



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional**

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



**N° 044-2024**

## **CONSTANCIA**

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

**“DISEÑO DE UNA NAVE INDUSTRIAL PARA EL PROYECTO DE LA NUEVA  
ACERÍA EN ACEROS AREQUIPA – PISCO”**

Presentado por:

**CHINO GERONIMO, LUIS ENRIQUE**

**TITULANDO EGRESADO** del nivel de **PREGRADO** de la Facultad **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA** – Escuela Profesional de **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**. El resultado obtenido es un porcentaje de **NUEVE POR CIENTO (9%)**, por el cual se le otorga el calificativo de:

**APROBADO**

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 23 de Febrero del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



*Mag. Zenón Elzadio Pacheco Casavica*  
JEFE DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería Mecánica  
Eléctrica y Electrónica



**Diseño de una nave industrial para el proyecto de la nueva  
acería en Aceros Arequipa – Pisco**

PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO  
MECANICO ELECTRICISTA

Línea de investigación:

Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

TESIS

AUTOR:

**LUIS ENRIQUE CHINO GERÓNIMO**

Ica, Perú

2022

**Dedicatoria.**

Dedico este trabajo de investigación a Dios y a mis queridos padres. A Dios porque ha estado conmigo todos los días, cuidándome, dándome fuerzas para continuar y no rendirme.

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi principal apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada desafío que se me presentaba sin dudar de mi ningún solo momento. Es por ellos lo que soy ahora lo que he conseguido y espero conseguir. Los amo con mi vida.

### **Agradecimientos.**

Le doy gracias a Dios por su amor y su bondad que no tienen límites me ha permitido poder avanzar y conseguir cada uno de mis logros, he podido caer algunas ocasiones, pero sus misericordias me han sabido dar fuerzas de levantarme y aprender de mis errores.

Agradezco a mis padres por haber forjado todo lo que soy ahora hubo momentos en los cuales la vida me supo poner obstáculos, pero debido a sus sabios consejos he podido avanzar y no rendirme es grato poder dedicarles estos logros.

Agradezco a mis hermanos y mi novia por haberme brindando el apoyo de seguir y no rendirme en los días más difíciles.

Agradecer a mi asesor, por su gratitud que con sus asesorías constantes, consejos motivacionales y sugerencias hicieron posible poder culminar este proyecto de investigación.

Índice.	
Índice de contenido .....	i
Resumen.....	1
Abstract.....	2
I. Introducción.....	3
II. Estrategia metodológica .....	5
2.1. Marco Teórico.....	5
2.1.1 Análisis de diseño de la nave industrial .....	5
2.1.1.1. Nave industrial .....	5
2.1.1.2. Análisis de pandeo .....	9
2.1.1.3. Análisis de pandeo usando métodos de los elementos finitos.....	10
2.1.1.4. Carga de viento en la columna .....	12
2.2. Fundamentos Teóricos del Análisis .....	14
2.2.1. Introducción al Análisis .....	14
2.2.2. Desafíos esperados.....	15
2.3. Método de los elementos finitos FEM .....	16
2.3.1. Software Informático FEM .....	18
2.3.2. Procedimiento de análisis FEM .....	18
2.3.2.1. Elementos-H.....	19
2.3.2.2. Elementos-P .....	21
2.3.3. Fuentes típicas de errores en el método de elementos finitos. ....	21
2.3.4. Parámetros de simulación .....	21
2.3.5. Valores redondeados .....	21
2.3.6. Diferencia entre modelos CAD y FEM.....	22
2.4. Metrado de cargas .....	24
2.4.1. Carga Muerta.....	24
2.4.1.1. Carga muerta en vigas de techo. ....	24
2.4.1.2. Carga muerta en las columnas laterales. ....	25
2.4.2. Carga Viva .....	25

2.4.2.1. Carga Viva del techo.....	25
2.4.3. Carga de viento .....	26
2.4.4. Combinaciones de carga .....	27
2.5. Carga Sísmicas.....	27
2.6. Metodología adoptada.....	29
III. Resultados .....	36
IV. Discusión .....	42
V. Conclusiones. ....	43
VI. Recomendaciones .....	44
VII. Referencias bibliográficas .....	45

## Índice de Figuras.

Figura N°1 Celosía simple .....	6
Figura N°2 Celosía compuesta.....	7
Figura N°3 Modelo estructural del diseño de nave industrial .....	8
Figura N°4. Modelo estructural del diseño de nave industrial .....	8
Figura N°5. Diagrama de cuerpo libre de la viga superior.....	9
Figura N°6. Modelo idealizado que muestra la fuerza axial .....	11
Figura N°7. Modelo tridimensional .....	11
Figura N°8. Resultados del análisis .....	12
Figura N°9. Vista UDL en la estructura metálica .....	13
Figura N°10. Modelo de simulación .....	14
Figura N°11. Columna que muestra los parámetros de simulación .....	14
Figura N°12. Modelo de simulación .....	16
Figura N°13. Maqueta del semieje de un tren.....	16
Figura N°14. Modelado simulado .....	16
Figura N°15. Modelo físico y modelo discretizado .....	19
Figura N°16. Pasos para obtener resultados en el análisis FEM.....	20
Figura N°17. Elementos grandes representados por las barras anchas .....	21
Figura N°18. Longitud h, que es más pequeña de los nodos (método H).....	22
Figura N°19. Fuentes de error.....	23
Figura N°20. Modelo CAD.....	24
Figura N°21. Modelo FEM .....	25
Figura N°22. Ejemplo carga muerta.....	25
Figura N°23. Ejemplo carga viva.....	27
Figura N°24. Presión y succión del viento en un edificio (efectos de imperfecciones).....	28
Figura N°25. Edificio deformado debido a la fuerza del viento (efectos de imperfecciones) ....	28
Figura N°26. Elementos de arriostramiento entre columnas (efectos de imperfecciones).....	29
Figura N°27. Efectos de un terremoto en un edificio (eventos de flujo).....	30
Figura N°28: Respuesta de una estructura en base a sus modos de vibración .....	30

Figura N°29. Diseño de vigas y columnas .....	34
Figura N°30. Partes de componentes de armadura trapezoidal .....	35
Figura N°31. Armadura trapezoidal.....	35
Figura N°32. Varios tipos de sección de acero .....	36
Figura N°33. Plano diseñado .....	36
Figura N°35. Viento X.....	36
Figura N°36. Carga de viento en dirección X.....	37
Figura N°37. Viento Y .....	39
Figura N°38. Carga de viento en dirección Y.....	39
Índice de tablas.	
Tabla N°1: Fuerza en la columna superior.....	10
Tabla N°2: Detalle del Almacén .....	31
Tabla N°3: Factores de forma .....	33
Tabla N°4: Factores de forma para determinar cargas adicionales en elementos de cierre .....	33
Tabla N°5: Carga de viento en la armadura del techo.....	37
Tabla N°6: Cargas críticas de viento.....	37
Tabla N°7: Resumen de Resultados.....	39

## **Resumen**

El Perú viene ejemplificando los inmensos retos a los que ha de hacer frente América Latina tras la crisis post pandemia, así como las grandes expectativas por la reactivación económica mediante el crecimiento de la industria, conllevando a una propuesta de almacenamiento de materia prima, producción y bienes industriales, garantizando su adecuado acopio y depósito. Este informe tiene por objetivo llevar a cabo el diseño y simulación de una nave industrial. Como metodología se estudiarán los diferentes tipos de efectos de la carga de viento y celosías a considerar en el diseño de una nave industrial, previa revisión de literatura. Se diseña la estructura de la nave industrial de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.186:2018, y el análisis de las cargas de viento, viva y muerta de acuerdo con la Norma E.020. Se determinó el área para el diseño de la nave industrial y se elaboró un plan arquitectónico con los requisitos NTP. Para la obtención de las fuerzas que actúan sobre los elementos adyacentes cuando uno de los elementos estructurales esté bajo carga, se calcula los excesos de esfuerzo y relaciones inducidas en estos elementos conectados, los momentos y fuerzas producidas. Finalmente, se diseñaron diferentes elementos estructurales de la nave industrial, como, elementos de la armadura, columnas y conexiones, etc. y se obtuvo el resultado final. Se concluye que las naves industriales son diseños no tan complejos si se adopta un procedimiento de diseño simple basado en las especificaciones NTP y E.020.

Palabras clave: carga de viento, estructura, nave industrial.

## **ABSTRACT**

Peru has been exemplifying the immense challenges faced by Latin America after the post-pandemic crisis, as well as the great expectations for economic recovery through the growth of industry, leading to a proposal for storage of raw materials, production and industrial goods, ensuring their proper storage and warehousing. The purpose of this report is to carry out the design and simulation of an industrial warehouse. As a methodology, the different types of force/load effects to be considered in the design of an industrial warehouse will be studied, after reviewing the literature. The structure of the industrial building is designed according to the Peruvian Technical Standard (NTP) 339.186:2018, and the analysis of wind, live and dead loads according to Standard E.020. The area for the design of the industrial building was determined and an architectural plan was prepared with the NTP requirements. In order to obtain the forces acting on the adjacent elements when one of the structural elements is under load, the excess forces and ratios induced in these connected elements, the moments and forces produced were calculated. Finally, different structural elements of the industrial building, such as reinforcement elements, columns and connections, etc., were designed and the final result was obtained. It is concluded that industrial buildings are not so complex designs if a simple design procedure based on NTP and E.020 specifications is adopted.

Key words: industrial warehouse, truss, wind load.

## I. INTRODUCCIÓN.

El presente informe, aborda las consideraciones técnicas para el diseño y simulación de una nave industrial para una nueva acería en la planta Pisco de la Corporación Aceros Arequipa S.A. con la finalidad de almacenar materias primas, producción o bienes industriales. La Corporación se dedica a la producción de acero de alto carbono y vienen ejecutando proyectos de modernización en la construcción de nuevas acerías, el cual tiene una duración de 02 años, actualmente los materiales y equipos utilizados se vienen deteriorando por su exposición a la radiación solar y factores climatológicos, por lo que se requiere el diseño de un ambiente para brindarles protección. Por otra parte, los arriostramientos horizontales y verticales empleados en las naves industriales de una o varias plantas, y celosías, se utilizan principalmente para resistir las cargas de viento, y las cargas laterales. Estos arriostramientos minimizan la deflexión diferencial entre los diferentes pórticos debido al sobrevoltaje de las grúas en naves industriales, también brindan soporte lateral a las columnas de estructuras pequeñas y altas, aumentando así la resistencia al pandeo. Las vigas de láminas, correas y soportes de techo soportadas en columnas proporcionan una estructura metálica para el techo es común en las naves industriales. La planta Pisco cuenta con una capacidad de producción de 1200000 toneladas anuales de productos terminados, se ubica en el km.241 desierto del distrito de Paracas, provincia de Pisco, tiene dos plantas de acería, plantas de laminación y plantas de industrialización. La acería 1 y 2 tienen una capacidad de producción anual de 900,000t (130x130mm, 150x150mm) y 1250000t (130x130mm, 160x160mm, 180x180 mm) de palanquilla de diferentes secciones. Según el tipo de estructura se clasifica en naves de estructura metálica, naves de hormigón, y naves mixtas; según su conformación la celosía se clasifica en simple, compuesta y compleja. En el año 2020, Martínez [1] concluye que la optimización cumple con el funcionamiento tanto en tensiones, desplazamiento, factor de seguridad y el factor de seguridad de pandeo, resultando positivamente en la implementación de la nave industrial. En el año 2019, Velasco [2] concluye que al ubicar la nave industrial al final del ingreso principal de la Finca Experimental La María, este espacio contará con un área de 1800m<sup>2</sup>, un frente de 30m y fondo de 60m, mencionado espacio tendrá tres accesos, un auditorio, una oficina, dos baños, una bodega y dieciocho laboratorios de ingeniería. En el año 2018, Cahuana [3] optimizo el diseño de una nave industrial que abarque medianas y pequeñas industrias de la costa y sierra peruana; los valores característicos servirán como guía para definir los detalles principales y así poder obtener el diseño específico que buscamos, aligerando las estructuras metálicas a fin de plazos y costos. Al reducir el plazo de ejecución, si bien es cierto se tiene un incremento en el costo de la construcción, pero es ampliamente superado por los días de producción al adelantar la puesta en marcha, además de poder ser utilizado para atender situaciones de emergencia por ejemplo las climáticas. La

importancia del estudio se ciñe a la generación de nuevos conocimientos en materia de diseño de estructuras metálicas de una nave industrial, capaz de resistir a las condiciones climáticas y radiación solar debido a su ubicación. Además, de una relevancia práctica porque conllevará a un novedoso modelado matemático que garantice el desempeño de la construcción, una estructura que incluya los componentes más significativos, que suministre una respuesta dinámica ante un sismo o vientos de diseño, que disipe la energía en congruencia con los factores de ductilidad o de reducción; beneficiando a la corporación y a los usuarios facilitando el almacenamiento y producción en la organización de los mismos. El objetivo del informe es el diseñar una nave industrial para el proyecto de la nueva acería en Aceros Arequipa – Pisco.

