



POSGRADOS

MAESTRÍA EN

INGENIERÍA MECÁNICA CON MENCIÓN EN DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS EN OBRAS CIVILES E INDUSTRIALES

RPC-SO-24-NO.540-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE
ELEMENTOS Y CONEXIONES
PRINCIPALES DE UNA NAVE
INDUSTRIAL DE 20 METROS DE LUZ
Y 9 METROS DE ALTURA MEDIANTE
SOFTWARE ESPECIALIZADO.

AUTOR

CARLOS AUGUSTO LASLUIA GÓMEZ

DIRECTOR:

WILLIAM GUSTAVO DÍAZ DÁVILA

QUITO – ECUADOR
2024

Autor(es):



Carlos Augusto Lasluisa Gómez

Ingeniero Mecánico

Candidato a Magíster en Ingeniería Mecánica con mención en
Diseño De Estructuras Metálicas En Obras Civiles E Industriales por
la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

clasluisa@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



William Gustavo Díaz Dávila

Ingeniero Mecánico

Magíster en Gestión de la Producción

wdiaz@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2024 © Universidad Politécnica Salesiana.

Elija un elemento.– ECUADOR – SUDAMÉRICA

CARLOS AUGUSTO LASLUIA GÓMEZ

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS Y CONEXIONES PRINCIPALES DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE 20 METROS DE LUZ Y 9 METROS DE ALTURA MEDIANTE SOFTWARE ESPECIALIZADO

DEDICATORIA

Una vez concluido el presente trabajo de titulación, quiero dedicar a mi familia en especial a mis padres, quienes me guiaron con valores para llegar a ser profesional, quienes estuvieron presentes en mis triunfos y fracasos durante mi vida estudiantil.

A mi querido hijo Christian quien fue mi fortaleza para seguir estudiando y poder alcanzar esta meta que siempre la tuve como proyecto.

Para Elena, quien me brindo su apoyo y nunca permitió que me por vencido, gracias por ser ese apoyo fundamental durante todo este proyecto.

Además, quiero dedicar a Cristina y a Martha quienes fueron un apoyo durante mi formación profesional y personal, pero por circunstancias de la vida nos tuvimos que alejar, pero siempre estaré agradecido.

También quiero dedicar a mis hermanas y sobrinos quienes han sido mi inspiración para que ellos sigan mis pasos.

Sin su apoyo no hubiera conseguido esta meta tan anhelada, muchas gracias a todos.

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida y poder cumplir esta meta tan anhelada.

Luego a mis padres quienes han sido un apoyo durante mi formación académica, gracias a su esfuerzo, cariño y apoyo he logrado alcanzar varias metas planteadas.

Un agradecimiento a Diego Morales quien me ha dado la oportunidad de crecer profesionalmente en su distinguida fábrica “DIARMOPLAS”, gracias por haberme guiado compartiendo sus conocimientos y experiencias y a su vez haberme dado la confianza necesaria para diseñar y estar al frente durante el proceso de construcción de la nave industrial.

También quiero agradecer al Ing. William Díaz Msc, por haberme guiado durante la elaboración del presente proyecto de titulación, compartiendo sus ideas, conocimientos y experiencia laboral.

Al mismo tiempo quiero agradecer a todos que forman parte de la Maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes con sus conocimientos y experiencias impartidas se han formado profesionalmente.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	11
Abstract	12
1. Introducción.....	13
2. Determinación del Problema	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Justificación	16
2.3. Objetivos	17
2.3.1. Objetivo principal.....	17
2.3.2. Objetivos específicos.....	17
3. Marco teórico referencial	18
3.2 Estructura.....	18
3.1 Acero estructural	18
3.2 Navíos industriales.....	19
3.3 Terminología de una nave industrial.....	19
3.4 Cubiertas en naves industriales	21
3.5 Tipos de cargas no sísmicas	21
3.5.1 Carga muerta	21
3.5.2 Carga viva	21
3.5.3 Carga de viento	22
3.6 Cargas sísmicas	25
3.7 Geología local	26
3.8 Coeficiente de importancia	27
3.9 Espectro de diseño.....	28
3.10 Deriva de piso.....	32
3.11 Análisis estructural.....	33
3.12 Calculo de columnas	33
3.13 Conexiones en naves industriales	34
3.14 Clasificación de las conexiones para estructuras de acero	35
3.15 Tipos de conexiones.....	35
3.15.1 Conexiones sencillas.....	35

3.15.2 Conexiones de momento.....	36
3.16 Conexiones precalificadas a momento.....	36
4. Materiales y metodología	38
4.1. La nave industrial y sus principales parámetros	38
4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA NAVE INDUSTRIAL.....	39
4.3. ANÁLISIS DE CARGAS	40
4.3.1. CÁLCULO DE LA CARGA DE VIENTO.....	40
4.3.2. CÁLCULO DE LA CARGA SÍSMICA.....	42
4.3.2. CARGA DE GRANIZO	44
4.3.3. CARGAS GRAVITACIONALES.....	44
4.4. Diseño de la nave industrial.....	45
4.4.1. Modelado	46
4.4.2. Análisis estructural.....	47
4.5 Resultados Obtenidos	53
4.5.1 Derivas verticales	53
4.5.2 Derivas horizontales.....	59
4.5.3 Diagramas de cortante y momentos	61
4.5.4 Resultado obtenido de los principales elementos estructurales.....	62
4.6 Diseño analítico de los principales elementos estructurales.....	64
4.6.1 Diseño de columnas a flexión y fuerza axial.....	64
4.6.2 Diseño de la placa base para las columnas.....	70
4.7 Conexiones empleadas en la estructura.....	77
4.7.1 Conexión placa base – columna	77
4.7.2 Conexión viga – columna (inferior)	80
4.7.2 Conexión viga – columna (superior).....	82
4.7.3 Conexión viga de amarre – columna	84
5. Resultados y discusión	¡Error! Marcador no definido.
5.1. Lista de materiales.....	88
5.2. Costos	89
6. Conclusiones	90
7. Recomendaciones	92
8. Referencias.....	93
9. Anexos	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente para corrección del viento [12].	22
Tabla 2. Coeficientes de expositivita a la presión de velocidad K_h y K_z [13].	24
Tabla 3. Factor de forma C_f [12].	25
Tabla 4. Clasificación del perfil del suelo [14]	26
Tabla 5. Factor de importancia [14]	27
Tabla 6. Factor para reducción de respuesta (R) [14]	28
Tabla 7. Coeficiente de aumento de suelo en la zona de espacio corto [14]	30
Tabla 8. Coeficiente de amplificación de suelo [14]	31
Tabla 9. Comportamiento no lineal de los suelos [14].	31
Tabla 10. Deriva inelástica [14]	32
Tabla 11. Clasificación de las conexiones soldadas y apernadas en estructuras de acero [17].	35
Tabla 12. Conexiones precalificadas a momento [16]	37
Tabla 13: Variables para determinar el espectro de diseño.	42
Tabla 14: Coeficientes de perfil del suelo. Fuente: Autor	43
Tabla 15. Cargas muertas. Fuente: Autor	45
Tabla 16. Lista de perfiles.	48
Tabla 17. Asignación de cargas.	49
Tabla 18. Combinación de cargas.	49
Tabla 19. Deflexiones límites	53
Tabla 20. Propiedades del perfil W10x60.	65
Tabla 21. Propiedades geométricas del perfil HEB260. Fuente: Dipac-2023.	70
Tabla 22. Propiedades mecánicas de la placa base. Fuente: Autor	71
Tabla 23. Especificaciones técnicas de la junta placa – base.	79
Tabla 24. Especificaciones técnicas de la conexión viga – columna.	82
Tabla 25. Especificaciones técnicas de la conexión viga – columna.	84
Tabla 26. Especificaciones técnicas de la conexión viga de amarre – columna.	86
Tabla 27. Lista de materiales.	88
Tabla 28. Costo de materiales.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas tensión – deformación de tres materiales ferríticos [8].	18
Figura 2. Representación espectral de respuesta NEC. [14].	29
Figura 3. Tipos de conexiones precalificadas [16]	34
Figura 4. Excentricidad de cálculo para soportes flexibles [18]	36
Figura 9: Dimensiones del terreno (área).	38
Figura 10: Ubicación de la nave industrial en el área de terreno.	39
Figura 11: Separación de pórticos.	40
Figura 12: Espectro de diseño elástico	44
Figura 13. Área de construcción.	46
Figura 14. Diseño del pórtico	46
Figura 15. Dimensionamiento del área de trabajo.	47
Figura 16. Asignación de perfiles en SAP2000.	48
Figura 17. Aplicación de carga viva sobre la cubierta en SAP2000	50
Figura 18. Aplicación de carga de granizo sobre la cubierta en SAP2000	51
Figura 19. Casos para la aplicación de cargas.	51
Figura 20. Cargas de viento sobre la nave industrial en SAP2000	53
Figura 21. Deslizamiento en el vertical producto de la carga L_r .	54
Figura 22. Desplazamiento en el vertical producto de la carga de granizo.	56
Figura 23. Desplazamiento en el vertical producto de la carga de lluvia.	57
Figura 24. Desplazamiento en el vertical producto de la carga muerta.	58
Figura 25. Desplazamiento máximo en el eje X.	60
Figura 26. Desplazamiento máximo en el eje Y.	61
Figura 27. Diagrama de momentos producto del sismo dinámico en el eje X (SAP2000)	62
Figura 28. Diagrama de momentos producto del sismo dinámico en el eje Y (SAP2000).	62
Figura 29. Sección del perfil HEB260.	63
Figura 30. Sección transversal del perfil C250x80x6.	63
Figura 31. Sección perfil precalificado IPE220.	64

Figura 32. Diagrama de fuerzas y momento.	66
Figura 33. Valores cercanos del factor de longitud efectiva K. [15].....	67
Figura 34. Cotas del perfil HEB 260.	70
Figura 36. Identificaciones de entrada para el diseño de la placa-base.....	78
Figura 37. Aplicación de cargas en la conexión placa base-columna.....	78
Figura 38. Diseño placa base - columna.....	79
Figura 39. Creación de la conexión viga columna.....	80
Figura 40. Aplicación de cargas en los elementos que forma parte de la unión.....	81
Figura 41. Diseño de conexión viga – columna.	81
Figura 42. Conexión viga – columna.	82
Figura 43. Aplicación de cargas en los elementos que forma parte de la conexión.	83
Figura 44. Diseño de conexión viga – columna.	83
Figura 45. Creación de la conexión viga columna.....	84
Figura 46. Aplicación de cargas en los elementos que forma parte de la unión.....	85
Figura 47. Diseño de conexión viga – columna	86

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS Y CONEXIONES PRINCIPALES DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE 20 METROS DE LUZ Y 9 METROS DE ALTURA MEDIANTE SOFTWARE ESPECIALIZADO.

AUTOR(ES):

CARLOS AUGUSTO LASLUISA GÓMEZ

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo realizar el análisis estructural de los elementos y conexiones principales de una nave industrial, destinada para la fabricación y almacenamiento de productos plásticos, con la finalidad de incrementar el área de producción debido a la implementación de nuevos procesos en DIARMOPLAS.

Se ha desarrollado una investigación de tipo práctico, considerando todas las normativas vigentes para que el proyecto pueda ser construido por la fábrica, de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas por la DIARMOPLAS, se ha realizado una inspección técnica para identificar la geometría del terreno, para ello se realizó un plano inicial donde se identifica las placas base, columnas, vigas principales, vigas de amarre y correas. Los mismos que se diseñaron de acuerdo con las necesidades de carga que se aplicarán en la nave industrial.

El desarrollo de diferentes softwares destinados al área estructura facilita el diseño y selección de los elementos anteriormente mencionados. Para el cálculo estructural de la nave industrial se ha hecho uso del software SAP2000 que permite tener una mejor visualización y comportamiento de los elementos estructurales, siguiendo los parámetros establecidos por el AISI/AISC 360-16 y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015): Peligro sísmico (NEC-SE-DC/2015) y cargas no sísmicas (NEC-SE-CG/2015).

Durante el desarrollo del proyecto se evidenció el comportamiento de los elementos principales que conforman la nave industrial y a su vez se idéntico las principales conexiones como son: placa base – columna, viga – columna y viga – viga. Todo esto desarrollado con la ayuda de diferentes softwares.

Palabras clave:

Nave Industrial, Viga, Columna, Norma, Reglamento.

ABSTRACT

The objective of this degree project is to carry out the structural analysis of the main elements and connections of an industrial warehouse, intended for the manufacture and storage of plastic products, with the aim of increasing the production area due to the implementation of new processes in DIARMOPLÁS.

A practical investigation has been developed, considering all current regulations so that the project can be built by the factory, in accordance with the technical specifications established by DIARMOPLAS, a technical inspection has been carried out to identify the geometry of the land, to For this, an initial plan was made where the base plates, columns, main beams, tie beams and purlins are identified. The same ones that were designed according to the loading needs that will be applied in the industrial warehouse.

The development of different software for the structural area makes it easier for us to design and select the aforementioned elements. For the structural calculation of the industrial warehouse, SAP2000 software has been used, which helps us to have a better visualization and behavior of the structural elements, following the parameters established by AISI/AISC 360-16 and the Ecuadorian Construction Standard (NEC-2015): Seismic hazard (NEC-SE-DC/2015) and non-seismic loads (NEC-SE-CG/2015).

During the development of the project, the behavior of the main elements that make up the industrial warehouse is evident and at the same time the main connections are identical, such as: base plate - column, beam - column and beam - beam. All this developed with the help of different software.

Keywords:

Industrial Warehouse, Beam, Column, Standard, Regulation.

1.INTRODUCCIÓN

Las naves industriales son las más utilizadas dentro de la industria, esto se debe a la reducción de tiempo de fabricación y montaje, a su vez pueden ser construidas con grandes alturas que facilitan el almacenamiento de productos y materia prima. Las construcciones con acero estructural han ido remplazando a la construcción tradicional (hormigón), debido a que en el país la industria de los perfiles estructurales ha ido creciendo considerablemente, por lo tanto, se puede fabricar con perfiles normalizados y con estructuras reticuladas (cerchas armadas). Las construcciones con estructuras metálicas son garantizadas porque están desarrolladas en base a diversos fundamentos descritos en la normativa de construcción del Ecuador NEC-SE-DS, a través del cual se desarrolla el diseño sismorresistente con el fin de precautelar la integridad de los seres humanos que habiten al interior.

Mediante este trabajo de titulación se muestra un estudio estructural en donde se toma como prioridad las partes esenciales y elementos fundamentales de un navío industrial que será destinado para un proceso productivo y almacenamiento de artículos plásticos, el diseño se desarrolló de acuerdo con las condiciones del terreno y trabajos realizados con anterioridad.

Las uniones se desarrollaron tomando como base a la normativa ANSI/AISC 358.16, en la cual establece una variedad de conexiones, las mismas que han sido seleccionadas de acuerdo con la geometría principal de las partes que forman el navío industrial.

El estudio mecánico estructural está realizado mediante un software especializado en naves industriales, donde se han seleccionado los perfiles para los componentes que conforman las secciones del navío industrial, para garantizar el correcto funcionamiento de la nave ante la aplicación de diferentes cargas mismas que deben ser consideradas para el desarrollo del análisis estructural.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES

En Ecuador la industria se enfoca en el constante desarrollo debido a que las diversas fábricas requieren en sus instalaciones incremento de tamaño para de esta manera aumentar su capacidad operativa y para salvaguardar la inversión realizada. Por lo tanto, se debe ejecutar los análisis y diseños de las naves industriales de acuerdo a las características técnicas de Construcción que describe la normativa del Ecuador NEC-2015. Las naves industriales se encuentran fabricadas de acero estructural debido a la facilidad de montaje donde se necesita gran cantidad de luz, por lo general los galpones metálicos se encuentran ubicadas en las zonas industriales donde existen actividades de producción.

Mora et al. [1] realizaron una investigación de las desventajas, faltantes, limitantes, y ventajas con respecto al método no lineal de análisis sísmico, el estudio fue realizado a partir de una comparación de un edificio de altura mediana y a porticado. Para la simulación escogieron como referencia el sismo con dimensión de 5.77 según describe Richter en su escala, con una profundidad de amplitud 7.4 km, alcanzando una aceleración tope eficiente de valor 0.213 multiplicado por la gravedad. Los investigadores mencionan que al aplicar un análisis dinámico se obtiene valores con un error del 5% en comparación a los valores obtenidos en la realidad. Además, se puede mencionar que el edificio presento una distribución uniforme de las cargas sin presentar deformaciones.

Romero et al. [2] desarrollaron la conducta elastoplástica de alianzas o uniones mediante soldadura con áreas de tubos cuadrados, el estudio fue realizado mediante una examinación experimental teórica de comparación sobre la distensión geométrica en la sección transversal que une la viga columna, los ensayos se realizaron en la máquina universal donde se aplicó una carga progresiva para calcular la distancia desplazada y deformación geométrica en la unión viga - columna. Los investigadores evidenciaron que en la columna se obtuvo la falla por

punzonamiento lo que ocasiona la reducción teórica del tiempo plástico en el pórtico M_p a 46%, la recomendación realizada por parte de los investigadores menciona que al realizar un refuerzo sobre la conexión evitaría una ruptura plástica y colapso del pórtico, también mencionan 9.67% de error relativo teórico en simulaciones en comparación con los estudios experimentales.

Vielma y Cando [3] realizaron un avance en el factor de actuación de las estructuras metalizadas tipo pórtico acorde a la normativa de Construcción de Ecuador, en la investigación se aplicaron tres procedimientos con respecto a la evaluación del actuar sísmico de cualquier estructura, estos son, los basados en el procedimiento alternativo con mediación de métodos de energía, los de fuerza y desplazamientos. En este estudio fijan que para una estructura metálica con una luz de hasta 6 metros de acuerdo al procedimiento con base en aceleración es elevado, lo que proponen es establecer un nuevo valor de factor de seguridad menor a 6 como referencia en la normativa.

Romero et al. [4] ejecutaron la investigación de pilastras con desproporción por cortante mediante el método de elementos finitos (Mef) en adición con labores repartidas similares, para el desarrollo en la investigación se la realizó el Mef establecido a base de nodos exactos con la formulación en desplazamientos, mientras que la deformación se refirió en concordancia con lo descrito teóricamente por Timoshenko, los resultados explican que a mayor grosor de la malla en el Mef, mayor exactitud de esfuerzos, desplazamientos, y giros, en relación a una solución exacta de contrariedades. Además, han determinado las funciones de estabilidad y las cargas aplicadas para pandeo en las estructuras son de diversa condición.

Silveria et al. [5] desarrollaron la evaluación del método de tensión estructural y gráfica curvilínea para predecir la falla a fatiga de una junta soldada, para el estudio se ha utilizado una junta soldada tipo T y se aplicó el método de tensión estructural de punto caliente (SHSS, por sus siglas en inglés) y el método de la curva maestra (Battelle), la gráfica realizada para el método SHSS describe una probabilidad del

97,7% para el comportamiento a fatiga de la junta soldada lo que corresponde a 2 desviaciones estándar por debajo del comportamiento promedio, además es importante mencionar que el procedimiento Battelle tiene una similitud al método SHSS pero con 3 desviaciones estándar menor, por lo que han establecido que el método más conservador que describe el comportamiento de la vida a fatiga de una junta es el SHSS.

Zhang et al. [6] realizaron la simulación numérica de la tensión residual de la unión soldada a tope involucrada en una columna viga, el estudio fue realizado mediante del método de simulación numérica y se desarrolló un procedimiento de acoplado termo mecánico tridimensional y predecir en las uniones soldadas la distribución de tensiones residuales, las simulaciones permitieron realizar una comparación con dos tipos de mallas (fina y gruesa), de acuerdo al enfoque computacional han determinado que la malla gruesa es la más adecuada para un modelo de fuente de calor instantáneo que se puede emplear para simular la tensión residual de soldadura para estructuras soldadas a gran escala. Además, se han determinado que el valor de esfuerzo máximo es de 700 MPa y una tensión residual de 431 MPa en una junta a tope.

Actualmente Diarmoplas ha realizado la adquisición de un lote de terreno de 2000 metros cuadrados, del mismo, 800 metros cuadrados serán destinados para la construcción de una nave industrial con las características técnicas de construcción que se detallan en la normativa de Ecuador NEC – 2015. Mediante la ejecución del presente se desarrollará la propuesta de una nave industrial a través de un programa CAD de análisis estructural Mef en donde se analiza y describe las principales conexiones estructurales de las partes que forman una nave industrial.

2.2. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación tiene la finalidad de realizar el análisis y simulación en la nave industrial para la fábrica Diarmoplas, en la actualidad las instalaciones disponen de espacio insuficiente debido a la implementación de nuevos procesos en el área de

producción lo que provoca que el personal no pueda realizar sus actividades de manera correcta.

El gerente y propietario de Diarmoplas ha adquirido un terreno para expandir la fábrica y distribuir de mejor manera los procesos de producción que se encuentran habilitados hasta la actualidad y obtener productos de calidad de acuerdo con normas vigentes en el país.

Por lo tanto, se pretende desarrollar un diseño de conexiones y elementos principales que forman la parte constitutiva de la nave industrial de acuerdo con las descripciones del gerente y a su vez basándose en especificaciones técnicas de construcción acorde a la normativa del Ecuador NEC-2015 [7].

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Ejecutar un análisis de la estructura de conexiones y elementos principales en la nave industrial de 20 metros de luz y 9 metros de altura mediante software especializado.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar tipos de diseños apropiados para la nave industrial en un área de 800 metros cuadrados de 20 metros de luz y 9 metros de altura.
- b) Establecer el proceso de diseño y calculo estructural en elementos y uniones soldadas y apernadas en acuerdo con las normas de estructuras metálicas vigentes.
- c) Efectuar un análisis y simulación de las partes estructurales principales y conexiones soldadas y apernadas con el apoyo de software especializado.
- d) Determinar el ejemplo de conexión más hacedera para la fabricación en la nave industrial en estructura metálica para obtener el diseño más económico, confiable y seguro.

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.2 ESTRUCTURA

Estructura se define al conjunto de partes o elementos capaz de soportar todas las cargas sísmicas, verticales y de otro tipo de acuerdo a las indicaciones vigentes en una normativa. La clasificación viene dada por el uso o por la edificación.

3.1 ACERO ESTRUCTURAL

Regularmente es utilizado para uso industrial, el material se caracteriza por presentar propiedades de mayor resistencia, buena rigidez y alta ductilidad, por lo tanto, es bastante útil para la fabricación de construcciones sismorresistentes. La ductilidad lo hace único porque puede soportar deformaciones plásticas sin alterar la resistencia de este [8]

La fluencia mínima referida a la Tensión F_y , es un criterio mecánico utilizado en el diseño y verificación de los componentes estructurales, adicionalmente la resistencia a la tracción F_u , es un valor que se utiliza cuando se realiza un análisis vinculado con la fractura. En la figura 1 se aprecia las curvas de deformación para tres materiales, en aceros convencionales la resistencia es menor pero elevada ductilidad en cambio en aceros de alta resistividad la ductilidad es baja [8]

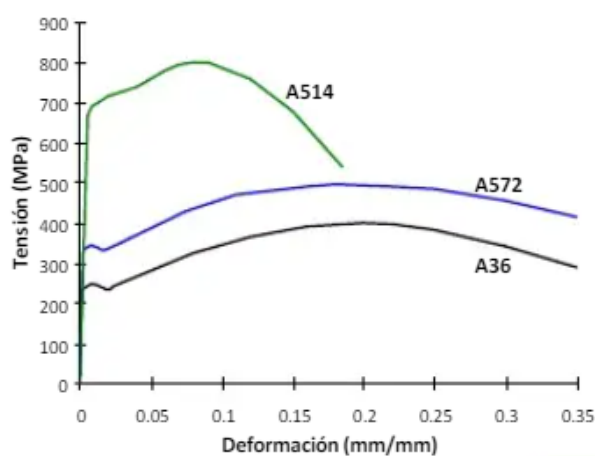


Figura 1. Curvas tensión – deformación de tres materiales ferríticos [8].

