos con masa, fundamentalmente los diafragmas horizontales. De aquí se transmiten a los elementos resistentes tales como los muros y finalmente, a la cimentación. Por lo tanto, es necesario estudiar el

comportamiento de diafragmas y cimentación como parte del sistema estructural uno de cuyos componentes son los muros.

La falla de cortante debe evitarse porque conduce a una rápida pérdida de resistencia a derivas menores a las de diseño. También se compromete la resistencia a cargas axiales. Esto se da porque, por los cortantes relativamente altos, aparece un puntal diagonal a compresión importante que aplasta el alma del muro. (p.113-120)

En comparación con los sistemas de pórticos, las edificaciones con muros estructurales presentan un mejor comportamiento sismorresistente para estructuras medianas y altas. Sus características le aportan una mayor rigidez, lo cual disminuye sus desplazamientos laterales al estar sometido a acciones sísmicas. (Brizeño Z., 2013, p.8)

3.4. Resistencia a cortante

Según (Bondarenko H. & Garcia T., 2012):

Se puede evaluar la resistencia a cortante de muros altos estructurales de la misma manera que en vigas. Se puede dar un margen adecuado para la contribución de la compresión axial en incrementar la participación del mecanismo resistente a cortante del concreto, medido por el esfuerzo V_c cortante nominal. También se debe considerar el efecto adverso de las aceleraciones verticales inducidas por los sismos.

En la base del muro, donde es posible la cedencia del acero a flexión en ambas caras, se debe desprestigiar la contribución del concreto a la resistencia a cortante, cuando el esfuerzo $-P_u/A_g$, de compresión axial en

el área bruta del muro es menor que $0.2f_c$, ya que posiblemente se podría compensar esta pequeña compresión mediante aceleración vertical que provocara tensión. Este principio implica que cuando $P_u/Ag < 0.2 f_c$, se debe suministrar refuerzo a cortante en forma de estribos horizontales, al menos en la longitud posible de la articulación plástica en la base del muro, para transmitir toda la fuerza cortante. (p.54)

3.5. Mampostería con buen desempeño estructural

Para generar sistemas de mampostería con un buen desempeño estructural es necesario considerar factores de suma importancia, tales como:

- confinamiento.
- refuerzo horizontal.
- tipo de piezas.
- dirección de carga del sistema de piso.
- interacción suelo-estructura.
- penetración del mortero en los alvéolos.
- colocación de las instalaciones en los muros.
- calidad del mortero.

A continuación, se describen cada una de estas variables y su influencia en el comportamiento estructural.

Confinamiento: La mampostería confinada tiene un comportamiento mecánico muy diferente a la que no lo está, debido a que los castillos y las dalas generan un excelente desempeño del sistema principalmente cuando son sometidos a fuerzas horizontales intensas lo que sucede en zonas de alta sismicidad. El confinamiento se logra a través de dalas y

castillos lo que genera la formación de tableros que a su vez proporciona capacidad de deformación mucho mayor que la de muros no confinados y una liga muy efectiva con los elementos adyacentes. Evidentemente se puede lograr mampostería confinada con refuerzo horizontal teniendo los beneficios de ambos sistemas. (Perrillat & Hernandez Pineda, 2018, p. 20)

3.6. Resistencia lateral de la mampostería confinada

En la actualidad existen varias metodologías para modelar analíticamente estructuras de mampostería confinada; éstas se pueden clasificar en: (a) Micro-modelado, (b) Macro-modelado y (c) Modelado por medio de curvas envolvente de comportamiento histerético. Algunas de ellas aún no son justificables que se apliquen de manera práctica debido a su alto costo computacional y a que requieren del uso de software especializado además de la incertidumbre en las propiedades de los materiales; tal es el caso del micro-modelado de los elementos que se basa principalmente en técnicas numéricas como el Elemento Finito y Elementos de Frontera. No obstante, es posible modelar estructuras de mampostería con cualquier software comercial por medio de macro-modelos estructurales. (Cornejo Vasquez & Hernandez Barrios, 2013, p.180)

HIPÓTESIS

La incorporación de un muro de corte de mampostería a un marco de acero, restringirá la altura máxima que puede alcanzar una nave industrial, hasta en un porcentaje del 10% para que se garantice su desempeño como sistema combinado.

PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | I |
| ÍNDICE DE TABLAS | II |
| LISTA DE SÍMBOLOS | III |
| GLOSARIO | IV |
| RESUMEN | V |
| OBJETIVOS | VI |
| HIPÓTESIS | VII |
| INTRODUCCIÓN | VIII |

1. GENERALIDADES

1.1 El acero

1.2 La mampostería

1.3 Muros de corte

1.3.1 El muro como parte de un sistema estructural permanente

1.3.2 Principios generales de ubicación de muros

1.3.3 Base teórica para el diseño de muros estructurales

1.3.4 Muros en zonas sísmicas.

1.3.5 Tipos de fallas

1.4 Naves industriales

1.4.1 Ventajas y desventajas

1.4.2 Clasificación de las naves industriales

1.4.3 Principales elementos de una nave

1.4.4 Requerimientos estructurales

2. REGLAMENTOS DE CONSTRUCCIÓN
 - 2.1 Normas de seguridad estructural de Guatemala
 - 2.2 Normas internacionales para el diseño y construcción de acero
 - 2.3 Especificaciones nacionales e internacionales

3. PREDIMENSIONAMIENTO DE MARCO DE ACERO
 - 3.1 Cálculo de las cargas a las que estará sometida la estructura
 - 3.2 Modelado de la estructura

4. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CORTE
 - 4.1 Planteamiento del problema estructural
 - 4.2 Geometría general
 - 4.3 Geometría específica
 - 4.4 Resistencia
 - 4.5 Combinaciones de diseño
 - 4.6 Controles de la sección por cortante y derivas

5. DETERMINACIÓN DE LA ALTURA MÁXIMA PERMISIBLE DE UN MURO DE CORTE DE MAMPOSTERÍA
 - 5.1. Modulación del muro de corte a alturas variables
 - 5.1. Recopilación de los resultados
 - 5.1. Interpretación y análisis estructural de los resultados
 - 5.1. Análisis estadístico

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS
APÉNDICES
ANEXOS

METODOLOGÍA

- De que tipo
 - Cuantitativo

- Alcance
 - Descriptiva exploratoria

- Diseño
 - Experimental

El alcance de la investigación será descriptiva exploratoria ya que se determinará la altura que puede alcanzar un muro de corte de mampostería en una nave industrial, que corresponde a un tema de investigación que no ha sido ampliamente explorado.

Tabla I. **Resumen de la metodología del desarrollo del trabajo**

| CAMPO | VARIABLE | TIPO | DEFINICIÓN TEÓRICA | DEFINICIÓN OPERATIVA | INDICADORES |
|-------------------------------|----------|--------------|--|---|--|
| Muros de corte de Mampostería | Altura | Cuantitativo | Determinar las alturas máximas permisibles de los muros de corte | Se modelará la estructura incorporando un muro de corte para reducir el desplazamiento lateral causado por fuerzas externas | Derivas Espectro de diseño Rigidez Esbeltez |

Fuente: elaboración propia.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN

Se realizará un análisis univariado de los elementos estructurales, de un sistema combinado, marco metálico de una nave industrial y muro estructural de mampostería para determinar su comportamiento al estar afectados por fuerzas externas que permitan su desplazamiento lateral y que este se vea afectado y falle por corte.

Los marcos metálicos de naves industriales, pueden alcanzar diversas alturas, siempre que estos cuenten con elementos de arriostramiento lateral que restrinjan su movimiento para que resistan al estar afectados por el sismo y viento.

Al aumentar su altura, los marcos metálicos, aumentan las dimensiones de la sección transversal de las columnas, pero al incorporar el muro de corte estas columnas pueden ser menos afectadas en el aumento de su sección y el muro de corte contrarrestar la fuerza lateral.

Al tener un muro de mampostería como arriostramiento lateral, la altura de las columnas y del edificio se verían limitadas debido a la esbeltez que puede alcanzar el muro, y para obtener esta altura se simularán diversos escenarios de dimensiones de altura del muro de corte para poder así observar la altura a la cual podría permitirse alcanzar un muro de corte de mampostería.

