



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Estudio y Simulación por Elementos Finitos de una Nave
Industrial para Cámara Frigorífica y, Validación de Resultados con
el Método Analítico.”

TRABAJO FINAL DE TRABAJO

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Luis Antonio Reyes Rizo

GUAYAQUIL –ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida y por ser guía fundamental en el camino en busca de la santidad.

A mi padres, por el amor incondicional, y el ejemplo de lucha y superación que siempre me han demostrado.

A mis amigos, por creer en mí.

Al Ing. Federico Camacho, por su tiempo, paciencia, y ayuda a lo largo de toda mi vida universitaria.

DEDICATORIA

A Dios por su inmenso amor y centro fundamental de nuestras vidas.

A mis padres Patricio y Soledad, mi hermana Diana y toda mi familia que siempre me han apoyado y estado junto a mí en cada paso de mi vida.

A todos los que conforman la Iglesia Czestochowa, los Párrocos, CMC y demás grupos juveniles, que desde pequeños nos hemos formamos juntos para seguir un camino de santidad.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Jorge Duque R.

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE

Ing. Federico Camacho B.

DIRECTOR DE TFG

Ing. Jorge Marcial.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Luis Antonio Reyes Rizo

RESUMEN

En la actualidad, con los avances tecnológicos y una gama de mejoras que presentan los ordenadores y medios de cómputo para resolver problemas de ingeniería, se ha desarrollado varios tipos de software comerciales como ANSYS®; los cuales facilitan al ingeniero modelar, analizar rápidamente y, obtener resultados de esfuerzo-deformación de una estructura metálica con formas complejas.

La aplicación de este software comercial está siendo muy común para el diseño ingenieril a nivel mundial, pero al no ser muy empleados en el medio industrial, existe la incertidumbre de la precisión de los resultados obtenidos por el Método de Elementos Finitos, conlleva a dudar de la estabilidad del conjunto, provocando de esta manera diseños sobredimensionados lo que compromete a la estructura aumentando su costo o sub-dimensionándolos lo que provocaría fallos en la misma, lo cual es más grave, ya que podría ocasionar accidentes poniendo en peligro la vida humana, por eso muchas veces se lo compara con los resultados del Método Analítico, por lo cual en el presente proyecto se comparará, estudiará y se validará el porcentaje de error de los resultados obtenidos entre ambos métodos y el criterio para la aplicación del método de elementos finitos al resolver un problema ingenieril, que en este caso se lo estudiará en el desarrollo de la estructura de una nave industrial.

La aplicación del método analítico para la Nave Industrial comprende desde la selección de una estructura de acero segura y económica, en la que se especifica las cargas que van a soportar y los materiales a utilizar, para que por medio de un análisis, calcular parámetros como fuerza, esfuerzo - deformación, momentos y, aplicar una teoría de diseño que permita aceptar los perfiles de estructura seleccionadas, como vigas, armaduras, marcos o pórticos que permiten determinar el diseño de forma final de la misma, cumpliendo en toda medida con normas técnicas como AWS, AISC, y NEC para culminar en la fabricación de la misma.

El método de elementos finitos es un proceso de aproximación matemática que comprende la discretización de un modelo virtual 3D, en finitos elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos, la unión de todos estos nodos forman la malla del conjunto de la estructura metálica la cual permitirá obtener los resultados en respuesta a la aplicación de fuerzas externas. La manera en cómo se seleccione la distribución del tipo de nodos dentro del sistema, permitirá representar de mejor manera las ecuaciones diferenciales a resolver y determinar si la estructura esta dimensionalmente correcta o necesita de cambios para que cumpla con las normas establecidas.

Para el presente proyecto el modelo virtual 3D de la Nave Industrial se analizará utilizando el software de ANSYS®; los resultados obtenidos como

esfuerzo, deformación y, factor de seguridad basados en un criterio de diseño, se lo validará con el método analítico presentando los resultados en un cuadro comparativo para concluir en las ventajas y desventajas de la aplicación de ambos métodos en el campo ingenieril.

ÍNDICE GENERAL.

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ABREVIATURAS.....	viii
SIMBOLOGÍA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE PLANOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	3
1.1. Cámaras Frigoríficas.....	3
1.2. Requerimientos para Estructuras de Cámaras Frigoríficas.....	8
1.3. Estructura y Parte de Una Nave Industrial.....	13
1.4. Factores de Influencia.....	18
1.4.1. Tipos de Cargas.....	18
1.4.2. Normas Técnicas Para la Fabricación.....	20
1.4.3. Protección Superficial del Material.....	27
1.4.4. Manufacturabilidad.....	31
1.4.5. Peso y Tamaño.....	32
1.4.6. Costos y Transportación.....	33

1.5. Modelado y Análisis por Elementos Finitos.....	34
1.5.1. Modelado Virtual 3D.....	34
1.5.2. Modelado utilizando el programa de SolidWorks.....	37
1.5.3. Análisis por Elementos Finitos en ANSYS®.....	39

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA NAVE INDUSTRIAL Y SUS COMPONENTES.....	47
2.1. Análisis Estructural.....	47
2.1.1. Determinación de las Cargas Críticas.....	48
2.1.2. Diseño de Forma de Nave Industrial.....	58
2.2. Selección de Perfiles Estructurales.....	64
2.2.1. Diseño de la Viga Principal para Cubierta.....	64
2.2.2. Diseño de Armadura para Soporte Evaporadores y Panel de Poliuretano.	82
2.2.3. Diseño de la Columna y Placa Base.....	97
2.2.4. Diseño de Elementos Complementarios.....	118
2.3. Armado de conjuntos.....	130
2.3.1. Estructura Principal Viga - Columna - Placa Base.....	130
2.3.2. Cerchas Soporte de Evaporadores.....	133

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS.	
3.1. Modelado de la Estructura en SolidWorks.....	136

3.1.1. Conjunto Principal Viga – Columna.....	136
3.1.2. Cerchas Soporte Evaporadores.....	138
3.1.3. Placas Rigidizadoras para Estructura.....	139
3.2. Análisis Estructural en ANSYS®	140
3.2.1. Análisis de Conjunto Principal Viga-Columna.....	140
3.2.2. Análisis de Cercha de Soporte Evaporadores.....	157
3.2.3. Análisis de Elementos Complementarios.....	160
3.3. Resultados del Análisis por Elementos Finitos.....	163

CAPITULO 4

4. RESULTADOS Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	165
4.1. Resultados del Método de Elementos Finitos.....	165
4.2. Resultados Basados en la Método Analítico.....	168
4.3. Comparación del Método de Elementos Finitos con el Método Analítico.....	171

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	173
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

AISC	American Institute of Steel Construction
ASTM	American Society for Testing Material
AWS	American Welding Society
BTU	British Thermal Unit
CAD	Computer Aided Design
f.s.	Factor de Seguridad
GMAW	Gas Metal Arc Welding
I	Inercia
ICHA	Instituto Chileno del Acero
kgf	kilogramos fuerza
kip	Kilolibras
m	Metros
M	Momento Flector
m ²	metros cuadrados
mm	milímetros
MPa	Mega pascal
N	Newton
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
plg	pulgadas
V _b	Cortante Basal

SIMBOLOGÍA

Φ	Diámetro
ρ	Densidad
σ	Esfuerzo Axial
ζ	Esfuerzo Cortante
σ_{VM}	Esfuerzo de Von Mises
σ'	Esfuerzo Permisible
Φ_E	Factor de Configuración Estructural en Elevación
Φ_P	Factor de Configuración Estructural en Planta
δ	Flexión

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ciclo de compresión mecánica del vapor [1].	6
Figura 1.2: Panel Prefabricado de Poliuretano [2].	7
Figura 1.3: ÁREA DE CONSTRUCCIÓN [18].	10
Figura 1.4: DIMENSIONES CONJUNTO PANELES DE CÁMARA [18].	11
Figura 1.5: Datos Dimensionales Para Evaporadores [3].	13
Figura 1.6: Conexión Placa Base Columna - Cimentación [4].	15
Figura 1.7: Columnas y Vigas Tipo Cercha [5].	17
Figura 1.8: Proceso de Galvanizado en Caliente [7].	31
Figura 1.9: Planos, Vistas, Croquis, Polígono [8].	36
Figura 1.10: GESTOR DE DISEÑO SolidWorks® [8].	39
Figura 1.11: PLATAFORMA ANSYS WORKBENCH™ [9].	43
Figura 1.12: TOOLBOX - HERRAMIENTAS DEL PROGRAMA WORKBENCH [9].	44
Figura: 1.13: PROJECT SCHEMATIC [9]	45
Figura 2.1: Steel Panel Kubimil [10].	50
Figura 2.2: IPE100 [11].	51
Figura 2.3: Cargas en Estructura de Nave Industrial - Pórtico Principal [18].	57
Figura 2.4: Representación de Distribución de Pórticos [13].	59
Figura 2.5: Diseño de Forma: Pórtico Principal Viga de Alma Llena-Columnas [18].	60
Figura 2.6: Nave Industrial Vista en Planta. Distribución de Pórticos [18]. ...	62

Figura 2.7: Cercha Viga Tipo Pratt [14].....	63
Figura 2.8: Diseño de Forma Final Mixta: Pórtico Principal de Alama Llena - Armadura [18].....	64
Figura 2.9: Representación de Cargas en Cubierta Viga de Alma Llena [18].....	65
Figura 2.10: Cargas sobre Viga de Cubierta [18].....	66
Figura 2.11: Diagrama de Cuerpo Libre Viga de Cubierta [18].	67
Figura 2.12: Reacciones y Carga Distribuida sobre Viga de Cubierta [18]. ..	68
Figura 2.13: Perfil de Viga de Cubierta Conformada I660 [18].	80
Figura 2.14: Armadura para Cubierta Mixta con Carga Distribuida [18].....	84
Figura 2.15: Fuerzas Externas F_p y T en Armadura [18].....	87
Figura 2.16: Diagrama Cuerpo Libre Nodo A [18].....	89
Figura 2.17: Fuerzas Internas en Armadura [18].	89
Figura 2.18: Fuerzas Resultantes en Columna [18].....	98
Figura 2.19: Fuerza Resultante de Viga de Cubierta Sobre Columna [18]. ..	99
Figura 2.20: Condiciones de Sujeción en Columna [18].	102
Figura 2.21: Perfil W530 x 109 [16].....	106
Figura 2.22: Condiciones de Carga en Viga [18].	107
Figura 2.23: Condiciones de Carga en Viga [17]	110
Figura 2.24: Área Mínima Requerida para Placa Base [18].	115
Figura 2.25: Columna y Placa Base [18].....	117
Figura 2.26: Unión Viga de Cubierta [8].	126