## II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

### 2.1. Análisis estructural.

#### 2.1.1. Análisis de diseño de la nave industrial.

##### 2.1.1.1. Nave industrial.

a) **Estructura metálica.** Una estructura puede definirse como un sistema de miembros conexiones individuales, dispuestas para que todo el conjunto permanezca estable y sin cambios apreciables en forma, mientras se logran los criterios de desempeño prescritos. Las estructuras en general y las de acero en particular tienen una función importante en nuestra vida diaria. Vivimos en edificios industriales, nos distraemos en campos y estadios deportivos, admiramos museos y estamos rodeados de éstos, estudiamos en bibliotecas y hacemos compras en tiendas y centros comerciales, de los cuales una buena proporción de acero.

b) **Acero estructural.** El acero estructural es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción, ya sea para edificios industriales y comerciales, así como también para puentes y muelles. De hecho, el acero es uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil, más adaptable y más ampliamente usado, de modo que combina la resistencia y la posibilidad de ser trabajado, lo que se presta para fabricaciones de muchos métodos, ya que sus propiedades pueden ser manejadas de acuerdo a las necesidades específicas mediante tratamientos con calor, trabajo mecánico o mediante aleaciones.

##### c) **Clasificación.**

Según el tipo de estructura se clasifica en naves de estructura metálica, naves de hormigón, y naves mixtas; según su conformación la celosía se clasifica en simple, compuesta y compleja.

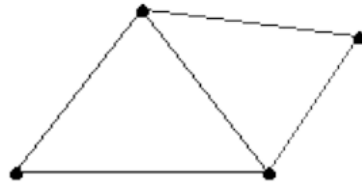
– **Naves de estructura metálica.** La construcción de una nave con este tipo de material requiere menos tiempo, tanto por el transporte de materiales, como en el montaje y forjados.

– **Naves de hormigón.** Las estructuras de hormigón tradicional o in situ son rígidas, por lo tanto, permiten construir varias subestructuras en planta.

- **Naves mixtas.** En estas construcciones se combina el uso de metal y hormigón, de forma variable según las necesidades específicas de cada proyecto.

Clasificación de la celosía según su conformación:

- **Celosía simple.** Construidas a base de una figura mínima estable (triángulo).



$$\# \text{ barras} = m = 3 + \# \quad \# = m - 3$$

$$\# \text{ nudos} = n = 3 + \#/2 \quad \# = n - 6$$

Igualando:

$$m - 3 = 2n - 6$$

$$m = 2n - 3$$

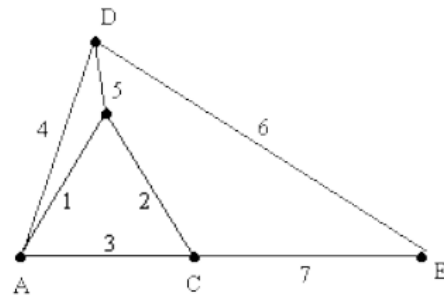
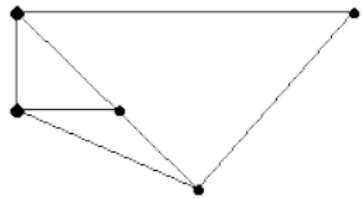
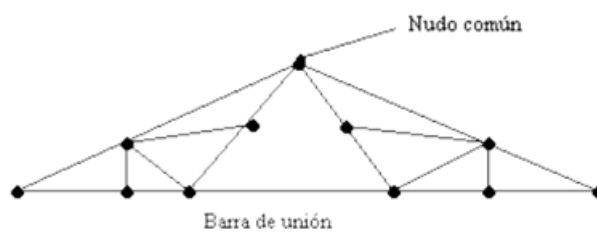


Figura N°1: Celosía simple

- **Celosía compuesta.** Construidas por la unión de dos armaduras simples usando 1 barra de unión adicional y nudo común o tres barras adicionales o sustituyendo elementos de una estructura principal.



$$m = 2n - 3$$

19 barras

11 nudos

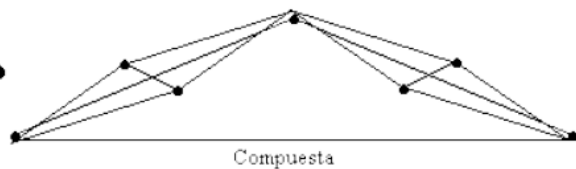
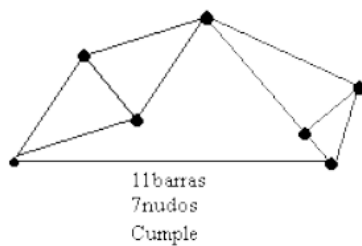


Figura N°2: Celosía Compuesta

- **Celosía mixta.** No son simples ni compuestas. Para determinar su estabilidad, es necesario verificar  $m + r < 2j$

Donde:

m: número de barras.

r: número de reacciones.

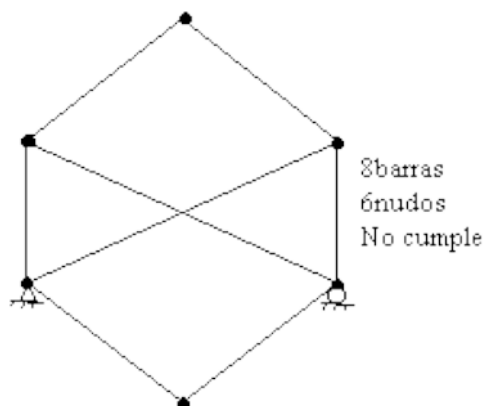


Figura N°3: Celosía Mixta

Por lo general, las estructuras metálicas de las naves industriales tienen marcos que se extienden en la dirección del ancho, varios de estos marcos están dispuestos a un espacio adecuado para obtener la longitud requerida. Dependiendo del requerimiento, se pueden construir varias bahías contiguas entre sí. Los arriostramientos horizontales y verticales, empleados en estructuras metálicas de una o varias plantas, y también las cerchas, se utilizan principalmente para resistir el viento y otras cargas laterales. Estos arriostramientos minimizan la deflexión diferencial entre los diferentes pórticos debido al sobrevoltaje de las grúas en naves industriales, también brindan soporte lateral a columnas en estructuras metálicas pequeños y altos, aumentando así la resistencia al pandeo. Las vigas de láminas, correas y soportes de techo soportadas en columnas proporcionan un sistema estructural de techo es común para estructuras metálicas industriales. El análisis se centra en la parte de la estructura de la nave industrial, esto incluye el ensamblaje de las estructuras de la columna, las vigas que conectan a la celosía, los arriostramientos y las uniones. Para el modelado y simulación de las estructuras de acero y metálicas de la nave industrial se utiliza el software AutoCAD, como se observa a continuación en la figura N°4.

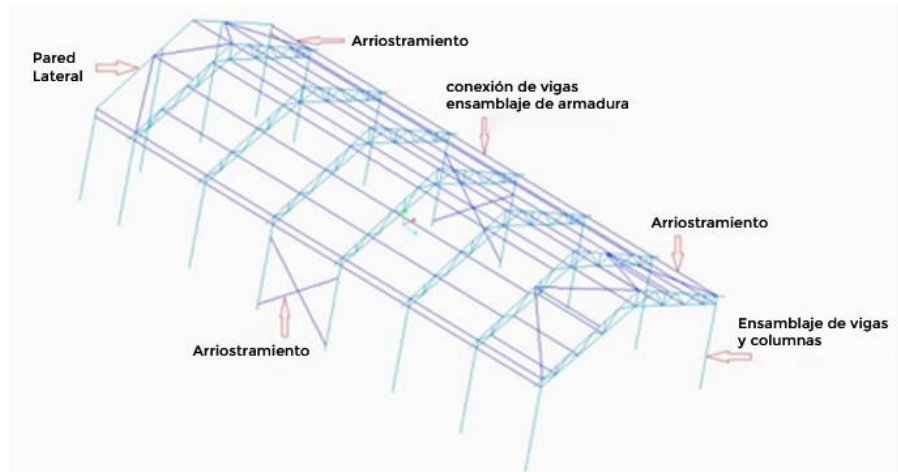


Figura N°4: Modelo estructural, del diseño de nave industrial.

El proceso de análisis comienza con el modelado de la estructura en un software de diseño asistido por computadora (CAD). Esto marca el comienzo del proceso de modelado. El análisis comienza simplificando la estructura y asumiendo que el edificio residencial está en una vista bidimensional. Luego sigue el análisis tridimensional de la estructura. Los elementos están unidos por nodos y juntos todos los elementos aparecen como el dibujo real. Otras partes a analizar, como la columna y las juntas, se modelan juntas y, cuando se requiere, se separan. Cada elemento tiene propiedades geométricas claramente definidas, como las propiedades de longitud y sección transversal. Cada elemento de línea solo tendrá dos nodos. Los elementos interconectados representan entonces la estructura. Después de dibujar la estructura, se definen las restricciones en los nodos. El nudo puede ser libre en todos los grados o puede ser totalmente fijo. Algunos nodos están fijos en un eje mientras que están libres en otro eje. Esto depende de cómo se establezca la estructura real y los resultados esperados. Luego se define la carga en el modelo. La magnitud y la dirección de la carga deben indicarse claramente. Después de configurar todos los parámetros de simulación, se ejecuta el modelo. Un análisis de convergencia estima los errores en la simulación. Se proporcionan tres opciones diferentes métodos de convergencia. Incluyen: verificación rápida, adaptativa de un solo paso y adaptativa de verificación múltiple. Se logran resultados más precisos utilizando el método de convergencia adaptativa de verificación múltiple. Si hay algún error después de la simulación, es posible volver a los parámetros de simulación y editar la información. Los resultados se pueden mostrar en muchas formas si es necesario. Se pueden visualizar de forma gráfica, en una vista deformada o animada. Los resultados deben

revisarse críticamente y no aceptarse a ciegas. La forma del modelo desviado y la animación ayudan a verificar si se usaron los parámetros correctos.

**2.1.1.2. Análisis de pandeo.** El primer paso es identificar la carga puntual en la columna siguiendo los pasos que se muestran en la tabla 1. La siguiente figura ilustra el diagrama de cuerpo libre del marco superior sobre el que actúa directamente carga uniformemente distribuida (UDL). El objetivo principal es identificar la reacción en (A) donde se fija la columna

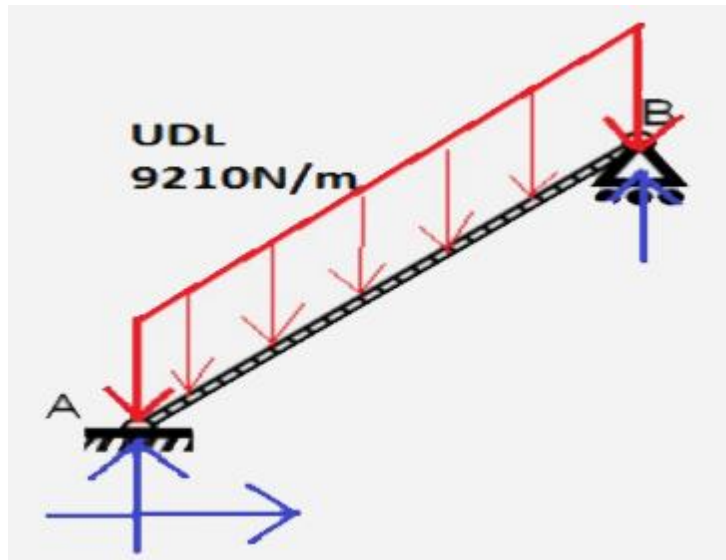


Figura N°5: Diagrama de cuerpo libre de la viga superior.

El problema es estático y se utilizan nuevamente las ecuaciones de equilibrio. Utilizando las ecuaciones de equilibrio, se calcula la fuerza puntual en A que actuará como fuerza axial sobre la columna. La siguiente tabla 1 muestra cómo se evalúa la fuerza.

Descripción del procedimiento	Diagramas y cálculos
Presentación esquemática (FBD)	<p>RESULTANT L2 = 7710mm 22.8deg 7107mm = L1 A.y B.y</p>
Fuerza resultante	$UDL := 9.21 \times 10^3 \frac{N}{m}$ $Resultante := L_2 \cdot UDL = 10^4 N$
Fórmulas de equilibrio y cálculos estadísticos	$\sum f(x) = 0 \quad \sum f(y) = 0 \quad \sum M = 0$ $B_y \cdot L_1 - Resultante \frac{L_1}{2} = 0$ solve, $B_y \rightarrow 35504.55N$

	$B_y := 35504.55 \cdot N$ $A_y := \text{Resultante} - B_y = 3.55 \times 10^4 N$
--	--

Tabla N°1: Fuerza en la columna superior.

La fuerza axial aplicada (P aplicada) sobre la columna es 35500N actuando axialmente sobre la columna. El siguiente paso es realizar un análisis de pandeo en la columna para averiguar si la columna es lo suficientemente rígida para evitar altos niveles de pandeo. La fórmula de pandeo de Euler se utiliza para encontrar la carga teórica de pandeo.

$$P_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(2 \cdot L)^2}$$

$$I := 9250000 \text{ mm}^4$$

$$L := 5838 \text{ mm}$$

$$P_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(2 \cdot L)^2} = 1.3.9 \times 10^5 N$$

**2.1.1.3. Análisis de pandeo usando métodos de los elementos finitos.** El Análisis del método de los elementos finitos (FEM), utiliza el software para analizar la columna, descubriendo si se producirá la misma carga crítica de pandeo y si se visualizara la simulación. El análisis se ha modelado en Creo-Simulate como se observa en las a continuación en las figuras 6 y 7.