3.2 NAVÍOS INDUSTRIALES

Se conoce como tal a los grandes espacios usados para almacenamiento y producción, estos espacios cuentan ampliaciones para diversos usos. Durante su implementación, los especialistas responsables del diseño, construcción e instalación realizan un análisis en base a la necesidad y la inversión monetaria del solicitante. El tamaño puede variar ya que, depende de la actividad a la que este destinada.

De entre sus ventajas se tiene la rapidez de construcción y una gran iluminación, adicional permite la reducción en costos debido a que no se requiere andamios soporte para realizar las partes constitutivas en la estructura metálica.

La característica principal del acero es la resistencia estructural, por lo que su relación resistencia-peso lo convierte en el mejor material para la construcción de naves industriales con mayor solidez estructural de más de 6 metros de altura; menos obvio, pero no menos importante, es que no cambia sus propiedades con el tiempo, como las estructuras de hormigón armado, cuyo módulo de elasticidad es entre 6 y 10 veces menor que el del acero. [9]

3.3 TERMINOLOGÍA DE UNA NAVE INDUSTRIAL

Generalmente las medidas en las naves industrializadas son definidas en base a las magnitudes:

Anchura (L).- expansión obligatoria, es la mejor manera de ajustarlo al ancho máximo especificado.

Altura de utilidad (H).- También conocida como altura en columna, corresponde aquella apta para instalación de dispositivos y en otros casos para el almacenamiento de la materia prima o producto terminado.[10]

Pendiente o inclinación (α).- Corresponde al ángulo en la vertiente, debe poseer una inclinación obligatoria que reprima el efecto total del viento por sobre los desniveles, desagüe las aguas lluvias y admita la traslación del granizo en caso de haberlo.[10]

Longitud o extensión (L).- Es capaz de exceder la altura máxima especificada en el diseño del fabricante..[10]

Longitud de la Vertiente (Q).- Longitud total inclinada de la viga principal y es posible analizar a través de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{L}{2 \cos(\alpha)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Altura de Techo (F). Altura máxima de la nave industrial, depende de la longitud de la vertiente y se calcula así:

$$F = Q \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Separación entre marcos (pórticos) (Y). El valor del rango oscila entre cuatro y seis metros y corresponde a la separación de cada pórtico hasta contener toda la longitud de la estructura.[10]



$$Y = \frac{Z}{N_M} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

Y : separación entre marcos (pórticos)

Z : longitud de la nave industrial

N_M : número de marcos

La distancia separada entre pórticos comúnmente se comprende entre $4m$ y $6m$.

$$4m \leq Y \leq 6m \quad (\text{Ecuación 4})$$

3.4 CUBIERTAS EN NAVES INDUSTRIALES

Normalmente las elige el proyectista según el requerimiento de la construcción y distribución, estos se clasifican en componentes básicos de refuerzo, tal como los pórticos o las cerchas. [11]

A diferencia de los pórticos rígidos, las cerchas tienen ventajas en términos de soporte y cimentación porque se definen en el extremo de las columnas que no soportan cargas de flexión. También presentan algunos problemas de diseño, donde los cordones que los componen reducen el espacio útil, y son costosos de calcular y ensamblar. Por lo tanto, los soportes de armadura se suelen utilizar cuando las dimensiones de la estructura implican una carga grande que es difícil de transportar debido a la estructura generalmente rígida. [11]

3.5 TIPOS DE CARGAS NO SÍSMICAS

3.5.1 CARGA MUERTA

Pertenece al peso propio permanente en los componentes estructurales en la construcción, estos pueden ser las paredes divisorias, muros soporte y no soporte (dentro de la estructura), ventanas, fachada y moldes. [12]

Comúnmente las cargas se calculan a través del producto de pesos volumétricos y el área de uso. Sin embargo, se debe tomar en cuenta aquellas modificaciones y amplitud arquitectónicas que se realizarán posterior y durante el proyecto, para ello es indispensable manejar una memoria de cálculo con los planos y la localización de las cargas, esto con el fin de mantener las instalaciones en óptimas condiciones.[12]

5.3.2 CARGA VIVA

Se basa en los requisitos de ocupación a la que se destina la construcción y se conforma por el peso de humanos, mueblería, máquinas y accesorios (fijos o móviles) de mercadería en tránsito, entre otros.[12]

5.3.3 CARGA DE VIENTO

Según lo normado en la NEC-SE-CG para las construcciones de hasta 10 m de altura la velocidad máxima al instante con respecto a viento será menor a 21m/s (75Km/h), la altura descrita es con respecto a la ubicación de la construcción. [12]

La velocidad máxima instantánea rectificada del viento se calcula entre el producto con el coeficiente de corrección (σ), cambia de acuerdo con las propiedades topográficas, la altura y el entorno de la construcción. Por lo tanto, se tiene: [12]

$$V_b = V \cdot \sigma \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

V_b : velocidad de corrección del viento.

V : velocidad al instante máximo del viento

σ : Coeficiente de corrección

Lo anterior debe ser analizado con respecto a la tabla 1 de acuerdo con su categorización. [12]

Tabla 1. Coeficiente para corrección del viento [12].

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría b)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.96	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

La presión del viento según lo normado actualmente viene dada a partir de las acciones del viento que realiza sobre los componentes. A través, de ello se puede determinar la resistencia de los elementos con respecto al empuje del viento, como se adjunta debajo:

$$P = 0.5 \cdot \rho \cdot Vb^2 \cdot C_e \cdot C_f \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde

P : Presión

ρ : Densidad de aire

C_e : Coeficiente de entrono / altura

C_f : Coeficiente de representación

C_e se establece al optar por los valores de ASCE -16 [13] quien mantiene una versión más actual en lo normado según ASCE 7-10.

Tabla 2. Coeficientes de expositivita a la presión de velocidad K_h y K_z [13].

Altura sobre el nivel del suelo		Nivel de exposición		
ft	m	B	C	D
0-15	0 - 4,6	0,57 (0,70)	0,85	1,03
20	6,1.	0,62 (0,70)	0,90	1,08
25	7,6	0,66 (0,70)	0,94	1,12
30	9,1	0,70	0,98	1,16
40	12,2	0,76	1,04	1,22
50	15,2	0,81	1,09	1,27
60	18,0	0,85	1,13	1,31
70	21,3	0,89	1,17	1,34
80	24,4	0,93	1,21	1,38
90	27,4	0,96	1,24	1,40
100	30,5	0,99	1,26	1,43
120	36,6	1,04	1,31	1,48
140	42,7	1,09	1,36	1,52
260	48,8	1,13	1,39	1,55
180	54,9	1,17	1,43	1,58
200	61,0	1,20	1,46	1,61
250	76,2	1,28	1,53	1,68
300	91,4	1,35	1,59	1,73
350	106,7	1,41	1,64	1,78
400	121,9	1,47	1,69	1,82
450	137,2	1,52	1,73	1,86
500	152,4	1,56	1,77	1.89

El Factor C_f se hallará con respecto a la forma de la estructura acorde a la tabla 3:

Tabla 3. Factor de forma C_f [12]

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios.	+0,8	---
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido 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 ángulo de inclinación que no exceda los 45°.	+0,8	-0,5
Superficies inclinadas a 15° o menos.	+0,3 a 0	-0,6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°.	+0,3 a +0,7	-0,6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical.	+0,8	-0,6

Es importante tomar el dato con el respectivo signo que le antecede debido a que indica la presión (Barlovento) y succión(sotavento) consecuente.

3.6 CARGAS SÍSMICAS

Vienen dadas por ondas sísmicas que se distribuyen mediante el suelo en dependencia del área y región de construcción de la estructura metálica. El cálculo de aceleraciones sísmicas con fuerzas estáticas viene dado con relación a la configuración simétrica o regulares de poca altura, todo afín a la distribución de la masa estructural, la rigidez, entre otras.

Es por ello que se utilizan las gráficas de peligro sísmico de cada región y también el análisis del tipo y comportamiento del suelo conocido como “efecto latigazo”. [14]

Intrínsecamente de las cargas sísmicas hay determinantes y ecuaciones explícitas tal cual, describe el apartado de la normativa de construcción del Ecuador. [14]

3.7 GEOLOGÍA LOCAL

El diseño sísmico descrito en la norma de construcción del Ecuador divide al suelo en seis tipos, dando énfasis en los 5 primeros los cuales son de nivel superior a 30 m, de ser los casos específicos estos niveles contarán con una subclasificación denominada i [14]

La tabla 4 describe el tipo de suelo existente en el país.

Tabla 4. Clasificación del perfil del suelo [14]

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente.	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media.	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de con cortante, o.	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
	Perfiles de suelo rígidos que cumplen con el criterio de velocidad de la onda cortante, o.	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
D	Perfiles de suelo rígidos que cumplan con cualquiera de las dos condiciones.	$50 > N \geq 15$ $100 \text{ KPa} > S_u \geq 50 \text{ KPa}$
	Perfil que cumple el criterio de velocidad de la onda cortante.	$V_s < 180 \text{ m/s}$
E		$IP > 20$
	Perfil que contiene un espesor total h mayor a 3m de arcillas blandas.	$w \geq 40\%$
		$S_u < 50 \text{ KPa}$

3.8 COEFICIENTE DE IMPORTANCIA

El Factor de importancia corresponde a la instancia de sismo en un diseño para diferentes tipos de cadenas estructurales, las cuales en dependencia de su uso permanecen activas posterior a un sismo. La tabla 5 identifica las categorías en las estructuras y edificaciones.

Tabla 5. Factor de importancia [14]

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria.	1.5
	Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias.	
	Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1

El coeficiente para reducir la resistencia en sismos R se utiliza para diseños fijos y dúctiles, analizando y considerando lo descrito por las normas actuales. Para representar la Tabla 6 muestra los valores necesarios según se requiera.

Tabla 6. Factor para reducción de respuesta (R) [14]

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques de esferas presurizadas soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	2
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación.	3.5
Estructuras tipo cantilever, tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes.	3
Naves industriales con perfiles de acero.	3
Torres en armadura (Auto-portantes o atirantadas).	3
Estructura en forma de péndulo invertido 2.	2
Torres de enfriamiento.	3.5
Depositos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados 3.	3
Letreros y carteleras.	3.5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos.	2
Otras estructuras no descritas en este documento.	2

3.9 ESPECTRO DE DISEÑO

La curva de respuesta elástica S_a se usa para el análisis estructural del comportamiento durante un sismo según la cantidad consecuente de vibraciones, esto en dependencia de la clase de suelo y un factor Z , descrito bajo este contexto.[14]

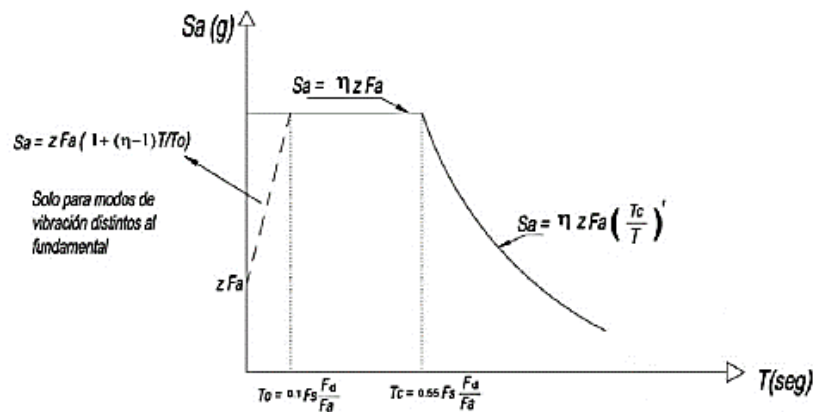


Figura 2. Representación espectral de respuesta NEC. [14]

El S_a , matemáticamente puede describirse como la fracción de la aceleración de la gravedad:

$$S_a = \eta Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_c \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r \text{ para } T > T_c \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde η : Razón de aceleración espectral $S_a(T=0.1s)$

F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.

r : Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

S_a : espectro de respuesta elástico de aceleraciones

T : periodo fundamental de vibración de la estructura

T_c : Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleración que representa el sismo de diseño

Z : Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

La normativa menciona que el valor de η varía dependiendo la región del Ecuador que son las siguientes tres:[14]

η : 1.80 en Provincias de la Costa (excepto para Esmeraldas)

η : 2.48 en provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

η : 2.60 en provincias de Oriente

El ciclo primordial de vibración T establece el valor S_a debido a que es lo más aproximado para calcular una fuerza sísmica que se aplica por encima de la estructura, Lo normado en la NEC 2015 menciona la división metódica (Pág. 62) de la cual se obtiene la ecuación de T representada a continuación:[14]

$$T = C_t \cdot h_n^\alpha \quad (\text{Ecuación 10})$$

En donde:

T : Periodo fundamental de vibración

h_n : Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura en metros

C_t : Coeficiente que depende del edificio

La tabla 7 que se describe a continuación exhibe los valores proporcionados para F_a . [14]

Tabla 7. Coeficiente de aumento de suelo en la zona de espacio corto [14]

Tipo de perfil del Subsuelo	Zona sísmica y factor F_a					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.23	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.25	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85

En la tabla 8 se indican los valores respectivos de F_d :

Tabla 8. Coeficiente de amplificación de suelo [14]

Tipo de perfil del Subsuelo	Zona sísmica y factor F_d					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.1	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

De manera similar la tabla 9 enseña valores para F_s que se produce un comportamiento no lineal del suelo, como la distorsión del campo en relación con la gravedad, y se mantiene en el estado excitado:

Tabla 9. Comportamiento no lineal de los suelos [14]

Tipo de perfil del Subsuelo	Zona sísmica y factor F_s					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Se clasificará según el tipo de perfil del suelo de la tabla 7 de la NEC-SE-DS-2015					

La resistencia máxima a la vibración en el modo de rampa rápida observada en el terremoto diseñado se expresa en términos de T_c de la siguiente manera:

$$T_c = 0.55 F_s \cdot \frac{F_s}{F_a} \quad (\text{Ecuación 11})$$

3.10 DERIVA DE PISO

El movimiento ascendente de un piso, definido como el cambio en la altura promedio de un piso debido a la acción de fuerzas horizontales, no deberá exceder el límite de movimiento no forzado mostrado en la Tabla 10, donde se expresa como porcentaje de la altura del piso [14]

Tabla 10. Deriva inelástica [14]

Tipo de estructura	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0,02
De mampostería	0,01

Los elementos estructurales están limitados por los desplazamientos laterales sujetos a daños, por consiguiente, se establece la comparación:

$$\Delta_M < \Delta_M \text{ máxima} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

Δ_M : deriva de piso máxima horizontal inelástico

Las derivas topes de piso se calculan en base al control de deformaciones, en donde, la deriva máxima inelástica es calculada a través de la ecuación:[14]

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

Δ_M : deriva tope inelástica

Δ_E : Desplazamiento logrado

R : Factor de disminución de resistencia

3.11 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural es una parte importante del edificio; se deben evaluar muchos factores para verificar el estado del edificio en caso de fuerzas internas o externas. Se basa en el análisis de un grupo de componentes como un solo elemento, por lo que es importante considerar el tipo de análisis y los parámetros a elegir, teniendo en cuenta factores como el tipo de construcción, carga, material y tamaño.

3.12 CÁLCULO DE COLUMNAS

En un navío industrial a las columnas y vigas se les conoce que son aquellos elementos que trabajan a compresión y tracción. Por lo tanto, al realizar un estudio sobre los aceros es indispensable calcular como primer paso el tipo de carga que va a actuar sobre el área seccionada y posteriormente a ello seleccionar el perfil que más se acople a los resultados obtenidos. [15]

Determinación de la resistencia de diseño a la tensión a través del método LFRD

$$P_n = F_y \cdot A_g \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$\phi \cdot P_n = \phi_t \cdot F_y \cdot A_g$$

La resistencia de diseño a la fractura por tensión utilizando el método LFRD, se describe a continuación:

$$P_n = F_u \cdot A_e \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$\phi \cdot P_n = \phi_t \cdot F_u \cdot A_e$$

Donde:

F_y : esfuerzo mínimo de fluencia

F_u : esfuerzo de tensión específico

A_g : Área bruta de la sección

A_e : Área neta

$\phi \cdot P_n$: Resistencia de diseño

3.13 CONEXIONES EN NAVES INDUSTRIALES

La unión de elementos estructurales en un navío industrial se lleva a cabo en base a dos tipos de conexiones. La figura 3 ilustra diferentes tipos de conexiones:

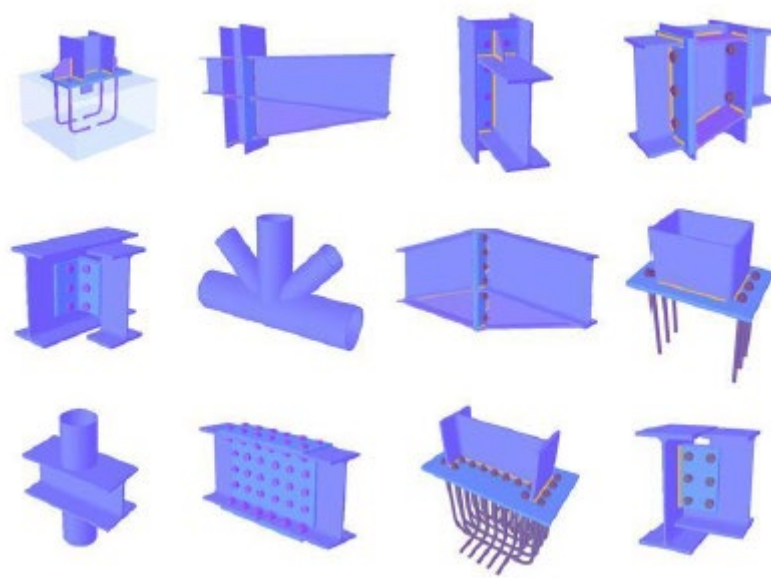


Figura 3. Tipos de conexiones precalificadas [16]

En el contexto de la construcción, la rigidez se define como: las uniones blandas tienen hasta el 20%, las semirrígidas tienen entre el 20 y el 90% y las uniones duras tienen más del 90% de la rigidez total.[16]

Los enlaces deben ser diseñados y detallados con base a los límites que poseen es así que mantengan mayor capacidad de resistencia con respecto a los elementos que conectan. Deben integrarse en un sistema de métodos en el que los compuestos produzcan elementos fuertes y resistentes ya que al conjunto le condicionan para obtener un desempeño estructural donde si influye incursión elástica y la disipación de energía ante un sismo.

3.14 CLASIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES PARA ESTRUCTURAS DE ACERO

En uniones estructurales pueden existir conexiones apernadas y soldadas, en la tabla 11 se describe la clasificación:

Tabla 11. Clasificación de las conexiones soldadas y apernadas en estructuras de acero [17]

Criterio	Tipos
Por la fuerza que transmiten	Fuerza cortante (conexión flexible)
	Fuerza cortante y momento, flexiona ante (Conexión rígida o semirrígida)
	Fuerzas internas de atracción y compresión (Armaduras y contra Vientos)
Por el lugar de fabricación	Conexiones de taller (fabricación completa de la estructura en el taller)
	Conexiones de campo (Fabricadas en el taller y armadas en el sitio de la obra)
	Conexiones por fricción.
Por el mecanismo de Resistencia de la conexión	Conexiones por aplastamiento.

3.15 TIPOS DE CONEXIONES

3.15.1 CONEXIONES SENCILLAS

Los refuerzos horizontales (vigas) es necesario que tengan un diseño flexible con un dimensionamiento para reacción de corte, también deben soportar las rotaciones completas en los extremos (Figura 4). Como mínimo, deben tener una flexibilidad inflexible pero autosostenida que pueda cambiar el ciclo creado por el análisis estructural.

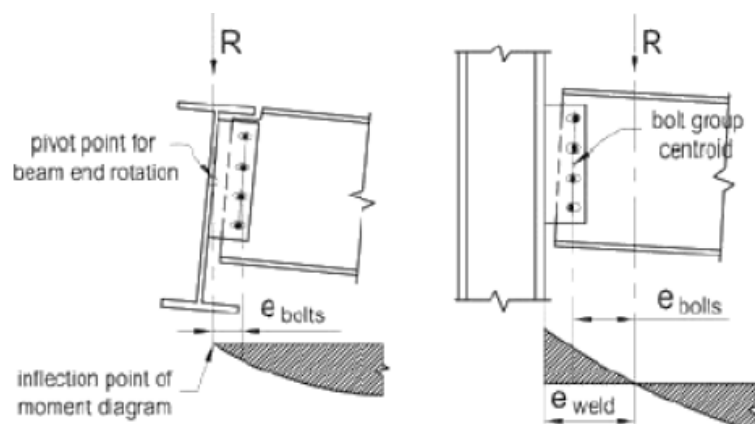


Figura 4. Excentricidad de cálculo para soportes flexibles [18]

Las conexiones comunes a tracción y compresión simple son usadas en arriostramientos, tensores y elementos de estabilización lateral del sistema primario de la estructura. [18]

3.15.2 CONEXIONES DE MOMENTO

Está diseñado para absorber los efectos a momento y las fuerzas de corte resultantes de la dureza de las juntas. De acuerdo con el código AISC 360-16 es permisible las conexiones a momento. [18]

3.16 CONEXIONES PRECALIFICADAS A MOMENTO

Las conexiones precalificadas, según el diseño de lo normado en ANSI/AISC-358 muestra los siguientes parámetros:

- Factor de resistencia
- Localización de la rótula plástica
- Máximo momento en la rótula plástica
- Placas de continuidad
- Zonas de panel
- Zona protegida

Las conexiones de los elementos del sistema constructivo se realizan generalmente a través de conectores utilizados en piezas precalificadas, y se prueban su resistencia y su idoneidad para modificaciones.[16]

La normativa ANSI/AISC 358-16 describe las conexiones precalificadas para conexiones que se realicen un diseño a momento.

Tabla 12. Conexiones precalificadas a momento [16]

Tipo de conexión.	Sistema
Reduced Beam Section (RBS)	SMF, IMF
Bolted unstiffened extended end plate (BUEEP)	SMF, IMF
Bolted stiffened extended end plate(8BSEEP)	SMF, IMF
Bolted flange plate (BFP)	SMF, IMF
Welded unreinforced flange-welded web (WUF-W)	SMF, IMF
Kaiser bolted bracket (KBB)	SMF, IMF
ConXtech Con XL moment connection (ConXL)	SMF, IMF
SidePlate moment connection (SidePlate)	SMF, IMF
Simpson Strong-Tie Strong Frame moment connection	SMF, IMF
Double-tee moment connection	SMF, IMF

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

4.1. LA NAVE INDUSTRIAL Y SUS PRINCIPALES PARÁMETROS

Los parámetros iniciales serán evaluados de acuerdo con las necesidades de la empresa, para ello se establecerán criterios para establecer un modelo seguro, atractivo y económico. En la figura 9 se establece las dimensiones del área del terreno donde se presente realizar la edificación de la nave industrial.