Figura 2.27: Unión Viga de Cubierta - Columna [8].	127
Figura 2.28: Unión Cercha de Cubierta [8].	128
Figura 2.29: Unión Viga de Steel Panel [8].	129
Figura 2.30: Conjunto V1, Viga de Conexión con Columna [18].	131
Figura 2.31: Conjunto V2, Viga de Amarre de Cubierta [18].	131
Figura 2.32: Conjunto V3, Viga de Cubierta Central [18].	132
Figura 2.33: Conjunto CP1. Columna de Pórtico [18].	133
Figura 2.34: Conjunto A1-A9. Viga HEB100 para Cercha [18].	134
Figura 2.35: CONJUNTO ARMADO DE PÓRTICO DE NAVE INDUSTRIAL [18].	135
Figura 3.1: Estructura del Pórtico Principal con Perfiles Seleccionados [8].	137
Figura 3.2: Pórtico Principal con Cercha para Soporte Evaporadores [8]. ..	138
Figura 3.3: Rigidizadores en Placa Base [21]	140
Figura 3.4: Ventana de Estudio Project Schematic [9].	142
Figura 3.5: Engineering Data, Material A588 [9].	143
Figura 3.6: Mesh Hex Dominant en Pórtico Principal [9].	144
Figura 3.7: Mesh Hex Dominant - Cubierta [9].	144
Figura 3.8: Mesh Hex Dominant - Conexión Viga-Columna [9].	145
Figura 3.9: Mesh - Element Quality de Pórtico Principal. [9].	146
Figura 3.10: Static Structural - Definición de Cargas [9].	147
Figura 3.11: Fuerzas Representadas en Estructura [9].	148
Figura 3.12: Deformación en Y Pórtico Principal [9].	149

Figura 3.13: Deformación en X y Z Pórtico Principal [9].	149
Figura 3.14: Esfuerzo Equivalente de Von Mises Pórtico Principal [9].....	150
Figura 3.15: Zona de Concentración de Esfuerzo. Conexión Cubierta - Columna [9].....	150
Figura 3.16: Esfuerzo Equivalente de Von Mises en Columna [9]	151
Figura 3.17: Factor de Seguridad Pórtico Principal [9].....	152
Figura 3.18: Pórtico Principal Modificado con Rigidizadores [9].	153
Figura 3.19: Esfuerzo de Von Mises Conexión Viga - Columna [9].	154
Figura 3.20: Esfuerzo de Von Mises Columna - Placa Base [9].....	155
Figura 3.21: Factor de Seguridad Conexión Viga - Columna [9].....	155
Figura 3.22: Factor de Seguridad Columna - Placa Base [9].....	156
Figura 3.23: Deformación en "Y" Estructura Mixta Final [9].	158
Figura 3.24: Deformación en "X" y "Z" Estructura Mixta Final [9].....	158
Figura 3.25: Esfuerzo de Von Mises Estructura Mixta Final [9].	159
Figura 3.26: Factor de Seguridad Estructura Mixta Final [9].....	159
Figura 3.27: Conjunto de Pórticos que Forman la Nave Industrial [8].....	160
Figura 3.28: Esfuerzo de Von Mises en Perno Max: 64MPa [9].	161
Figura 3.29: Factor de Seguridad Min: 5.4 [9].....	162
Figura 3.30: Deformación en Ymax:0.007mm [9].....	162

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Materiales aislantes para paneles aislantes.....	4
Tabla 2 Dimensiones de Panel de Poliuretano [2].	8
Tabla 3 Datos Dimensionales Evaporador BHA1400 [3]	12
Tabla 4 Propiedades Mecánicas ASTM A588 [6].....	25
Tabla 5 Coeficiente entorno/altura [12].....	55
Tabla 6 Coeficiente de forma [12].....	55
Tabla 7 Valores Calculo Cortante Basal [18].	57
Tabla 8 Propiedades de Perfiles Europeos [15].....	71
Tabla 9 Estudio de Perfiles conformados [18].....	79
Tabla 10 Resultado de Estados de Esfuerzo de I 660 [18].	80
Tabla 11 Fuerzas en los Nudo de la Armadura [18].....	93
Tabla 12 Perfiles seleccionados en base a los resultados [18].....	95
Tabla 13 Perfiles Seleccionados para Columna [18].	105
Tabla 14 Características del Perfil [18].	106
Tabla 15 Proceso Iterativo; Dimensiones de Placa Base [18].	116
Tabla 16 Características de Perno [19].....	122
Tabla 17 Características de Perno [20].....	126
Tabla 18 Lista de Pernos para Elementos del Pórtico [18].	130
Tabla 19 Comparación de Métodos Aplicados en Pórticos Principal de Nave Industrial [18]....	171

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 01:	Plano General de Nave Industrial
Plano 02:	Distribución de Planta
Plano 03:	Pórtico Principal
Plano 04:	Distribución de Cámaras
Plano 05:	Conjunto V1 de Cubierta
Plano 06:	Conjunto V2 de Cubierta
Plano 07:	Conjunto V3 de Cubierta
Plano 08:	Conjunto V4 de Cubierta
Plano 09:	Conjunto Vigas de Armadura A - A6
Plano 10:	Conjunto Vigas de Armadura A7-A12
Plano 11:	Conjunto Columna C1

INTRODUCCIÓN

El punto de vista fundamental al momento de diseñar es con la finalidad de satisfacer una necesidad y resolver un problema, en un medio en el que la competitividad apremia, las estructuras de acero son el medio más rápido para la construcción en la actualidad por la mayoría de ventajas que ofrece para su manufacturabilidad en comparación con otros materiales, por lo que el objetivo del presente proyecto se basa en el diseño de la estructura metálica de una nave industrial para el soporte de una cámara frigorífica de paredes de poliuretano y sus componentes mecánicos necesarios para la refrigeración, aplicando el método analítico y comparando sus resultados por el método de elementos finitos utilizando un software de diseño.

La metodología a emplearse en una primera etapa para el diseño de la nave industrial será en cumplir con las necesidades del cliente como son lugar de implantación, dimensiones, requisitos para su funcionamiento, junto con el diseño y selección de los perfiles de acero que cumplan con los parámetros fundamentales para el diseño estructural como lo son los tipos de cargas y esfuerzos a soportar, funcionalidad, seguridad bajo normas ASTM, AWS, AISC, y norma Ecuatoriana de la Construcción, protección anticorrosiva para el medio en el que estará expuesto, manufacturabilidad para una rápida fabricación, peso y tamaño para el proceso en tina de galvanizado y fácil transportación al lugar de montaje.

En la segunda etapa se realizará un modelado virtual en 3D de los principales sistemas que conforman la nave industrial como lo son las columnas, vigas y cerchas para soporte de máquinas, utilizando el programa de Solidworks para visualizar el diseño y proceso de montaje. Para comprobar el diseño calculado en el método analítico se procederá a realizar el análisis por elementos finitos utilizando el programa ANSYS® aplicando el mismo teorema de diseño.

La utilización de perfiles comerciales para la fabricación de estructuras metálicas junto con la aplicación de normas, el análisis y modelado virtual son herramientas que se complementan y ayudan a realizar un proceso de diseño más seguro, eficiente y rápido, reduciendo los costos, proceso de fabricación y tiempo.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1. Cámaras Frigoríficas

La cámara frigorífica es un recinto industrial cerrado que permite la refrigeración, almacenamiento y conservación de alimentos a bajas temperaturas, gracias al uso de materiales aislantes. El piso, paredes y techo que forman parte de la estructura de la cámara, están elaborados en material plástico aislante con muy baja conductividad térmica, que conformados forman los paneles que permitirán dar la forma a la estructura de la cámara frigorífica.

Entre los materiales aislantes más utilizados para paneles de cámaras frigoríficas y su máxima temperatura de trabajo se describen en la tabla 1.1:

TABLA 1

MATERIALES AISLANTES PARA PANELES AISLANTES.

Material Aislante	Máxima temperatura (°C)	Conductividad Térmica (W/mK)
Corcho	65	0.039
Poliestireno expandido	70	0.034 - 0.045
Poliestireno extrusionado	85	0.033 - 0.036
Poliuretano	140	0.035
Espuma elastomérica	-40 a 105	0.035

El poliuretano es uno de los materiales más utilizados para la conformación de los paneles aislantes de una cámara, ya que soporta hasta una temperatura máxima de 140°C, haciéndola ideal para trabajar en ambientes calurosos como lo es la costa ecuatoriana.

La principal aplicación de las cámaras frigoríficas en la industria se da para el almacenamiento de alimentos tales como: carnes, alimentos del mar, productos lácteos y conservas para su posterior comercialización. Para el presente proyecto se estudiará el desarrollo de una cámara frigorífica para el almacenamiento de

alimentos del mar, por lo cual se considera la instalación de la planta en las cercanías del mar.

Partes principales de una Cámara Frigorífica.

Una cámara frigorífica se caracteriza por estar compuesta de un sistema de refrigeración, diseñados para disminuir la temperatura del material almacenado por medio de la transferencia de calor y, así mantener la temperatura dentro del confinamiento de paredes aislantes. A continuación se define cada una de las partes principales que conforman una cámara frigorífica y se ilustra su ciclo de funcionamiento en la figura 1.1.

Compresor.- su función es aumentar la presión del refrigerante en estado vapor e impulsarlo desde el evaporador al condensador.

Condensador.- extrae el calor del fluido refrigerante en estado vapor hasta llevarlo a líquido saturado. Este calor es transferido a otro fluido que puede ser aire o agua, usualmente se utiliza agua por tener un calor latente de vaporización de 600 Kcal/Kg, por lo que su capacidad es mucho mayor que el aire.

Evaporador.- en este componente, el fluido refrigerante extrae calor de la cámara frigorífica, absorbiendo calor sensible y calor latente de vaporización hasta llegar al estado de vapor sobrecalentado.

Válvula de Expansión.- esta cumple una doble función, reducir la presión en el refrigerante líquido saturado, provocando subenfriamiento y la regulación del caudal de paso de refrigerante. Estos cuatro elementos forman el ciclo de compresión del vapor que permite transferir calor desde un foco frío a uno caliente mediante la utilización de trabajo mecánico de compresión, como se lo representa en la figura 1.1.

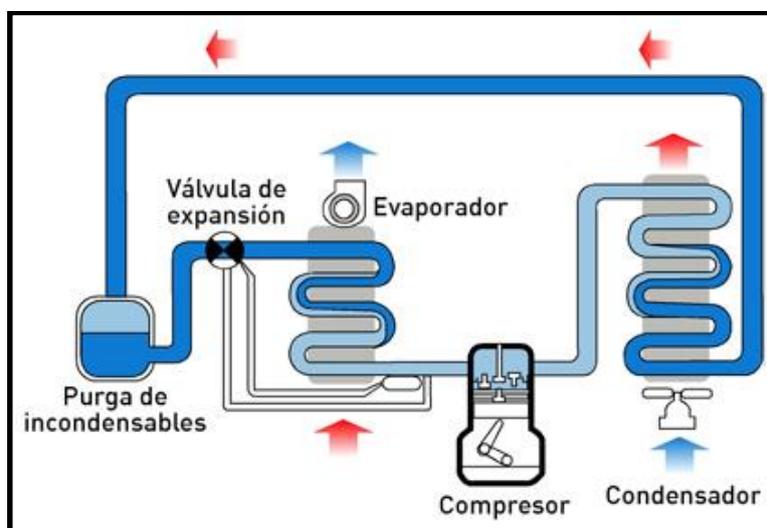


FIGURA 1.1: CICLO DE COMPRESIÓN MECÁNICA DEL VAPOR [1].