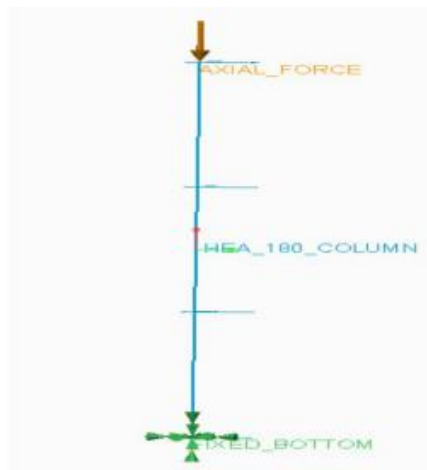


Figura N°6: Modelo idealizado que muestra la fuerza axial.



Figura N°7: Modelo tridimensional.

Al insertar los parámetros, se utiliza una fuerza de 1N como fuerza axial para anticipar un factor de carga crítica de pandeo (BLF) de 133.392. En la siguiente figura se observan los resultados después de la simulación.

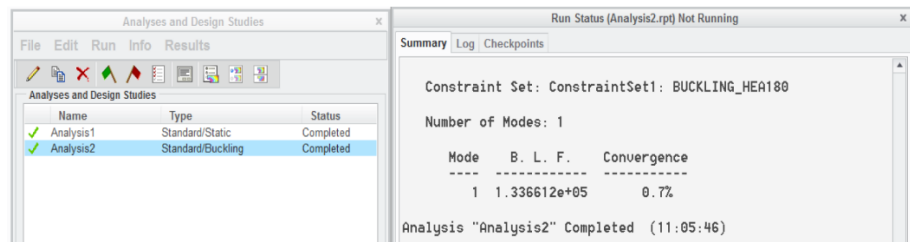


Figura N°8: Resultados del análisis.

La BLF es 133,661 que son casi similares a los resultados teóricos. Por lo tanto, la carga crítica ( $P_{cr}$ ) que hará que la columna se pandee es  $1N \cdot BLF$ . A partir del análisis de los elementos FEM y los cálculos teóricos, la carga crítica de pandeo se estima en 133 900 N. Se aplica un valor de seguridad a la carga crítica y la carga axial permitida es la que se muestra a continuación.

$n$  = Safety factor

$$P_{allowed} := \frac{P_{cr}}{2} = 6.697 \times 10^4 N$$

$$P_{allowed} < P_{cr}$$

La carga aplicada en la parte superior de la columna es de 35 500 N, que es menor que la carga permitida de 66 970 N. Por lo tanto, se concluye que la

carga sobre la columna causada por la carga de pesos que puedan caer, no hará que la columna se pandee.

#### 2.1.1.4. Carga de viento en la columna.

En primer lugar, la carga de viento debe definirse de acuerdo con las normas. La presión del viento sobre una superficie externa se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$w_e = q_p(Z_e) \cdot C_{pe}$$

Donde  $q_p(Z_e)$  es la presión de velocidad máxima y  $C_{pe}$  es el coeficiente de presión para la superficie externa.

Presión máxima de velocidad =  $600 \text{ N/m}^2$

Coefficiente de presión = 1.4

$$w_e = 840 \text{ N/m}^2$$

Finalmente, la UDL (N/m) en la columna se resuelve usando la ecuación de la siguiente manera:

Carga de presión =  $840 \text{ N/m}^2$

Longitud = 4.797m

UDL: Longitud de la carga de presión =  $4.029 \times 10^3$

El problema se modela en Creo – Simulate como se muestra a continuación en la figura N°9.

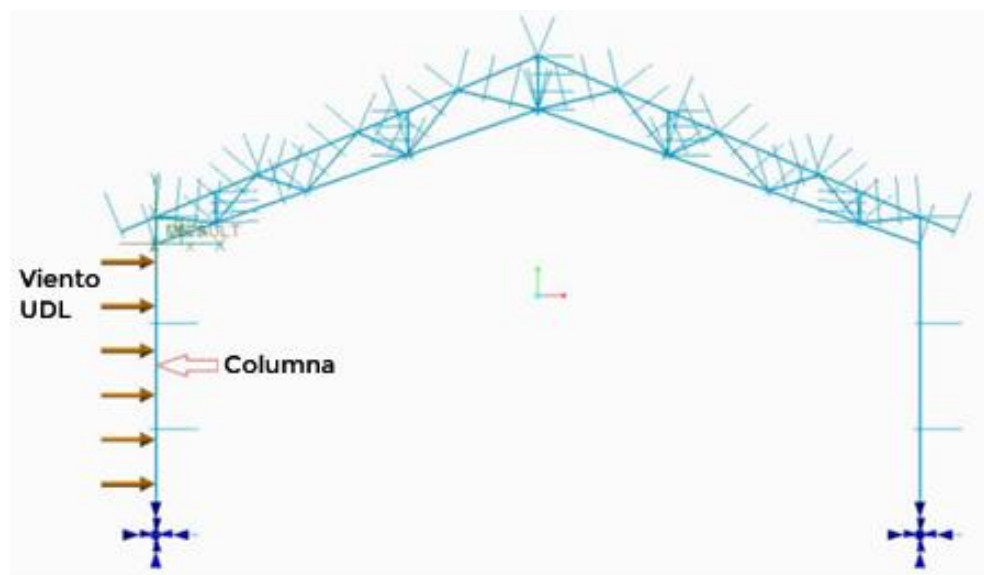


Figura N°9: Vista de la UDL en el edificio.

Se simula la solución al problema y el esfuerzo máximo de Von-Mises ocurre en la base de la columna a un valor de 18MPa. Este es un estrés considerablemente bajo dado que no está cerca del límite elástico.

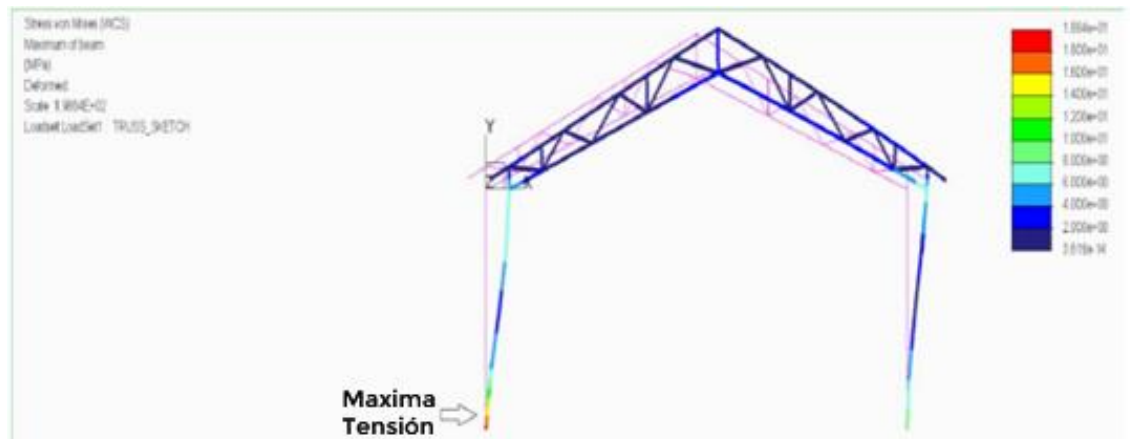


Figura N°10: Simulación de modelo.

El siguiente paso es aislar la columna para realizar un análisis aún más detallado. Se simula un modelo tridimensional de la parte de la columna y los parámetros simulados (cargas, posiciones fijas) son como se observa a continuación en la figura N°11.

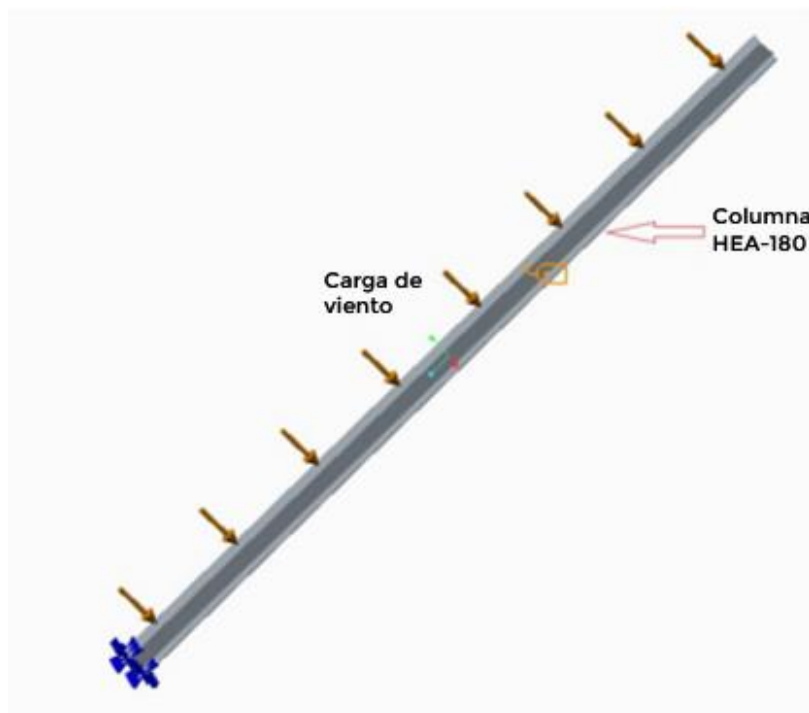


Figura N°11: Columna que muestra los parámetros de simulación.

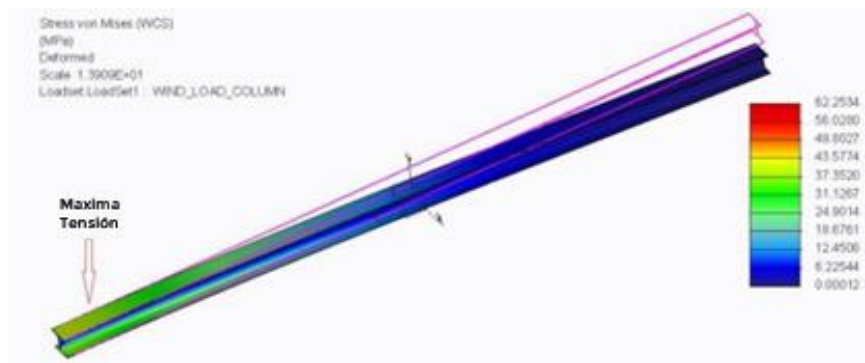


Figura N°12: Modelo de simulación.

Las altas tensiones ocurren en la base de la columna de forma similar al modelo anterior que se observa en la figura 35. Sin embargo, hay una gran diferencia en los valores de la tensión máxima. El nuevo valor de la tensión es de 37,52 MPa en comparación con los 18 MPa anteriores. El nuevo valor es considerablemente bajo y no se acerca al nivel crítico. Esta gran diferencia se debe a la diferente técnica utilizada en el modelado. En el primer caso, la armadura del techo todavía está conectada a la columna. La carga de la armadura y la nieve reduce la flexión de la columna cuando la carga del viento actúa sobre la columna. Es por esto que el modelo de la figura 37 experimenta esfuerzos altos en comparación con el de la figura 35. La conclusión es la misma ya que ambos esfuerzos están muy por debajo de los esfuerzos críticos establecidos según el factor de seguridad y el límite elástico.

## 2.2. Fundamentos Teóricos del Análisis.

**2.2.1. Introducción al análisis.** El método de análisis utilizado es muy importante ya que los resultados dependen casi por completo del procedimiento utilizado para examinar la estructura. Podría ser una tarea desalentadora y propensa a errores si este examen se realiza manualmente. Es por esa razón que se utiliza el método de los elementos finitos (FEM) para todo este análisis. Este método es una forma cómoda y rápida de realizar el análisis estructural. Los dibujos individuales de las estructuras a analizar se modelan en el software para replicar la estructura real. Las fuerzas y restricciones también se modelan en el software. A continuación, en la figura N°13 se puede observar la diferencia entre una estructura real y una estructura modelada.

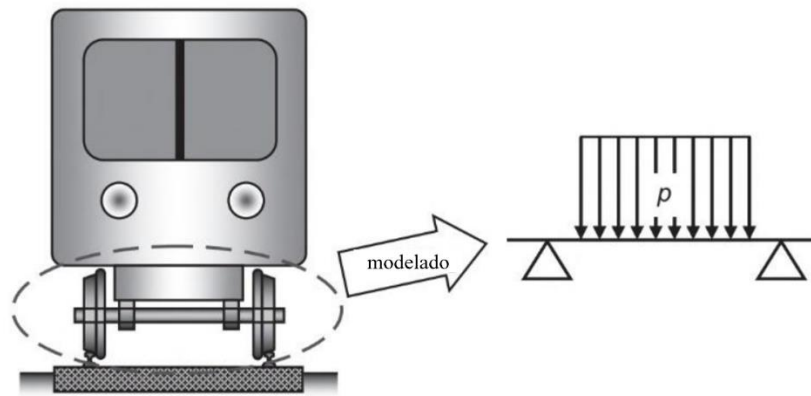


Figura N°13: Modelado de un semieje en una viga simplemente apoyada.

El modelado implica replicar el dibujo en el software de la computadora. La información más importante en los modelos incluye: propiedades de la sección transversal de la viga, fuerzas y restricciones (condiciones de contorno) de la estructura. Sin embargo, se debe tener precaución durante este proceso ya que el modelado inexacto de las estructuras en el software puede generar errores acumulados. El siguiente paso es simular el modelo para conocer los resultados. Los resultados muestran las tensiones, el pandeo y los desplazamientos de Von-Mises del modelo. En la figura 14 a continuación se observa un ejemplo de un modelo de simulación. Los resultados se muestran gráficamente. Las regiones en rojo indican tensiones o desplazamientos altos, mientras que las azules muestran tensiones o desplazamientos bajos.