Figura 5: Dimensiones del terreno (área).

Actualmente la empresa realiza las actividades en un área de 400 metros cuadrados, donde la principal actividad es la manufactura de productos plásticos, por la escasez de espacio los directivos de la empresa han adquirido un lote de terreno de 2000 metros cuadrados y han pedido un proyecto que cumpla con un diseño de estructura para una nave industrial de 800 metros cuadrados.

Considerando lo anterior el gerente empresarial en su solicitud menciona las especificaciones requerientes para la nave industrial las mismas, que deben tener como alto 6 metros, una longitud de 40 metros, y 20 metros de luz. Es así, que la

figura 10 muestra la ubicación de la nave industrial inmerso en las dimensiones del terreno.

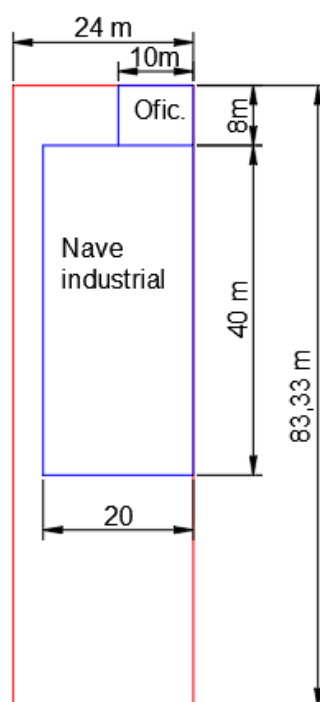


Figura 6: Ubicación de la nave industrial en el área de terreno.

Además, se debe destacar que la ubicación se la realizó teniendo en cuenta que en la parte frontal del terreno se destinará un área de 80 metros cuadrados para la parte administrativa, en el lado izquierdo se dejará una separación de 4 metros que servirá como vía para trasladarse al parqueadero y área verde que se encontraría en la parte posterior de la nave industrial.

Otra consideración importante es que la empresa desea que se realice el diseño de las columnas con perfiles precalificados tipo HEB, para reducir el tiempo de fabricación de la nave industrial.

4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA NAVE INDUSTRIAL

La separación de los pórticos está definida de acuerdo con la normativa de construcción ecuatoriana, por lo tanto, hay una separación de 4 metros entre sí en

una longitud de 40 metros. Cabe mencionar que los cimientos de la nave industrial ya se encuentran contruidos y están a una separación de 4 metros.

$$4m \leq y \leq 6m$$

$$y = 4m$$

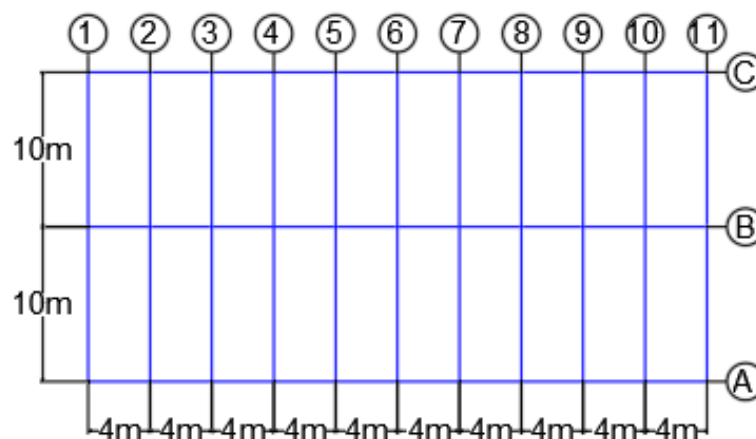


Figura 7: Separación de pórticos.

En la figura 11 se ha realizado un esquema de la separación de los pórticos con 40 metros de longitud y una luz de 20 metros.

La nave será destinada para la manufactura y el almacenamiento de productos plásticos, se deberá tener una altura útil de 6 metros.

4.3. ANÁLISIS DE CARGAS

4.3.1. CÁLCULO DE LA CARGA DE VIENTO

De acuerdo con el ítem 3.2.7 de la NEC-SE-CG se realiza el cálculo de la velocidad de viento corregida.

La velocidad tope de viento para una altura máxima de 10 metros debe ser por lo menos de 21 m/s.

El coeficiente de corrección en concordancia con la tabla 5 de NEC-SE-CG es de 0.9 porque la nave industrial tendrá una altura máxima de 9 metros y presentaría una

obstrucción baja de viento porque la nave industrial estará ubicada en una zona rural rodeada de fábricas.

Teniendo en cuenta los valores antes referenciales de la norma, se procede al cálculo de la velocidad de viento corregida.

$$V_b = V * \sigma$$

$$V_b = 21 \text{ m/s} * 1$$

$$V_b = 21 \text{ m/s}$$

Enseguida se calcula la presión del viento en cada una de las áreas que puedan tener contacto con el mismo.

Presión en el techo a sotavento.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V_b^2 * C_e * C_f$$

$$P = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{\text{kgf}}{\text{s}^3} * \left(21 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 1,3 * 0,6$$

$$P = 214,98 \text{ N/m}^2$$

$$P = 21,9 \text{ kgf/m}^2$$

Presión del viento sobre el techo a barlovento.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V_b^2 * C_e * C_f$$

$$P = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3} * \left(21 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 1,3 * (0,8)$$

$$P = 286,65 \text{ N/m}^2$$



$$P = 29,22 \text{ kgf/m}^2$$

4.3.2. CÁLCULO DE LA CARGA SÍSMICA

Los movimientos sísmicos de la parte estructural en la nave se transmitirán en el sentido longitudinal y transversal de la nave industrial. Para garantizar la ductilidad de la estructura ante una carga sísmica se debe determinar las cargas de acuerdo con los criterios y formulas establecidas según lo normativa de construcción del Ecuador NEC-SE-DS/2015 donde, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 13: Variables para determinar el espectro de diseño.

Variable	Valor
Z (factor de zona sísmica)	0,4
Tipo de suelo	D
η (relación de amplificación espectral)	2,48
r (factor usado en el diseño elástico)	1
I (factor de importancia de la estructura)	1
ΦP (Coeficiente de irregularidad de planta)	1
ΦE (Coeficiente de irregularidad de elevación)	1

La tabla 13 muestra el coeficiente de zona sísmica de 0,4 por lo que la nave industrial se construirá en la ciudad del Quito. Por lo tanto, tiene una correlación de amplificación espectral de 2.48, con un factor de importancia de 1 porque la estructura se destinará para la producción y almacenamiento de productos plásticos, además la estructura no presentará irregularidades de planta ni de elevación, por lo tanto, tendrán un coeficiente de 1.

En base al apartado 3.2.2 según la NEC-2015 se determina los coeficientes de perfil del suelo de acuerdo con los valores establecidos en la tabla 2. Por lo tanto, se obtiene los siguientes valores.

Tabla 14: Coeficientes de perfil del suelo.

Coeficientes de perfil del suelo	
Fa	1,2
Fd	1,19
Fs	1,28

La tabla 14 establece un coeficiente de amplificación del suelo para la zona de periodo corto.

Para obtener el espectro de diseño también hay que calcular los periodos fundamentales de la estructura. Para realizar el cálculo se guiará en el punto 3.3 de la NEC-SE-DS/2015, donde se encontrará las fórmulas que se utilizaron para el cálculo:

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1(1.28) \frac{(1.19)}{(1.2)}$$

$$T_o = 0.1269$$

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55(1.28) \frac{(1.19)}{(1.2)}$$

$$T_c = 0.6981$$

Con la ayuda de un software gráfico se establece el espectro de diseño elástico.

La figura 12 establece el espectro de diseño de acuerdo con las descripciones técnicas establecidas según la NEC-SE-DS/2015, donde se aprecia una aceleración espectral de 1,2*g en un periodo de 0,7 seg.

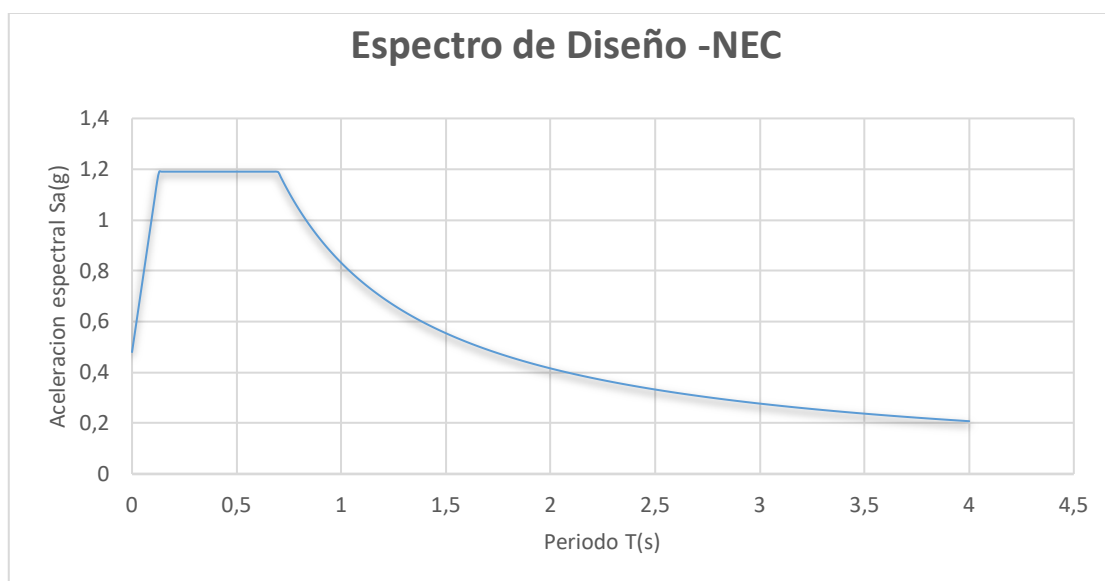


Figura 8: Espectro de diseño elástico

Los valores cálculos en el ítem de la carga sísmica son fundamentales para ingresar el software de diseño (SAP2000) y el mismo calcula automáticamente las cargas longitudinales y transversales que se aplican en la estructura de la nave industrial.

4.3.2. CARGA DE GRANIZO

Es una carga muerta que es necesario tener en cuenta al momento de realizar el cálculo estructural de una estructura. Debido que Quito está a una altura sobre los 1500 msnm se debe considerar la carga de granizo aplicando la siguiente formula:

$$S = \rho_s * H_s$$

$$S = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.5 m$$

$$S = 500 N/m^2$$

$$S = 50 kgf/m^2$$

4.3.3. CARGAS GRAVITACIONALES

Este tipo de cargas están subdivididas en cargas vivas y muertas.

En las muertas se tomará en cuenta el peso propio de los perfiles estructurales, cargas de instalaciones y la carga del Steel panel.

En la tabla 15 se establecen las cargas antes mencionadas con sus respectivos valores:

Tabla 15. Cargas muertas.

Denominación	Valor
Peso propio de los elementos	El software lo calcula
Instalaciones	4 kg/m ²
Steel panel	13 kg/m ²

Las cargas vivas se encuentran relacionadas al uso del techo, en este caso se relacionan al personal que se encontrará a cargo de la instalación y del mantenimiento de la nave industrial.

De acuerdo con la NEC-SE-CG/2015 en el ítem 4, se especifica el valor recomendado para la carga antes mencionada que es de 70 kg/m².

4.4. DISEÑO DE LA NAVE INDUSTRIAL.

La nave industrial se diseñó de acuerdo con las especificaciones establecidas por Diarmoplas, para ello establecieron utilizar perfiles HEB para las columnas.

Primero se desarrolló una inspección visual del lugar donde se va a construir. En la figura 13 se aprecia el área donde se construirá la nave industrial.



Figura 9. Área de construcción

4.4.1. MODELADO

El diseño de los pórticos se lo desarrollo en AutoCAD, las columnas tienen una tipología simple con un perfil precalificado HEB mientras que la cercha es triangular con la formación de celosías a lo largo de la viga.

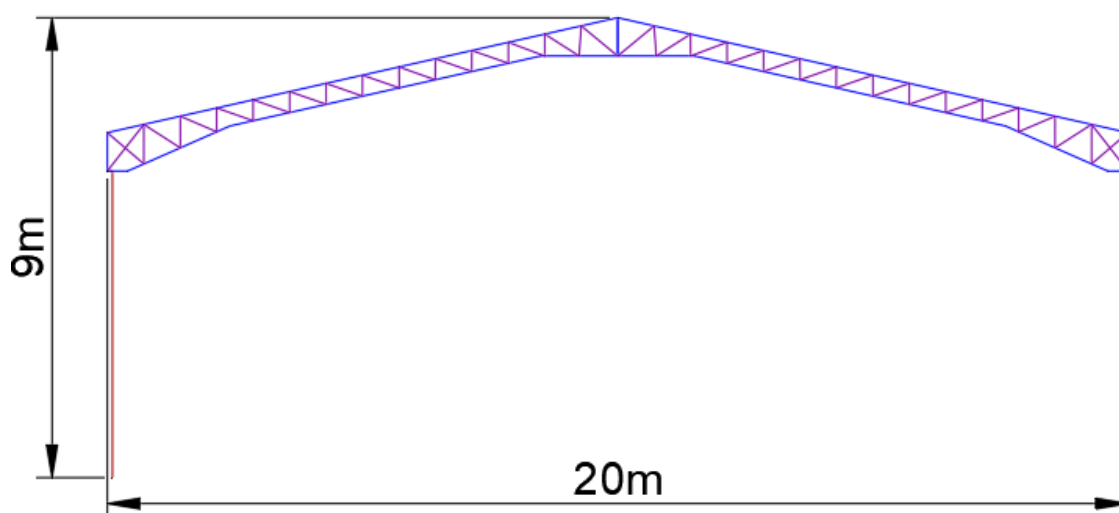


Figura 10. Diseño del pórtico

En la figura 14 se establece el diseño del pórtico que formará parte de la nave industrial, las columnas están representadas con las líneas de color rojo mientras que la viga está conformada por una cercha rígida capaz de soportar las cargas antes establecidas.

4.4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Este análisis se lo realizó en un software comercial (SAP2000) fundado en la metodología de elementos finitos (Mef), este sistema permite calcular el actuar general de la estructura en base a las cargas gravitacionales y dinámicas que se apliquen a la estructura.

Para empezar con el análisis estructural en el software SAP2000 primero se limitó el área de trabajo en base al sistema de coordenadas, en el eje Y se estableció la luz que tendrá la nave industrial en este caso es de 20 metros, en el eje X se define la separación de los pórticos y en el eje Z se definió la altura tope del cumbrero de la nave. En la figura 15 se visualiza el establecimiento de las dimensiones del área de trabajo en el SAP2000.

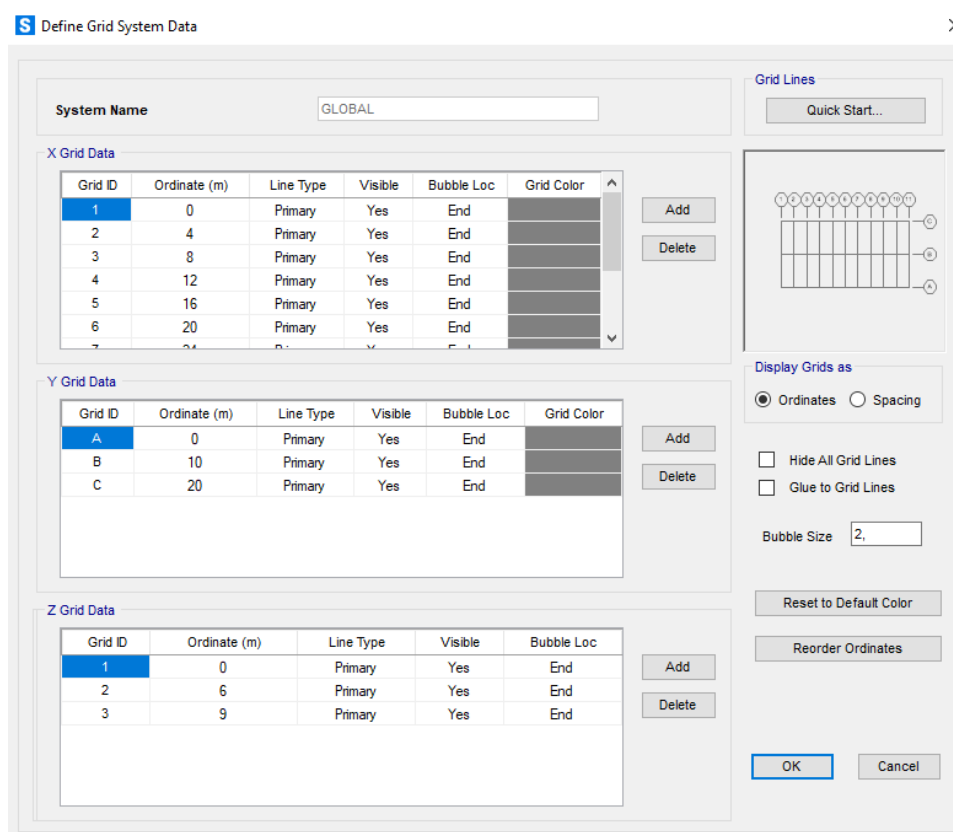


Figura 11. Dimensionamiento del área de trabajo.

Los materiales que se utilizarán para el análisis estructural se los instaura en la tabla 16 donde se especifica las dimensiones de la sección transversal y la clasificación de material a utilizarse.

Tabla 16. Lista de perfiles.

Sección	Dimensiones	Material
Perfil C	250 x 80 x 6	ASTM A36
HEB	260	ASTM A36
Ángulo	2L x 75 x 6	ASTM A36
IPE	220	ASTM A36
TUBO	100 x 100 x 3	ASTM A36
TUBO	100 x 50 x 3	ASTM A36

Con el diseño ya establecido en AutoCAD se procedió a importar al software SAP2000, para proceder a asignar los perfiles correspondientes a las vigas, columnas y celosías. En la figura 16 se asigna los perfiles a cada de las líneas importadas desde el software de diseño.

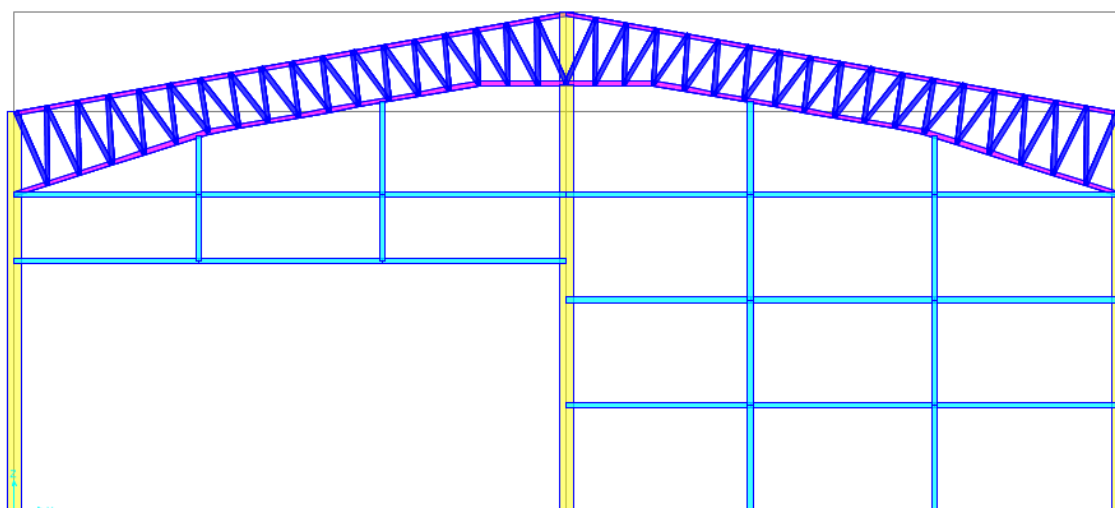


Figura 12. Asignación de perfiles en SAP2000

La designación de cargas se las realizará en concordancia con las especificaciones técnicas en la NEC-2015, la tabla 17 detalla las cargas que se creen en el SAP2000 para realizar el análisis estructural.

Tabla 17. Asignación de cargas.

Designación	Carga
D	Carga Muerta
SD	Carga sobreimpuesta de techo
Lr	Carga Sobreimpuesta (viva)
Ex	Carga de sismo en dirección X
Ey	Carga de sismo en dirección y
Wind1	Cargas de viento a barlovento
Wind2	Cargas de viento a sotavento
S	Cargas de granizo

La combinación de cargas utilizadas para el análisis estructural está establecida en la NEC-SE-DS/2015.

El diseño debe soportar la combinación de cargas que se apliquen durante el análisis estructural con el fin que la resistencia de diseño iguale o sobrepase las fuerzas aplicadas, en la tabla 18 se establecen las cargas que se utilizaron en el software especializado (SAP2000).

Tabla 18. Combinación de cargas.

Combinación	Expresión
1	1,4D
2	1,2D+1,6Lr+0,5W1
	1,2D+1,6Lr+0,5W2
3	1,2D+W1+0,5Lr
	1,2D+W2+0,5Lr
4	1,2D+Ex+0,3Ey+0,2S
	1,2D+Ex-0,3Ey+0,2S
	1,2D-Ex+0,3Ey+0,2S
	1,2D-Ex-0,3Ey+0,2S
5	0,9D+W1

La aplicación de cargas se las realizo de acuerdo con estimaciones establecidas en la NEC-2015.

La carga muerta es el auto peso de los elementos estructurales por lo tanto la carga es calculada de manera automática por el software especializado (SAP2000).

La carga viva (Lr) es aplicada en la en la cubierta derecha e izquierda de la nave industrial. De acuerdo con la NEC-SE-CG/2015 en el ítem 4, especifica el valor recomendado para la carga antes mencionada que es de 70 kg/m^2 .

En la figura 17 se aplica la carga Lr sobre las vigas principales, correas y vigas de amarre. La separación de las correas se las diseñó a 1,6 metros por lo tanto la carga linealizada es de 112 kg/m .