Paneles de Aislamiento Prefabricados.-son laminas plásticas que por lo general suelen ser de poliuretano, poliestireno expandido o poliestireno extruido como se lo aprecia en la figura 1.2. Los paneles de poliestireno tienen un espesor de 50mm a 250mm y los

de poliuretano de 30mm a 180mm. Se caracterizan por su fácil instalación, gran rapidez de montaje, fácil mantenimiento y precio económico.

En la presente tesis se utilizará como material aislante los paneles de poliuretano tipo sándwich denominados por el fabricante como Isopur, cuya principal función será de servir de cámara y de aislamiento, manteniendo las temperaturas bajas requeridas dentro del confinamiento gracias a su bajo coeficiente de conductividad térmica.



FIGURA 1.2: PANEL PREFABRICADO DE POLIURETANO [2].

El panel tipo sándwich Isopur, es un panel continuo, constituido por láminas de acero, con núcleo aislante de poliuretano de alta densidad, lo que le permite tener baja conductividad térmica, alta resistencia mecánica y bajo peso.

El panel tipo Isopor que se utilizará, está sujeta a dimensiones como se muestra en la tabla 1.2. Catálogo adjunto en los apéndices del presente proyecto.

TABLA 2

DIMENSIONES DE PANEL DE POLIURETANO [2].

Panel de Poliuretano Tipo Sándwich		
Espesor (mm)	Peso (Kg/m²)	Largo x Ancho (m)
120	12,2	12 x 1.15

1.2. Requerimientos para Estructuras de Cámaras Frigoríficas.

Las cámaras frigoríficas generalmente están formadas por paredes aislantes y componentes del sistema de refrigeración como son los evaporadores, por lo cual para sostener una cámara frigorífica industrial se necesita de una estructura metálica que pueda soportar estos elementos y equipos, fundamentales al momento de su funcionamiento.

Por eso, dentro de los requerimientos de cualquier cliente, se necesita que la estructura metálica soporte toda la cámara frigorífica, paredes, techo y fondo aislantes de poliuretano, junto con los evaporadores. Estos componentes y equipos conforman las partes que descansarán directamente sobre la estructura metálica y

son las que intervendrán en el estudio de cargas necesarias para determinar los perfiles de acero a utilizar.

La estructura o nave industrial se construirá tomando en cuenta que estará limitada por los siguientes requisitos.

- a) La Nave Industrial estará dimensionada de tal forma que la estructura pueda almacenar 1000 Toneladas de Atún en los tanques de almacenamiento galvanizados de dimensiones 1,4 x 1,3 x 1,8 metros. Cada tanque puede almacenar 1,8 Toneladas de Atún, por tanto según las dimensiones y peso del tanque, se destina que en la cámara se pueden almacenar 1850 tanques con atún. Con este requerimiento queda que las dimensiones finales de la cámara frigorífica son de 78 x 39m, como se muestra en la figura 1.3.

- b) A su vez la nave industrial debe contar con un área de recepción primera área, la cual se la utilizará con el fin de descargar el material pesquero desde los vehículos hacia los diferentes tanques de almacenamiento y, dispondrá de un perímetro de 39 x 19 metros, necesarios para instalar los transportadores metálicos que ayudan en la clasificación previo a almacenamiento del atún

en la cámara frigorífica. El fin de la construcción de esta primera estructura es para cumplir con los siguientes parámetros.

- La materia prima no deberá estar expuesta por un prolongado lapso de tiempo en los tanques de almacenamiento, al ser una zona costera con alta concentración de humedad, calor y rayos solares, se necesita evitar la disminución del gradiente de temperatura y alterar las propiedades del alimento congelado, para lo cual se necesita de una estructura que impida el acceso de los rayos solares, permitiendo realizar la clasificación de la materia prima previo a su almacenamiento dentro de la cámara.



FIGURA 1.3: ÁREA DE CONSTRUCCIÓN [18].

c) La segunda área de la nave industrial estará destinada para soportar y contener la cámara frigorífica junto con sus elementos de máquinas.

Esta segunda estructura deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- La cámara frigorífica, conformada de paneles aislantes de poliuretano tipo sándwich tienen las siguientes dimensiones: 35540 x 7100 x 77750mm, según figura 1.4, que son las dimensiones finales para la cámara que almacenará 1000 Toneladas de Atún.

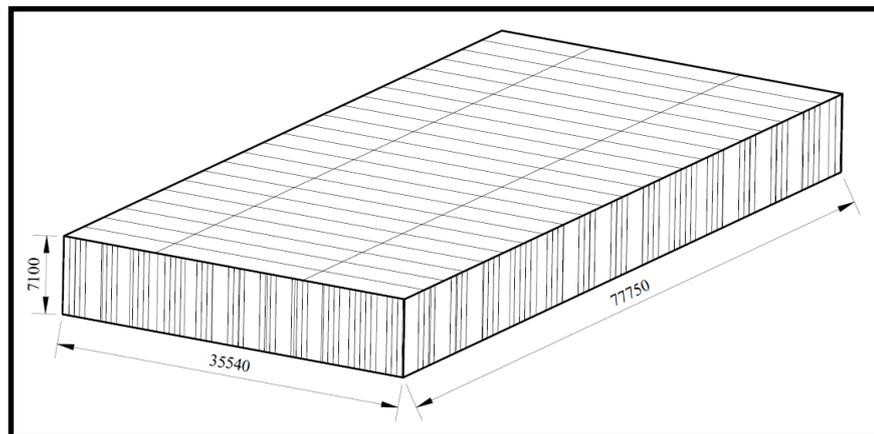


FIGURA 1.4: DIMENSIONES CONJUNTO PANELES DE CÁMARA [18].

- Las especificaciones de los evaporadores que permitirán mantener la temperatura adecuada para la conservación de los alimentos y necesaria para el diseño de la estructura que los va a soportar, se la puede obtener de la tabla 1.2 y la figura 1.5, obtenida del catálogo de Bohn para evaporadores.

Características del Evaporador Modelo de Deshielo por Aire

Marca: Bohn

Modelo Evaporador: BHA 1400

Capacidad: 140000 BTU/h

de Ventiladores por Unidad: 3

Cantidad de Evaporadores: 16 Unidades

Peso Unitario: 360Kg

TABLA: 3

DATOS DIMENSIONALES EVAPORADOR BHA1400 [3]

Modelo	# de Ventanas	Dimensiones (mm)
BHA 1400	3	Largo = 3439
		Alto = 1130
		Ancho = 1044



FIGURA 1.5: DATOS DIMENSIONALES PARA EVAPORADORES [3].

Para la cámara industrial se utilizará 16 evaporadores colocados en el techo de la misma, los cuales tendrán que ser soportados cada uno por medio de la estructura de la nave.

1.3. Estructura y Parte de una Nave Industrial

La Nave Industrial es una infraestructura simple relativamente grande, que puede o no tener paredes. Se usa comúnmente como almacén de productos, bodega de materia prima, depósito de maquinaria, o como taller de servicios.

Las primeras estructuras de naves, solían construirse con armazones de madera, que le otorgaban una resistencia a la estructura y las capacitaba para soportar ciertas cargas.

Hoy en día las estructuras que conforman las naves, se construyen principalmente usando el metal como materia prima y, diseñados para contener y soportar las partes y equipos para lo cual van a prestar su servicio.

La principal característica de las naves industriales radica en su diseño en forma de V invertida y, permite tener claros muy grandes sin la necesidad de contar con apoyos intermedios, con el fin de lograr grandes espacios que permitan operar sin restricciones ni obstáculos, aprovechando de mejor manera el espacio físico interior para las operaciones y equipos que va a contener.

Partes Principales de una Nave Industrial

a) Placas de anclaje

Cuando una columna de acero se apoya en la parte superior de un cimiento, es necesario que la carga de la columna se distribuya en un área suficiente para evitar que se sobrecargue el concreto. Las cargas que son soportadas por las columnas, se transmiten a través de una placa base de acero, de un área razonablemente grande, para de esta manera distribuir uniformemente las cargas al concreto que lo soporta.

Las placas bases pueden soldarse directamente a las columnas o pueden soportarse por medio de ángulos remachados o soldadas.

Las placas bases junto con pernos de anclaje o varillas corrugadas son los que permiten fijar la estructura al suelo por medio de una zapata de hormigón o cimentación, como se muestra en la figura 1.6.

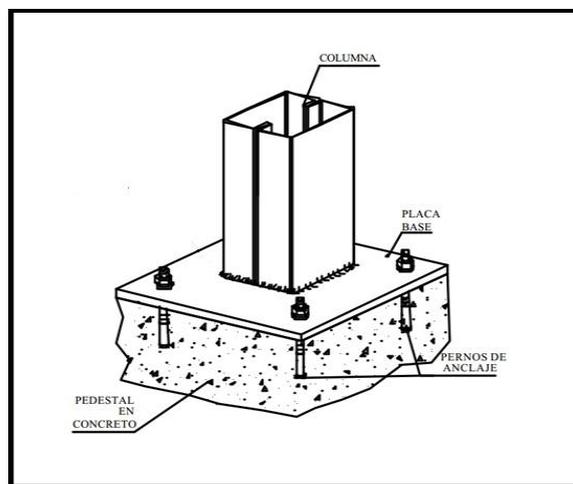


FIGURA 1.6: CONEXIÓN PLACA BASE COLUMNA - CIMENTACIÓN [4].

b) Columnas

La columna es un soporte vertical o el elemento estructural vertical de forma alargada sometido a compresión, es empleado para sostener la carga de la edificación, lo bastante delgado

respecto a su longitud, para que bajo la acción de una carga gradualmente creciente se rompa por flexión lateral o pandeo ante una carga mucho menor que la necesaria para romperlo por aplastamiento.

La función principal de las columnas es de transportar la carga del techo al piso, así como las cargas que producen el viento, las cargas de impacto y los sismos, como se muestra en la figura 1.7.

Las columnas de acero las cuales se utilizará para el desarrollo de la presente estructura pueden ser sencillas, fabricadas directamente con perfiles estructurales, o perfiles compuestos, para los cuales se usan diversas combinaciones, placa, vigas, canales, correas, ángulos, etc.

c) Cubierta o Techo.

Recibe el nombre de cubierta a la estructura que forma el último diafragma de la construcción, la cual se realiza en la parte superior y exterior de una estructura. Esta estructura cumple con la función de dar protección a la construcción junto con los componentes que en ella se encuentra. A su vez sirve de soporte para los equipos que se instalan dentro de la estructura,

los cuales cumplirán una función especificada dentro del proceso productivo.

Las cubiertas en una nave industrial se forman de elemento estructural llamada vigas portantes, estas pueden ser diseñadas dependiendo de la función que van a cumplir y según como se la requiera en forma de cercha o de alma llena. La principal función de este elemento estructural es la de transmitir a las columnas las cargas procedentes de la cubierta, como se muestra en la figura 1.7.

Junto con las vigas se encuentran las correas metálicas que tienen la configuración de C, G o Z entre las más usadas. Estas sirven para formar el entramado sobre el que se fijan los paneles que le darán forma al techo de la cubierta.



FIGURA 1.7: COLUMNAS Y VIGAS TIPO CERCHA [5].

1.4. Factores de Influencia

Para el diseño de forma de los elementos estructurales que conformarán la nave industrial se tiene que tener presente cuales son los principales parámetros que van a actuar sobre la misma.