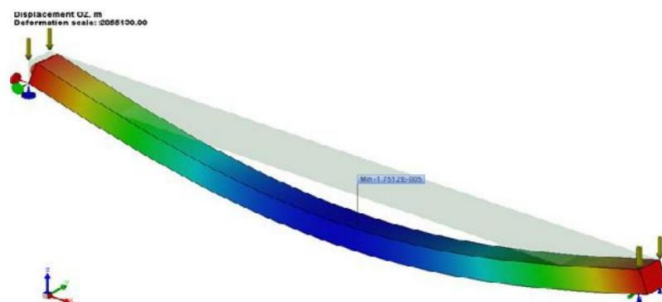


Figura N°14: Modelado simulado.

Así es como se realiza parte del proceso de análisis, pero en el próximo capítulo se explica información más detallada.

**2.2.2. Desafíos esperados.** El proceso de análisis no es sencillo, incluso con la ayuda de un software informático muy avanzado. Los dos desafíos principales previstos son mantener una alta precisión y consistencia en los procedimientos. Todos los resultados deben tener sentido y se espera que sean realistas. Si no se tiene cuidado, se obtienen resultados y conclusiones muy extraños. Debe recordarse siempre un dicho familiar que se usa cuando se usa software de computadora: “basura entra, basura sale”. Por

eso es bueno conocer los desafíos de antemano para poder abordarlos cuando sea necesario. Es muy importante que el nivel de precisión se mantenga en un nivel alto a lo largo del informe. Como se señaló anteriormente, los errores acumulados conducen a resultados precisos y diseños erróneos. Hay muchas situaciones que pueden dar lugar a que se utilicen datos incorrectos para el análisis. Por ejemplo, durante el modelado pueden omitirse algunos detalles de los dibujos que afectan los resultados finales. Todos los pasos se verifican dos veces solo para asegurarse de que todo sea correcto. Los cálculos simples de resistencia de los materiales ayudan a mejorar los niveles de precisión. Los resultados deben ser razonables para aumentar los niveles de confianza. El método de resolución de problemas debe ser el mismo durante todo el análisis porque entonces es más fácil comparar resultados y diseños. Por ejemplo, las unidades utilizadas al comienzo del análisis deben utilizarse durante todo el trabajo de tesis. Podría ser catastrófico si se usaran unidades inglesas en un cálculo y todos los demás usaran unidades métricas. Evitar los errores y tener una buena consistencia es importante durante el desarrollo del informe.

### **2.3. Método de los elementos finitos FEM.**

Los problemas físicos existen en diferentes categorías de ingeniería, por ejemplo; mecánica de sólidos y fluidos, electrónica, dinámica y termodinámica. El análisis numérico es una técnica utilizada por los ingenieros para resolver las ecuaciones diferenciales que mejor describen los modelos físicos. El método de los elementos finitos (FEM) es un ejemplo de una técnica numérica que se utiliza para resolver los problemas físicos. El análisis FEM se puede utilizar en muchos campos como:

- Análisis estructural (esfuerzo, deformación, pandeo y modal).
- Análisis de temperatura.
- Análisis magnético y eléctrico.
- Simulaciones de aplastamiento.
- Problemas relacionados (carga de viento en un edificio que causa deflexiones)

En el análisis estructural, FEM se utiliza para investigar cómo las fuerzas aplicadas afectarán el diseño del producto. Las estructuras complejas se analizan mejor con la ayuda del método FEM porque los cálculos manuales no pueden encontrar la solución. Las computadoras altamente poderosas son esenciales ya que el método FEM implica resolver numerosas ecuaciones simultáneas.

El edificio residencial es una estructura compleja. Los cálculos que arrojan soluciones directas durante el análisis no son posibles debido al complejo edificio residencial que tiene condiciones de carga y geometrías complejas. Es por esto que se utilizan métodos numéricos como FEM para encontrar las soluciones.

Los procedimientos de métodos numéricos implican proporcionar una secuencia de aproximaciones repitiendo el procedimiento una y otra vez. (Métodos numéricos, sin fecha). En resumen, las matemáticas básicas directas, como el cálculo, no pueden resolver los problemas. Se utilizan métodos numéricos que encuentran las aproximaciones de las soluciones. Esta es solo la información básica sobre la teoría matemática detrás de la teoría de los elementos finitos. La atención se centra en cómo se utiliza el software, pero no en los antecedentes teóricos del FEM.

Existe una tendencia creciente en la simulación de diseños y FEM es una de las principales razones de esta capacidad. Las simulaciones son importantes especialmente cuando se experimenta con nuevos diseños. Eliminan el costo de las pruebas ya que el diseño real (prototipo) no se produce ni se prueba en la realidad. Entonces, el método FEM no solo ayuda en el análisis, sino que también es capaz de probar los nuevos diseños en simulaciones. El FEM implica dividir el problema en pequeños elementos y encontrar soluciones individuales. Los elementos están conectados por puntos nodales y las condiciones de contorno se definen explícitamente al principio. Los nodos pueden trasladarse, rotar o permanecer fijos y esto queda claramente definido al modelar la estructura. Si los nodos experimentan desplazamiento, los elementos también se desplazan. El FEM implica descomponer el problema en elementos pequeños y encontrar soluciones individuales. Los elementos están conectados por puntos nodales y las condiciones de contorno se definen explícitamente al principio. Los nodos pueden traducir, girar o permanecer fijos y esto está claramente definido al modelar la estructura. Si los nodos experimentan desplazamiento, los elementos también cambian de posición. Los elementos finitos se unen de nuevo para encontrar la solución aproximada final para toda la estructura.

En la figura 15, se observa un objeto físico real y un modelo discretizado dividido en elementos finitos con condiciones de contorno. Los resultados del software FEM están bien presentados y son fáciles de interpretar. Sin embargo, los resultados deben verificarse dos veces.

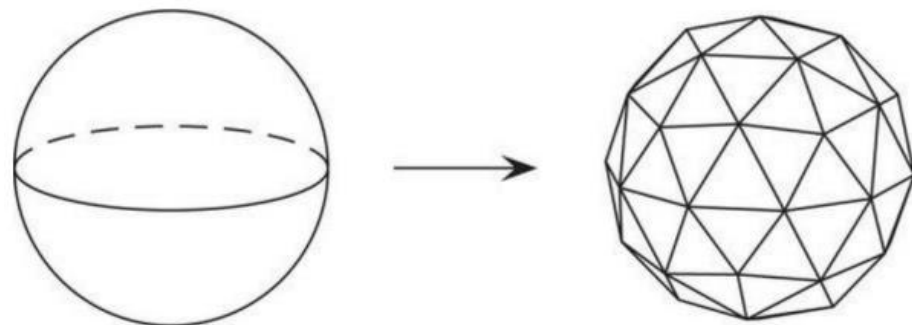


Figura N°15: Modelo físico y modelo discretizado.

### 2.3.1. Software informático FEM.

Hay muchos programas de computadora que realizan análisis estructural. Los programas se dividen en dos: pequeños programas específicos y programas comerciales pesados.

Los programas específicos están diseñados para resolver problemas singulares y no pueden manejar diferentes tipos de problemas. Estos programas son más baratos y ampliamente disponibles. Por otro lado, los programas comerciales pueden resolver una amplia variedad de problemas y realizar simulaciones de diseño. El análisis de esta tesis utiliza ambos tipos, pero principalmente el programa comercial debido a la naturaleza compleja del análisis. Los programas utilizados son: programa basado en Mathcad y Creo-simulate. El programa más pequeño utilizado es un programa basado en Mathcad desarrollado por Esa Murtola, quien es profesor de HAMK. Varios otros programas comerciales están disponibles y se pueden utilizar para realizar el mismo análisis. Incluyen:

- ANSYS.
- Abaqus.
- ANSA.
- ALGOR.

La lista es muy larga y la elección del programa que se utiliza para esta tesis se explica en detalle más adelante en el siguiente subcapítulo.

### 2.3.2. Procedimiento de análisis FEM.

Se consideran los siguientes pasos a realizar para utilizar el software FEM:

- Cree la geometría con Creo parametric (software CAD).
- Transfiera el modelo a Creo Simulate.
- Agregue los parámetros de simulación (propiedades del material, restricciones del modelo y cargas).
- Ejecutar el modelo (el modelo se discretiza para formar una malla de elementos finitos).
- Mostrar los resultados deseados.



Figura N°16: Pasos para obtener resultados en el análisis FEM.

Cuando se calculan los resultados finales, es esencial verificar si los resultados son precisos. Esta verificación se realiza mediante un procedimiento conocido como análisis de convergencia. La convergencia utiliza el mismo problema para mostrar diferentes resultados a fin de determinar qué resultados son precisos y deben aceptarse. El método utilizado para el análisis de convergencia divide los programas FEM en dos grupos. Un grupo usa elementos  $h$ , mientras que el otro usa elementos  $p$  para la convergencia.

#### **2.3.2.1. Elementos - H.**

El refinamiento de malla es el método de convergencia para lograr mejores resultados en estos programas FEM. El refinamiento de la malla implica hacer los elementos más pequeños para obtener resultados más precisos. Se resaltan secciones específicas de los modelos y se refina la malla para obtener resultados más confiables.

Los nodos conectan los elementos pequeños entre sí y, por lo tanto, la obtención de la solución comienza con el cálculo del desplazamiento de los nodos. Matemáticamente, el desplazamiento del nodo en su forma más simple es una función lineal. La derivada del desplazamiento obtiene la deformación y utilizando el módulo de elasticidad se obtiene la tensión. Esto se demuestra mediante las siguientes dos ecuaciones:

$$\varepsilon_x = \frac{d}{dx} U$$

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x$$

Con elementos grandes, la distribución de tensiones es la misma en la estructura, lo que no es cierto en la realidad.

Esto se representa en la figura 17 a continuación, donde los nodos están a una mayor distancia entre sí antes del refinamiento de la malla.

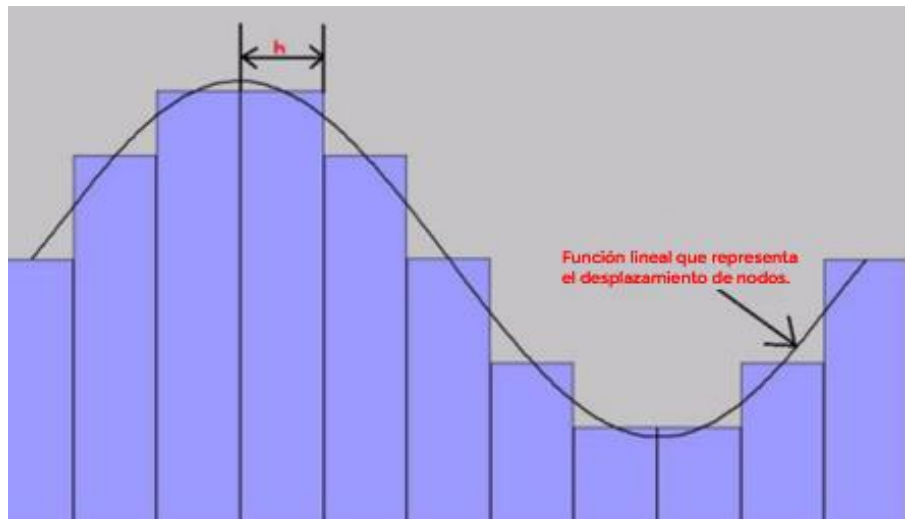


Figura N°17: Elementos grandes representados por las barras anchas (método H).

El refinamiento de la malla implica reducir el tamaño de los elementos, lo que en consecuencia reduce la longitud de los nodos que se observa en la figura 17. Esto hace que la distribución de la tensión en la estructura sea más precisa y distribuida de manera desigual.



Figura N°18: Longitud  $h$  que es más pequeña de los nodos (método H).

El refinamiento de la malla se representa en la figura 18 y esto conduce a resultados más precisos. El único inconveniente de este refinamiento de la malla es que los elementos más pequeños aumentan el tiempo de cálculo. Hay que llegar a un compromiso entre el tiempo y la precisión.

### 2.3.2.2. Elementos-P.

El tamaño de los elementos sigue siendo el mismo. El orden de los polinomios de interpolación en los elementos afecta la precisión de los resultados.

Los polinomios de orden inferior dan como resultado resultados inexactos y los polinomios de orden superior tienen mejores resultados. La convergencia ocurre al cambiar el orden de los polinomios. El tamaño del elemento sigue siendo el mismo pero la complejidad del elemento cambia.

**2.3.3. Fuentes típicas de errores en el método de elementos finitos.** Hay muchos pasos involucrados en el proceso de análisis. Cada detalle o suposición no debe conducir a resultados falsos. La pérdida de información a medida que se avanza de un paso a otro también provoca errores en el análisis. Durante esta tesis, cada paso se revisa antes de proceder al siguiente solo como precaución. La figura 19 a continuación muestra los orígenes de las fuentes de error típicas.