Esta observación permitirá obtener parámetros que acotaran la altura máxima permisible a la cual podría diseñarse un muro de corte y que el marco

de estructura metálica resista y se mantenga dentro de los parámetros que la norma nacional permite en cuanto a su desplazamiento lateral.

Revisión bibliográfica: se recopilará toda la información necesaria de la literatura existente, para poder realizar el diseño de una nave industrial, se obtendrán todos los factores deben considerarse para obtener un predimensionamiento y diseño óptimo de los elementos estructurales de una nave industrial y como estos se comportan al estar en conjunto con otros elementos estructurales.

Asimismo, y de la misma forma se procederá también con las consideraciones estructurales que debe tener un muro para este pueda ser considerado como un muro de corte. Esta información será extraída de los diferentes libros, ensayos e informes que aborden el tema y que sirvan para modelar de forma correcta nuestro elemento estructural, que será en el que se fijará nuestro interés.

Se han identificado diversos autores en nuestros antecedentes que abordan los temas de muros de corte y naves industriales por separado, y que al sumar estos aportes investigativos y aplicarlos de manera conjunta a nuestro problema planteado, sustentaran esta investigación.

Encuesta del uso del sistema estructural: se realizará una encuesta dirigida a los profesionales de la ingeniería civil para que externen sus comentarios del porqué de la falta de utilización de muros de corte en naves industriales.

Uso de Software: en la actualidad la utilización de software ha demostrado ser de gran importancia para la modelación de los diversos tipos de soluciones

ingenieriles. Por esta razón la utilización de los softwares disponibles en el mercado para la modelación y obtención de resultados de nuestro sistema estructural.

Análisis y diseño: se realizará el diseño del marco de la nave industrial, el diseño del muro de corte y posteriormente su modelación en SAP200 para evaluar la interacción del sistema combinado.

Diseño asistido por computadora: se utilizará el programa SAP2000 para la modulación del sistema estructural a evaluar. Se realizará la modelación de una cierta cantidad de escenarios posibles del sistema estructural propuesto en esta investigación para poder crear una base de datos estadística que nos permitan tener los parámetros necesarios para analizar el comportamiento del muro estructural del muro a diversas alturas y con ello determinar una altura permisible de diseño de muro.

Evaluación de normas técnicas: se extraerá toda la información disponible en las normas nacionales e internacionales que aborden el diseño de elementos estructurales en acero y mampostería para incorporales a nuestro tema de estudio.

Especificaciones técnicas de materiales: se investigará la materia prima de mayor demanda en Guatemala, específicamente en acero y mampostería. Esto con el fin de contar con las características físicas y mecánicas de los materiales disponibles en el mercado

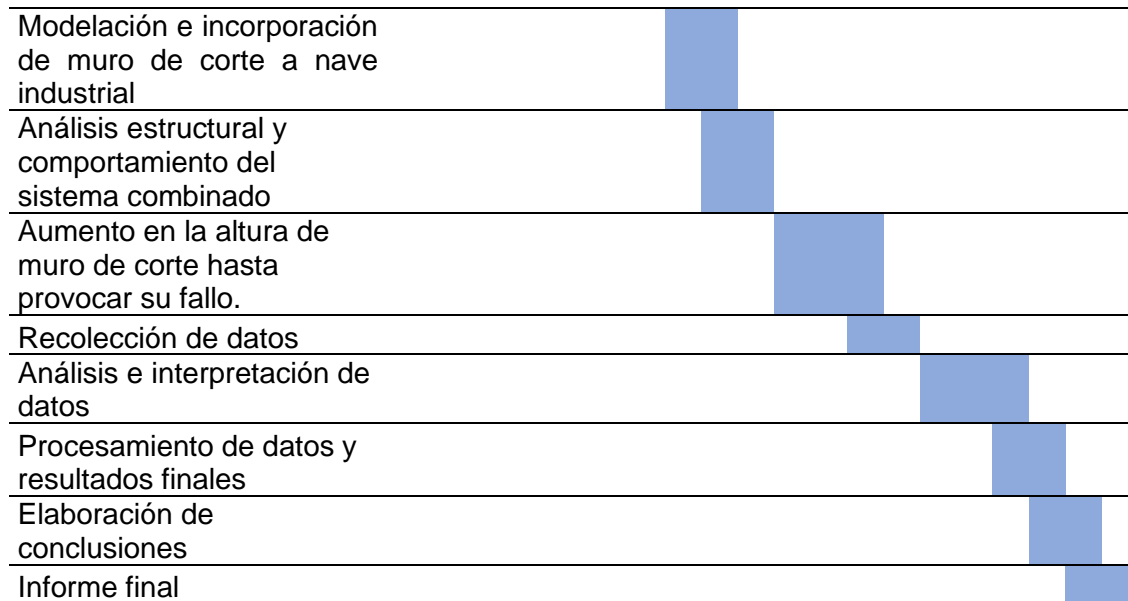
Análisis de resultados: se utilizarán hojas de cálculo de elaboración propia para el diseño de elementos estructurales, para la interpretación de resultados y la elaboración de las conclusiones de la investigación.

CRONOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla II. Tiempo de ejecución

| CRONOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|----|----|----|
| DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES | MES 1 | | | | MES 2 | | | | MES 3 | | | | MES 4 | | | | MES 5 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Recopilación de la información | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redacción y elaboración de sustento teórico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ampliación de marco teórico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Consideraciones estructurales del sistema combinado a analizar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Predimensionamiento de Marco de acero de nave industrial | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modelación de marco de acero de nave industrial en SAP2000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modelación de marco de acero de nave industrial en SAP2000 para determinar su comportamiento sin arriostamiento lateral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Predimensionamiento de muro de corte para arriostamiento lateral de nave industrial | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Continuación de la tabla II.



Fuente: elaboración propia.

FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Factibilidad técnica: Se detallan los recursos técnicos que serán necesarios para llevar a cabo la investigación y sobre los cuales se ha analizado que la misma es factible.

Recurso humano: entrevista a ingenieros civiles con experiencia en diseño estructural de naves industriales.

Recurso financiero: Compra de licencias de software necesarios para el diseño, adquisición de libros de texto, combustible para movilización a entrevistas con profesionales del ramo.

Recursos tecnológicos: SAP2000, AutoCad365, Office365, computadora, internet.

Acceso a información: Visualización de cursos en línea, a través de internet, sobre capacitaciones o seminarios de diseño de acero y muros de cortante. Investigación en la biblioteca de la Universidad de San Carlos sobre investigaciones y libros de texto relacionadas al tema de investigación.

Permisos: Solicitud a profesionales, con experiencia en el diseño estructural, para acceder a memorias de cálculo de naves industriales y muros de corte, para el análisis de la información.

Equipo: Impresora, computadora, teléfono como cámara fotográfica, vehículo.

Factibilidad económica

Tabla III. Presupuesto de ejecución

| No. | ACTIVIDAD | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO | TOTAL |
|---|------------------------------------|--------|----------|------------|--------------------|
| 1 | Asesoría del trabajo de graduación | Global | 1 | Q 2,500.00 | Q 2,500.00 |
| 2 | Licencia de Software SAP2000 | unidad | 1 | Q 2,400.00 | Q 2,400.00 |
| 3 | Licencia de AutoCAD 365 | mes | 2 | Q 1,711.60 | Q 3,423.20 |
| 4 | Office 365 | mes | 3 | Q 93.36 | Q 280.08 |
| 5 | Libros de texto | Global | 1 | Q 750.00 | Q 750.00 |
| 6 | Equipos de oficina, computadora. | unidad | 1 | Q 2,400.00 | Q 2,400.00 |
| 7 | Impresión de informe final | Global | 1 | Q 2,100.00 | Q 2,100.00 |
| PRECIO TOTAL DE LA INVESTIGACIÓN | | | | | Q 13,853.28 |

Fuente: elaboración propia.