Muchas veces estos parámetros que requiere el conjunto del sistema, significa el factor importante para determinará su geometría y dimensiones.

Por tanto entre los parámetros importantes para el desarrollo del presente análisis y diseño se debe tener en cuenta lo siguiente:

- TIPOS CARGAS
- NORMAS TÉCNICAS
- PROTECCIÓN SUPERFICIAL DEL MATERIAL
- MANUFACTURABILIDAD
- PESO Y TAMAÑO
- COSTOS Y TRANSPORTACIÓN

1.4.1. Tipos de Cargas.

Las cargas que se ven aplicadas en este diseño se las denomina de tipo gravitacional, causadas por fuerzas que son propias del sistema como son las cargas vivas y las cargas muertas.

- Las cargas vivas son cargas variables en magnitud y posición debidas al funcionamiento de la estructura, estas son causadas por los pesos de los objetos colocados temporalmente sobre una estructura, por ejemplo se encuentran el de las personas, equipos mobiliarios, maquinarias, materiales y mercancía almacenada así como los cambios de temperatura.
- Las cargas muertas son aquellas que se mantienen en constante magnitud y con una posición fija durante la vida útil de la estructura, la mayor carga muerta generalmente es el peso propio de los elementos que conforman la estructura de la nave industrial y el peso de los equipos permanente en la estructura. Junto con las cargas gravitacionales, están las cargas accidentales, que son las cargas del medio en donde va a estar asentada la estructura, entre estas se encuentran las cargas por viento y las sísmicas.
- Las cargas accidentadas son aquellas que pasan rápido por la estructura, son cargas inerciales causadas por movimientos sísmicos, por fuerza del viento, la cual actúa sobre la estructura produciendo una presión sobre las superficies externas.

Para una estructura en general se deben calcular las cargas de viento que actúan, en cualquier dirección.

Las cargas sísmicas es una liberación súbita de energía en las capas inferiores de la corteza terrestre que produce un movimiento ondulatorio del terreno, traduciéndose en la estructura como una aceleración inducida que contando con su propia masa se convierte en una fuerza inercial sobre la estructura.

1.4.2. Normas Técnicas Para La Fabricación

Las normas son documentos que contienen especificaciones técnicas elaboradas por consenso de partes interesadas; fabricantes, gobierno, usuarios, consumidores, centros de investigación, etc. Las normas están basados en los resultados de la experiencia y la tecnología, estas establecen un criterio objetivo que debe tener un producto, proceso, sistema o servicio ya que permiten definir la seguridad, durabilidad, fiabilidad, mantenimiento e intercambiabilidad.

A continuación se detallan las normas a utilizar en las que se encuentran los requisitos de diseño que deben cumplirse para el desarrollo de la estructura. Los procedimientos aquí indicados se aplican conforme a los criterios generales de diseño.

Norma Ecuatoriana de la Construcción

Con la finalidad de mejorar la calidad de las construcciones y sobre todo, proteger la vida de las personas se desarrollan la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece los parámetros técnicos a emplearse de manera obligatoria en las etapas de planificación, diseño y construcción que deberán ser aplicados en las obras civiles a nivel nacional, con el fin de garantizar estándares mínimos de calidad en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, viabilidad de los supuestos estudios, cálculos y diseños de esas obras.

La NEC establece los parámetros del riesgo y peligro sísmico a nivel nacional; de diseño sismo resistente; evaluación y rehabilitación de estructuras; requerimientos para diseño de estructuras en acero, hormigón armado, mampostería estructural, cimentaciones y geotecnia; incluye condiciones, reglamentos, normas nacionales e internacionales, pautas y criterios particulares para la construcción de edificaciones.

La NEC se divide en 10 capítulos, de los cuales para el presente desarrollo de la estructura de la Nave Industrial, se aplicarán los siguientes capítulos.

- Cap.1: Cargas y Materiales.- Esta norma establece las cargas mínimas permanentes y accidentales a considerar en el cálculo y diseño de estructuras.
- Cap.2: Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistentes.- Este capítulo busca disminuir incertidumbres en cuanto a la definición de los términos que se refieren a los elementos que forman parte de las estructuras, a los parámetros de respuesta sísmica de las mismas e incluso a los términos de definición de la acción sísmica de diseño.
- Cap.5: Estructuras de Acero.- en este capítulo se detalla los requerimientos generales de diseño, tipos de pórticos, conexiones, control de calidad y especificaciones de soldadura.

Estos capítulos comprenden los parámetros y requisitos necesarios, que deben cumplir la estructura para que pueda ser fiable y segura para su fabricación.

Para consulta de la NEC se adjunta sus correspondientes capítulos en los anexos de la presente tesis.

A su vez la Norma Ecuatoriana de la Construcción hace referencia a otras normas internacionales, las que también se pondrán como referencia para el desarrollo del presente proyecto, las cuales son:

AWS D1.1 Código de Soldadura para Estructuras de Acero.

La sociedad americana de soldadura es una organización que se esfuerza por estandarizar los procesos de soldadura en las diferentes estructuras.

Por eso el código cubre los requerimientos para soldar cualquier tipo de estructura de acero al carbono y acero de baja aleación para la construcción.

A continuación se resumen el contenido del código AWS D.1.

Los primeros 8 secciones establecen la normativa que regula la soldadura en la construcción con acero.

En la primera sección contiene la información básica, limitaciones del código, como soldar estructuras de acero que utilizan carbono o aceros de baja aleación que son de 1/8" o espesores con un esfuerzo de fluencia mínimo de 690MPa, se encuentra también lo que son definiciones y la responsabilidad de las partes involucradas en la fabricación con acero.

La segunda sección cubre los requerimientos para el diseño de conexiones soldadas, de miembros tubulares y no tubulares dependiendo de la carga sea esta estática o cíclica a la que el elemento se encuentre sometida.

La precalificación de los procedimientos de soldadura conocidos como WPS se la puede encontrar en la tercera sección. Entre los procedimientos ya calificados y conocidos de manera estándar se encuentra el proceso SMAW, SAW, GMAW y FCAW. Si un procedimiento no se encuentra dentro de los parámetros estándar del código AWS D1.1, se debe proceder a calificar.

La cuarta sección contiene los requisitos para las pruebas de la calificación de los procedimientos de soldadura y la calificación del personal de soldadura.

En los siguientes cuatro capítulos se puede encontrar los requisitos para la fabricación de estructuras de acero que sean ensambladas por procesos aceptados por este código, la inspección de las juntas soldadas basadas en un ensayo no destructivo, los procedimientos para la soldadura de pernos y finalmente se encuentra la sección para el reforzamiento y reparación de estructuras existentes.

ASTM-A588 Grado A. Acero estructural de Alta resistencia y Baja Aleación.

Para la fabricación de la estructura de la nave industrial se utilizará el acero estructural comercial de alta resistencia y baja aleación ASTM A588Gr.A, el cual tiene un punto de fluencia de hasta **50ksi (345MPa)**, con una buena resistencia a la corrosión atmosférica necesaria para el lugar donde se asienta esta estructura, donde aumentar la durabilidad, disminuir el peso y que no demande mantenimiento constante son factores importantes.

TABLA 4

PROPIEDADES MECÁNICAS ASTM A588 [6]

	Para espesores inferiores a 4 in. incl	Para espesores entre 4 in. y 5 in. incl	Para espesores sobre 8 in. incl
Resistencia a la tracción:	70,000 psi [485 MPa]	67,000 psi [460 MPa]	63,000 psi [435 MPa]
Min. Punto de fluencia:	50,000psi [345 MPa]	46,000psi [315 MPa]	42,000psi [290 MPa]
Elongación en 8 ":	18% min	...	...
Elongación en 2 ":	21% min	21% min	21% min

AISC 360 ESPECIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO.

Esta especificación proporciona los requerimientos generales para el diseño y la construcción de edificaciones de acero y otras

estructuras. La intención es proporcionar criterios de diseño para el uso rutinario que se produce en toda la gama de diseño estructural, estos criterios están basados según el requerimiento de la estructura siendo estos; requerimientos para diseño para estabilidad, tracción, compresión, miembros sometidos a flexión, diseño por cortantes o por cargas combinadas.

También esta especificación ayuda en el método para la sujeción entre elementos, proporcionando una sección dedicada al diseño de conexiones.

El propósito fundamental de las disposiciones en esta especificación es la determinación de la resistencia nominal y disponible de los miembros, conexiones y otras componentes de las estructuras de edificaciones de acero. Esta especificación se aplica tanto a edificaciones como a edificios como a otras estructuras, tales como; plantas petroquímicas, de energía eléctrica e aplicaciones industriales, las cuales son diseñadas, fabricadas e instaladas de una manera similar a los edificios.

Esta especificación se tomará como referencia para el diseño de la nave industrial, basándose en los requerimientos para diseño de

edificaciones sometidos a cargas de compresión, flexión, junto con el diseño de conexiones.

1.4.3. Protección Superficial del Material

La corrosión es un factor muy importante para tener en cuenta, por tratarse de un ataque destructivo al metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente, más aún si este medio se encuentra cerca del mar.

Al estar la estructura en un lugar en donde la salinidad representa un alto porcentaje, se debe recurrir a cubrir la estructura con un capa anticorrosiva que pueda permitir alargar su vida de la mejor manera sin que esta se oxide con el tiempo y pierda capacidad funcional y eficiencia.

La galvanización por inmersión en caliente es un recubrimiento sobre el acero unido metalúrgicamente aplicado mediante la inmersión de las piezas y estructuras en un baño de zinc fundido a 450°C. Para evitar la oxidación del material en la presente nave industrial, se utilizará como material anticorrosivo el proceso de GALVANIZACIÓN según norma ASTM A-123.

Para aplicar el proceso anticorrosivo se debe tener en cuenta el siguiente procedimiento y, que el diseño de las piezas deba fabricarse adecuadamente para su galvanización, de manera que pueden ingresar en el crisol o tina de galvanizado y que no queden superficies sin ser expuestas a la inmersión.

Para que las piezas puedan ser galvanizadas, es necesario que tengan una superficie libre de contaminantes, óxidos, cascarillas, aceites y grasas procedentes de fases de fabricación, por eso es recomendable iniciar al proceso para galvanizado en caliente con una limpieza superficial de la pieza, la cual permitirá tener una mejor calidad superficial luego del proceso de galvanizado y, que al final se traducirá en una reducción de costos de mantenimiento.

A continuación se describe el proceso para realizar el galvanizado o inmersión en caliente y, el cual se ilustra en la figura.1.8.

1. Desengrasado: Las piezas se someten a un proceso de eliminación de grasas, aceites, para esto se introduce la pieza en soluciones alcalinas o agentes desengrasantes ácidos. La temperatura del desengrasante ácido varía entre 30 y 40°C, la cual ayuda a la correcta acción de los baños posteriores.