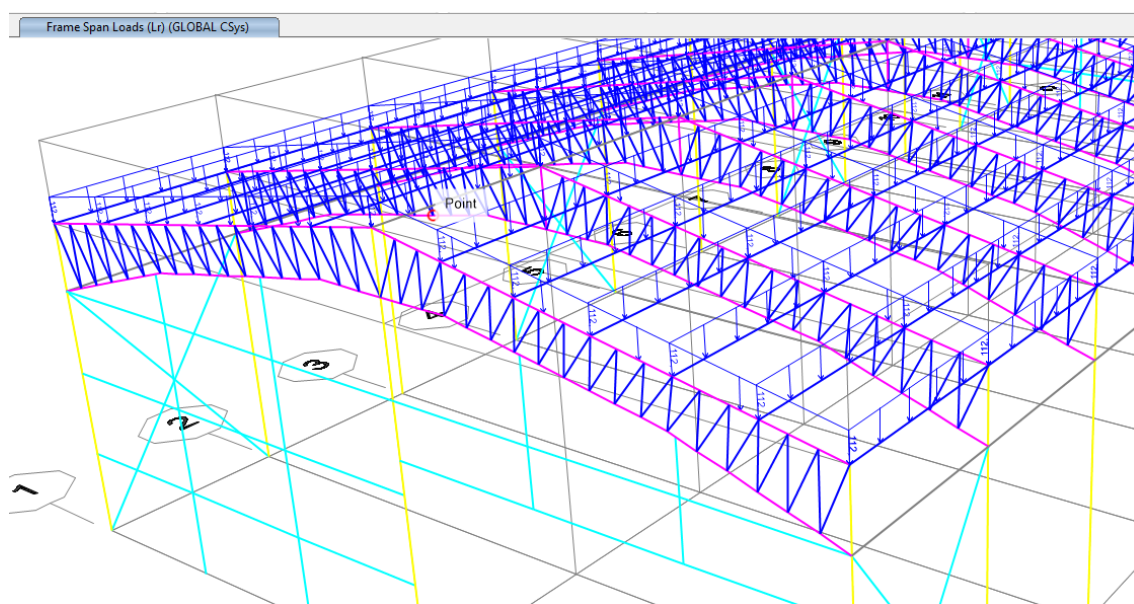


Figura 13. Aplicación de carga viva sobre la cubierta en SAP2000

En la figura 18 se establece la aplicación de la carga de granizo sobre la cubierta de la nave, de acuerdo con los cálculos realizados se aplicó una carga de 50 kg/m^2 . Por la configuración de las correas se linealiza la carga.

$$S = 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 1.6\text{m}$$

$$S = 80 \frac{kg}{m}$$

La carga de granizo es aplicada sobre las vigas principales y correas

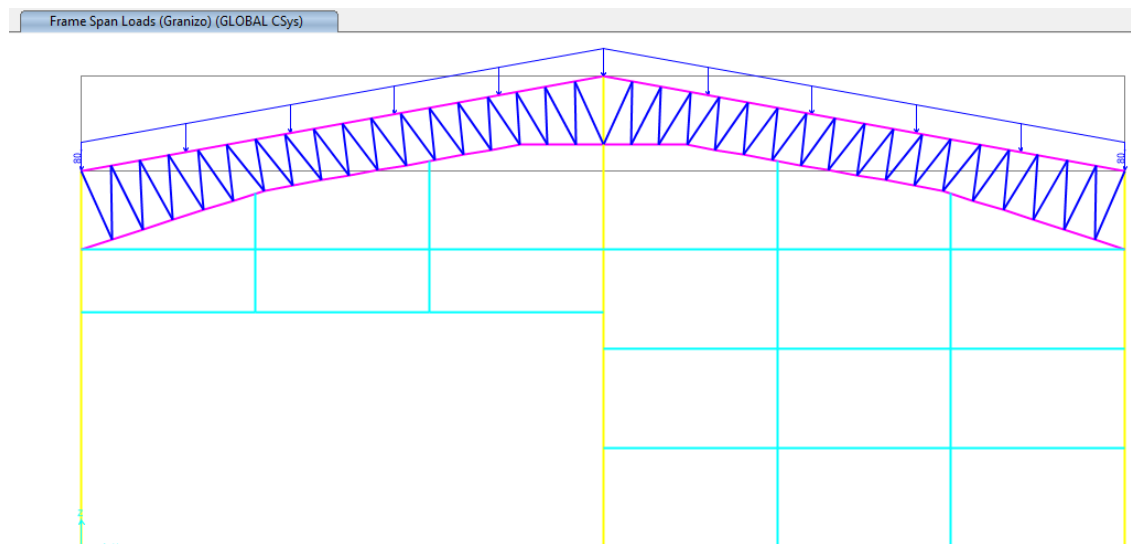


Figura 14. Aplicación de carga de granizo sobre la cubierta en SAP2000

En la figura 19 se aprecia las cargas de viento barlovento y sotavento consideradas las mismas que van a actuar en la nave industrial, las cargas se aplican en las paredes y cubierta de la nave industrial.

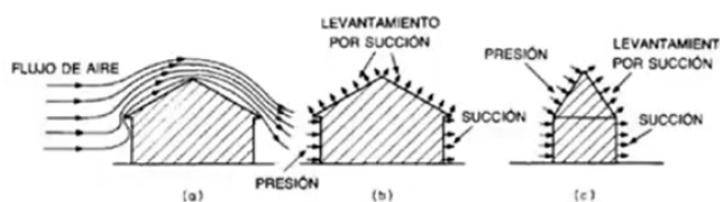


Figura 15. Casos para la aplicación de cargas

El peso o carga que actúa sobre las columnas de nave industrial sería la siguiente:

A barlovento la carga es de 29.22 kg/m^2 , pero para aplicar en la superficie se debe linealizar, en este caso la carga se debe multiplicar por la separación de las

columnas, porque la carga es aplicada directamente en toda la columna y en la viga de amarre IPE220.

$$W1 = 29.22 \frac{kg}{m^2} * 4m$$

$$W1 = 116,88 \text{ kg/m}$$

A sotavento la carga es de 21.91 kg/m^2 , pero para aplicar en la superficie se debe linealizar, en este caso la carga de debe multiplicar por la separación de las vigas principales.

$$W1 = 21.91 \frac{kg}{m^2} * 4m$$

$$W1 = 87,64 \text{ kg/m}$$

La carga que actúa sobre el techo de nave industrial es el siguiente:

A sotavento la carga es de 21.91 kg/m^2 , pero para aplicar en la superficie se debe linealizar, en este caso la carga de debe multiplicar por la separación de las correas.



$$W2 = 21.91 \frac{kg}{m^2} * 1,6m$$

$$W2 = 35,06 \text{ kg/m}$$

A barlovento la carga es la mitad de la carga a sotavento de acuerdo con las especificaciones técnicas de la NEC2015, en el apartado de cargas estáticas para superficies inclinadas.

$$W2 = 35,06 \frac{kg}{m} / 2$$

$$W2 = 17,53 \frac{kg}{m}$$

La figura 20 evidencia la aplicación de cargas en el software SAP2000 con los diferentes casos establecido en la figura 19.

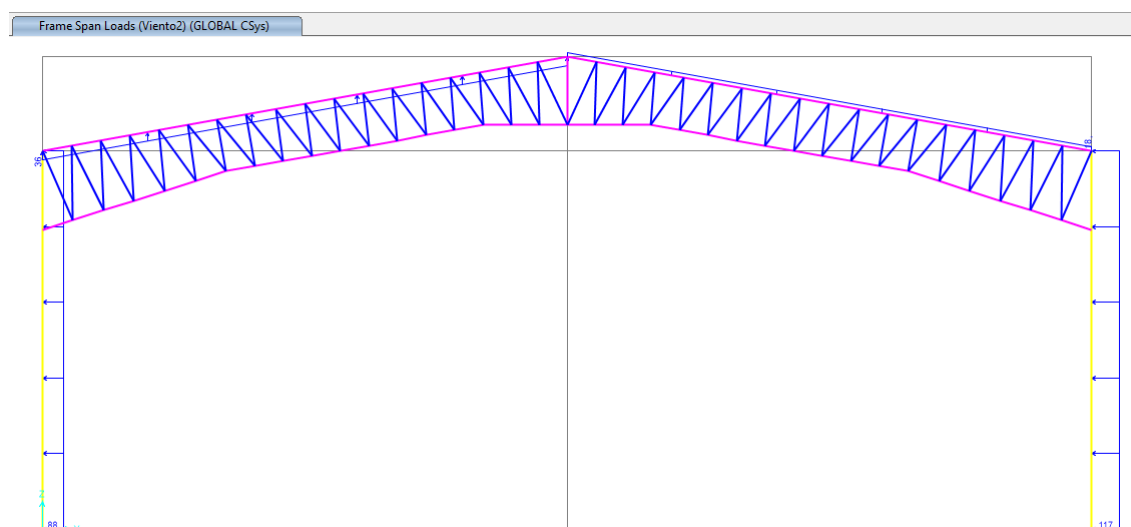


Figura 16. Cargas de viento sobre la nave industrial en SAP2000

4.5 RESULTADOS OBTENIDOS

4.5.1 DERIVAS VERTICALES

La estructura de la nave industrial es diseñada con el fin de obtener la rigidez necesaria así como también restringir las deformaciones verticales en base a los razonamientos establecidos por el código internacional de trabajo (2018). Los criterios son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 19. Deflexiones límites

Construcción	L o Lr	S o W	D + L ^d
Estructuras con techo			
Techo de yeso o soporte de estuco	360	360	240
Soporte de techo sin yeso	240	240	180
Techo que no soporta peso	180	180	120
Miembros de piso	360	-	240

Se realizó el análisis para las cargas de viento , granizo, muerta y sobreimpuesta, aplicando las consideraciones establecidas en la tabla, cabe mencionar que la respectiva carga de analisis, se debe dividir la distancia de la luz para el valor establecido en la tabla, para este caso se analiza en techo que no soporta peso.

Para la carga sobreimpuesta L_r se aplicó el siguiente análisis:

$$L_r = \frac{Luz}{180}$$

$$L_r = \frac{20\text{ m}}{180}$$

$$L_r = 11.1\text{ cm}$$

Por la tanto, el valor de desplazamiento límite al aplicar la carga sobreimpuesta debe ser inferior a 11.1 cm .

Mediante el software (Sap2000), se establece el desplazamiento máximo en el eje vertical producto de la carga sobreimpuesta.

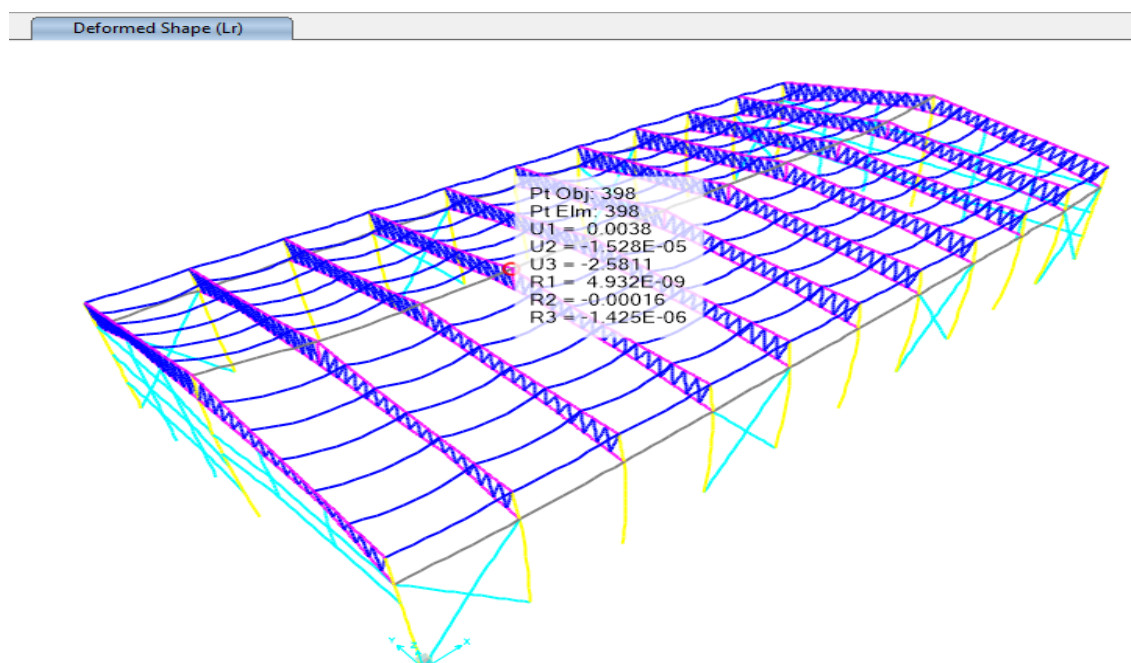


Figura 17. Deslizamiento en el vertical producto de la carga L_r .

La figura 21 representa un desplazamiento en el eje vertical de 2.58cm, entonces se procede a realizar la siguiente verificación:

$$U_z \leq L_r$$

$$2.58 \text{ cm} \leq 11.1$$

Para la carga sobrepuesta la estructura se encuentra dentro de los parámetros estipulados.

Para la carga de granizo (S) se aplicó el siguiente análisis:

$$S = \frac{Luz}{180}$$

$$S = \frac{20 \text{ m}}{180}$$

$$S = 11.1 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el valor de desplazamiento límite vertical al aplicar la carga de granizo debe ser inferior a 11.1 cm.

Mediante el software (Sap2000), se establece el desplazamiento tope en el eje vertical producto de la carga de granizo.

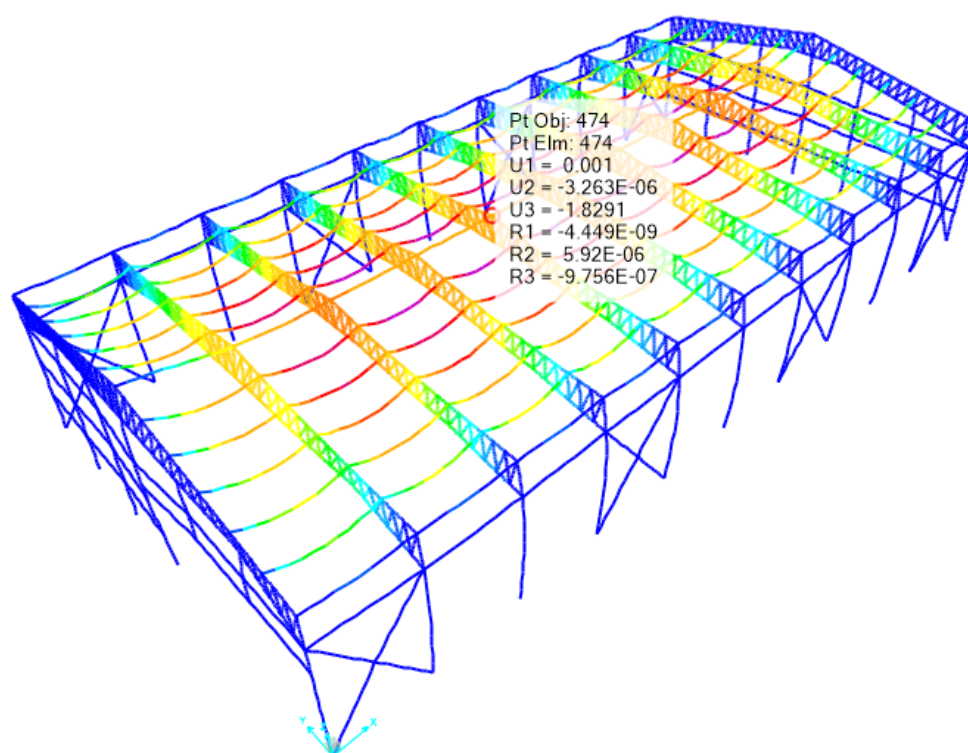


Figura 18. Desplazamiento en el vertical producto de la carga de granizo.

En la figura 22 se aprecia un desplazamiento en el eje vertical de 1.82 cm, por lo tanto, se procede a realizar la siguiente verificación:

$$U_z \leq S$$

$$1,82 \text{ cm} \leq 11.1 \text{ cm}$$

Para la carga de granizo al ser aplicado en la estructura se encuentra dentro de los parámetros estipulados.

Para la carga de lluvia (W) se aplico el siguiente analisis:

$$W = \frac{Luz}{180}$$

$$W = \frac{20 \text{ m}}{180}$$

$$W = 11.1 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el valor de desplazamiento límite vertical al aplicar la carga de lluvia debe ser inferior a 11.1 *cm*.

Con la ayuda del software Sap2000, se establece el desplazamiento tope en el eje vertical producto de la carga de lluvia.

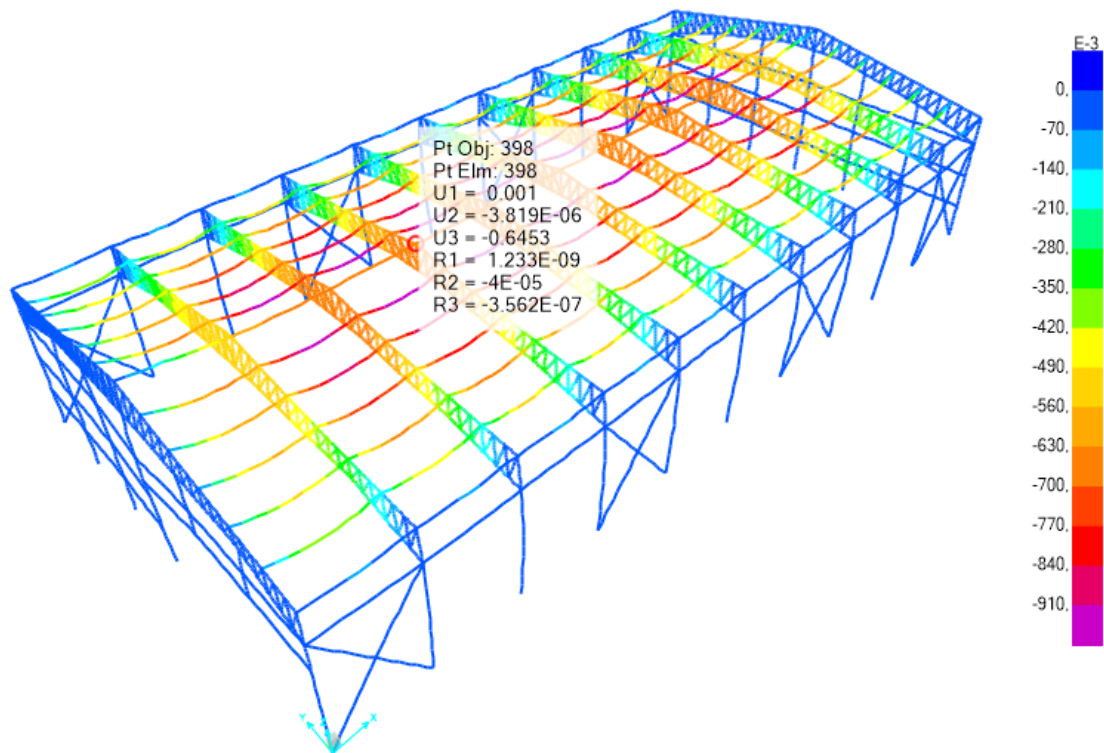


Figura 19.Desplazamiento en el vertical producto de la carga de lluvia.

En la figura 23 se aprecia un desplazamiento en el eje vertical de 0.64 *cm*, por último, se procede a realizar la siguiente verificación:

$$U_z \leq W$$

$$0.64 \text{ cm} \leq 11,1 \text{ cm}$$

La carga de lluvia al ser aplicado en la estructura se encuentra dentro de los parámetros estipulados.

Para la carga muerta (D) se aplico el siguiente analisis:

$$D = \frac{Luz}{120}$$

$$W = \frac{20\text{ m}}{120}$$

$$W = 16.7\text{ cm}$$

Por lo tanto, el valor de desplazamiento límite vertical al aplicar la carga muerta debe ser inferior a 16,7 cm.

A través del software (Sap2000), se establece el desplazamiento tope en el eje vertical producto del peso propio de la estructura (carga muerta).

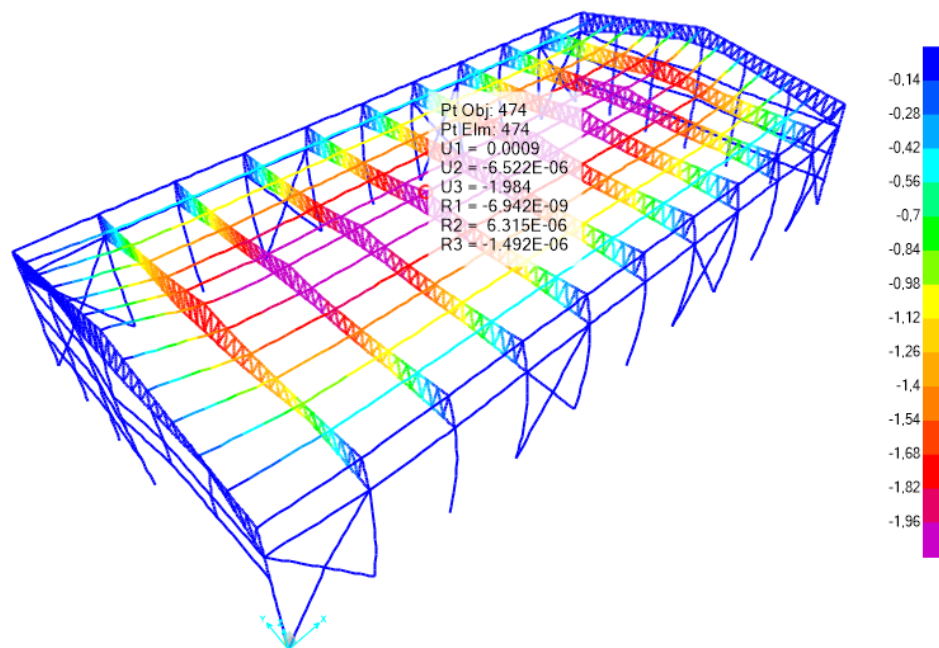


Figura 20.Desplazamiento en el vertical producto de la carga muerta.

La figura 24 indica un desplazamiento en el eje vertical de 1,98 cm, entonces se procede a realizar la siguiente verificación:

$$U_z \leq D$$

$$1,98\text{ cm} \leq 16.7\text{ cm}$$

La carga muerta o peso propio al ser aplicado en la estructura está en un rango apropiado con respecto a los parámetros estipulados, por el código de la construcción internacional (2018).

4.5.2 DERIVAS HORIZONTALES

Para el análisis de las derivas se toma el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos de la estructura, en este caso se realiza el análisis en el punto más crítico de la estructura. En relación a lo descrito en la Norma de la Construcción Ecuatoriana el desplazamiento máximo en una estructura, producto de un sismo debe ser inferior al 2% del valor de la altura.

Por lo tanto, se realizó el siguiente análisis para el sismo en el eje X.

$$\Delta_{max} = 0,02 * h$$

$$\Delta_{max} = 0,02 * 6m$$

$$\Delta_{max} = 12 \text{ cm}$$

El máximo permitido debe ser inferior a 12 cm.

Con el apoyo del software (Sap2000), se establece el desplazamiento tope producto de la aplicación del sismo en el eje X.