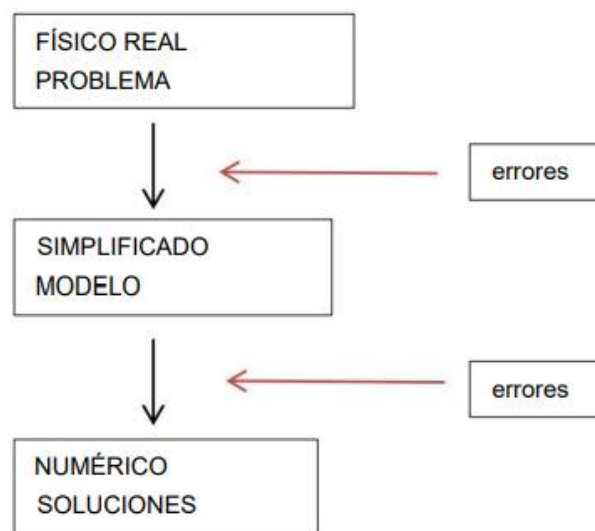


Figura N°19: Fuentes de Error.

### 2.3.4. Parámetros de simulación.

Esta es la principal fuente de errores. La configuración de los parámetros determina el tipo de resultados recibidos. Por ejemplo, las estructuras grandes tienen muchas vigas y cada viga debe asignarse en la posición correcta. Durante el modelado, la magnitud de las cargas y la dirección deben representar la situación real.

### 2.3.5. Valores redondeados.

Como se indicó anteriormente, los métodos numéricos se utilizan para calcular los problemas en los cálculos. Estos problemas son muy complejos e involucran números

enormes que se redondean. Estos errores acumulados por el redondeo pueden conducir a resultados erróneos.

El análisis de convergencia se realiza al final de la simulación para reducir estos errores. Sin embargo, durante esta tesis, se utilizan cálculos simples basados en la resistencia de los materiales para respaldar algunos de los resultados.

### 2.3.6. Diferencia entre modelos CAD y FEM.

En el modelado, conocer la diferencia entre un modelo CAD y un modelo FEM aumenta la precisión del análisis. Un modelo CAD incluye todos los detalles de un modelo físico, incluidos los chaflanes y el redondeo. Un modelo CAD se utiliza principalmente con fines de fabricación. Los modelos CAD simples que no tienen demasiados detalles también pueden usarse simultáneamente en programas FEM y CAD.

Un modelo FEM, por otro lado, se utiliza para el análisis estructural. Es posible que no se requieran detalles como el acabado de la superficie. En algunos casos, la simetría juega un papel importante en el análisis. La simetría simplifica el problema y reduce la cantidad de elementos y ecuaciones a calcular, lo que conduce a resultados más precisos.

Las siguientes figuras 20 y 21 ayudan a explicar con más detalle la diferencia entre un modelo CAD y FEM.

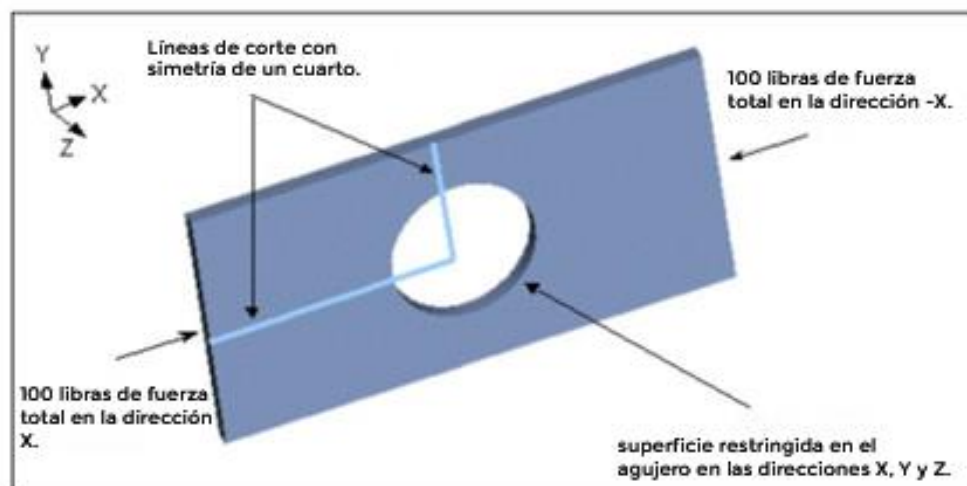


Figura N°20: Modelo CAD (usando la simetría de espejo).

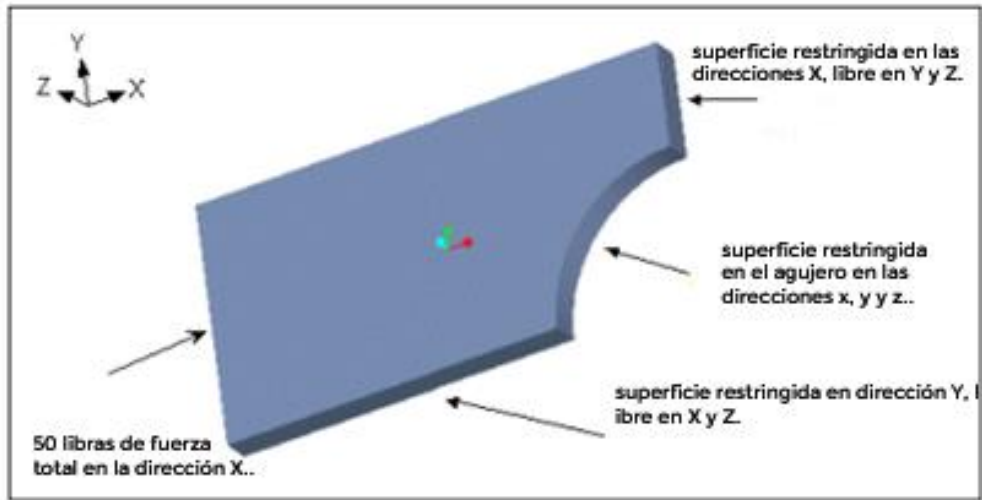


Figura N°21: Modelo FEM (usando simetría de espejo).

## 2.4. Medrado de cargas.

### 2.4.1. Carga Muerta.

La carga muerta comprende el peso propio de la estructura, los pesos del techo, las láminas GI, la viga del pórtico, la viga de la grúa, las correas, las varillas de pandeo, los arriostramientos y otros accesorios.

Como su nombre indica, este tipo de carga no cambia con el tiempo y actúa de forma permanente sobre el edificio. Las cargas muertas se denominan acciones permanentes. La definición establece que “el peso propio de las obras de construcción debe clasificarse como una acción fija permanente”. La estructura fijada permanentemente, como el acabado que permanece fijo, también se clasifica como carga muerta.

El peso total de una estructura podría no estar disponible directamente en la mayoría de los casos. Además, el rediseño de la estructura conduce a un cambio en el peso total. Las propiedades del material, como la densidad y el volumen de los miembros individuales de la estructura, se utilizan para calcular el peso.

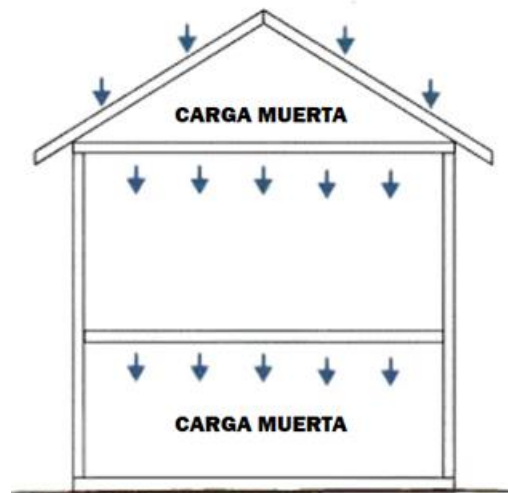


Figura N°22: Ejemplo carga muerta.

**2.4.1.1 Carga muerta en vigas de techo.** Las vigas de techo soportan cargas que provienen de las correas de los techos, las mismas que soportan las cargas de cobertura. Para la selección de la cobertura del techo, se toma en consideración las cargas de viento y la carga viva del techo más desfavorables. EN ese aspecto el caso más desfavorable es:

Carga instalaciones en el techo:  $10 \text{ kg/m}^2$

Carga de viento aplicando la norma ASCE 7-10:  $45 \text{ kg/m}^2$

Carga viva aplicando la norma ASCE 7-10:  $100\text{kg}/\text{m}^2$

Tomando en consideración la combinación más crítica aplicando la norma ASCE 7-10, se tiene:

$$D + 0.75L + 0.75Lr + 0.53W$$

Entonces la carga distribuida que soportará la cobertura de techo será:

$$W = 108.85 \text{ kg}/\text{m}^2$$

#### 2.4.1.2. Carga muerta en las columnas laterales.

Estas son provenientes del cerramiento lateral, se hace la selección del mismo tipo de cobertura que ha sido utilizado para la estructura del techo.

Peso de cobertura tipo Te = 6mm =  $5.9\text{kg}/\text{m}^2$

Dicha carga será apoyada en correas laterales, las mismas que tendrán apoyo en las columnas en los elementos verticales.

#### 2.4.2. Carga Viva.

Estas cargas cambian con el tiempo y se unen temporalmente a una estructura, resultan de uso y la ocupación del edificio. Las interacciones ambientales o humanas son ejemplos que causan cargas vivas. De acuerdo con la norma E.020, para techo sin acceso provisto, la carga viva puede tomarse como  $0,75 \text{ kN}/\text{m}^2$  con una reducción de  $0,02 \text{ kN}/\text{m}^2$  por cada grado por encima de los 10 grados de la inclinación del techo.



Figura N°23: Carga viva.

##### 2.4.2.1. Carga viva del techo.

Según la Norma E.020 se tiene que en el ítem 3.2.1.4 la sobrecarga para techos livianos es de  $30\text{kg}/\text{m}^2$ .

### 2.4.3. Carga de Viento.

La velocidad básica del viento para la ubicación del edificio es de 15 km/h. La carga de viento sobre el techo se puede proporcionar como cargas puntuales que actúan hacia afuera sobre los puntos del panel de construcción de acero convencional.

El viento actúa horizontalmente sobre una estructura y cambia de magnitud y dirección con el tiempo. La presión del viento podría dar lugar a respuestas dinámicas del edificio. Por lo tanto, en algunos casos podría provocar tensiones de fatiga, especialmente en la cimentación. Los efectos de la carga de viento sobre una estructura se ven afectados por los siguientes factores:

- La altura sobre el suelo; los obstáculos a nivel del suelo reducen la velocidad del viento.
- La exposición del edificio a sus alrededores; árboles y otras estructuras metálicas altas bloquean la velocidad del viento.

La carga del viento se resiste principalmente mediante el anclaje adecuado de la cimentación y la adición de elementos de refuerzo. Las fuerzas laterales tienden a obligar a las estructuras a moverse horizontalmente y esto hace que los cimientos experimenten grandes esfuerzos. Los elementos de refuerzos, ayudan a mantener las columnas en su posición original. Las figuras, N°24, N°25, y N°26, a continuación, muestran los efectos de la presión en una estructura.

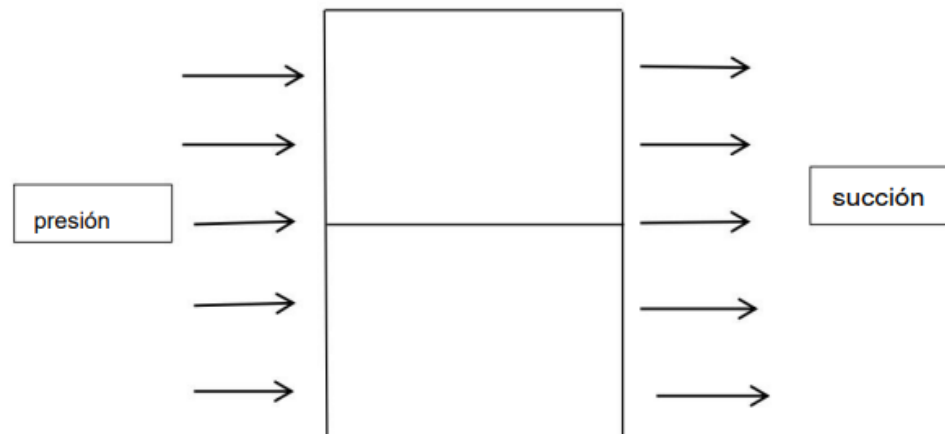


Figura N°24: Presión y succión del viento en una estructura (efectos de las imperfecciones).

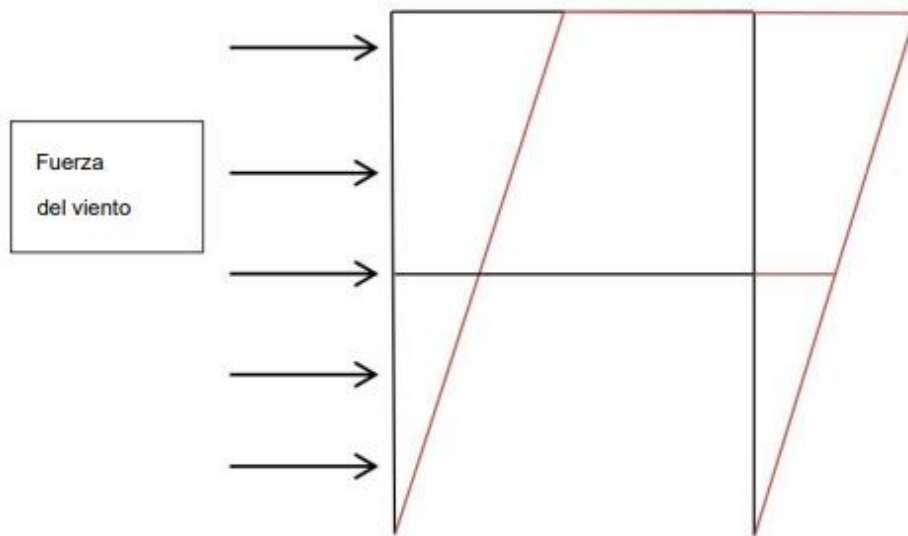


Figura N°25: Estructura deformada debido a la fuerza del viento (efectos de imperfecciones).