2. Decapado.- El proceso de decapado se utiliza para eliminar impurezas como el óxido y la calamina, que son contaminantes superficiales más corrientes de los productos férreos, obteniendo así una superficie del material químicamente pura. Se realiza con ácido clorhídrico diluido, el cual les proporciona superficies brillantes y lisas.
3. Fluxado.- esta parte el proceso cumple con la función de facilitar la adherencia del zinc al hierro y de mantener limpia la superficie hasta que la pieza se sumerja en el baño de zinc. El fluxado es necesario para disolver y absorber todo tipo de impurezas que hayan podido quedarse en los procesos previos y, para asegurar la adherencia del zinc fundido al hierro o acero.
4. Secado.- esta es la etapa posterior a la inmersión en el baño de galvanizado, de esta manera se minimizan las salpicaduras de zinc que se producen por la evaporación de líquidos que las piezas puedan tener adheridos.
5. Galvanizado.- Es el proceso anticorrosivo por definición y, se lo aplica una vez el acero haya quedado completamente limpio.

Durante la inmersión de los productos en el zinc fundido, se produce la difusión del zinc en la superficie del acero, lo que da lugar a la formación de diferentes capas de aleaciones de zinc-hierro de distinta composición y una capa exterior de zinc puro de gran resistencia a los distintos agentes de corrosión de la atmosfera, el agua o el suelo.

La temperatura normal de galvanizado es de 440 - 450°C, siendo al comienzo la velocidad de reacción muy rápida. El espesor principal de recubrimiento se forma durante este período inicial por lo que suele ser difícil obtener una capa fina de recubrimiento. Posteriormente, la reacción se ralentiza y el espesor del recubrimiento ya no aumenta en gran medida.

6. Post-Tratamiento.- cuando el acero ha sido removido de la tina de galvanizado, este puede recibir un post-tratamiento que es el enfriamiento. Existen dos tipos de enfriamiento, el primero de lo denomina rápido ya que se lo realiza en agua dentro de una cuba, o la segunda que es un enfriamiento lento, controlado, al aire.

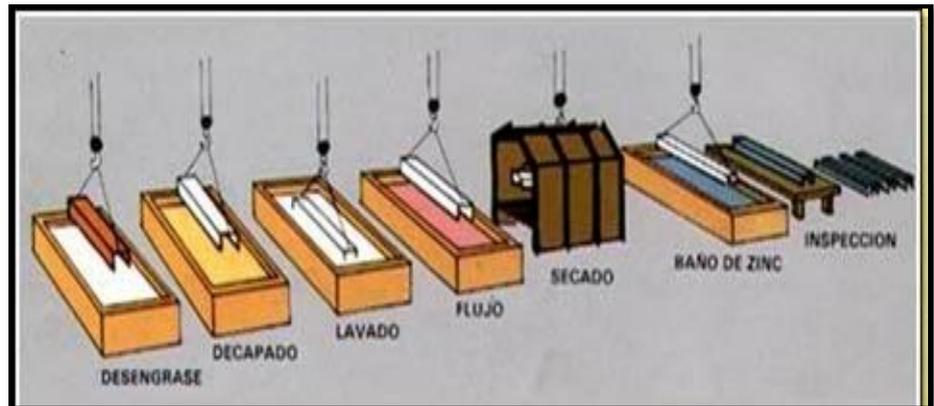


FIGURA 1.8: PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE [7].

1.4.4. Manufacturabilidad

La manufacturabilidad es el proceso de diseñar productos, optimizando todas las funciones de fabricación, montaje, pruebas envío, entrega, servicio y reparación, asegurando el mejor costo, calidad, fiabilidad, cumplimiento normativo, seguridad y, la satisfacción del cliente.

Dentro del marco del diseño de estructuras de acero, se debe tener en cuenta este criterio, con el compromiso de cumplir a fiel medida la correcta implementación de cada uno de ellos en el proceso de fabricación de un producto.

Las cerchas que componen la nave industrial estructuralmente deben cumplir con los criterios de diseño, manteniendo su forma y unidad, resistiendo las cargas resultantes de su uso, de su propio peso y darle a la estructura que va a mantener los equipos y elementos. La cercha que se va a diseñar a nivel de manufactura, debe ser comenzando desde el armado, pasando por el proceso de revestimiento galvánico, y terminando por el montaje; de fácil maniobrabilidad, para que permita a los operarios y armadores no tener problemas durante alguno de estos procesos.

1.4.5. Peso Y Tamaño

La estructura de acero que compone la nave industrial debe ser lo más liviana posible, pero a su vez deben ser de alta resistencia, cumpliendo con las normas de diseño y fabricación. A su vez deben ser de fácil manejo para el transporte, que no supere la capacidad de carga de los transporte de carga, ni carreteras, ni puentes, que sea fácil de maniobrar para el proceso en tina de galvanizado y para el montaje en obra, ya que un modo de ahorro también se lo facilita en los equipos y maquinarias empleadas.

1.4.6. Costos Y Transportación

La mayoría de estructuras de acero tienden a corroerse en el tiempo sin una debida protección superficial, por eso la estructura debe ser recubierta o debidamente preparada para soportar las agresividad del medio en el que estará expuesta, para lo cual se debe utilizar aceros resistentes a la corrosión con su debido recubrimiento que con el tiempo no demande altos costos de mantenimiento.

Estos aceros deben ser de bajos costos de fabricación, en preferencia se pueden aprovechar a los aceros comerciales para una rápida fabricación y transportación de las mismas al sitio de montaje.

La transportación es una de las limitantes al momento de fabricar estructuras muy esbeltas o de gran longitud, ya que los costos de transporte en el medio local varia del peso y longitud que puedan ser transportado, generalmente se tendrá en cuenta que la estructura no tenga una longitud mayor a los 6 metros, ya que están dentro de la capacidad de carga y longitud de transporte de una camión de cama alta y apegándose en toda medida al Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial, Decreto

Ejecutivo 1196, Artículos del 49 al 52, en el que se indica las condiciones para el transporte de sustancias tóxicas y peligrosas y las condiciones en cómo se deben transportar. Estos artículos se los pueden encontrar en los apéndices del presente proyecto.

1.5. Modelado y Análisis por Elementos Finitos.

1.5.1. Modelado Virtual 3d

El modelado virtual en 3D es una técnica computacional que utiliza un software, el cual permite representar y manipular un conjunto de características de una determinada entidad o sistema graficándolo en tres dimensiones y, realizando cálculos matemáticos de entidades geométricas tridimensionales para su graficación.

Para poder expresarnos y comunicarnos de un modo correcto en el ámbito 3D, se debe tener claro los conceptos y asimilar términos como sistemas de coordenadas, vectores, geometría básica, planos, vistas, los cuales se encuentran representados en la figura 1.9.

Sistema de Coordenadas.- Es el sistema de referencia formado por tres ejes coordenados, los cuales al interceptarse en un mismo

punto es llamado origen. Este origen permite definir la posición de cualquier punto en el espacio geométrico respecto con el origen.

Vector.- es un de línea que partiendo desde un punto origen hasta un punto final, indica dirección, modulo y sentido en el espacio geométrico.

Polígono.-es una figura plana y cerrada formada por tres o más segmentos de línea unidos en sus extremos. En la modelación un polígono consiste en cualquier figura plana en el que su primer y último vértice se encuentra perfectamente coincidente.

Planos.- son superficie que se genera por la intersección de una o más líneas rectas o curvas, que me permite tener una visión y representar el elemento en estudio.

Vistas.-son herramientas que permiten trabajar en cualquier programa de modelación 3D, ya que muestra el entorno tridimensional en diferentes planos, conocidos generalmente como vista plana, vista frontal, vista latera y vista en sección.

Croquis.- es un medio de representación gráfica en el que se plasma una idea. Los croquis en los programas actuales permiten interactuar con el dibujo de una manera más sencilla, realizar

cambios que luego se transmiten a todos los demás elementos relacionados con la pieza en cambio, evitando de esta manera corregir cada uno de ellos.

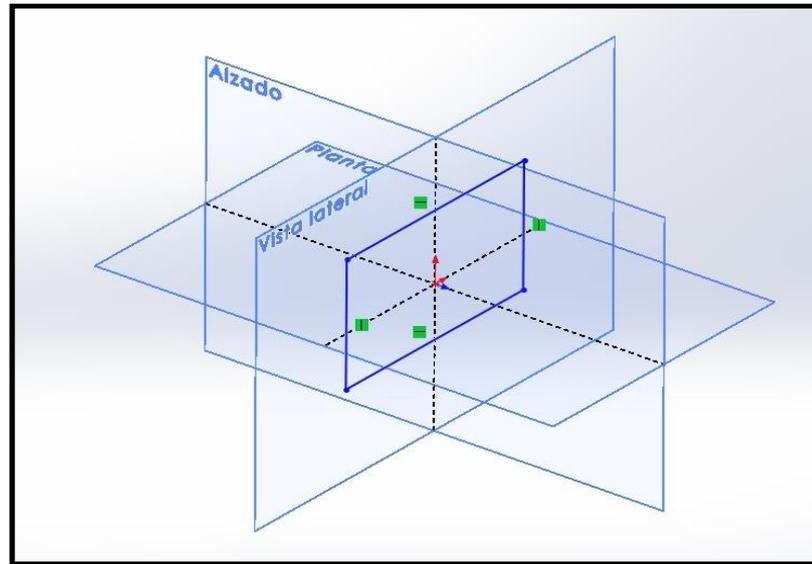


FIGURA 1.9: PLANOS, VISTAS, CROQUIS, POLÍGONO [8].

En el presente proyecto estas herramientas son las que permiten que el diseño de forma de la estructura de acero, se pueda representar por medio de un modelo virtual tridimensional muy similar al modelo real de la estructura a ser instalada en obra, en la que se puede apreciar sus dimensiones y posibles puntos muertos que en un modelo 2D no son fáciles de apreciar, permitiendo corregir cualquier error antes del montaje.

1.5.2. Modelado Utilizando el Programa de Solidworks®.

SolidWorks es un software de diseño CAD en 3D asistido por computadora para modelado mecánico que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows®, intuitivo y fácil de manejar. El programa es un modelador de sólidos paramétrico que permite representar la idea del diseñador al sistema CAD, construyendo virtualmente la pieza o conjunto.

Dentro de las principales características que hace SolidWorks® una herramienta fácil uso y precisa, es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones, además de utilizar un árbol de construcción del elemento denominado FEATURE MANAGER que facilita la modificación rápida de operaciones y de croquis sin tener que rehacer los diseños y el resto de sus documentos asociados al mismo.

La plataforma gráfica de SolidWorks® contiene herramienta de diseño de Pieza, Ensamblaje y Dibujo. SolidWorks® incluye herramientas de productividad, de Gestión de Proyectos, de Presentación de Análisis y Simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo en la actualidad.

Ventajas del Modelado Paramétrico

SolidWorks® como software contiene ventajas que ayudan al diseñador a:

- Visualizar de manera fácil, detalles que los diseños en 2D no se aprecian con gran facilidad.
- Simulador de mecanizado rápido y potente.
- Regeneración automática de los recorridos cuando se realizan cambios.
- Une y junta superficies para crear una única superficie.
- Verificación de geometrías ante posibles errores, antes de realizar la operación.

Para el presente proyecto se utilizará el modelado de la estructura de la Nave Industrial, columnas, vigas de cubierta, cercha para soporte de evaporadores, y rigidizadores utilizando SolidWorks® por su fácil comprensión y utilización de sus componentes que permiten darle una solución tridimensional completa, en el que se visualiza la estructura de manera virtual, permitiendo realizar modificaciones que ayuden al diseño de manera rápida y sencilla, para luego importarla al software ANSYS® y, realizar el respectivo análisis aplicando el método de elementos finitos.