Por lo tanto la figura 25 se indica un desplazamiento máximo en el eje x de $u_1 = 7.14 \text{ cm}$

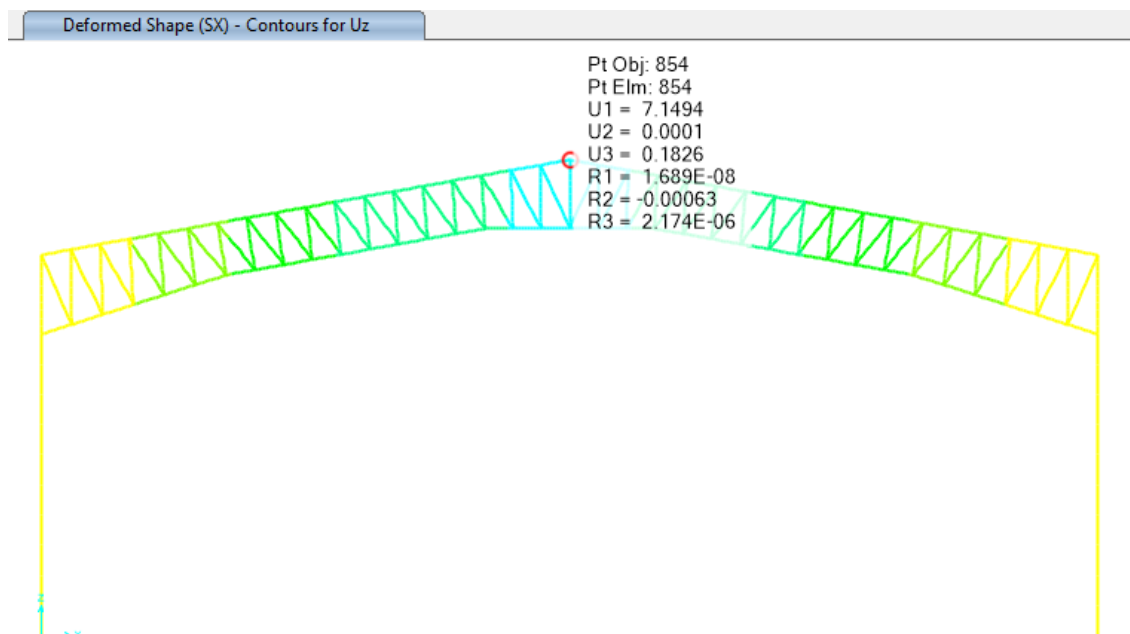


Figura 21. Desplazamiento máximo en el eje X.

Se procede a realizar la siguiente verificación:

$$\Delta x \leq \Delta_{max}$$

$$7.14cm \leq 12cm$$

La estructura está completamente rígida, por tanto, garantiza su estabilidad ante la presencia de un sismo en el eje X.

Luego se realiza el siguiente análisis para el sismo en el eje Y.

El máximo permitido debe ser inferior a 12 cm.

Mediante el apoyo del software (Sap2000), se establece el desplazamiento máximo producto de la aplicación del sismo acorde al eje Y.

La figura 26 muestra un desplazamiento tope en el eje Y de $u_2 = 0.05cm$.

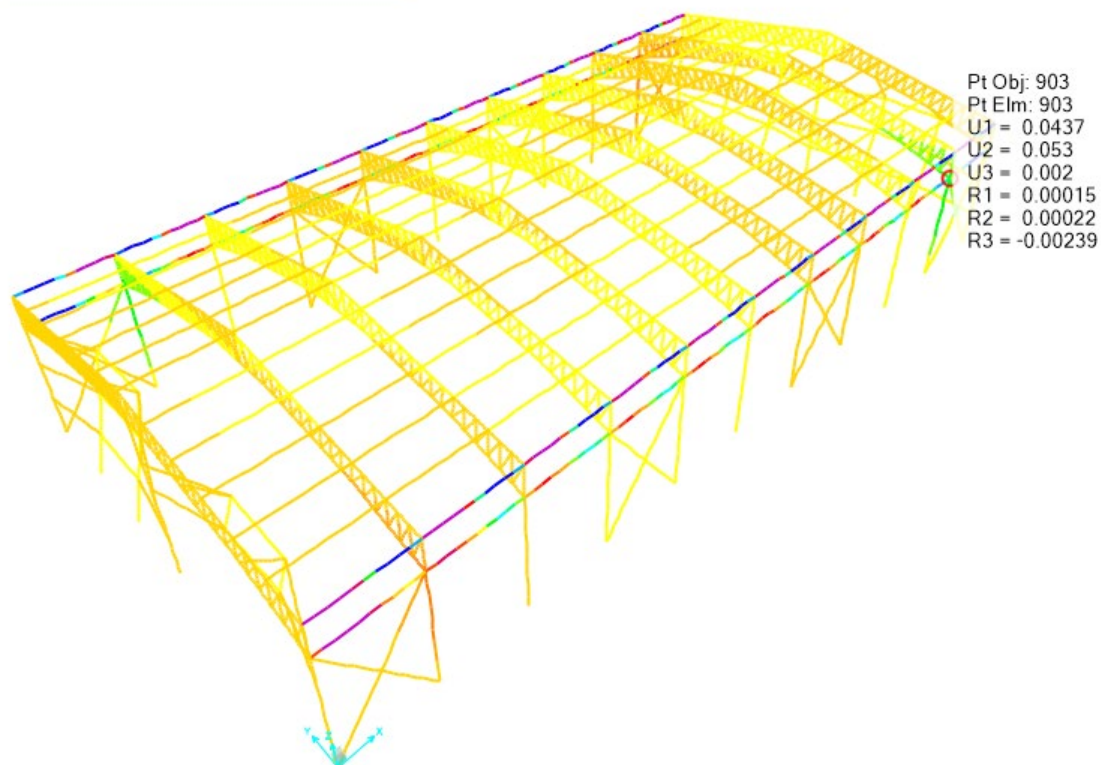


Figura 22.Desplazamiento máximo en el eje Y.

Se procede a realizar la siguiente verificación:

$$\Delta y \leq \Delta_{max}$$

$$0.05m \leq 12cm$$

La estructura está completamente rígida, por tanto, garantiza su estabilidad ante la presencia de un sismo en el eje X.

4.5.3 DIAGRAMAS DE CORTANTE Y MOMENTOS

En el estudio de sismo dinámico aplicado a la nave industrial se generan fuerzas cortantes y momentos que deben ser analizados para evitar fallas sobre los elementos primordiales de la estructura. En la figura 27 y figura 28 se establece los momentos generados en la estructura producto del sismo dinámico aplicado.

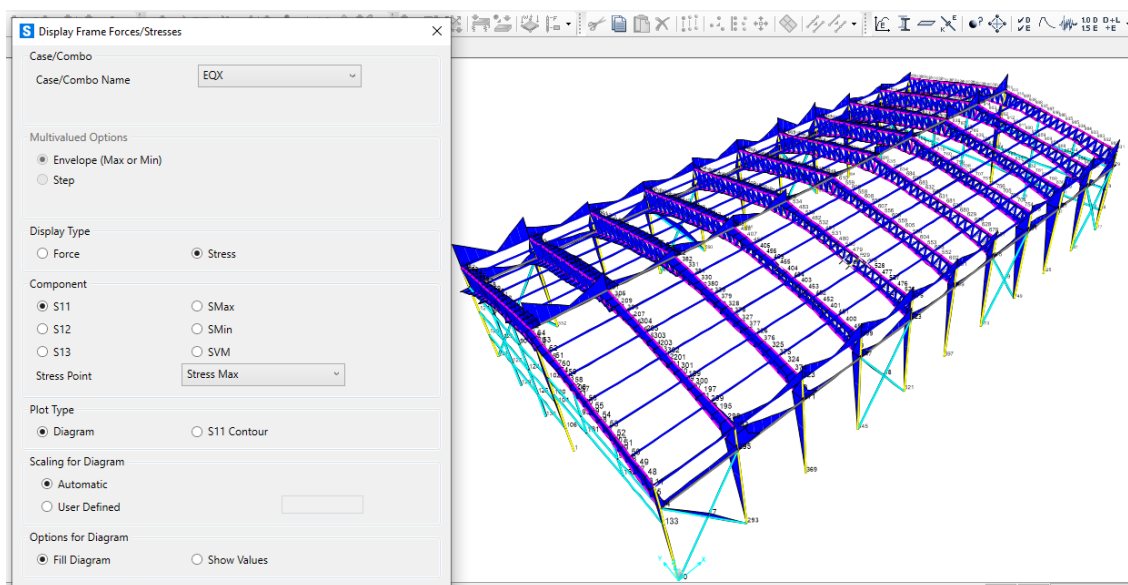


Figura 23. Diagrama de momentos producto del sismo dinámico en el eje X (SAP2000)

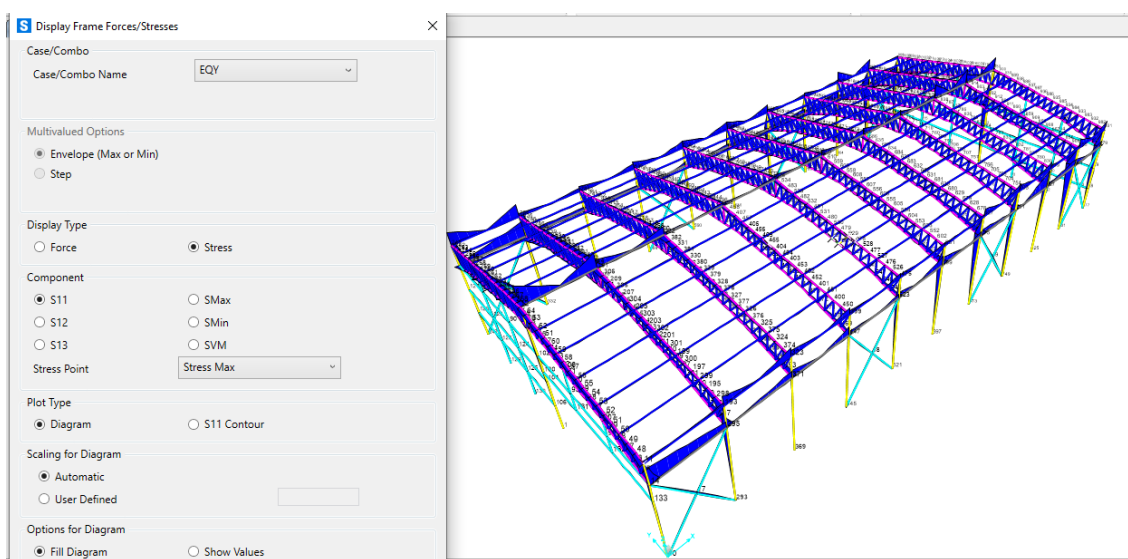


Figura 24. Diagrama de momentos producto del sismo dinámico en el eje Y (SAP2000).

4.5.4 RESULTADO OBTENIDO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El software SAP2000 facilita la información de la fuerzas y momentos que actúan sobre cada elemento que forman parte del nave, en este caso se realizará el análisis de los elementos principales (columnas y vigas).

A continuación, se exhibe los resultados obtenidos en el software SAP2000 de las columnas de 6 metros de altura:

La figura 29 establece la sección transversal del perfil HEB260 el mismo que ha sido diseñado para soportar la cubierta de la nave industrial junto con las diferentes cargas estáticas y dinámicas.

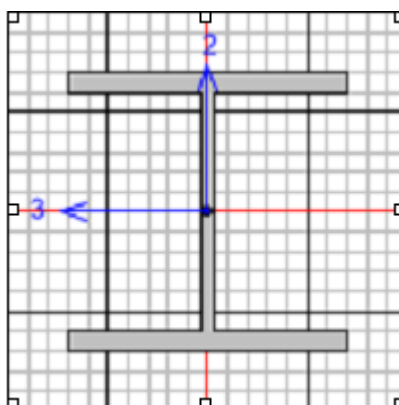


Figura 25. Sección del perfil HEB260.

El software SAP2000 a su vez proporciona la información de las combinaciones de cargas que se encuentra soportando la columna. La información antes mencionada la se detalla en el anexo 1:

La figura 30 muestra la sección transversal del perfil C250x80x6, el mismo que será utilizado para formar parte de las vigas principales de la nave industrial, el cual va a soportar las cargas estáticas que se aplicarán a la nave industrial de acuerdo con la NEC-2015

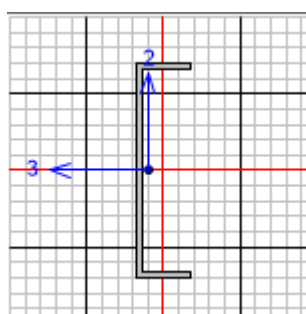


Figura 26. Sección transversal del perfil C250x80x6.

Los detalles de la viga principal proporcionados por el software SAP2000 se encuentran disponibles en el anexo 2.

La figura 31 permite apreciar la sección transversal de la viga de amarre IPE220 que forma parte del navío y a su vez demuestra los datos proporcionados por el software SAP2000 en el anexo 3.

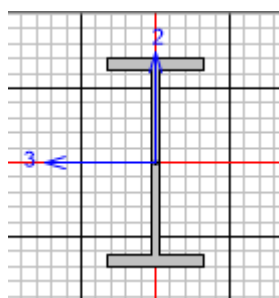


Figura 27. Sección perfil precalificado IPE220.

4.6 DISEÑO ANALÍTICO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

4.6.1 DISEÑO DE COLUMNAS A FLEXIÓN Y FUERZA AXIAL

El software de diseño para las columnas se utiliza el perfil HEB260, pero para el cálculo analítico se utilizará un perfil que se encuentre en el manual de la AISC versión 14.

El perfil W10X60 es que utiliza para los respectivos cálculos analíticos que se detallan a continuación:

La tabla 20 resume las propiedades físicas del perfil antes mencionado:

Tabla 20. Propiedades del perfil W10x60.

W10X60

Módulo de elasticidad (E)	29000 ksi
Área (A)	17.7 in ²
Inercia (Ix)	341 in ⁴
Resistencia nominal a flexión ($\Phi_b M_{px}$)	280 klb.ft
Resistencia permisible a flexión (M_{px}/Ω_b)	186 klb.ft
Lp	9.08 ft
Lr	36.6 ft
Lb	24 ft
BF	2.54 (método ASD)

El método ASD se utiliza para la solución de los respectivos cálculos.

Mediante SAP 2000, se obtiene las fuerzas y momentos que actúan en la columna de acuerdo con la composición de carga más crítica:

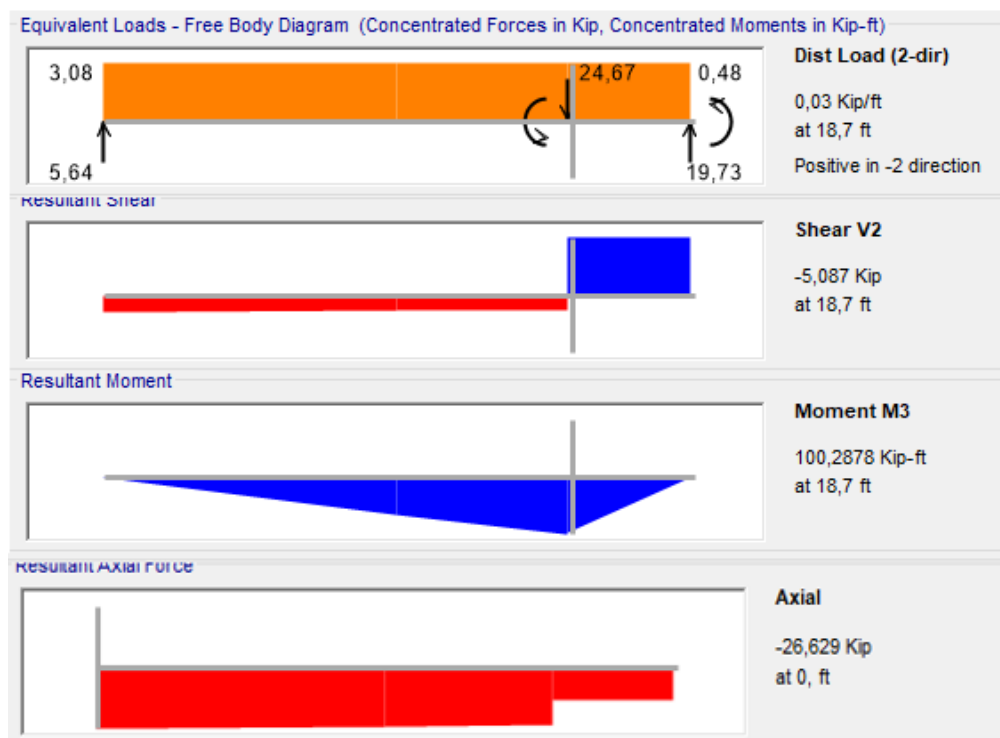


Figura 28. Diagrama de fuerzas y momento.

La figura 32 establece los diagramas de momentos y fuerza axial actuante en la columna, por lo tanto, se obtienen los siguientes valores.

Donde:

$$P_{nt} = P_a = P = 26,62 \text{ Klb}$$

$$M_{nt} = M_a = M = 100,29 \text{ Klb.ft}$$

Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Figura 29. Valores cercanos del factor de longitud efectiva K . [15]

Para marco arriostrado, sea la longitud efectiva de $k=1$

Luego se procede a calcular la distancia (longitud) sin soporte lateral del patín a compresión:

$$\therefore (k.l)_x = (k.l)_y = (1 * 23.62 \text{ ft}) \approx 24 \text{ ft}$$

De la tabla 4,1 del texto de la AISC versión catorce, se consigue el valor de la resistencia axial disponible P_c .

$$P_c = \frac{P_n}{\Omega_c} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$P_c = 212 \text{ Klb}$$

Luego se procede a encontrar la resistencia axial requerida:

$$P_n = P_{nt} + \beta P_u \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$P_n = 26,62 + 0$$

$$P_n = 26,6 \text{ Klb}$$

Flexión combinada de fuera axial

$$\frac{Pr}{Pc} = \frac{26,62}{212} = 0,126$$

$$\therefore 0,126 < 0,2$$

Se procede a utilizar la ecuación H1-1b del manual de la AISC.

$$\frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1 \quad (\text{Ecuación 18})$$

Para el factor de modificación Cmx se aplica la siguiente ecuación:

$$Cmx = 0,6 + 0,4 \frac{M1}{M2} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$Cmx = 0,6 + 0,4 \left(\frac{100,29}{100,29} \right)$$

$$Cmx = 1$$

La carga de pandeo elástica es el siguiente criterio para tomar en cuenta.

$$Pe1x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ix}{(K1 \cdot Lb)^2} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$Pe1x = \frac{\pi^2 * 29000 * 341}{(1 * 24 * 12)^2}$$

$$Pe1x = 1176,7 \text{ Klb}$$

El desplazamiento tope lateral incluye el factor B1 de amplificación.

$$B1x = \frac{Cmx}{1 - \frac{\alpha \cdot Pr}{Pe1x}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$B1x = \frac{1}{1 - \frac{(1,6)(26,62)}{1176,7}}$$

$$B1x = 1,038$$

Momento final en la columna

$$Mrx = Mnt * B1x \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$Mrx = 100,29 * 1.038$$

$$Mrx = 104,06 \text{ Klb.ft}$$

Como

$$Lb = 24ft > Lp = 9.08 ft < Lr = 36.6 ft$$

La columna se encuentra en la zona 2 (capacidad por momento, pandeo inelástico), la fórmula de aplicación para el cálculo de la flexión nominal es la siguiente:

$$\frac{Mnx}{\Omega b} = cb * \left[\frac{Mpx}{\Omega b} - BF(Lb - Lp) \right] \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$\frac{Mnx}{\Omega b} = 1 * [186 - 2,54(24 - 9.08)]$$

$$\frac{Mnx}{\Omega b} = 148,1 \text{ Klb.ft}$$

Por último, se verifica si el perfil satisface las condiciones que se encuentra soportando.

$$\frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1 \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$\frac{26,62}{2 * 212} + \left(\frac{104,06}{148,1} + 0 \right) \leq 1$$

$$0,765 \leq 1 \quad OK.$$

La columna W10X60 que es equivalente al perfil HEB 260, el mismo que soporta las cargas sujetas a flexión y tensión axial

4.6.2 DISEÑO DE LA PLACA BASE PARA LAS COLUMNAS

La tabla 21 establece las propiedades mecánicas y en la figura 40 se aprecia la sección transversal de la columna HEB260, las mismas que se utilizan para los cálculos respectivos.

Tabla 21. Propiedades geométricas del perfil HEB260. Dipac-2023

Propiedad	Valor
Longitud de columna	6 m
Área de la sección	118 cm ²
Momento de inercia en X	14928 cm ⁴
Momento de inercia en Y	5135 cm ⁴
d	260 mm
Espesor del ala	17 mm
Espesor del alma	10 mm
Radio de giro en X	11.24 cm
Radio de giro en Y	6.59 cm

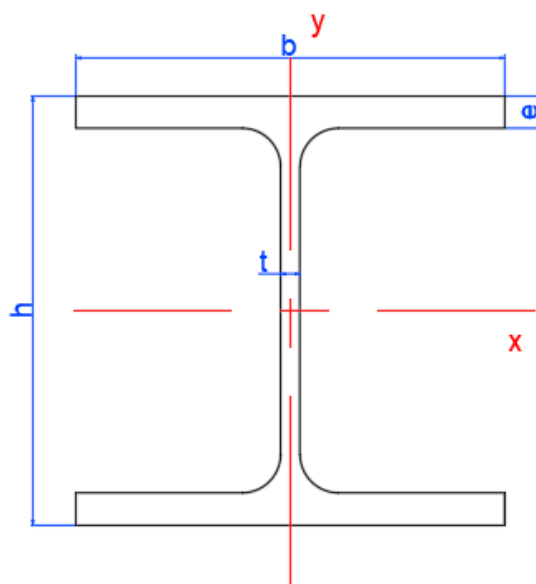


Figura 30. Cotas del perfil HEB 260.

La tabla 34 describe las propiedades mecánicas de todos los componentes que forman parte de la unión columna – placa base, las propiedades se manejarán para el diseño de la placa base.

Tabla 22. Propiedades mecánicas de la placa base.

Acero ASTM A36

Esfuerzo de fluencia de la columna	$F_{yc} = 250 \text{ MPa}$
Esfuerzo de fluencia de la placa base	$F_{ypl} = 250 \text{ MPa}$
Esfuerzo último de la placa base	$F_{upl} = 861.84 \text{ MPa}$
Factor de sobre resistencia	$r_y = 1.5$

Concreto

Resistencia a compresión	$f_c = 25 \text{ MPa}$
--------------------------	------------------------

Acero ASTM 1554 Gr 105

Esfuerzo ultimo	$F_{u_barras} = 861.84 \text{ MPa}$
Esfuerzo ultimo a tracción	$F_{nt_barras} = 643.83 \text{ MPa}$
Esfuerzo ultimo a cortante	$F_{nv_barras} = 344.74 \text{ MPa}$

Proceso de soldadura SMAW con AWS E7018

Resistencia limite a corte	$F_{E7018} = 482.63 \text{ MPa}$
----------------------------	----------------------------------

En la tabla 22 se establece el dimensionamiento de la placa base de la nave industrial.