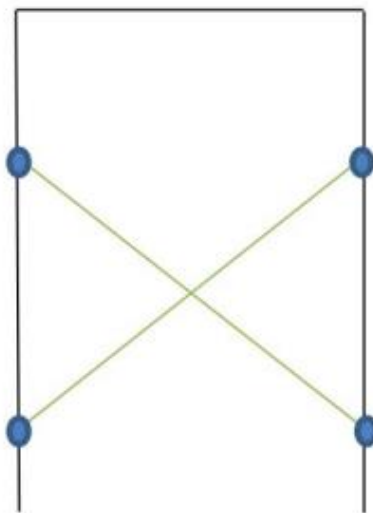


Figura N°26: Elementos de arriostramiento entre columnas (efectos de imperfecciones).

#### 2.4.4. Combinaciones de carga.

Los siguientes códigos se utilizan para la toma de decisión de las combinaciones de carga y para el diseño de los elementos de acuerdo a la normativa vigente.

- Norma E.020 para cálculo de carga.
- NTP 339.186:2018 para cálculo de carga.

#### 2.4. Carga Sísmicas.

Un terremoto es una vibración que viaja sobre el suelo. Se espera que ocurran varios modos de vibración dependiendo de la altura del edificio.

Los terremotos varían en magnitud dependiendo de la ubicación geográfica de un edificio. La carga sísmica induce una carga dinámica sobre los cimientos de un edificio que conduce a esfuerzos cortantes y de fatiga y también provoca la deformación de una estructura. El diseño del edificio requiere que la estructura pueda soportar algunos niveles de desplazamiento en la base. La fuerza de inercia experimentada conduce al daño de la estructura. Sucede que la base del edificio se mueve mientras que la parte superior se mueve en la dirección opuesta, lo que genera una fuerza de inercia en el techo. Esto provoca el pandeo de las columnas del edificio. Esa es la forma básica en que se produce el daño debido al terremoto. Es importante que las columnas estén diseñadas para soportar altas fuerzas de pandeo.

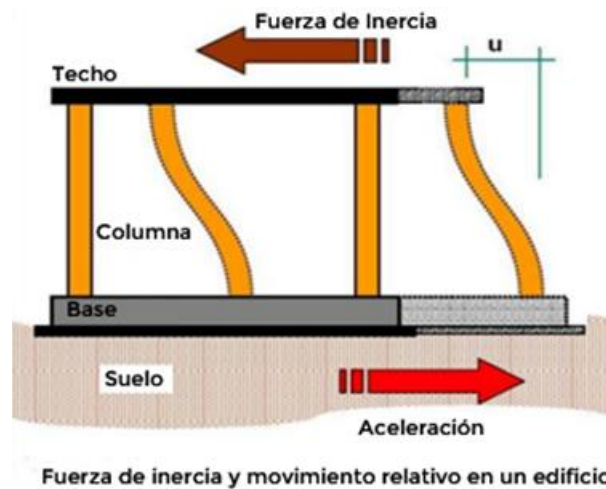


Figura N°27: Efectos de un terremoto en un edificio (eventos de flujo).

En las ecuaciones del movimiento desacopladas, la respuesta en deformación de la estructura  $x$  se puede expresar como una combinación lineal:  $x = \sum \eta_i(\tau) \Phi_i = \Phi \eta$

Siendo  $\Phi$  la matriz modal y  $\eta$  el vector que agrupa a las coordenadas modales  $\eta_i$ , que representan el factor con el que cada modo interviene en la respuesta total. La figura 28 representa la respuesta dinámica de una estructura en base a sus primeros modos de vibración.

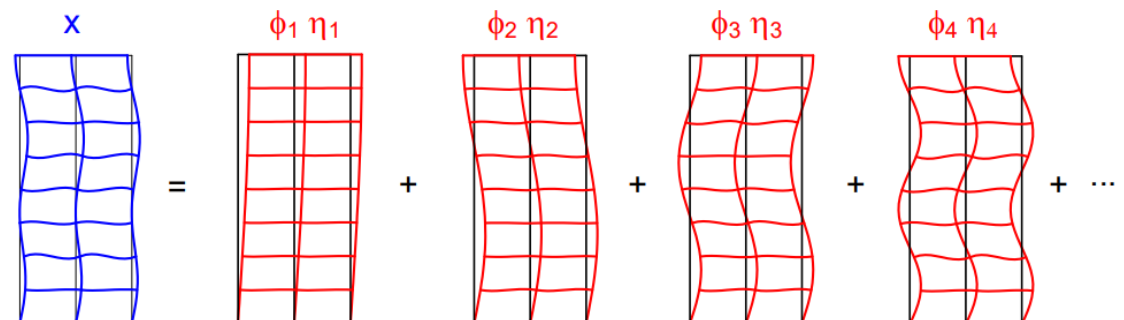


Figura N°28: Respuesta de una estructura en base a sus modos de vibración

## 2.6. Metodología adoptada.

En esta investigación, la región para la estructura propuesta y las dimensiones se fijaron de acuerdo con el requerimiento y considerando diferentes parámetros como el espacio de almacenamiento requerido, iluminación adecuada, etc. Los detalles sobre el almacén se dan a continuación:

N°	Detalles técnicos	Descripción
1.	Tipo de edificio	Almacén de contenedores.
2.	Tipo de estructura	Estructura Industrial de Una Planta.
3.	Ubicación	Ica - Perú
4.	Superficie del terreno	7875sq.m. (84766.5 sq.ft.)
5.	Tipo de edificio	Edificio de acero.
6.	Area de construcción	5400sq.m. (58125.6 ssq.ft.)
7.	Altura del alero	12m
8.	Número de tramos	2
9.	Ancho del vano	30m
10.	Anchura total del vano	60m
11.	Numero de Naves	15
12.	Longitud de una nave	6m
13.	Longitud total de la nave	90m

Tabla N°2: Ficha técnica de la nave industrial.

Se elaboró un plano de acuerdo a requerimiento y considerando aspectos arquitectónicos. El plano de la nave industrial propuesta se puede observar en la figura 31. Se adoptó una armadura trapezoidal con pendiente de techo de 1:5. Para esta longitud de luz, las armaduras trapezoidales serían normalmente eficientes y económicas. La relación aproximada entre luz y profundidad es de  $L/8$  a  $L/12$ . El espaciado de la armadura puede estar en el rango de  $1/4$  a  $1/5$  de la longitud del tramo. La profundidad de la armadura, el espaciado de las armaduras y el espaciado de las correas se decidieron de acuerdo con las especificaciones. El tamaño de las láminas hierro galvanizado (GI) varían de 8 a 11 corrugaciones por lámina. Los pesos de chapa varían de 50 a 156  $N/m^2$ . La selección de cargas de gravedad generalmente controla el tamaño de la bahía. Para edificios sin grúas, una bahía de 9 m es la opción más adecuada y económica. La función del arriostramiento es transferir cargas horizontales desde los marcos hasta la cimentación. Las correas actúan como arriostramientos laterales de los cordones de compresión. Los tirantes laterales proporcionan funciones similares a las de los miembros inferiores del cordón cuando están sujetos a compresión debido a la inversión de la carga. La correa es un elemento esbelto en forma de listón, que forma parte de la subestructura portante de una cubierta de acero de una nave industrial, así como, del sistema de arriostramiento del techo. El peso de la correa en el peso total de la estructura de acero puede variar del 10 al 25%. El peso de la correa puede ser igual o mayor que el peso de las cerchas. El espaciado de las correas depende en gran medida de la distancia máxima segura

de la cubierta del techo y las láminas de acristalamiento. El espacio entre correas puede variar de 1,5 a 1,75m. El canto de la armadura determina su rigidez en relación con su luz y también su economía. Rango de profundidad del techo de 1/12 a 1/8 del tramo para cerchas continuas. La consideración de la carga es la siguiente: el cálculo de la carga muerta incluye el peso de la lámina GI, las fijaciones, los servicios, la carga muerta del techo, el peso de la correa y el peso propio de una armadura. Luego se realiza el cálculo de las cargas muertas nodales. Según la norma E.020, carga de viento calculada considerando la velocidad básica del viento en Pisco = 100 km/h. La carga de viento F en la armadura del techo por el método de viento estático viene dada por artículo 12.4 de la Norma E.020 de la siguiente manera:

$$V_h = V(h/10)^{0.22}$$

Donde:

$V_h$ : es la velocidad de diseño en la altura h en Km/h.

V: es la velocidad de diseño hasta en 10m de altura en Km/h.

h: es la altura sobre el terreno en metros.

A su vez, la carga exterior (presión o succión) ejercida por el viento se supondrá estática y perpendicular a la superficie sobre la cual se actúa. Se calculará mediante la expresión:

$$P_h = 0.005CV_h^2$$

Donde:

$P_h$ : presión o succión del viento a una altura h en Kg/m<sup>2</sup>

V: factor de forma adimensional.

$V_h$ : es la velocidad de diseño en la altura h en Km/h.

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios.	+0.8	-0.6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento.	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica.	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular.	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°.	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos.	+0.3	-0.6
	-0.7	
Superficies inclinadas entre 15° y 60°.	+ 0.7 - 0.3	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical.	+0.8	-0.6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento.	-0.7	-0.7

\* El signo positivo indica presión y el negativo succión.

Tabla N°3: Factores de forma.

ABERTURAS		
Uniforme en lados a barlovento y sotavento	Principales en lado a barlovento	Principales en lado a sotavento o en los costados
±0,3	+0,8	--0,6

Tabla N°4 Factores de forma para determinar cargas adicionales en elementos de cierre.

Después de obtener la carga del viento, se realizó el cálculo de la presión del viento y se tabularon los resultados en la tabla 5. Para el diseño, se deben considerar las presiones/cargas críticas del viento que se dan en la tabla 6. Después de los cálculos de todas las cargas, las combinaciones de carga adoptadas son las siguientes:

$$DL \alpha [D + L + (W \text{ o } 0,70 E) + T]$$

$$(DL*1.5) + (WL*1.5)$$

Donde:

D = Carga muerta.

L = Carga viva.

W = Carga de viento.

E = Carga de sismo.

T = Acciones por cambios de temperatura, contracciones y/o deformaciones diferidas en los materiales componentes, asentamientos de apoyos o combinaciones de todos ellos.

$\alpha$  = Factor que tendrá un valor mínimo de 0.75 para las combinaciones (5), (6) y (7); y de 0.67 para la combinación (8). En estos casos no se permitirá un aumento de los esfuerzos admisibles.

En el diseño de cualquier nave industrial, el diseño del miembro de la armadura es la parte más importante. Hay varios tipos de armaduras: poste rey, tipo pratt, tipo fan, poste reina, tipo trapezoidal, tipo Mansard, tipo Cambered, etc. Para tramos de 30 m, la armadura trapezoidal es la más económica. Por lo tanto, se adoptó el tipo de armadura trapezoidal (figuras 30 y 31).

La armadura consta de miembros que son: miembro de cuerda superior, miembro de cuerda inferior, miembro de alma, canal lateral, canal de amarre, etc. Antes del diseño real de los miembros, el análisis de la armadura se realizaba mediante un procedimiento manual simple. Los elementos de las armaduras soportar fuerzas de compresión o tensión, después de analizar la fuerza máxima que se considera para el diseño. Los elementos de las armaduras

están hechos de secciones de acero laminado o de secciones armadas, según la longitud del tramo y la intensidad de la carga.

Los ángulos simples o dobles de acero laminado, las secciones en T, la sección hueca, las secciones cuadradas o rectangulares se utilizan en estructuras de techo de naves industriales. Cada miembro está diseñado y comprobado según la NTP 339.186:2018.

Las columnas están diseñadas como un miembro de compresión que soporta cargas provenientes de la estructura del techo. Después de que todos los miembros componentes de las conexiones del almacén se diseñaron para unir la columna a la armadura y las conexiones internas entre armaduras, etc.