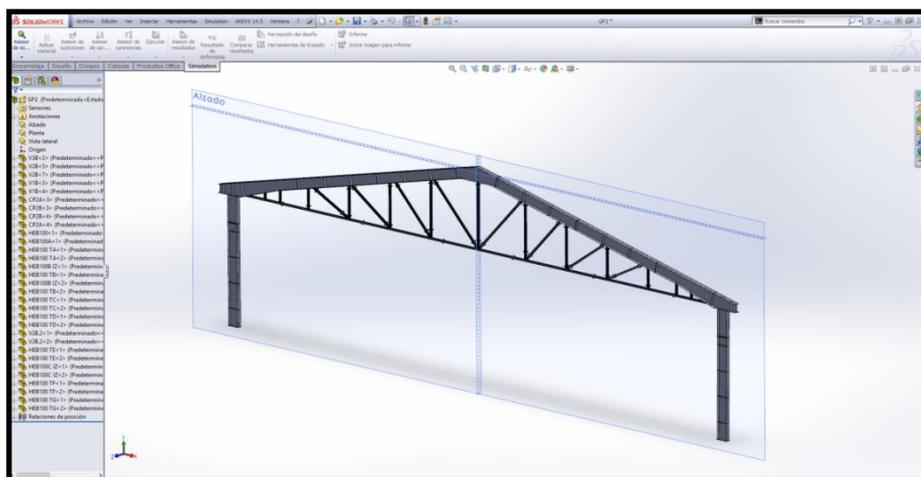


FIGURA 1.10: GESTOR DE DISEÑO SOLIDWORKS® [8].

1.5.3. Análisis Por Elementos Finitos En ANSYS®.

El método de elementos finitos, es un procedimiento basado en cálculos numéricos pensado para ser aplicado por medio de técnicas computacionales, es un método muy versátil, y comúnmente utilizado para analizar rápidamente condiciones de diseño reales, permite obtener soluciones aproximadas de problemas para poder proporcionar productos de mayor calidad a menor coste, para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o un equipo.

La teoría de elasticidad establece para un problema estructural las relaciones matemáticas exactas en forma diferencial, y plantea su

integración cerrando el problema con condiciones iniciales y de contorno para obtener las funciones que definen las variables representativas del comportamiento de la estructura.

El método realiza una simplificación de las ecuaciones, puesto que su forma diferencial se sustituye por un conjunto discreto de ecuaciones y de sus respectivas condiciones de contorno para su posterior resolución.

Formulación General.

La discretización del problema en el caso de un medio continuo se lleva a cabo mediante un proceso de modelización para convertirlo en un número finito de elementos ensamblados entre sí en puntos llamados nodos, el planteamiento de las ecuaciones de desplazamiento para dichos nodos y la imposición de las condiciones de contorno apropiadas en términos de compatibilidad de desplazamiento nodal.

Según este planteamiento, los errores se deberán principalmente a la aproximación del dominio, la aproximación del comportamiento en el interior de cada elemento y la precisión aritmética usada en la resolución del sistema de ecuaciones mediante métodos numéricos.

Fundamentos de la Modelización de Elementos Finitos.

El objetivo del análisis por medio del método de elementos finitos de la Estructura de la Nave Industrial, es determinar de forma precisa la respuesta de un sistema modelado con una cantidad finita de elementos y sujeto a unas cargas determinadas. En la generación de un modelo por elementos finitos siempre se tiene presente que se está desarrollando un modelo el cual es una idealización de un sistema físico real, en otros términos, el estudio de las columnas, vigas de cubierta y cerchas que conforman el pórtico principal

Cuando la formulación analítica de un problema es difícil de desarrollar, el método de elementos finitos provee uno de los más fiables métodos para atacar el problema, ya que por su parametrización, permite dividir la estructura en pequeñas regiones en las cuales se puede observar el modo de actuar de las cargas aplicadas.

En el presente proyecto se aplicará el método de elementos finitos utilizando el software ANSYS®, importando el modelo desde SolidWorks® con el fin de analizar una estructura, sometida a condiciones mecánicas de trabajo.

ANSYS® Como Software de Elementos Finitos.

ANSYS® es sinónimo de simulación por elementos finitos, es un software utilizado para simular interacciones en todas las disciplinas de la física, estructuras, vibración, fluidos, dinámica, transferencia de calor y electromagnetismo que son muy frecuentes en ingeniería.

El propósito de ANSYS® es recrear matemáticamente el comportamiento de un sistema o componente de ingeniería, el cual debe ser un modelo matemático preciso.

Este modelo cuenta con todos los nodos, elementos, propiedades de materiales, constantes reales, condiciones de contorno, y otras características que se utilizan para representar el sistema físico.

Para hacer un poco más intuitivo ANSYS® cuenta con una plataforma denominada WORKBENCH™, la cual se encuentra organizada en dos áreas principales: TOOLBOX y PROJECT SCHEMATIC, como se lo ve en la figura 1.11, que son las herramientas principales para el estudio de estructuras, permitiendo realizar la importación de geometrías y mallarlas para determinar variables como esfuerzo, deformación, factor de seguridad.

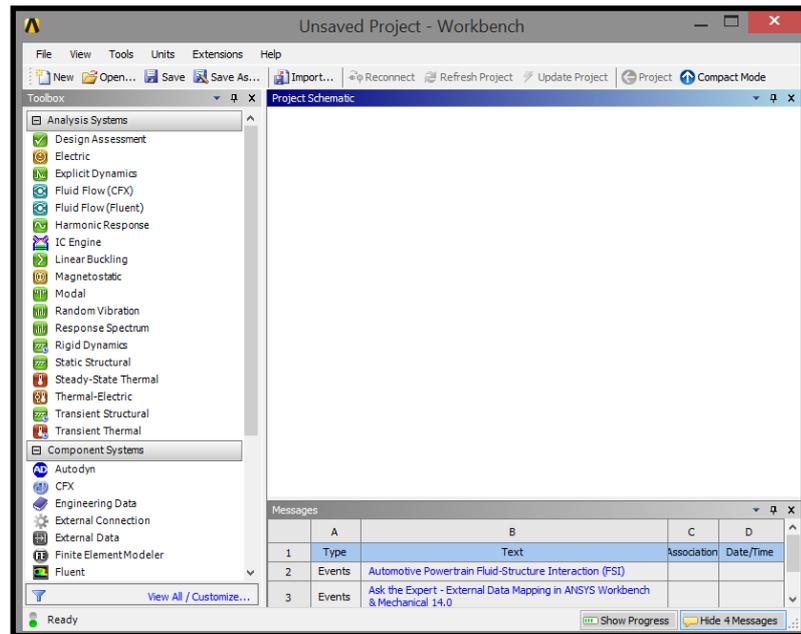
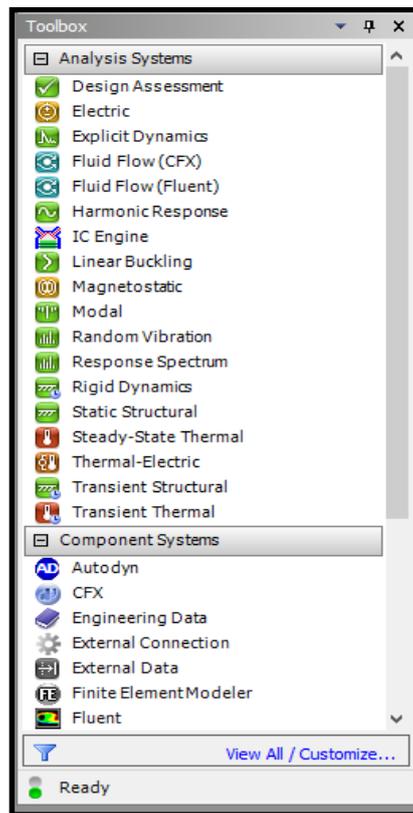


FIGURA 1.11: PLATAFORMA ANSYS WORKBENCH™ [9].

En el TOOLBOX presenta la información para elegir el tipo de simulación que se requiere para el proyecto, que para la Nave Industrial se utilizará STATIC STRUCTURAL, por ser una estructura estática sometida a cargas externas como; cargas vivas, cargas muertas, cargas por viento, y cargas sísmicas.



**FIGURA 1.12: TOOLBOX - HERRAMIENTAS DEL PROGRAMA
WORKBENCH [9].**

En el Project Schematic es el espacio de trabajo en el que se desarrolla el proyecto, en este se puede obtener una representación visual de los objetos y la relación que se tienen entre sí.

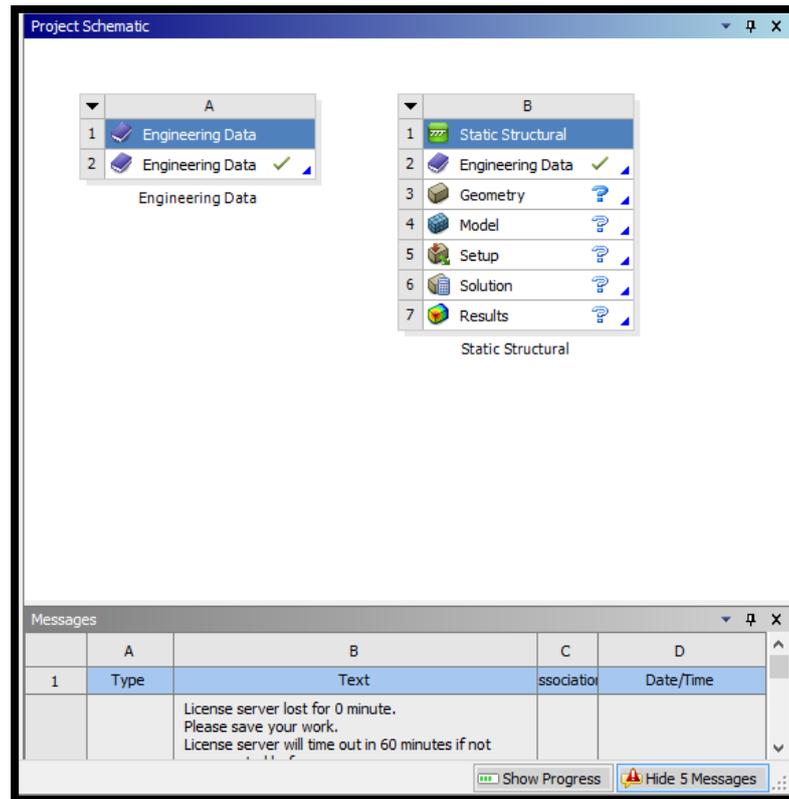


FIGURA: 1.13: PROJECT SCHEMATIC [9]

En esta herramienta es donde se procede a preparar el modelo para su análisis, escogiendo el tipo de mallada que se aplica a la estructura, el número de nodos, la calidad de la malla, la aplicación de las fuerzas externas, puntos fijos, y se determinan las variables requeridas por el diseñador; que para la Nave Industrial serán; Esfuerzo de Von Mises, Deformación Direccional, Factor de Seguridad, los cuales luego de analizarse, se determina si la estructura cumple con los requisitos de diseño necesario, o si tiene que ser sometida a cambios o mejoras en su estructura, buscando

los lugares donde se encuentren mayor concentración de esfuerzos, rigidizando la estructura, hasta lograr el diseño final requerido.