Ancho de columna	$d = 0.26 \text{ m}$
Ancho del perfil exterior	$bf = 0.26 \text{ m}$
Sobredimensión transversal	$st = 100 \text{ mm}$
Sobredimensión longitudinal	$sl = 100 \text{ mm}$

Longitud de la placa base

$$N = d + 2 \cdot sl \quad \text{(Ecuación 24)}$$

$$N = 0.46 \text{ m}$$

Se aproxima al inmediato superior.

$$N = 0.5 \text{ m}$$

Ancho de la placa base

$$B = bf + 2 \cdot st \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$B = 0.46 \text{ m}$$

Se aproxima al inmediato superior.

$$N = 0.5 \text{ m}$$

Se calcula el área de la placa

$$A_1 = N \cdot B \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$A_1 = 0.25 \text{ m}^2$$

Luego se calcula la excentricidad de la placa base

$$e = M_u / P_u \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$e = 113.802 \text{ cm}$$

Se calcula la columna de anclaje o cimienta que va construida en hormigón, para ello primero se calcula el ancho y largo de la columna

El largo de la columna de anclaje, donde el valor de s_c es la separación entre el borde del pedestal y el borde de la placa base asumida.

$$N_c = N + 2 \cdot s_c \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$N_c = 1.1 \text{ m}$$

Ancho de la columna de anclaje

$$B_c = B + 2 \cdot s_c \quad (\text{Ecuación 29})$$

$$B_c = 1.1 \, m$$

Sección de la columna de anclaje

$$A_2 = N_c \cdot B_c \quad (\text{Ecuación 30})$$

$$A_2 = 1.21 \, m^2$$

Se procede a calcular la capacidad portante máxima del hormigón

$$f_{p_max} = \phi_c \cdot (0.85 f'_c) \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$f_{p_max} = 7.88 \, MPa$$

Carga longitudinal máxima

$$q_{max} = f_{p_max} \cdot B \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$q_{max} = 7151.9898 \frac{kN}{m}$$

Excentricidad crítica

$$e_{crit} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 \cdot q_{max}}$$

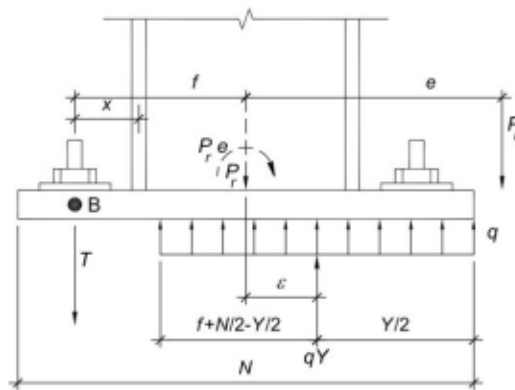
$$e_{crit} = 194.0191 \, mm$$

Se verifica la siguiente condición

$$e \leq e_{crit} = \text{placa de pequeño momento}$$

(Ecuación 33)

$e \geq e_{crit} = \text{placa de momento grande}$



Por lo tanto

$$863.355 \text{ mm} \geq 194.0191 \text{ mm}$$

Es una placa de momento grande en la figura se aprecia los momentos que generan a lo largo de la placa base

Inmediatamente se calcula los momentos a lo largo de la placa base, donde f , es la distancia tentativa del eje del perno al centro de la placa base.

$$f = \frac{N}{2} \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$f = 0.2 \text{ m}$$

$$f' = \frac{1}{m} \left(f + \frac{N}{2} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$f' = 0.16 \text{ m}$$

$$f'' = \frac{2 \cdot (P_u) \cdot (e + f)}{q_{max}} \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$f'' = 0.025 \text{ m}$$

Consideraciones a tener en cuenta.

$$f'' \leq f' \text{ (OK)}$$

$$f'' \leq f' \text{ (necesita placa base mas ancha)}$$

De acuerdo con los datos obtenidos

$$0.025 \text{ m} \leq 0.16 \text{ m}$$

Por lo tanto, la placa base cumple con los detalles técnicos determinados por el manual de la AISC.

Longitud teórica del soporte de hormigón

(Ecuación 37)

$$Y := \left(f + \frac{N}{2}\right) + \sqrt{\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 - \frac{2 \cdot (P_u) \cdot (e + f)}{q_{max}}} = 0.767 \text{ m}$$

$$Y = 0.767 \text{ m}$$

Tensión del perno de anclaje

$$q = q_{max}$$

$$T_u = q \cdot Y - P_u \quad \text{(Ecuación 38)}$$

$$T_u = 1213.694 \text{ kip}$$

Interfaz de soporte con el hormigón (longitudinal)

$$m = \frac{N - 0.95 \cdot d}{2} \quad \text{(Ecuación 39)}$$

$$m = 0.105 \text{ m}$$

Interfaz de soporte con el hormigón (transversal)

(Ecuación 40)

$$n = \frac{B - 0.95 \cdot d}{2}$$

$$n = 0.105 \text{ m}$$

Grosor requerido por lado longitudinal (espesor)

$$f_p = f_{p_max} \quad (\text{Ecuación 41})$$

$$f_{p_max} = 17.88 \text{ MPa}$$

$$t_{p_req_1} = 1.5 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{f_{p_max}}{F_y}} \quad (\text{Ecuación 42})$$

$$t_{p_req_1} = 29.8 \text{ mm}$$

Espesor requerido de lado transversal

$$t_{p_req_2} = 1.5 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{f_{p_max}}{F_y}} \quad (\text{Ecuación 43})$$

$$t_{p_req_2} = 36 \text{ mm}$$

De acuerdo con el cálculo realizado la placa base debe ser de 500 X 500 x 36 milímetros

Por último, se calcula el anclaje de los pernos

Área mínima requerida para anclar los pernos

$$A_p = \frac{T_u}{F_{y_p}} \quad (\text{Ecuación 44})$$

$$A_p = 6.776 \text{ in}^2$$

Cantidad de pernos de anclaje

$$n_p = 8$$

Área unitaria mínima de cada perno

$$A_{up} = \frac{A_p}{n_p} \quad (\text{Ecuación 45})$$

$$A_{up} = 0.847 \text{ in}^2$$

Diámetro del perno

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (\text{Ecuación 46})$$

Remplazando se obtiene

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = 1.038 \text{ in} \approx 1 \text{ in}$$

4.7 CONEXIONES EMPLEADAS EN LA ESTRUCTURA

El sistema estructural del navío es necesario realizar el cálculo de las conexiones principales, para ello se desarrolla dos tipos de conexiones; placa base columna y columna viga, el diseño de las conexiones antes mencionadas se las desarrollará en un software especializado.

4.7.1 CONEXIÓN PLACA BASE – COLUMNA

Para el diseño de la unión de la placa – pilastra o columna se considera las dimensiones establecidas de forma analítica, en la figura 35 se aprecia los datos de entrada para el diseño de la placa base-columna.

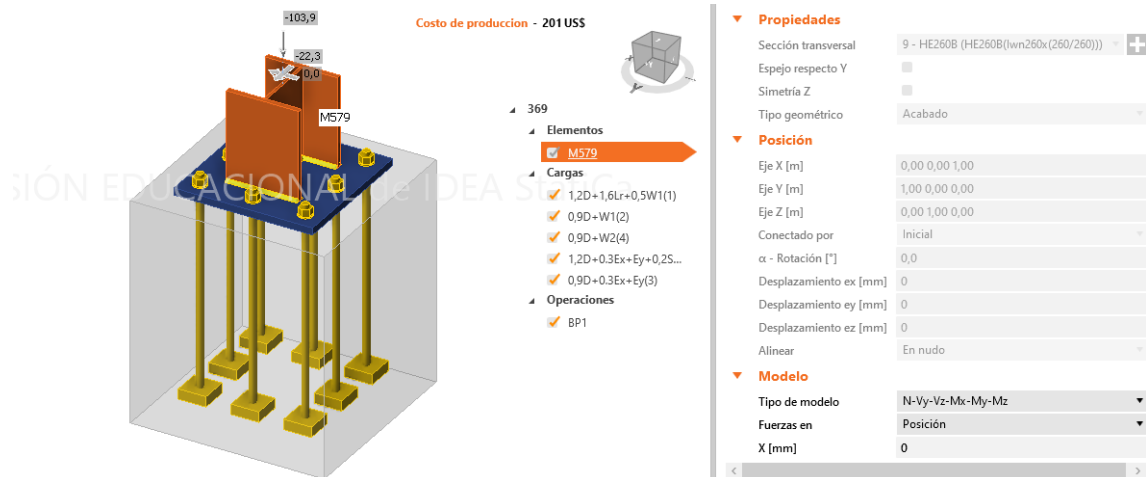


Figura 31. Identificaciones de entrada para el diseño de la placa-base

La figura 36 permite observar la aplicación de las cargas y momentos proporcionados por el software Sap2000.

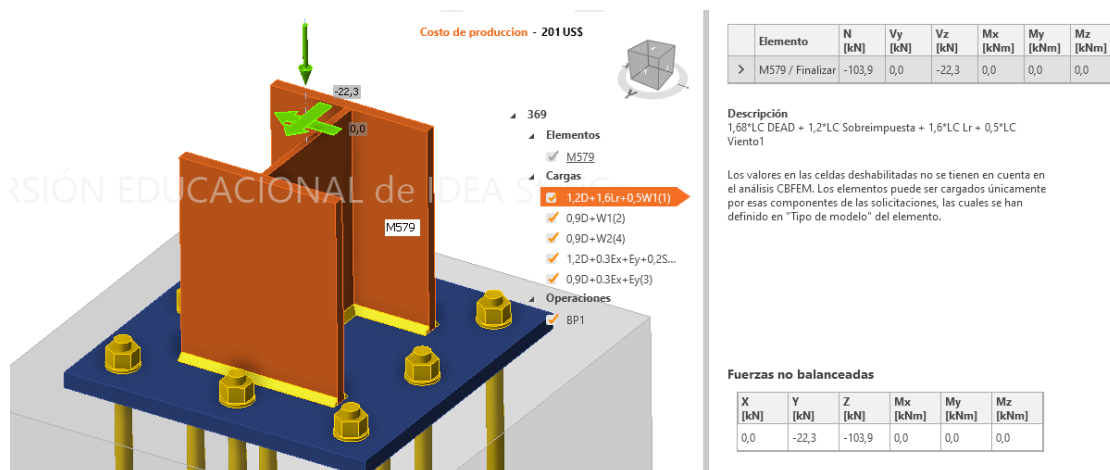


Figura 32. Aplicación de cargas en la conexión placa base-columna

Una vez realizado las iteraciones el software en la figura 37 se puede observar los siguientes resultados, el modelado de la unión placa base – columna cumple con los parámetros requeridos por el sistema, donde, todo anclaje está a un 66.6% de su cabida, de igual manera la unión soldada es aceptable porque está al 10.2% de la capacidad, además se aprecia la distribución de tensión entre la placa base y el patín, debido a la unión de la soldadura.

Los procedimientos de soldadura se los realizan de acuerdo con las especificaciones técnicas por la sociedad americana de soldadura (AWS por sus siglas en ingles), para

el procedimiento se tendrá en cuenta las especificaciones de la AWS A5.1, donde nos especifica que los electrodos utilizados para una soldadura SMAW deben ser precalentados a una temperatura de 30 a 140 grados centígrados sobre la temperatura ambiente por un periodo de 1 a 2 horas

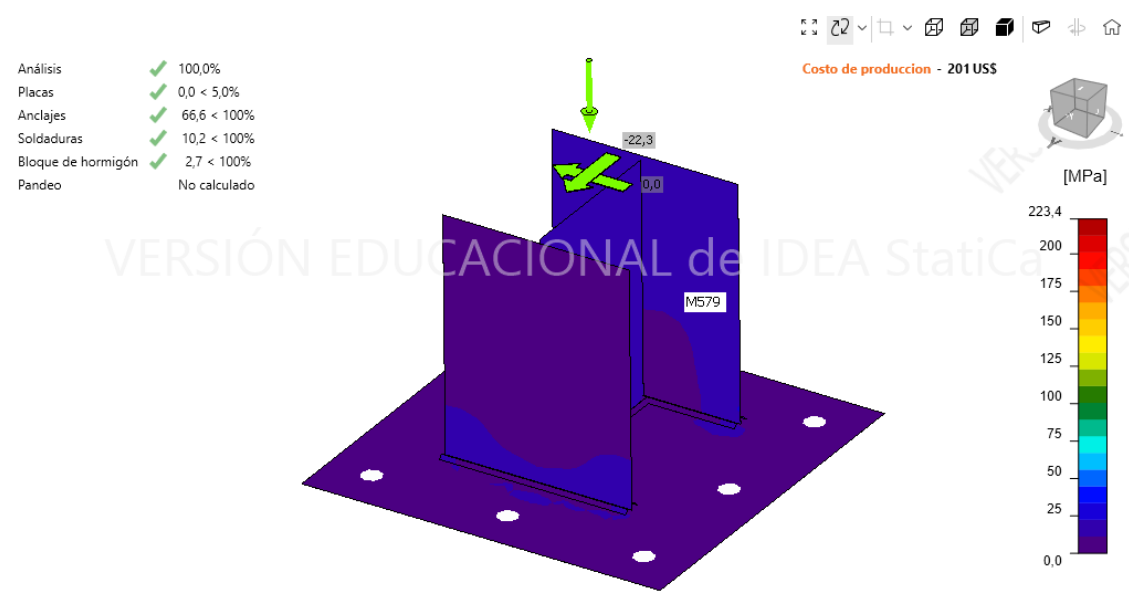


Figura 33. Diseño placa base - columna

La placa base – columna posee especificaciones técnicas, que se visualizan en la tabla 23.

Tabla 23. Especificaciones técnicas de la junta placa – base.

Elemento	Especificación
Placa base	
Dimensiones	500 x 500 mm
Espesor placa base	30 mm
Anclajes	
Numero de pernos	8
Diámetro de pernos	1 in
Longitud	700 mm
Tipo de anclaje	Recto

Soldadura

Proceso	SMAW
Electrodo	E-7018
Tipo	Filete
Ancho y altura de soldadura	8 mm

El tamaño mínimo del ancho y altura de la soldadura a filete se considera de acuerdo con las especificaciones de la tabla J2.4 del manual de la AISC_360_16, donde especifica que para un espesor de 10mm la parte unida más delgada, la altura del filete debe ser mayor a 5mm y a su vez la altura máxima debe ser el espesor del material menos 2mm.

4.7.2 CONEXIÓN VIGA – COLUMNA (INFERIOR)

En este caso se utilizará una conexión precalificada viga – columna, para ello se fabrica la conexión con los elementos columna HEB260 y viga C250x80x6 en el software especializado. En la figura 38 se aprecia la conexión antes mencionada.

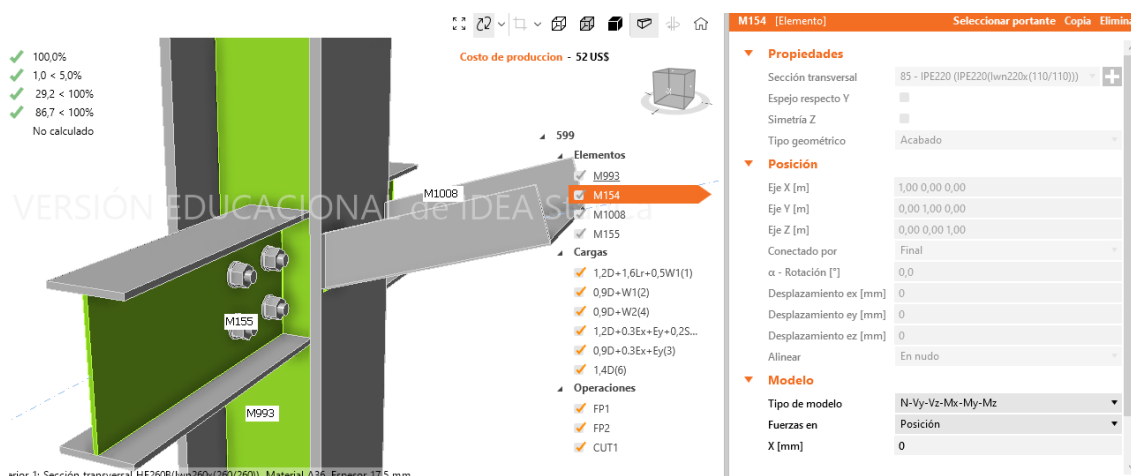


Figura 34. Creación de la conexión viga columna

Las cargas aplicadas a la viga y a la columna se las obtiene del software Sap2000, las mismas que se aprecian en la figura 39.

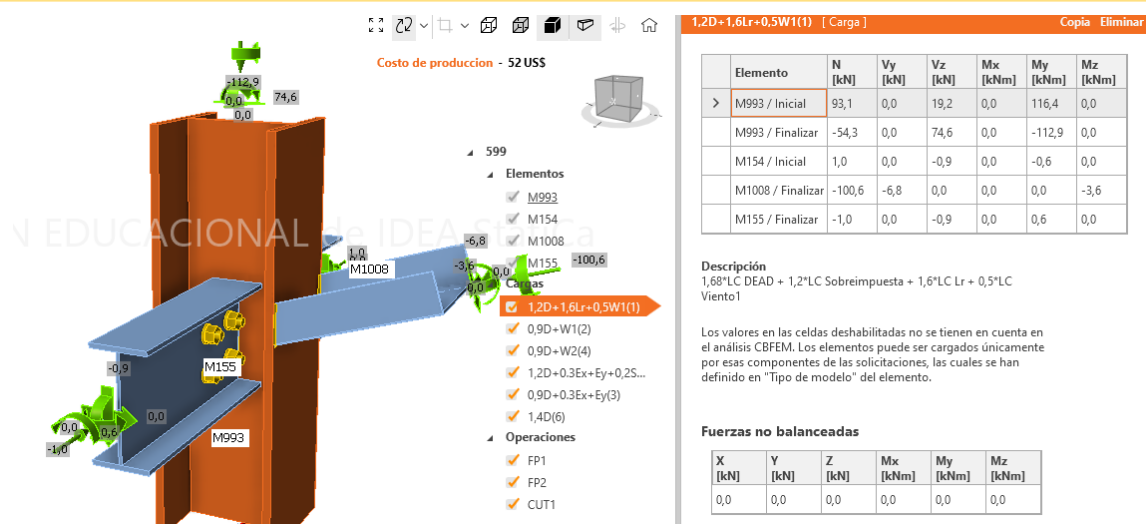


Figura 35. Aplicación de cargas en los elementos que forma parte de la unión.

La figura 40 se aprecia las iteraciones realizadas por el software especializado,

Donde los requisitos si cumplen con el resultado de la conexión viga columna según lo establecido por el sistema de acuerdo con las especificaciones técnicas de la AISC2016. Donde los pernos están al 29.2% de su capacidad de resistencia y la soldadura se encuentra al 86.7% de su capacidad de resistencia, a su vez se puede apreciar las tensiones provocadas por las cargas aplicadas en la estructura.

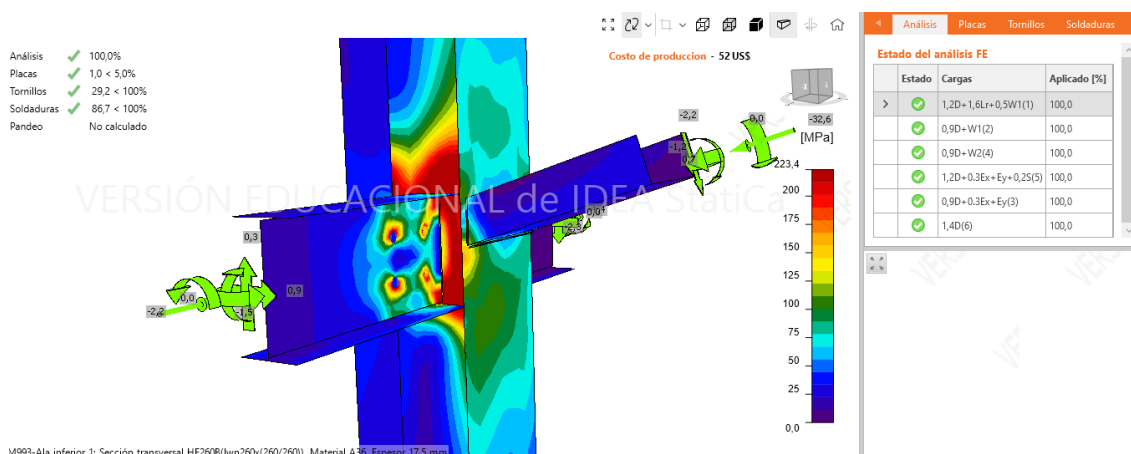


Figura 36. Diseño de conexión viga – columna.

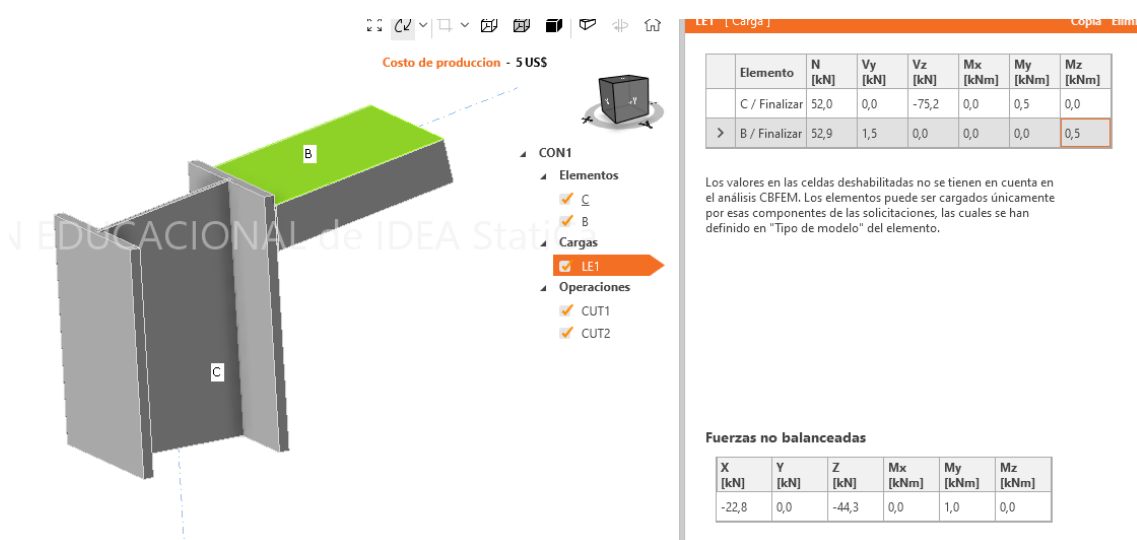
En la tabla 24 se establece las especificaciones técnicas de los elementos que forman parte de la conexión viga – columna.

Tabla 24. Especificaciones técnicas de la conexión viga – columna.

Elemento	Especificación
Componentes	
columna	HEB260
Viga	C250x80x6
Material	A36
Soldadura	
Proceso	SMAW
Electrodo	E-7018
Tipo	Filete
Ancho y altura de soldadura	6 mm

4.7.2 CONEXIÓN VIGA – COLUMNA (SUPERIOR)

Se utilizará una conexión precalificada viga – columna, para ello se fabrica la conexión con los elementos columna HEB260 y viga C250x80x6 en el software especializado. En la figura 41 se aprecia la conexión antes mencionada.


Figura 37. Conexión viga – columna.

Las cargas aplicadas a la viga y a la columna se las obtiene del software Sap2000, las mismas que se aprecian en la figura 42.