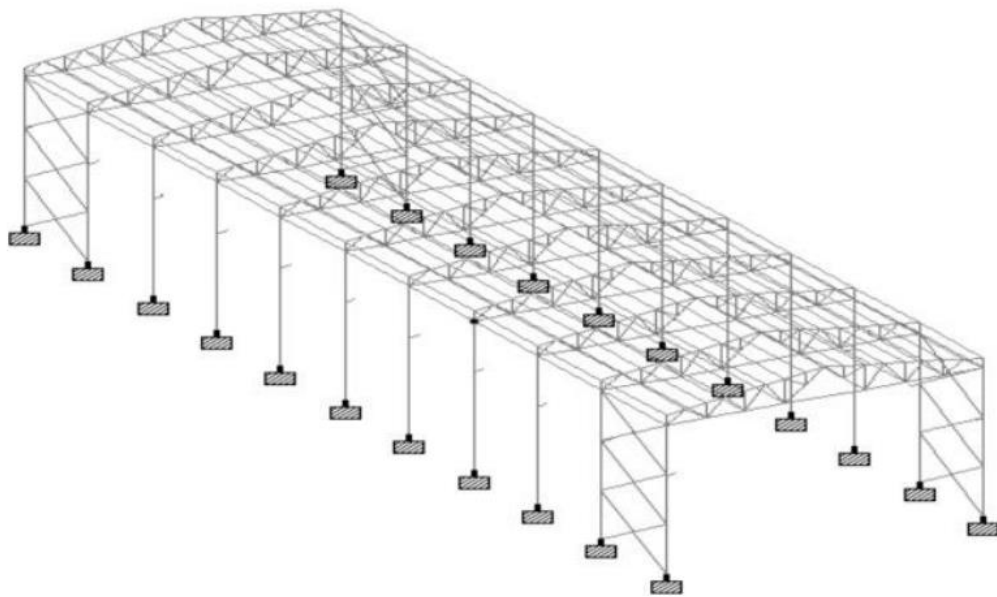


Figura N°29: Diseño de vigas y columnas.

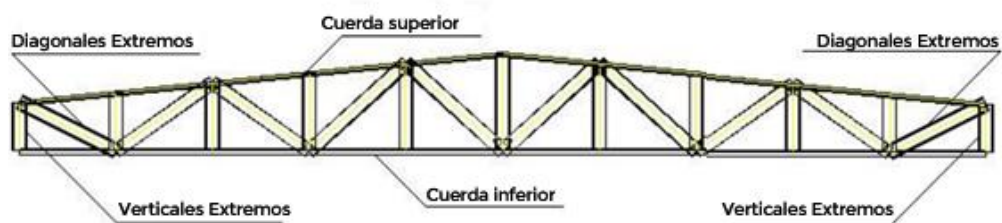


Figura N°30: Partes de componentes de la celosía trapezoidal.

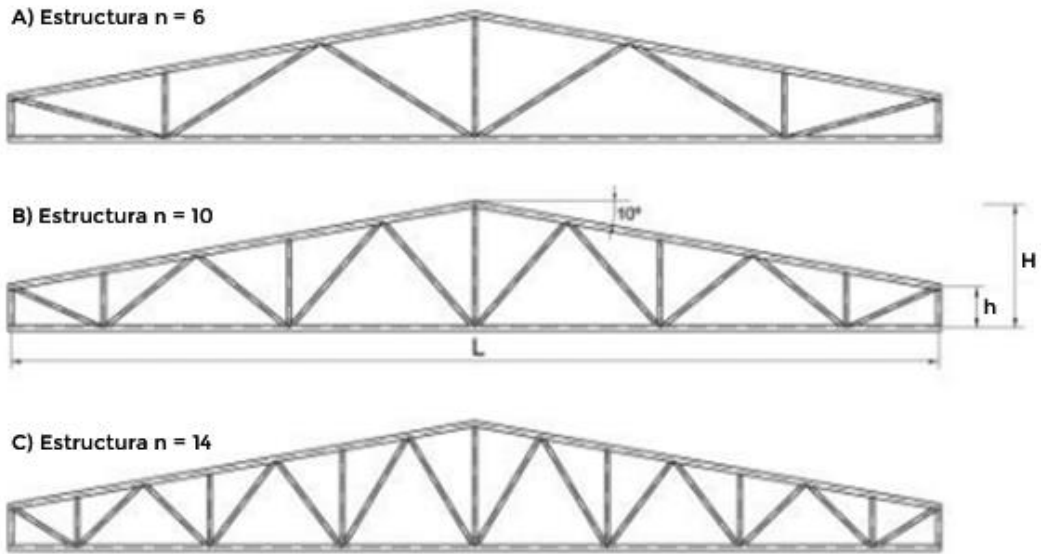


Figura N°31: Celosía trapezoidal.

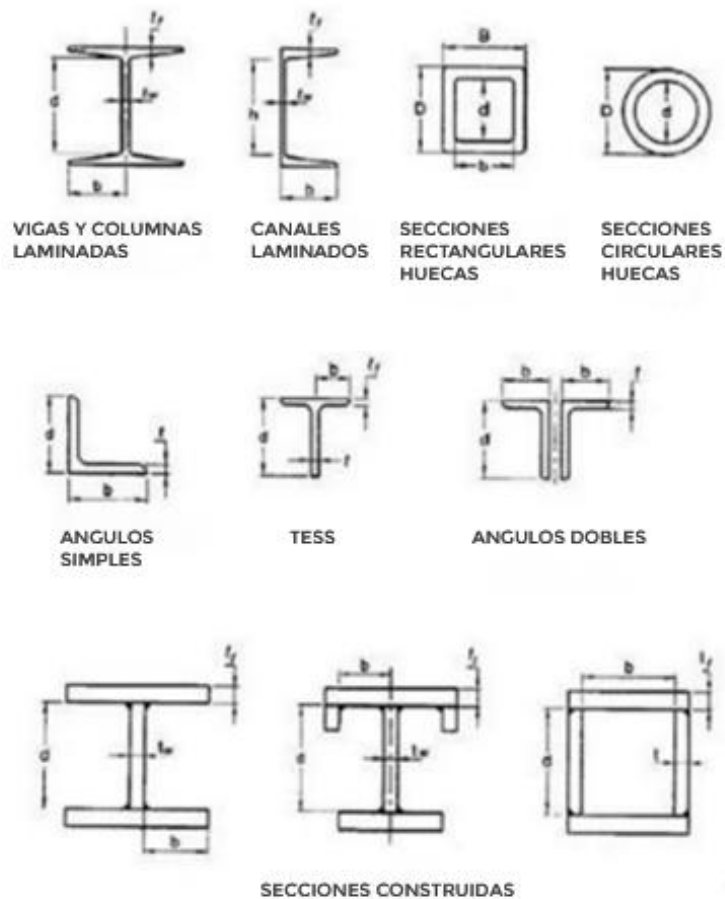


Figura N°32: Variedad de tipos de sección de acero.

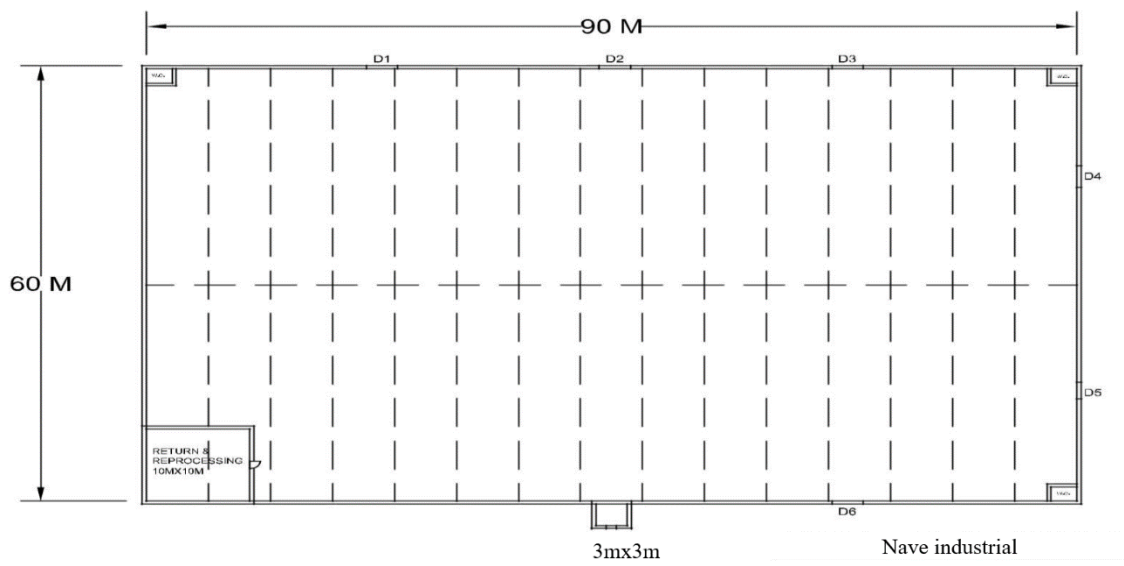


Figura. N°33: Diseño del plano en CAD.



Figura N°34: Ubicación tentativa de nave industrial.

Angulo de viento	Coeficiente de presión			Cpe ± Cpi		A*Pd	Carga de viento (KN)	
	Cpe		Cpi	Barlovento	Sotavento		Barlovento	Sotavento
	Barlovento	Sotavento						
0°	-1.1	-0.4	-0.5	-1.6	-0.9	15.31	-24.624	-15.779
			0.5	-0.6	0.1	15.31	-9.186	-0.9186
90°	-0.79	-0.79	-0.5	-1.29	-1.29	15.31	-19.749	-19.744
			0.5	-0.29	-0.29	15.31	-4.439	-4.439

Tabla N°5: Carga de viento en la armadura del techo

Donde:

Cpe: Coeficiente de viento exterior.

Cpi: Coeficiente de presión interna.

A: Área.

Pd: Presión de viento de diseño.

Angulo de viento	Lado de barlovento		Lado de sotavento	
	Nodos Intermedios	Nodos finales y de vértice	Nodos intermedios	Nodos finales de vértice
0°	-24.624	-12.312	-13.779	-6.889
90°	-19.749	-9.8749	-19.749	-9.8745

Tabla N°6: Cargas críticas de viento

### III. RESULTADOS.

Todos los componentes estructurales de la nave industrial han sido diseñado basado en la normativa técnica peruana y reglamentación nacional de edificaciones (norma E 0.20 – cargas) de acuerdo con las cargas que reciba la estructura y según las especificaciones del metrado para obras de edificación. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Componentes	Sección provista	
Cuerda superior	OE.2.4.1	200'-24''
Cuerda Inferior	OE.2.4.1	110'-8''
Diagonal	OE.2.4.3	150'-18''
Columna 1	OE.2.4.1	87.2 kg
Columna 2	OE.2.4.1	145.1 kg
Arriostamiento de viga	OE.2.4.2	90'-6''
Correa	OE.2.4.5	100

Tabla N°7: Resumen de Resultados.

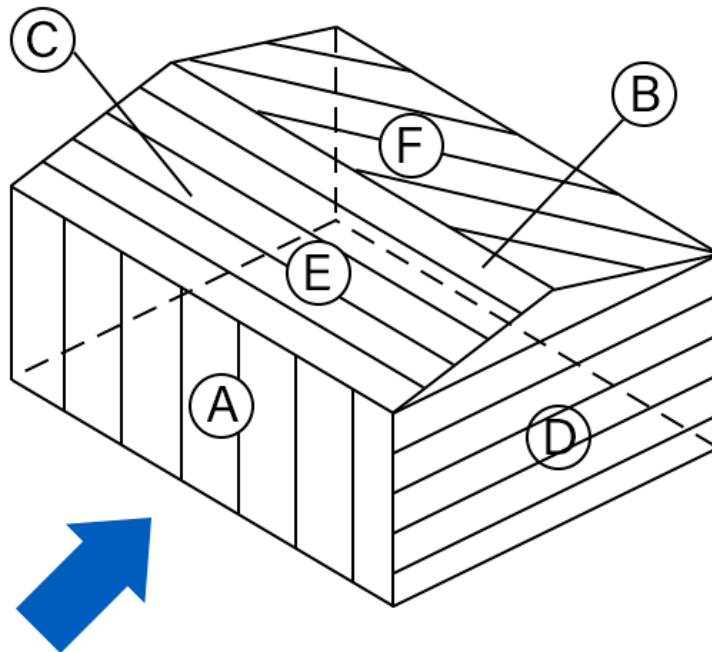


Figura N°35 Viento X

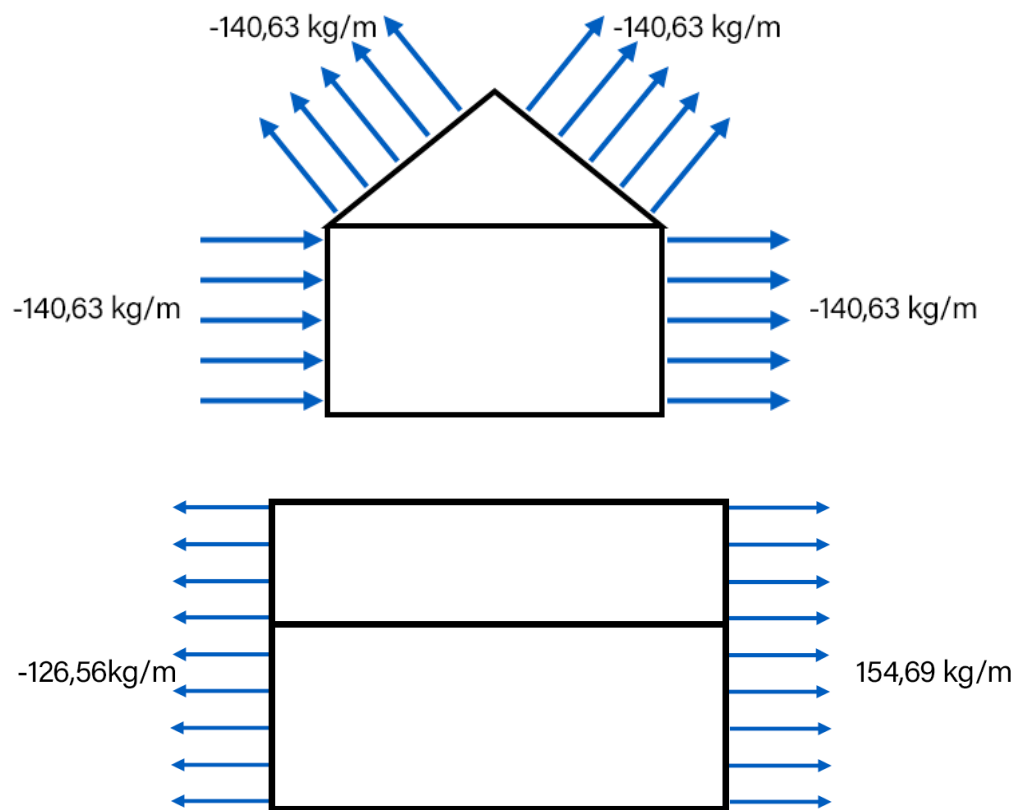


Figura N°36 Cargas de viento en dirección X

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0,8	-0,6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1,5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0,7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda $45^\circ$	+0,8	-0,5
Superficies inclinadas a $15^\circ$ o menos	+0,3 -0,7	+0,6
Superficies inclinadas a $15^\circ$ y $60^\circ$	+0,7 -0,3	-0,6
Superficies inclinadas entre $60^\circ$ y la vertical	+0,8	-0,6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento	-0,7	-0,7