El poder realizar estos cambios, son una de las ventajas del modelado y análisis de elementos finitos, ya que los cambios se los realiza sin aplicar ningún ensayo destructivo, ni realizando estudios a escala real.

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA NAVE INDUSTRIAL Y SUS COMPONENTES.

2.1. Análisis Estructural.

Para el estudio y análisis de la estructura que conforma la nave industrial se determinarán los requisitos necesarios, que son las cargas que van a actuar de manera casual y permanente, las cuales serán soportadas por la estructura de la Nave Industrial.

En el presente capítulo se procederá a realizar el análisis de los conjuntos principales, vigas de cubierta, columnas, cerchas; que conforman la nave industrial, determinando las fuerzas internas, los diagramas de momentos y, se seleccionará los perfiles estructurales que darán forma a la estructura de la nave industrial.

En los antecedentes del presente proyecto, se especifica la función que debe cumplir la nave, por lo cual se toma estas especificaciones como base para el diseño de forma, junto con las cargas que van a soportar, por lo que para el diseño funcional se tiene que diferenciar que tipos de cargas son las que actúan en la estructura.

2.1.1. Determinación de las Cargas Críticas.

Para poder identificar los perfiles estructurales a utilizar en el diseño de forma de la nave industrial, es necesario conocer los valores de los esfuerzos que serán soportados por cada elemento en la estructura.

Dentro de las cargas críticas se tiene:

CARGAS MUERTAS.

La NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) establece que las cargas muertas son cargas permanentes, dadas por los pesos propios de los elementos estructurales, como pueden ser: columnas, vigas, instalaciones, máquinas y, todo equipo que va a trabajar de manera integrada y permanente a la estructura.

Las cargas muertas que actúan sobre los elementos estructurales de la nave industrial se lo determinará para la proyección de un área de influencia de **234m²**, determinado a partir de que cada pórtico estará separado 6m, tomando en consideración de que los perfiles laminados que sirven para soportar el techado o steel panel se fabrican en tramos de 6m y el ancho del galpón será no mayor de 39m, como se determinó las dimensiones generales del galpón en el capítulo 1 considerado para almacenar 1000 Toneladas de atún, por tanto se tienen las siguientes cargas.

- Sobre la cubierta de la nave industrial: para cubrir el techo se utilizará STEEL PANEL, el cual se colocará sobre soportes de viga separados 1100mm entre ellos, este panel cuenta con las siguientes dimensiones y características.

-Panel Techo KUBIMIL, KUBIEC

-Peso: 17.24 kg/m².

-Dimensiones: 1030 x 6000 x 0.35 mm

-Carga sobre el área de influencia de 234m² = 19.5kgf/m



FIGURA 2.1: STEEL PANEL KUBIMIL [10].

- Para soportar el techado STEEL PANEL se utilizará un perfil comercial IPE100, por ser de fácil instalación y por tener una inercia en Y que permite soportar la flexión, en comparación con otro perfil como las correas G, canales C, las cuales por tener una menor inercia tendrán a flexionarse más en el centro del claro, por tanto las principales características se tiene;
 - IPE 100; L=6m
 - Peso: 8.10kg/m
 - Cantidad: 28 Unidades por pórtico, separadas 1100mm.
 - Carga sobre el área proyectada de 234m²

$$8,10 \frac{kg}{m} * 6m * 28 = 1360.8 kgf$$

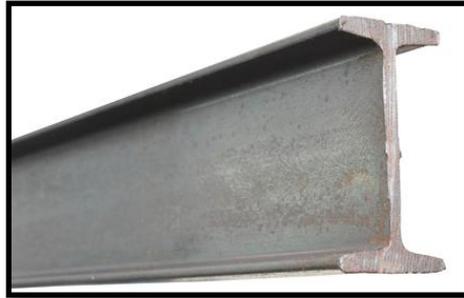


FIGURA 2.2: IPE100 [11].

- Paneles de Poliuretano: Corresponde a la pared superior que conforman la cámara frigorífica, en los antecedentes del presente proyecto, se describe brevemente este elemento.
 - Panel tipo Sándwich: Isopur
 - Peso: 12.2 kg/m².
 - Área a Cubrir: 234 m².
 - Carga en área a cubrir: $=6\text{m} * 12.2 \text{ kg/m}^2 = 73.2\text{kgf/m}$
- Evaporadores: Para el siguiente diseño la distribución de los evaporadores dentro de la cámara frigorífica determina que cada cercha soporta un evaporador, por tanto se tiene:
 - Peso Evaporador: 360kgf
- Peso propio de la estructura: este es un valor que depende de las cargas permanentes, de las cargas vivas y por ende del

diseño final de la estructura. Para un análisis inicial se tomará como referencia un valor de 15kg/m^2 , que para el área de la sección nombrada previamente corresponde al siguiente peso:

-Peso Total: $W = 15\text{kg/m}^2 * 6\text{m} = 90\text{kgf/m}$.

Luego de determinar las cargas reales que va a soportar la estructura se volverá a recalcular con el peso real de la misma.

CARGAS VIVAS.

Se consideran cargas vivas a las cargas debidas a la ocupación normal de la estructura y que no son permanentes en ella. Estas cargas están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición y otras.

Para el diseño de la nave industrial se va a considerar la siguiente carga viva.

- **Peso de Personas:** se considera esta carga, ya que al momento de instalar la estructura, se cuenta con personal que estará trabajando en la misma y la cual corresponde a una carga necesaria a tener en cuenta para el diseño.

- Existen algunos trabajos de investigación en donde se analizó y diseño una serie de cubiertas metálicas considerando las condiciones normales de cargas, basadas en los procedimientos constructivos de montaje y el número de trabajadores por cuadrilla normalmente empleado. Para lo cual se recomienda el siguiente.

-Peso del personal de instalación: 50kg/m².

-Peso en área de influencia: 300kgf/m.

CARGAS POR VIENTO

La nave industrial se encontrará edificada en un parque industrial, por lo que no tendrá cercanía, ni salientes al mar. La nave industrial en su parte más alta, alcanza una altura de 13m aproximadamente. Para determinar la velocidad de diseño por viento, se procederá según la NEC párrafo 1.1.5 Cargas por viento.

- Velocidad promedio: 21m/s
- Coeficiente de corrección: esta depende de los siguientes parámetros.
 - Altura de la edificación: 13m
 - Edificación con obstrucción baja, por encontrarse en una zona suburbanas con edificaciones de baja altura: $\sigma=0.9$

- Velocidad corregida del viento: V_b .

$$V_b = V * \sigma$$

$$V_b = 21m/s * 0.90$$

$$V_b = \mathbf{18.9 m/s}$$

La estructura estará sometida a una presión en la fachada, para lo cual para determinar la resistencia de la estructura frente a la acción del viento, se determina la presión por medio de la siguiente expresión:

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

donde;

-P: presión del viento expresada en N/m².

- ρ : densidad del aire expresada en kg/m³

- C_e : Coeficiente de entorno/altura, +0.8(ver tabla 2.1)

- C_f : coeficiente de forma =+0.3(ver tabla 2.2)

TABLA 5
COEFICIENTE ENTORNO/ALTURA [12]

Construcción	C_e
Elementos situados en patios interiores	0,3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas	0,8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas	1,3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1,5

TABLA 6
COEFICIENTE DE FORMA [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 un 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

$$P = \frac{1}{2} * 1.25 \text{ Kg/m}^3 * (18.9 \text{ m/s})^2 * 0.8 * 0.3$$

$$P = 53.58 \text{ N/m}^2$$

CARGAS POR SISMO

Se considera como carga sísmica al efecto producido por los movimientos sísmicos sobre la estructura de una edificación. Los movimientos del terreno le transmiten a las edificaciones aceleraciones, que producen fuerzas horizontales, según la masa y su distribución de la estructura. La fuerza total de inercia se considera igual al denominado cortante basal, el cual es un porcentaje total de la construcción.

Para el cálculo del cortante basal de diseño se sigue el procedimiento como lo determina la NEC Cap.2 Peligro Sísmico, inciso 2.7.2.1, para lo cual se tiene la siguiente ecuación.

$$V = \frac{I * S_a}{R * \phi_P * \phi_E} * W_t$$

dónde.

-V: Cortante basal (N).

-I: Factor de importancia definido.

-S_a: aceleración espectral correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño.

-R: Factor de reducción de respuesta estructural.

- ϕ_P, ϕ_E : Factores de configuración estructural en planta y en elevación.

-W_t: Carga reactiva (N)

TABLA 7
VALORES CÁLCULO CORTANTE BASAL [18].

VALORES CORTANTE BASAL.	
PARÁMETROS	VALOR
I	1
S _a	1.062
R	6
ϕ _P , ϕ _E	1
W _t	184.3x10 ³ kgf

$$V = \frac{1 * 1.062}{6 * 1 * 1} * 184.3x10^3 \text{kgf} * \frac{9.81 \text{N}}{1 \text{kgf}}$$

$$V = 320013 \text{N}$$

Determinada las fuerzas que actúan en el pórtico de la nave industrial, se llega finalmente a las cargas distribuidas linealmente como se muestra en la figura 2.3.

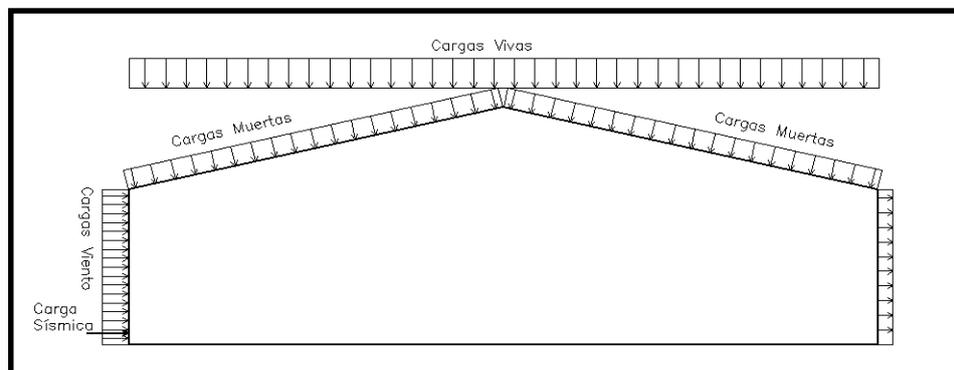


FIGURA 2.3: CARGAS EN ESTRUCTURA DE NAVE INDUSTRIAL - PÓRTICO PRINCIPAL [18].

Las cargas vivas como se muestra en la figura son debidas al uso del personal que instala la estructura, junto con los equipos que no son permanentes, o que son de cambio en un determinado período de trabajo, estas cargas son las que actúan directamente sobre la viga de cubierta.

Las cargas muertas son debidas al propio peso de la estructura, conformada por viga de cubierta, cercha soporte evaporadores, columnas y estructura que da forma a la cámara frigorífica, estas actúan directamente en cada elemento estructural.