Con base a la tabla de factibilidad de estudio se determina que el trabajo de investigación es viable en el aspecto económico. Los costos serán cubiertos en su totalidad por el maestrante.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI-318, A. C. (2019). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Norma, Ecuador.
2. Arnal, E., Gutierrez, A., Montemayor, F., & Achabal, F. (abril de 2007). Aula *Seproinca*. Recuperado el 27 de 08 de 2021, de <http://aulaseproinca.blogspot.com/2019/01/todo-sobre-naves-industriales-o-galpones.html>
3. Bondarenko H., S. B., & Garcia T., I. A. (2012). *Manual de cálculo y diseño de muros estructurales de concreto armado*. Venezuela.
4. Brizeño Z., A. P. (2013). *Análisis y diseño de muros estructurales de concreto*. Venezuela.
5. Candebat Sanchez, D., & Gonzales, L. (2018). *Comportamiento estructural ante acciones sísmicas de una nave industrial de acero en Santiago de Cuba*.
6. Cornejo Vasquez, T., & Hernandez Barrios, H. (Septiembre-Diciembre de 2013). Resistencia lateral de estructuras de mampostería confinada. *Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de ingeniería*, 17(3), 13.
7. Damian, J. M. (2018). Muros de Corte. *JM STRUCTURES*, 17.

8. ESPE, U. d. (2019). *Diseño de columnas, muros estructurales y diafragmas en hormigón armado*. Ecuador: Editorial universitaria.
9. Franco, O. U. (2009). *Criterios de análisis, diseño y fabricación para naves industriales*.
10. Garcia Benitez, C., Sorto Maltez, F., & Villalobos Amaya, J. (2009). *Manual de diseño de naves industriales Metálicas utilizando un software especializado*. Trabajo de graduación, Universidad de El Salvador, San Salvador.
11. Gongora, K. (04 de 09 de 2018). *Laminas y Aceros*. Recuperado el 29 de 07 de 2021, de <https://blog.laminasyaceros.com/blog/naves-industriales>
12. ICCA, I. C. (2017). *Naves Industriales*. Guía Técnica, Colombia.
13. Jose. (2016). *Qué tipos de soldadura existen y que son?* Obtenido de Blogspot: www.blogspot.com
14. Jose Durán, V. A. (2017). *Estado del arte de arriostramientos en estructuras de acero*. Santiago de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150688/Estado-del-arte-de-arriostramientos-en-estructuras-de-acero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. Martínez, M. V. (2013). *Cálculo y diseño de una nave industrial con cubierta fotovoltaica y entreplanta*. España.

16. Matanzas, E. d. (2015). Determinación de la Carga por Viento Extremo en Naves con Cubiertas a Dos Aguas. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 47.
17. McCormac, J. C. (2004). *Diseño de estructuras de acero metodo LRFD*. Mexico: Alfaomega.
18. McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012). *Diseño de Estructuras De Acero*. Mexico: AlfaOmega Grupo Editor.
19. Mendoza O, E., Zermeño, M. E., Arroyo C, G. M., & Lopez L, A. (2015). *Efectos de Viento en Estructuras*. Mexico: DG. Manuel Cardona Gonzalez.
20. NSE-1, A. (2020). *Generalidades, administración de la normas y supervisión técnica*. Norma, Asociacion Guatemalteca de Ingeniera Estructural y Sismica, Guatemala.
21. NSE-2, A. (2018). *Demandas estructurales y condiciones de carga*. Norma, Asociacion Guatemalteca de Ingeniera Estructural y Sismica, Guatemala.
22. NSE-3, A. (2020). *Diseño estructural de edificaciones*. Norma, Asociacion guatemalteca de ingenieria estructural y sismica, Guatemala.
23. Perez Rodriguez, M. (2009). *Diseño y calculo de la estructura metalica y de la cimentacion de una nave industrial*. Tesis, España.

24. Perez Rodriguez, M. (2009). *Diseño y cálculo de la estructura metálica y de la cimentación de una nave industrial*. España.
25. Perrillat, R. J., & Hernandez Pineda, A. (2018). *Variables que intervienen en la mampostería y su aplicación en la construcción*.
26. Ramírez, E. Y. (2009). *Recomendaciones para el diseño en mampostería de viviendas mínimas, menores a 50 m²*. Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2991_C.pdf
27. SGR, S. d. (2016). *Guía Práctica para el diseño de estructuras de acero*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI; desarrollo, Programa de las Naciones Unidas para el; , Oficina de Ayuda Humanitaria y protección Civil. Quito-Ecuador: Activa.