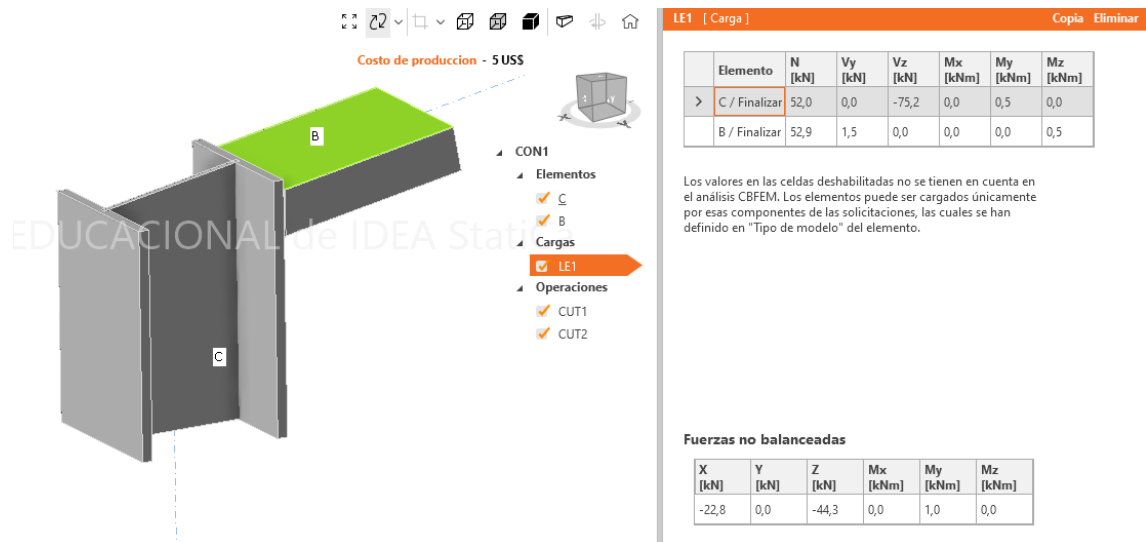


Figura 38. Aplicación de cargas en los elementos que forma parte de la conexión.

La figura 43 muestra las iteraciones realizadas por el software especializado, donde los requisitos establecidos por el sistema de acuerdo con las especificaciones técnicas de la AISC2016 si cumple para la conexión viga columna. Donde la soldadura se encuentra al 26.4% de su capacidad, a su vez se puede apreciar las tensiones provocadas por las cargas aplicadas en la estructura.

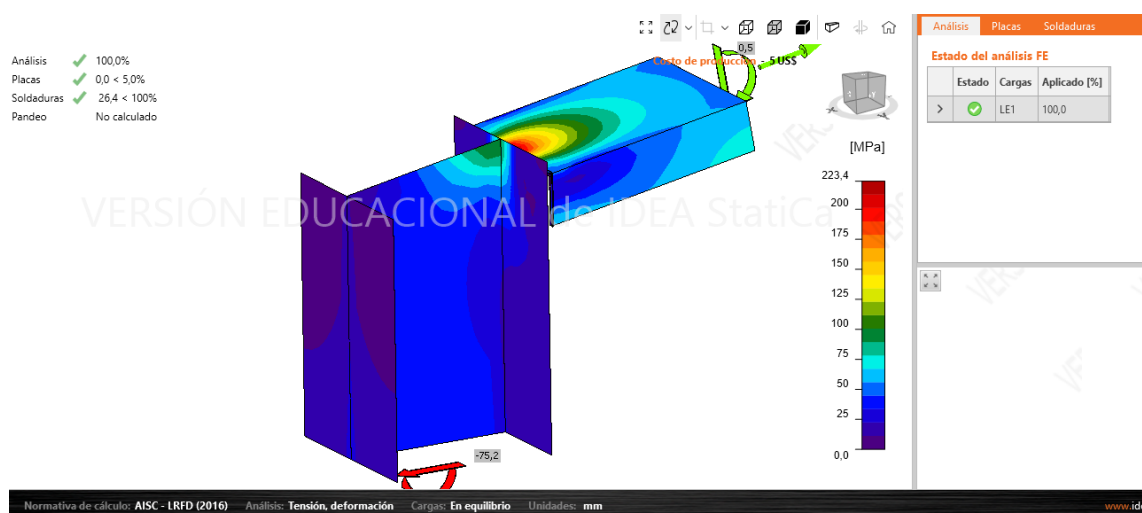


Figura 39. Diseño de conexión viga – columna.

La tabla 25 establece las especificaciones técnicas de los elementos que forman parte de la unión viga – columna.

Tabla 25. Especificaciones técnicas de la conexión viga – columna.

Elemento	Especificación
Componentes	
columna	HEB260
Viga	C250x80x6
Material	A36
Soldadura	
Proceso	SMAW
Electrodo	E-7018
Tipo	Filete
Ancho y altura de soldadura	6 mm

4.7.3 CONEXIÓN VIGA DE AMARRE – COLUMNA

En este caso se utilizará una conexión precalificada viga de amarre – columna, para ello se crea la conexión con los elementos columna HEB260 y viga IPN220 en el software especializado. En la figura 41 se aprecia la conexión antes mencionada.



Figura 40. Creación de la conexión viga columna.

Las cargas aplicadas a la viga y a la columna se las obtiene del software Sap2000, las mismas que se aprecian en la figura 42.

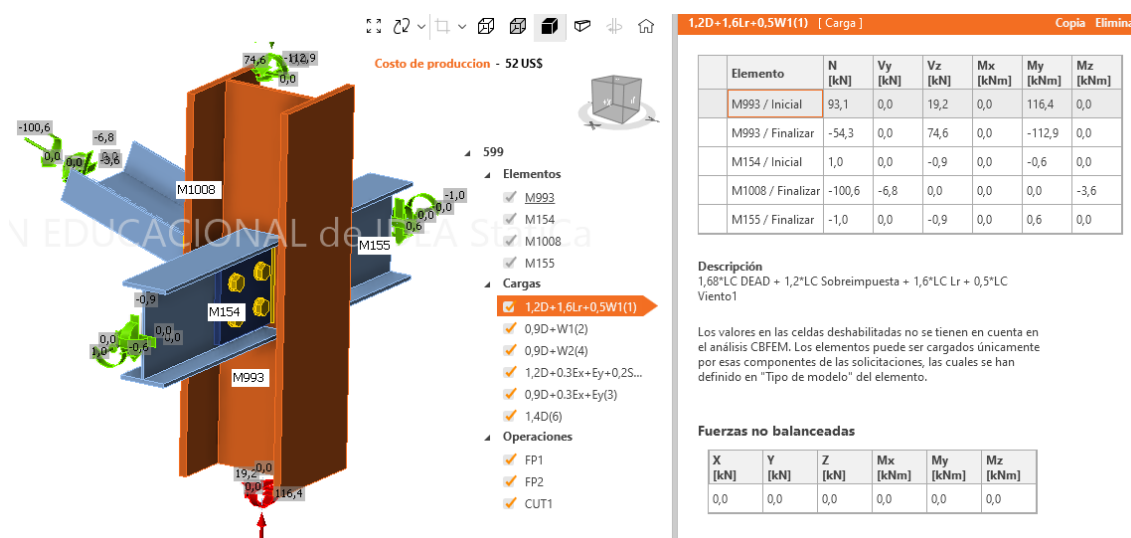


Figura 41. Aplicación de cargas en los elementos que forma parte de la unión.

La figura 43 evidencia las iteraciones realizadas por el software especializado, el resultado de la conexión viga de amarre - columna cumple con los requerimientos denotados por el sistema de acuerdo con las especificaciones técnicas de la AISC2016. Donde los elementos estructurales que forman parte de la unión son sísmicamente compactos y la soldadura no fallara porque al momento de aplicar la combinación de carga más crítica solo afecta al 48.6% de su capacidad de resistencia, a su vez se puede apreciar las tensiones provocadas por las cargas aplicadas en la estructura.

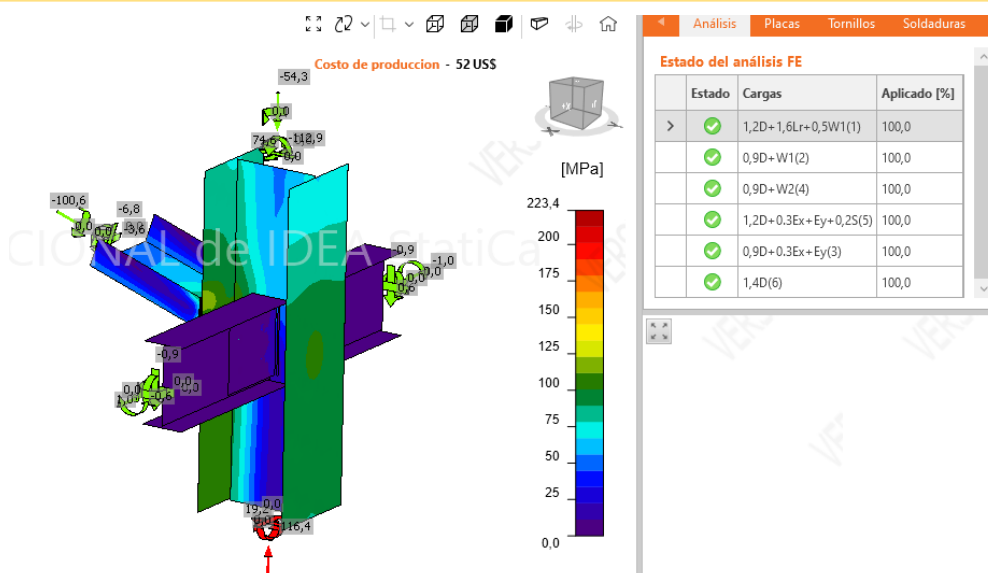


Figura 42. Diseño de conexión viga – columna

La tabla 25 establece las especificaciones técnicas de los elementos que forman parte de la conexión viga de amarre – columna.

Tabla 26. Especificaciones técnicas de la conexión viga de amarre – columna.

Elemento	Especificación
Componentes	
columna	HEB260
Viga de amarre	IPN220
Material	A36
Soldadura	
Proceso	SMAW
Electrodo	E-7018
Tipo	Filete
Ancho y altura de soldadura	6 mm
Pernos y placas	
Diámetro	4 pernos de ¾ in 1.5 in
Placa	200x180x15

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el proyecto se han obtenido resultados con la ayuda de software que facilitan el desarrollo de este, los resultados han sido comprobados con diferentes cálculos de forma analítica.

Las consideraciones expuestas para el diseño de la nave industrial han sido en base a la Normativa de la Construcción Ecuatoriana (NEC-2015), la misma que tiene las especificaciones técnicas necesarias para garantizar el diseño propuesto, a su vez el diseño ha sido realizado de acuerdo con las necesidades y especificaciones de la industria.

La estructura ha sido diseñada para la fabricación y almacenamiento de productos plásticos, cumple con conexiones precalificadas que garantizan la resistencia de la nave industrial ante cualquier eventualidad, garantizando la seguridad de los operarios, máquinas y materia prima.

La nave industrial se desarrolló bajo normativa vigente nacional e internacional, las cargas se han aplicado en todos los elementos que están expuestos a las mismas, la separación de las columnas se desarrolló de acuerdo con la cimentación que ya se encontraba realizada, las vigas y correas diseñaron de acuerdo con el stock disponible en el mercado nacional para evitar contratiempos durante la construcción y montaje de la nave industrial.

Las conexiones se diseñaron de acuerdo con las cargas y momentos dados por el software SAP 2000. Para los cálculos realizados de manera analítica el programa de computador es de gran utilidad porque reduce tiempos de diseño.

El diseño industrial de la nave se ha desarrollado considerando resistencia y los costos del material que se va a utilizar, por ende, se puede mejorar el diseño aumentando la rigidez consecuente entre la placa base y la columna, sin embargo, se tiene resultados que cumplen con las especificaciones técnicas de las normas vigentes por lo tanto es la mejor opción de diseño.

Por la altura de las columnas de la nave industrial se ha colocado arriostramientos, los mismos que reducen la capacidad del sistema en conjunto, además es de gran ayuda porque se va a colocar paredes en el perímetro de la parte estructural. La nave industrial satisface las necesidades de Diarmoplas y a su vez garantiza la integridad de todos lo que forman parte de esta.

5.1. LISTA DE MATERIALES

Los materiales que conforman la estructura están detallados en la siguiente tabla.

Tabla 27. Lista de materiales.

PLANILLA - LISTA DE MATERIALES					
ESTRUCTURA					
Elemento	Perfil	Longitud (m)	Peso (kg)	Cantidad	Peso Total (kg)
Columna	HEB260	12	1116	22	24552
Viga principal	C250X80X6	6	110,29	77	8492,33
	L75X6	6	40,69	146	5940,74
Viga de amarre	IPE 220	12	314,4	10	3144
Correas	G 150X50X3	6	36,78	67	2464,26
Riostras	T.C. 100X100X3	6	53,73	45	2417,85
TOTAL (kg)					47011,18
PLACAS					
Elemento	Perfil	Longitud (m)	Peso (kg)	Cantidad	Peso Total (kg)
Placa base	P. Base	0,5x0,5x0,038	74,575	24	1789,8
Placa viga	P. Viga	0,2x0,18x0,015	4,239	40	169,56
TOTAL (kg)					1959,36
PERNOS Y TUERCAS					
Elemento	Diámetro	Longitud (m)	Peso (k)	Cantidad	Peso Total (kg)
Perno	1"	0,7	2,8	88	245
Perno	3/4"	0,05	-	160	-
Tuerca	1"			264	
Tuerca	3/4"			160	

En la tabla 27 se define los materiales que forman parte del diseño de la nave industrial, en cual se aprecia la longitud total en metros y el peso total en kilogramos de cada perfil.

5.2. COSTOS

La tabla 28 resume los costos de materiales y mano de obra que se necesitan para la construcción de la nave industrial, los costos se establecieron de acuerdo con las cotizaciones realizadas, la misma se encuentra en el anexo 9

Tabla 28. Costo de materiales.

COSTO DE MATERIALES Y MANO DE OBRA					
ESTRUCTURA					
Elemento	Perfil	Cantidad	Peso Total (kg)	C.U/UND (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Columna	HEB260	22	24552,00	1618,20	35600,40
Viga principal	C250X80X6	77	8492,33	111,39	8577,03
	L75X6	146	5940,74	45,00	6570,00
Viga de amarre	IPE 220	10	3144,00	455,88	4558,80
Correas	G 150X50X3	67	2464,26	31,26	2094,42
Riostras	T.C. 100X100X3	45	2417,85	58,52	2633,40
TOTAL (\$)					60034,05
PLACAS					
Elemento	Perfil	Cantidad	Peso Total (kg)	C.U/kg (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Placa base	P. Base	24	1789,80	2,40	4295,52
Placa viga	P. Viga	40	169,56	2,40	406,94
TOTAL (USD)					4702,46
PERNOS Y TUERCAS					
Elemento	Diámetro	Longitud (m)	Cantidad	C.U (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Perno	1"	0,70	88	5,5	484,00
Perno	3/4"	0,05	160	0,65	104,00
Tuerca	1"		264	1,83	483,00
Tuerca	3/4"		160	0,72	115,20
TOTAL (\$)					1186,20
MANO DE OBRA					
Descripción				costo / kg	COSTO TOTAL (USD)
Instalación nave industrial				2,6	156088,53
COSTO TOTAL ESTRUCTURA MATERIALES					65922,71

6. CONCLUSIONES

La nave industrial fue diseñada de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes a nivel internacional sobre todo nacional, garantizando el área de trabajo al que va a ser expuesta (manufactura y almacenamiento de productos plásticos), la misma que garantiza la integridad de los obreros y del material complementario en caso de un fenómeno natural.

El análisis estructural del conjunto de elementos principales que forman parte de la nave industrial se ha desarrollado en Sap2000, obteniendo resultados propicios frente al dimensionamiento y requerimiento establecido por Diarmoplas (Altura 6m, ancho 10m y largo 40m) y con la ubicación geográfica del terreno para la aplicación de cargas y vulnerabilidad sísmica en concordancia con las especificaciones técnicas de la Construcción según la Normativa del Ecuador NEC-2015.

Después del análisis estructural se seleccionó el perfil HBE260 para las columnas, el perfil C250x70x6 y el L50x4 para la formación de la celosía que forma parte de la viga principal, las vigas de amarre utilizarán el perfil IPE220, todos los perfiles cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en la AISC 360-16, soportando las cargas establecidas según la NEC-2015.

El tope máximo horizontal o desplazamiento máximo en el punto más elevado de la columna en la estructura producida por la acción de un fenómeno sísmico es de 7,14cm. El valor permanece comprendido según los parámetros establecidos por la Normativa de la construcción del Ecuador, que para este análisis es del 2% de la altura de la columna que es de 6 metros y el valor máximo de desplazamiento admisible es de 12cm.

La deriva máxima vertical producto de la composición de cargas aplicadas en la estructura es de 2.58 cm. El valor se encuentra dentro de los parámetros admisibles de acuerdo con el código internacional de la construcción 2018, para el análisis se

considera la luz de la estructura entre 180 estableciendo un valor máximo admisible de 11.1 cm.

El estudio en la placa base se realizó de manera analítica, obteniendo como resultado una placa en acero A36 de 500 x 500 x 36 milímetros con 8 pernos para anclaje de dimensión una pulgada (1'') de diámetro y 700 milímetros de longitud mientras tanto con la ayuda de un software especializado se obtuvo como resultado una placa de acero A36 de 500 X 500 X 30 milímetros con 8 pernos de anclaje de 1 pulgada de diámetro y 700 milímetros de longitud. Para satisfacer el diseño analítico y garantizar la extensión de vida útil de la nave industrial se seleccionó la lámina de acero A36 de 500x500x38mm.

El diseño de la conexión precalificada viga columna se realizó en un software especializado, para el análisis se estableció como columna el perfil HEB260 y el perfil C250x80x6 para la viga, como resultado la conexión se establece que cumple con las especificaciones técnicas de la AISC2016. Donde la soldadura se encuentra al 26.4% de su capacidad soportando las combinaciones de cargas establecidas.

La columna se diseña a flexo compresión con arreglo a las especificaciones técnicas establecidas en AISC versión 2014(manual), para el respectivo calculo se utilizó el perfil W10x60 que es equivalente al perfil HEB 260 soportando una flexión nominal de 148.1 klb-pie, el mismo que es inferior al valor admisible de 280 klb-pie, por lo tanto, el perfil soporta las cargas a flexión y tensión axial.

La nave industrial tiene un peso estructural aproximado de 48970,54 kg y el costo promedio por kg de acero es de 1.3 dólares como resultado se establece el costo total en acero estructural que sería de 65922,71 dólares.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el diseño de las cimentaciones y conexiones eléctricas partiendo del modelado estructural de la nave industrial.

Con la finalidad de disminuir el uso de luminarias en el día, se recomienda la colocación de translucidos distribuidos de forma homogénea con la cubierta de la nave industrial.

Para el ajuste de los pernos de las conexiones es aconsejable realizarlas con la ayuda de un torquímetro con la finalidad de obtener un apriete adecuado y a su vez garantizar la resistencia de la conexión.

Para el montaje de la nave industrial es aconsejable realizar por procedimientos de soldadura con la ayuda de personal calificado con el fin de garantizar la subsistencia útil de la junta soldada.

Es necesario establecer el peso total de los pórticos con la finalidad de seleccionar la grúa adecuada para el montaje.

Aplicar anticorrosivo antes de realizar el proceso de montaje para al final dar una capa de color de acuerdo con la especificación de Diarmoplas.

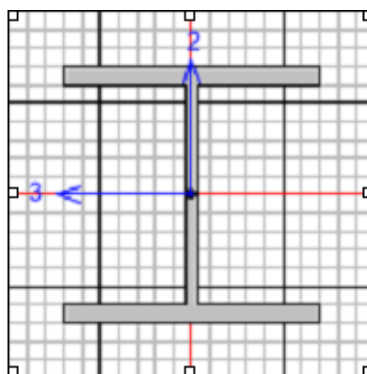
8. REFERENCIAS

- [1] M. A. Mora, J. Daniel Villalba, and E. Maldonado, "Deficiencias, limitaciones, ventajas y desventajas de las Metodologías de análisis sísmico no lineal."
- [2] C. Romero, "COMPORTAMIENTO ELASTOPLÁSTICO DE CONEXIONES SOLDADAS EN TUBOS DE ACERO DE SECCIÓN CUADRADA SOMETIDOS A CARGA MONOTÓNICA", doi: 10.13140/RG.2.2.27720.57600.
- [3] J. C. Vielma and M. A. Cando, "Evaluación del factor de comportamiento de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para estructuras metálicas porticadas," *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, vol. 33, no. 3–4, pp. 271–279, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.rimni.2016.09.001.
- [4] J. L. Romero, E. M. López, M. A. Ortega, and O. Río, "Análisis de pilares con deformación por cortante mediante elementos finitos y acciones repartidas equivalentes," *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, vol. 33, no. 3–4, pp. 280–289, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.rimni.2016.06.002.
- [5] J. A. Silveira, G. P. Mezzomo, and F. Goedel, "Avaliação dos métodos da tensão estrutural e curva mestre para determinação da vida em fadiga de junta soldada," *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, vol. 33, no. 3–4, pp. 318–328, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.rimni.2016.09.002.
- [6] C. Zhang, J. Sun, Y. Li, and D. Deng, "Numerical simulation of residual stress of butt-welded joint involved in complex column-beam welded structure," *J Manuf Process*, vol. 83, pp. 458–470, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jmapro.2022.09.010.
- [7] "NORMA ECUATORIANA DE LA."
- [8] F. Javier Crisafulli, "Diseño sismorresistente De construcciones De acero 5ª edición (2018)."
- [9] A. A. Pena, "NAVES INDUSTRIALES CON ACERO." [Online]. Available: www.sener.es
- [10] "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA."
- [11] N. E. De and L. A. Construcción, "ESTRUCTURAS DE ACERO."
- [12] N. E. De and L. A. Construcción, "CARGAS (NO SÍSMICAS)."
- [13] *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017. doi: 10.1061/9780784414248.
- [14] N. E. De and L. A. Construcción, "PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE."
- [15] J. C. McCormac, *Diseño de estructuras de acero*. Marcombo, 2012.
- [16] ANSI/AISC 358-16, "CONEXIONES PRECALIFICADAS PARA PÓRTICOS DE ACERO RESISTENTES A MOMENTOS, CON CAPACIDAD MODERADA O ESPECIAL DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA, PARA APLICACIONES SÍSMICAS, INCLUYENDO EL SUPLEMENTO No. 1 Norma Americana original: ANSI/AISC 358-16/358s1-18 'Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications.'" [Online]. Available: www.aisc.org

- [17] F. JAVIER CRISAFULLI INgENIERO CIVIL, P. DE INgENIERÍA EStRUCtURAL, and U. DE NACIONAL CUyO, "Diseño sismorresistente De construcciones De acero 5ª edición (2018) marzo, 2018."
- [18] C. Argentina and D. Acero, "ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DEL ACERO," 2016.

9. ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis estructural del Perfil HEB 260



AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, m, C

Frame :	99	X Mid:	0,	Combo:	1,2D+1,6Lr+0,5W2	Design Type:	Column
Length:	6,	Y Mid:	19,9	Shape:	HEB200	Frame Type:	SMF
Loc :	6,	Z Mid:	3,	Class:	Compact	Princpl Rot:	0, degrees

```

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0,95      2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0,033    AlphaPr/Pe=0,058    Tau_b=1,      EA factor=0,8    EI factor=0,8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug
Welded? Yes

```

```

SDC: D      I=1,      Rho=1,      Sds=0,5
R=3,      Omega0=3,      Cd=5,5
PhiB=0,9      PhiC=0,9      PhiTY=0,9      PhiTF=0,75
PhiS=0,9      PhiS-RI=1,      PhiST=0,9

```

```

A=0,008      I33=5,724E-05      r33=0,085      S33=5,724E-04      Av3=0,006
J=4,950E-07      I22=2,004E-05      r22=0,051      S22=2,004E-04      Av2=0,002
E=2,039E+10      Fy=25310506,54      Ry=1,5      z33=6,461E-04      Cw=1,715E-07
RLLF=1,      Fu=40778038,3      z22=3,063E-04

```

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1,2D+1,6Lr+0,5W2)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3
Tu					
6,	-6464,45	-43,92	-5348,911	7,247	1710,224
0,8					

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0,808 = 0,038 + 0,003 + 0,767
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	6,667	10,785	28,095		Compact
/Web	18,889	106,717	161,779	260,	Compact
Minor/Flange	6,667	10,785	28,382		Compact
/Web	18,889	106,717	161,779	260,	Compact
Axial/Flange	6,667		15,836		Compact
/Web	18,889		42,29		Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2
Cm					
Major Bending	1,	1,	1,	1,	1,
0,604					
Minor Bending	1,	1,	1,	1,	1,
0,233					

	Lltb	Kltb	Cb
LTB	1,	1,	1,656

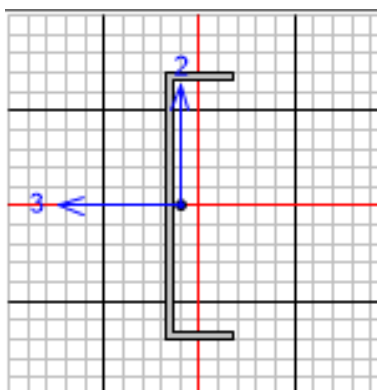
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
Axial	Force	Capacity	Capacity
	-6464,45	85127,383	178909,847

	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1
Major Moment	-43,92	14718,761	14718,761	12805,664
Minor Moment	-5348,911	6977,885		

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	7,247	24601,812	0,	OK
Minor Shear	1710,224	82006,041	0,021	OK

Anexo 2. Resultados del análisis estructural del Perfil C250x80x6



AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : Kgf, m, C

Frame : 2408 X Mid: 36, Combo: 1,2D+Ex-0,3Ey+0, Design Type: Brace
Length: 0,488 Y Mid: 1,19 Shape: C200X50X5 Frame Type: SMF
Loc : 0, Z Mid: 7,018 Class: Compact Princpl Rot: 0, degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0,95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0, AlphaPr/Pe=6E-05 Tau_b=1, EA factor=0,8 EI factor=0,8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug
Welded? Yes

SDC: D I=1, Rho=1, Sds=0,5
R=3, Omega0=3, Cd=5,5
PhiB=0,9 PhiC=0,9 PhiTY=0,9 PhiTF=0,75
PhiS=0,9 PhiS-RI=1, PhiST=0,9

A=0,001 I33=7,856E-06 r33=0,073 S33=7,856E-05 Av3=4,781E-04
J=1,178E-08 I22=2,724E-07 r22=0,014 S22=6,843E-06 Av2=9,638E-04
E=2,039E+10 Fy=25310506,54 Ry=1,5 z33=9,650E-05 Cw=1,934E-09
RLLF=1, Fu=40778038,3 z22=1,234E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1,2D+Ex-0,3Ey+0,2S)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3
Tu 0, 7,219	14,677	-1512,384	6,494	-691,565	3,353

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

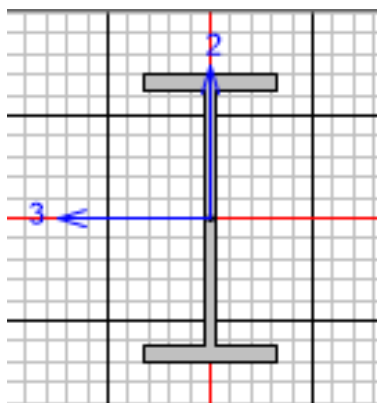
D/C Ratio: 0,714 = 0, + 0,688 + 0,026
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

Slenderness	Lambda	Lambda_hd	Lambda_md	Lambda_p	Lambda_r
Lambda_s Compactness					
Major/Flange	10,	7,416	9,27	10,785	25,96
Compact					
/Web	38,	36,383	36,383	106,717	161,779
260, Compact					
Minor/Flange	10,	7,416	9,27	10,785	28,382
Compact					
/Web	38,	15,063	17,612	31,788	42,29
260, Non-Compact					
Axial/Flange	10,				14,632
Seismic HD					

/Web 38, 42,29
Seismic HD

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	
Cm						
Major Bending	3,	1,	1,	1,	1,	
Minor Bending	1,	1,	1,	1,	1,	
LTB	Lltb 1,	Kltb 1,	Cb 1,098			
Axial	Pu Force 14,677	phi*Pnc Capacity 31455,479	phi*Pnt Capacity 33670,883			
Major Moment	Mu Moment -1512,384	phi*Mn Capacity 2198,113	phi*Mn No LTB 2198,113	phi*Mn Cb=1 2198,113		
Minor Moment	6,494	249,395				
SHEAR CHECK						
Major Shear	Vu Force 691,565	phi*Vn Capacity 13667,674	Stress Ratio 0,051	Status Check OK		
Minor Shear	3,353	6833,837	0,	OK		
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS						
Axial	P Comp 0,	P Tens 21,055				

Anexo 3. Resultados del análisis estructural del Perfil IPE 220



AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, m, C

Frame : 33 X Mid: 6, Combo: 0,9D-0,3Ex-Ey Design Type: Beam
Length: 4, Y Mid: 0, Shape: IPN160 Frame Type: SMF
Loc : 4, Z Mid: 6,75 Class: Seismic HD Princpl Rot: 0, degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0,95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0,003 AlphaPr/Pe=0,02 Tau_b=1, EA factor=0,8 EI factor=0,8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug
Welded? Yes

SDC: D I=1, Rho=1, Sds=0,5
R=3, Omega0=3, Cd=5,5
PhiB=0,9 PhiC=0,9 PhiTY=0,9 PhiTF=0,75
PhiS=0,9 PhiS-RI=1, PhiST=0,9

A=0,002 I33=9,564E-06 r33=0,064 S33=1,195E-04 Av3=0,001
J=5,484E-08 I22=6,450E-07 r22=0,017 S22=1,743E-05 Av2=9,947E-04
E=2,039E+10 Fy=25310506,54 Ry=1,5 z33=1,388E-04 Cw=3,653E-09
RLLF=1, Fu=40778038,3 z22=2,752E-05

DESIGN MESSAGES

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 0,9D-0,3Ex-Ey)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3
Tu					
4,0,066	-163,215	7,453	-245,558	31,131	122,02

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: 0,407 = 0,013 + 0,002 + 0,392
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

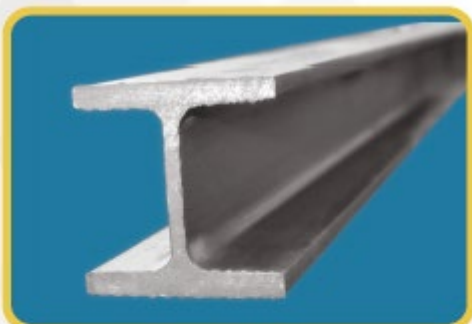
COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_hd	Lambda_md	Lambda_p	Lambda_r
Lambda_s Compactness					
Major/Flange	3,895	7,416	9,27	10,785	28,095
Seismic HD					
/Web	22,381	59,43	91,195	106,717	161,779
260, Seismic HD					
Minor/Flange	3,895	7,416	9,27	10,785	28,382
Seismic HD					
/Web	22,381	59,43	91,195	106,717	161,779
260, Seismic HD					
Axial/Flange	3,895				15,836
Seismic HD					
/Web	22,381				42,29
Seismic HD					

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	
Cm						
Major Bending	1,	1,	1,	1,	1,	
Minor Bending	1,	1,	1,	1,	1,	
1,0,205						
	Lltb	Kltb	Cb			
LTB	1,	1,	2,936			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-163,215	6403,399	52832,392			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Major Moment	7,453	3162,838	3162,838	1769,223		
Minor Moment	-245,558	626,875				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
	Force	Capacity	Ratio	Check		
Major Shear	31,131	13777,015	0,002	OK		
Minor Shear	122,02	19216,749	0,006	OK		
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS						
	VMajor	VMajor				
	Left	Right				
Major (V2)	3042,175	3026,142				

Anexo 4. Ficha técnica perfiles HEB

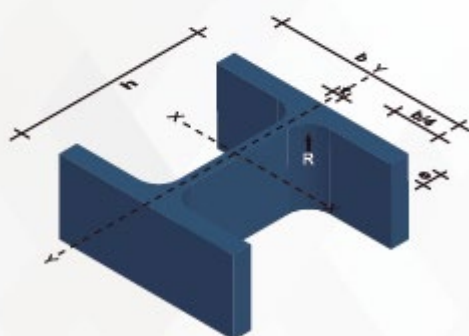
PERFILES LAMINADOS HEB



Especificaciones Generales:

Norma:	RTE INEN 018
Calidad:	ASTM A36 / ENS 235 JR / EN10025 /ASTM A 572 GR 50 / ENS 355 J2
Largo Normal:	6.00mts y 12mts
Acabado:	Acero negro

*Otras calidades, otros largos y otros acabados
previa consulta



Nomenclatura

h=	Patín
b=	Ala
t=	Espesor Alma
e=	Espesor Ala
R=	Radio Giro Alma



PROPIEDADES MECÁNICAS

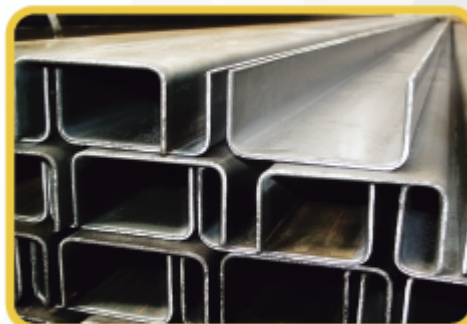
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO FLUENCIA	
Kg/mm ²	Mpa	Kg/mm ²	Mpa
37 - 52	370 - 520	24	235

Anexo 5. Ficha técnica perfiles C

PERFILES ESTRUCTURALES CANAL "U"

Especificaciones Generales:

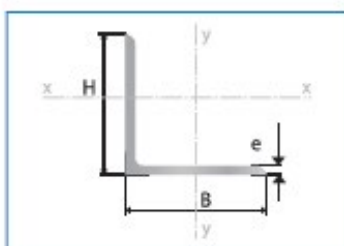
Norma:	NTE INEN 1623
Calidad:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Espesores:	Desde 2mm - 12mm
Acabado:	Acero negro y galvanizado



Designación	Dimensiones (mm)			Masa Kg/m	A cm ²	d1 cm	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	e				Ix	Iy	Wx	Wy	ix	iy
	mm	mm	mm				cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm
C 200 x 100 x 12	200	100	12	16,52	43,28	3,07	2485	420,8	248,5	60,72	7,58	3,12
C 250 x 60 x 3	250	60	3	8,45	10,8	1,1	894,5	30,27	71,56	6,18	9,1	1,67
C 250 x 60 x 4	250	60	4	11,15	14,27	1,14	1167	39,31	93,35	8,09	9,04	1,66
C 250 x 60 x 5	250	60	5	13,79	17,68	1,19	1426	47,85	114,1	9,95	8,98	1,65
C 250 x 60 x 6	250	60	6	16,38	21,02	1,23	1674	55,89	133,9	11,72	8,92	1,63
C 250 x 80 x 6	250	80	6	18,26	23,42	1,82	2031	129	162,5	21,28	9,31	2,34
C 250 x 80 x 8	250	80	8	22,98	30,69	1,81	2604	164,7	208,4	27,03	8,2	2,34
C 250 x 80 x 10	250	80	10	29,27	37,71	2,00	3119	197,3	249,5	32,88	9,09	2,28
C 250 x 80 x 12	250	80	12	34,42	44,47	2,09	3589	225,8	287,1	38,2	8,98	2,25
C 250 x 100 x 6	250	100	6	20,14	25,82	2,49	2388	241,6	191,1	32,17	9,61	3,05

Anexo 6. Perfil L (ángulos)

Productos Laminados Ángulo



Largo normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro
Espesores:
Desde 2,00 a 12,70 mm
Norma de Calidad:
ASTM A36 / ASTM A 572 Gr 50
Norma de Fabricación:
INEN 2224 / DIN 1028 / INEN 2215
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa
consulta.

Aplicaciones

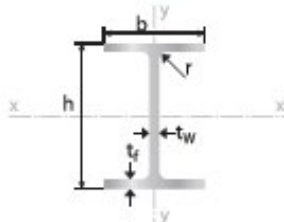
- Torres metálicas.
- Muebles metálicos.
- Carpintería metálica.



Dimensiones		Espesor	Peso
H	B	e	P
mm	mm	mm	kg/6m
20	20	2,00	3,81
20	20	3,00	5,23
25	25	2,00	4,52
25	25	3,00	6,74
25	25	4,00	9,20
30	30	3,00	8,24
30	30	4,00	10,61
40	40	3,00	11,11
40	40	4,00	14,53
40	40	6,00	21,12
50	50	3,00	13,99
50	50	4,00	18,36
50	50	5,00	22,62
50	50	6,00	26,86
60	60	5,00	26,95
60	60	6,00	32,52
60	60	8,00	45,22
65	65	6,00	35,46
70	70	6,00	38,43
75	75	6,00	40,69

Anexo 7. Perfiles IPE

Productos Laminados Vigas IPE



Largo normal:
6 metros / 12 metros
Recubrimiento:
Negro
Calidad de Acero:
ASTM A 36 / ASTM A 572 Gr 50
Norma de Fabricación:
INEN 2230 / INEN 2215 / EN 10024
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa
consulta.

Aplicaciones

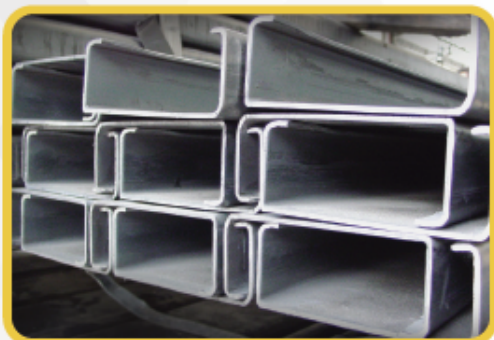
- Estructuras.
- Soporte de polipasto en puentes grúas o techos.
- Puentes.
- Rieles.



Designación	Dimensiones							Área	Peso	Propiedades Elásticas						Módulo Plástico		Cons Tors
	Altura		Ala		Distancias					Eje y-y		Eje x-x				Zx		
	h	s	b	t	r1	r2	d			Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry	Zx	Zy	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm²	kg/ml	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	
IPE 80	80,00	3,80	46,00	5,20	5,00	69,60	59,60	7,64	6,00	80,10	20,00	3,24	8,50	3,70	1,05	23,20	5,80	0,70
IPE 100	100,00	4,10	55,00	5,70	7,00	88,60	74,60	10,30	8,10	171,00	34,20	4,07	15,90	5,80	1,24	39,40	9,10	1,20
IPE 120	120,00	4,40	64,00	6,30	7,00	107,40	93,40	13,20	10,40	318,00	53,00	4,90	27,70	8,60	1,45	60,70	13,80	1,74
IPE 140	140,00	4,70	73,00	6,90	7,00	126,20	112,20	16,40	12,90	541,00	77,30	5,74	44,90	12,30	1,65	88,30	19,20	2,45
IPE 160	160,00	5,00	82,00	7,40	9,00	145,20	127,20	20,10	15,80	869,00	109,00	6,58	68,30	16,70	1,84	124,00	26,10	3,60
IPE 180	180,00	5,30	91,00	8,00	9,00	164,00	146,00	23,90	18,80	1317,00	146,00	7,42	101,00	22,20	2,05	166,00	34,60	4,79
IPE 200	200,00	5,60	100,00	8,50	12,00	183,00	159,00	28,50	22,40	1943,00	194,00	8,26	142,00	28,50	2,24	221,00	44,60	6,98
IPE 220	220,00	5,90	110,00	9,20	12,00	201,60	177,60	33,40	26,20	2772,00	252,00	9,11	205,00	37,30	2,48	285,00	58,10	9,07
IPE 240	240,00	6,20	120,00	9,80	15,00	220,40	190,40	39,10	30,70	3892,00	324,00	9,97	284,00	47,30	2,69	367,00	73,90	12,90
IPE 270	270,00	6,60	135,00	10,20	15,00	249,60	219,60	45,90	36,10	5790,00	429,00	11,20	420,00	62,20	3,02	484,00	97,00	15,90
IPE 300	300,00	7,10	150,00	10,70	15,00	278,60	248,60	53,80	42,20	8356,00	557,00	12,50	604,00	80,50	3,35	628,00	125,00	20,10
IPE 330	330,00	7,50	160,00	11,50	18,00	307,00	271,00	62,60	49,10	11770,00	713,00	13,70	788,00	98,50	3,55	804,00	154,00	28,10
IPE 360	360,00	8,00	170,00	12,70	18,00	334,60	298,60	72,70	57,10	16270,00	904,00	15,00	1043,00	123,00	3,79	1019,00	191,00	37,30

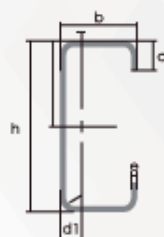
Anexo 8. Perfiles G

PERFILES ESTRUCTURALES CORREAS "G"



Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 1623
Calidad:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Espesores:	Desde 2mm - 12mm
Acabado:	Acero negro y galvanizado



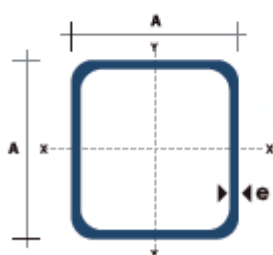
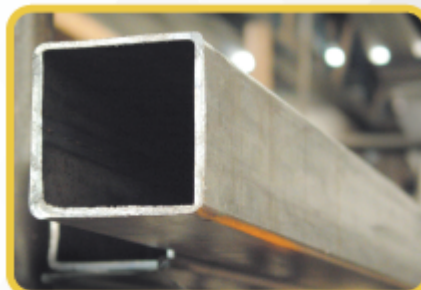
Designación	Dimensiones				Masa	A	d1	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	c	e				Ix	Iy	Wx	Wy	ix	iy
	mm	mm	mm	mm	Kg/m	cm ²	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm
G 60x30x10x2	60	30	10	2	1,96	2,54	1,44	14,88	5,28	4,9	2,74	2,42	1,44
G 80x40x15x2	80	40	15	2	2,75	3,54	1,46	35,25	8,07	8,81	3,18	3,16	1,51
G 80x40x15x3	80	40	15	3	3,95	5,11	1,46	49,04	10,85	12,26	4,27	3,1	1,46
G 80x50x15x2	80	50	15	2	3,06	3,88	1,46	41,11	13,55	10,28	4,34	3,23	1,88
G 100x50x15x2	100	50	15	2	3,38	4,34	1,73	69,24	14,98	13,85	4,57	4,00	1,86
G 100x50x15x3	100	50	15	3	4,89	6,31	1,72	97,78	20,51	19,56	6,25	3,94	1,8
G 100x50x15x4	100	50	15	4	6,29	8,15	1,71	122,5	24,85	24,49	7,55	3,88	1,75
G 100x50x20x4	100	50	20	4	6,60	8,55	1,85	126,7	28,5	25,34	9,05	3,85	1,83
G 100x50x25x5	100	50	25	5	8,35	10,86	1,98	152,51	36,52	30,5	12,09	3,75	1,83
G 125x50x15x2	125	50	15	2	3,77	4,84	1,56	116,4	16,16	18,63	4,69	4,91	1,83
G 125x50x15x3	125	50	15	3	5,48	7,06	1,55	165,5	22,16	26,48	6,43	4,84	1,77
G 125x50x15x4	125	50	15	4	7,07	9,15	1,54	208,7	26,88	33,39	7,78	4,78	1,71
G 125x50x15x5	125	50	15	5	8,55	11,11	1,54	246,2	30,41	39,39	8,78	4,71	1,65
G 125x50x50x4	125	50	20	4	7,39	9,55	1,68	217	30,9	34,7	9,32	4,77	1,8
G 125x50x25x5	125	50	25	5	9,33	12,11	1,8	264,3	39,88	42,29	12,46	4,67	1,82
G 125x50x30x6	125	50	30	6	11,32	14,73	1,92	307,1	48,69	49,14	15,81	4,56	1,81
G 150x50x15x2	150	50	15	2	4,18	5,34	1,72	176,7	17,18	25,68	4,78	5,78	1,78
G 150x50x15x3	150	50	15	3	6,07	7,81	1,42	255,2	23,49	34,03	6,56	5,72	1,73
G 150x50x15x4	150	50	15	4	7,95	10,15	1,44	323,5	28,54	43,13	7,95	5,65	1,68

Anexo 9. Tubo cuadrado.

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6,00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94

Anexo 9. Cotización perfiles 50% de la nave industrial.

IPAC S.A.
RUC: 0991344004001
CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCIÓN N° 5265

COTIZACIÓN N° 5400110009

AREA: INDUSTRIALES
FECHA: 21/03/2024

Cliente:	INDUSTRIAS METALICAS DECORATIVAS IN MED	RUC:	1792331013001
Atención:		Teléfono:	22807702
Dirección:	CALLE E3 N68-55 Y DE LOS ARUPOS	Email:	COMPRAS@INMEDEC.COM
Ciudad:	QUITO	Proyecto:	

ITEM	DESCRIPCIÓN	CALIDAD	CANTIDAD (UND)	PESO UNITARIO (KG/UND)	PESO TOTAL (KG)	PRECIO UNITARIO (USD/UND)	PRECIO TOTAL (USD)	PRECIO UNITARIO USD/KG	TIEMPO ENTREGA DIAS LABORABLES
1	HEB 260x12000 mm Gr C	LC	6.00	1,116.00	6,696.00	1,618.20	9,709.20	1.45	4
2	C. 250X80X6.00X6000 mm GR.50	LC	30.00	110.29	3,308.70	111.39	3,341.79	1.01	9
3	IPE 220x12000 mm Gr C	LC	12.00	314.40	3,772.80	455.88	5,470.56	1.45	4
4	G. 150X50X15X3.00X6000 mm LC	LC	24.00	36.78	882.72	31.26	750.31	0.85	2
5	T.C. 100X100X3.00X6000 mm LC.	LC	10.00	53.73	537.30	58.52	585.20	1.09	2
6	PERFIL L 75x6x6000mm Gr B	LC	80.00	40.69	3,255.20	45.00	3,600.00	1.11	4
				TOTAL (KGS):	18,452.72	SUB-TOTAL:	23,457.06		
						IVA 12%:	2,814.85		
						TOTAL:	26,271.91		