Fuente: Normativa de viento

$$C_{pi} = 0,3 \pm$$

	MURO	TECHO	
		Barlovento	Sotavento
<b>A</b>	0,8		
<b>B</b>	-0,6		
<b>C</b>	-0,7		
<b>D</b>	-0,7		
<b>E</b>		-0,74	
<b>F</b>			-0,6

#### Combinación

	$C_{pe}(+C_{pi})$	$C_{pe}(-C_{pi})$	<b>C</b>
<b>A</b>	0,5	1,1	1,1
<b>B</b>	-0,9	-0,3	-0,9
<b>C</b>	-1	-0,4	-1
<b>D</b>	-1	-0,4	-1
<b>E</b>	-1,04	-0,44	-1,04
<b>F</b>	-0,9	-0,3	-0,9

	Presiones (kg/m)	Cargas de viento (kg/m)
<b>A</b>	30,94	154,69
<b>B</b>	-25,31	-126,56
<b>C</b>	-28,13	-140,63
<b>D</b>	-28,13	-140,63
<b>E</b>	-29,25	-146,25
<b>F</b>	-25,31	-126,56

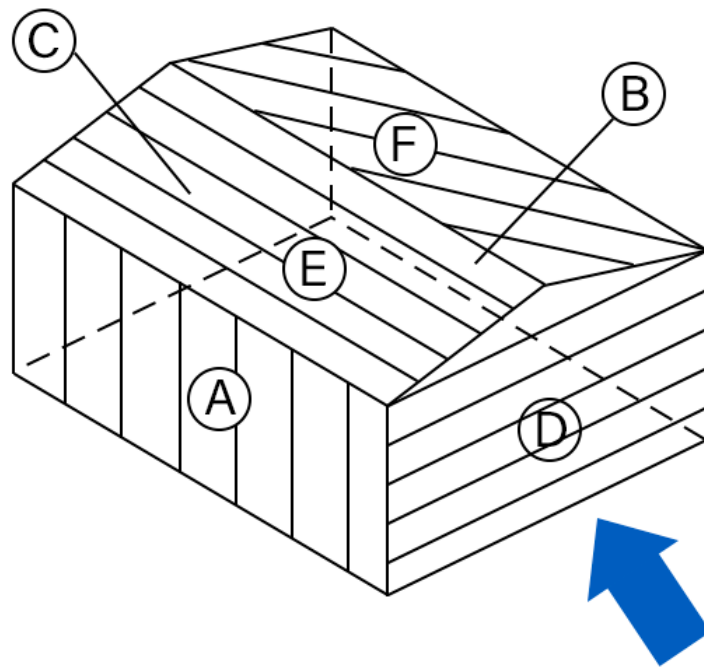


Figura N°37 Viento Y

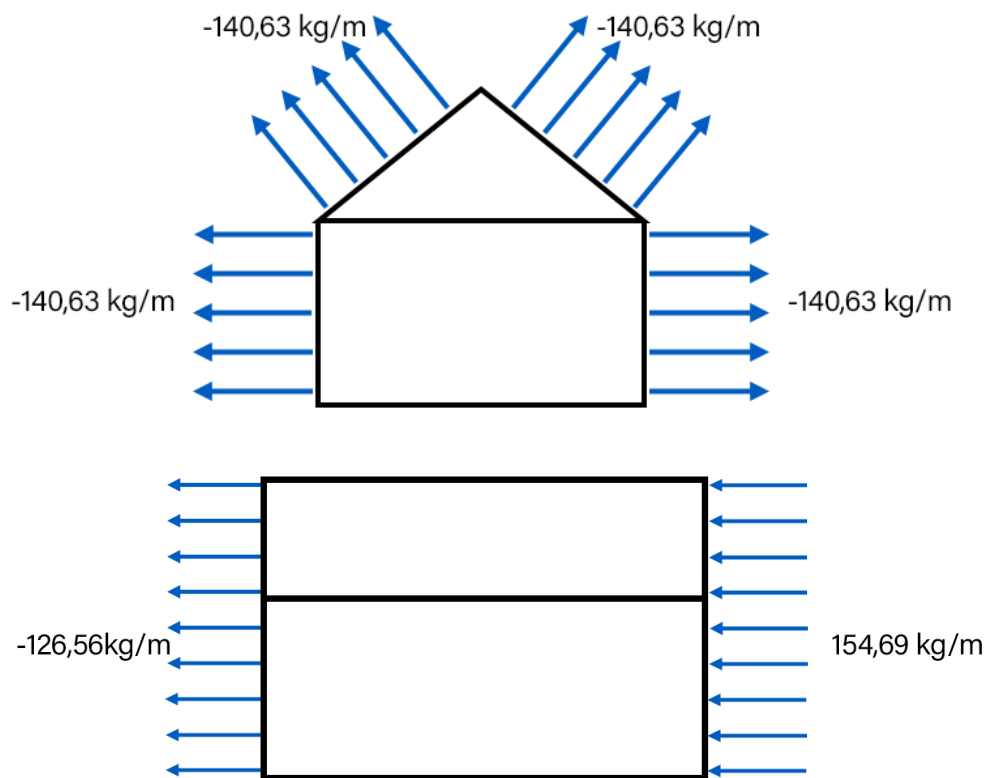


Figura N°38 Cargas de viento en dirección Y

<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<b>BARLOVENTO</b>	<b>SOTAVENTO</b>
Superficies verticales de edificios	+0,8	-0,6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1,5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0,7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	+0,8	-0,5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0,3 -0,7	+0,6
Superficies inclinadas a 15° y 60°	+0,7 -0,3	-0,6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0,8	-0,6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento	-0,7	-0,7

Fuente: Normativa de viento

$$C_{pi} = 0,3 \pm$$

	<b>MURO</b>	<b>TECHO</b>	
		<b>Barlovento</b>	<b>Sotavento</b>
<b>A</b>	-0,7		
<b>B</b>	-0,7		
<b>C</b>	-0,6		
<b>D</b>	0,8		
<b>E</b>		-0,7	
<b>F</b>			-0,7

**Combinación**

	<b>Cpe-(+Cpi)</b>	<b>Cpe-(-Cpi)</b>	<b>C</b>
<b>A</b>	-1	-0,4	-1
<b>B</b>	-1	-0,4	-1
<b>C</b>	-0,9	-0,3	-0,9
<b>D</b>	0,5	1,1	1,1
<b>E</b>	-1	-0,4	-1
<b>F</b>	-1	-0,4	-1

	<b>Presiones (kg/m)</b>	<b>Cargas de viento (kg/m)</b>
<b>A</b>	-28,13	-140,63
<b>B</b>	-28,13	-140,63
<b>C</b>	-25,31	-126,56
<b>D</b>	30,94	154,69
<b>E</b>	-28,13	-140,63
<b>F</b>	-28,13	-140,63

#### **IV. DISCUSION**

Respectos a los objetivos propuestos en el presente informe se discute:

- La identificación de las diversas cargas de viento, así como las combinaciones de las cargas que actúan sobre la estructura de la nave industrial, independientemente del material de construcción.
- El modelado del diseño estructural y aspectos técnicos proporcionales de la nave industrial, según sus detalles en la simulación utilizando el CAD.
- Se evalúa y discute los aspectos técnicos establecidos en las normativas técnicas peruanas, asimismo, su reglamentación para el diseño y simulación estructural de la nave industrial utilizando el CAD.

## V. CONCLUSIONES

En el presente capítulo se presentan las distintas conclusiones y recomendaciones de acuerdo a lo desarrollado en la presente investigación.

- En esta disertación, se completó el estudio numérico considerando la región de Ica.
- Se diseñó el modelo estructural en un plano utilizando el software AUTOCAD, seguido de cálculos de carga.
- Sobre la base de los cuales se seleccionaron y diseñaron diferentes elementos como elementos de armadura, columnas, correas, etc.
- Se completó todo el proceso, según los estándares establecidos en el país.
- El documento transmite de manera efectiva que el almacén industrial se puede diseñar fácilmente mediante un procedimiento de diseño simple de acuerdo con los estándares del país.

## VI. RECOMENDACIONES.

En caso de ejecutar una construcción de una nave industrial en función a los parámetros de la investigación realizada, me corresponde recomendar que la elección de personal técnico, sean personas calificadas y especialistas tanto para realizar el montaje como en los engranajes de los pernos y en la soldadura.

Se debe tener en consideración que los perfiles seleccionados puedan ser modificados durante la etapa de ejecución, a fin de subsanar algún error presente.

Respecto a la compra de materia prima es una parte integral de cualquier emprendimiento o idea de empresa, estas materias primas deben mantenerse en un lugar seguro, por lo tanto, para subsanar esta necesidad, se construyen naves industriales.

Tener en consideración hacia el futuro, debido al rápido crecimiento de la industrialización, se producirá una gran necesidad de construir almacenes económicamente eficientes. El diseño servirá para el almacenamiento de mercancías.

Asimismo, puede considerarse otras aplicaciones como:

- Si, las industrias requieren almacenes para alojar o acopiar sus productos, como almacenes de embalaje, almacenes ferroviarios, almacenes de canales, almacenes frigoríficos y cámaras frigoríficas.
- En el caso sea necesario se podría modelar y diseñar en un software más especializado como en el Autodesk Robot o Tekla Structural.
- Si, los cálculos y el diseño se ejecutan considerando los factores de economía y de seguridad, los factores y pasos resaltados durante la ejecución de la propuesta son importantes para diseñar cualquier otra nave industrial.
- El diseño y análisis eficiente de cualquier nave industrial similar a construir.
- Si, se conocen los factores que inciden en la construcción o diseño.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. Martínez, “Diseño de una nave de estructura metálica de tipo almacén industrial sometida a los efectos ambientales en el Perú para una empresa metal mecánica”, tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Perú, 2020.
- [2] D. Velasco, “Diseño de una nave industrial para los talleres de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en la finca experimental la María”, tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, 2019.
- [3] E. Cahuana, “Optimización del diseño de una nave industrial tipo pesado aplicable a la pequeña y mediana industria en el Perú ubicada a menos de 2500 m.s.n.m. con luz entre 15 M y 25 M”, tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú, 2018.
- [4] M.Suneetha<sup>1</sup>, N. Kumar, y G. October, “Design and analysis of industrial building with gable roof by using STAAD PRO” International Journal of Advance Technology In Engineering and Science, vol.3, nro.1, pp.1098 – 1100, 2016.
- [5] V. Chavan, V. Nimbalkar y A. Jaiswal, “Economic evaluation of open and hollow structural sections in industrial trusses”, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol.3, nro. 2, pp.9554 – 9565, 2014.
- [6] A. Gozwami, y T. Shende, “Pre- engineered building design of an industrial warehouse”, International Research Journal of Engineering and Technology, vol.5, nro.6, pp.1484 – 1488, 2018.
- [7] S. Mohakul, S. Yajdani, y A. Dhurde, “Design of industrial storage shed and analysis of stresses produced on failure of a joint”, International Journal of Civil Engineering and Technology, vol.5, nro. 8, pp.114 – 127, 2014
- [8] M. Maisuri, H. Dhameliya, y H. Kheni, “Review of comparison between conventional steel and tubular steel section for multi span industrial shed with truss and portal frame”, International Journal of Advance Engineering and Research Development, vol.1, nro.12, pp.116 – 118, 2014.
- [9] S. Parikh, “design of steel compression members (according to IS:800)”, International Journal of Engineering Research & Technology, vol.2, nro.11, pp.1411 – 1419, 2013.
- [10] S. Gohil, et al., “Analysis and design of conventional industrial roof truss and compare it with tubular industrial roof truss”, International Journal of Science Technology and Engineering, vol.2, nro. 10, pp.943 – 948, 2016.
- [11] A.Jayaraman, et al., “Design and Economical of Roof Trusses & Purlins (comparison of limit state and working stress method)”, International Journal of Research in Engineering and Technology, vol. 3, nro. 10, pp.199 – 207, 2014.
- [12] N. Subramanian, “Steel Structures Design and practice”, Oxford University Press, New Delhi, pág.1240, 2010.