Las cargas de viento y sísmicas son consideradas como cargas vivas, ya que no son perennes en la estructura, pero se las estudia por separado por su aplicación estructural tanto en la cubierta como en las columnas, que son los elementos estructurales en las que son aplicadas.

2.1.2. Diseño de Forma de Nave Industrial

ESTRUCTURA PRINCIPAL DE LA NAVE INDUSTRIAL

La nave industrial es una estructura metálica formada principalmente por columnas y vigas de cubierta, a la cual en

conjunto se lo denomina pórtico como se ve representada en la figura 2.4, la unión de varios pórticos forman la Nave Industrial.

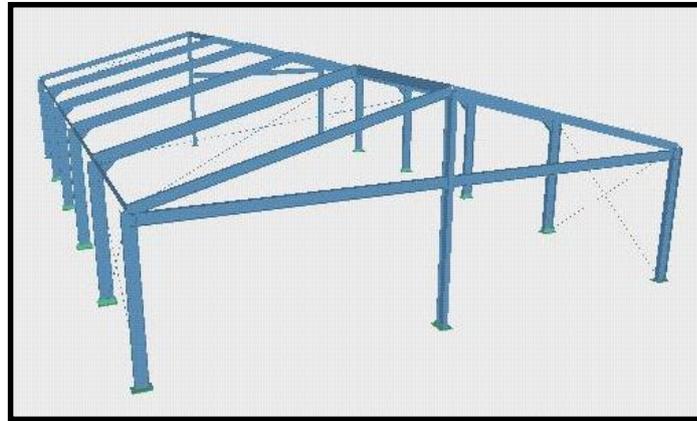


FIGURA 2.4: REPRESENTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PÓRTICOS [13].

Para el diseño de forma de la Nave Industrial se tomará como base el área donde se puede edificar la estructura, dada anteriormente en el capítulo 1, correspondiente a 78 x 39 metros, teniendo en cuenta que por lado de la estructura se cuenta con 0.5m para el soporte canalón, y la cubierta se instala el STEEL PANEL que queda en voladizo, siendo de esta manera las dimensiones finales de la Nave Industrial de 80 x 40 metros.

Nave Industrial: Cámara Frigorífica.

La estructura de esta Nave Industrial la cual se deberá distribuir en un área de 78 x 39 metros estará formada por las columnas, viga para cubierta, y cercha para soporte de evaporadores las cuales servirán para contener las paredes que darán forma a la cámara frigorífica junto con los evaporadores, esta por ser de gran luz, tiene que ser lo suficientemente rígida para que pueda soportar los equipos mencionados, por lo que para el diseño de forma se tomará la estructura de un pórtico de vigas de alma llena como se muestra en la figura 2.5 y se la rigidizará por medio de una cercha triangular tipo Pratt que permitirá sostener las paredes de poliuretano que conforman la cámara frigorífica y darle un mayor soporte a la estructura.

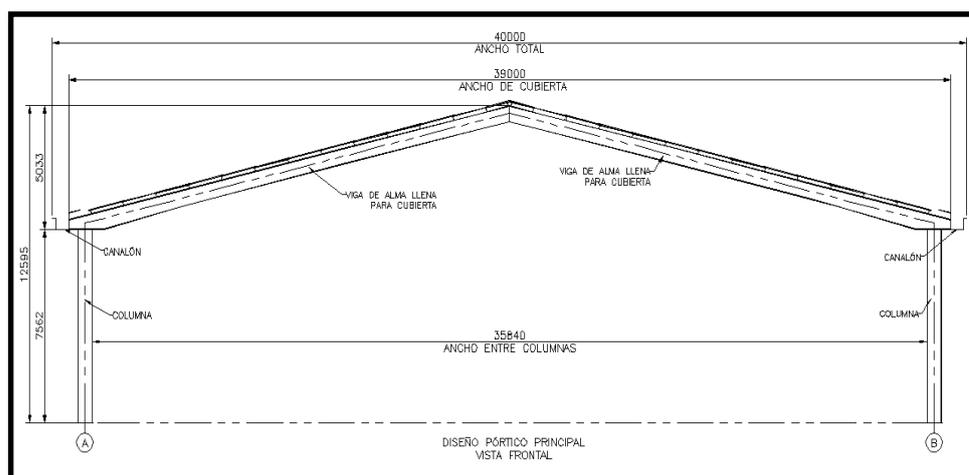


FIGURA 2.5: DISEÑO DE FORMA: PÓRTICO PRINCIPAL VIGA DE ALMA LLENA-COLUMNAS [18].

Para cubrir los 78m de largo se dispondrá a distribuir 14 pórticos con la misma configuración de viga de alma llena de cubierta, y columnas, a una distancia de 6 metros cada una, como se muestra en la figura 2.6.

En voladizo, fuera del perímetro de la estructura de la Nave industrial se deja 0.5m por cada lado para colocar el canalón con su soporte, las bajantes y steel panel.

CERCHA PARA SOPORTE EVAPORADORES

Como se mencionó anteriormente, se utilizará un arreglo tipo Pratt, para rigidizar la estructura principal formada de columna, vigas de cubierta de alma llena. Este arreglo de cercha es utilizada para estructuras de medianas y grandes luces, y permite disminuir la deflexión en las cubiertas, en el centro del claro rigidizándola y permitiendo soportar cargas mayores.

La forma de este arreglo es tal como se muestra en la figura 2.7; en la viga Pratt las diagonales trabajan a tracción y los montantes trabajan a compresión, cuya condición fundamental es la de ser geoméricamente indeformable por tener un arreglo triangular.

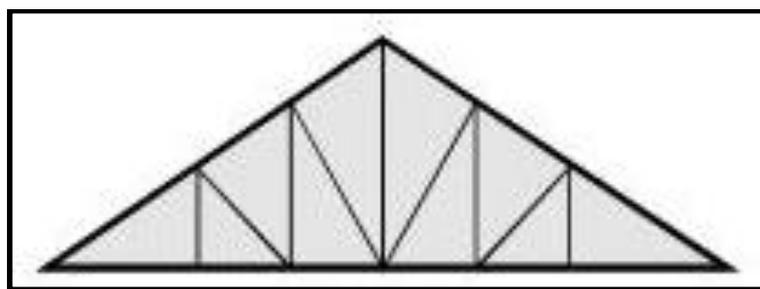


FIGURA 2.7: CERCHA VIGA TIPO PRATT [14].

Finalmente, el pórtico principal de la Nave Industrial tendrá el diseño mixto de viga de cubierta de alma llena y armadura tipo Pratt de

forma tal y como se muestra en la figura 2.8, el cual me permitirá a su vez soportar las paredes que dan forma a la cámara frigorífica.

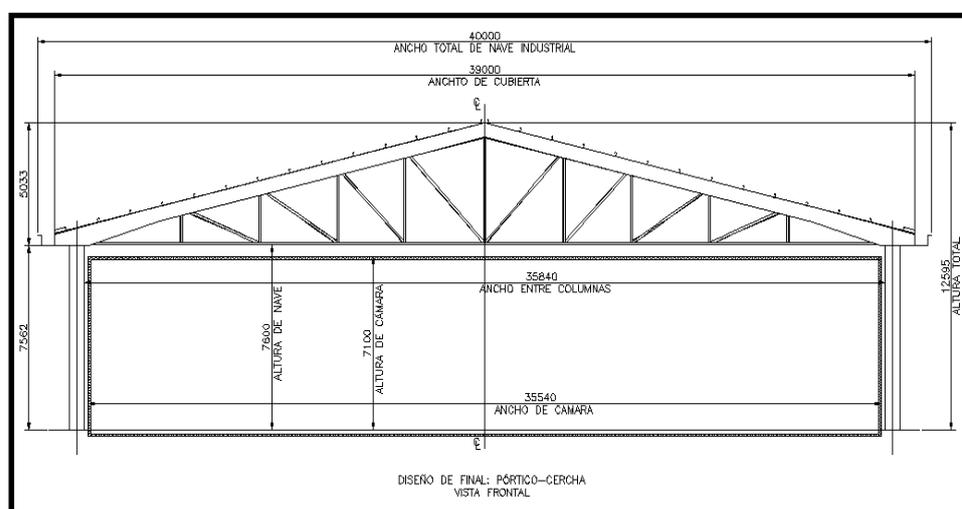


FIGURA 2.8: DISEÑO DE FORMA FINAL MIXTA: PÓRTICO PRINCIPAL DE ALAMA LLENA - ARMADURA [18].

2.2. Selección De Perfiles Estructurales

2.2.1. Diseño De La Viga Principal Para Cubierta

Viga Principal Para Cubierta.

Para la selección del perfil a utilizar en la cubierta, se debe considerar todas las cargas que va a soportar la estructura del techo como se ve en la figura 2.9, la pendiente del techo es del 23%, y se describen las cargas que se encuentran repartidas en la misma.

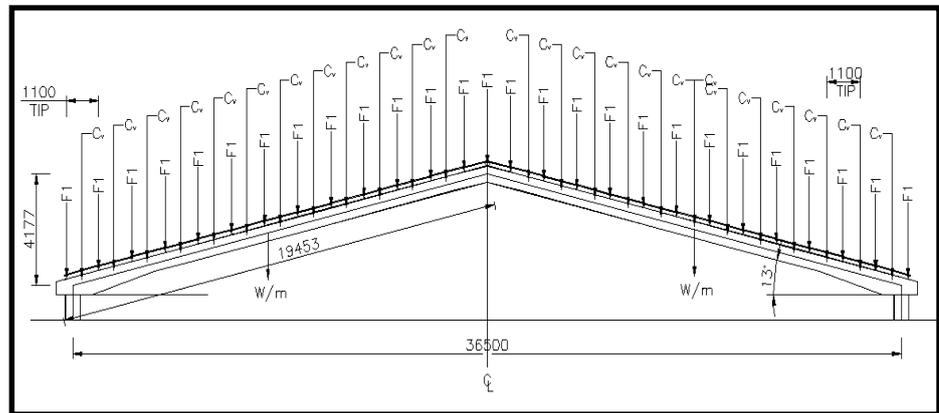


FIGURA 2.9: REPRESENTACIÓN DE CARGAS EN CUBIERTA VIGA DE ALMA LLENA [18].

Las cargas que van a soportar la viga para cubierta son las siguientes, las cuales ya fueron definidas previamente:

- F1: Carga debida a las IPE100 + Steel Panel, esta es considerada como una carga distribuida para la viga por encontrarse separada cada 1.1m y combinarse con la carga viva en una longitud de 39 metros.

$$F_1 = C_{IPE100} + C_{SteelPanel}$$

$$F_1 = (34.89 + 19.5) \frac{kgf}{m} * \frac{9.81 N}{1kgf}$$

$$F_1 = 533.57 N/m$$

- Cv: Cargas Vivas, provocadas por el peso del personal que se encarga de la instalación de la estructura, se las considera como una carga distribuida.

$$C_v = 300 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}}$$

$$C_v = 2943 \text{ N/m}$$

- W: cargas muertas, esta es debida al peso propio de la estructura, dada de la siguiente manera;

$$W = 90 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}}$$

$$W = 882.9 \text{ N/m}$$

Por ser esta una estructura simétrica, se realizará el cálculo para media sección de viga de cubierta, tal como se representan sus cargas en la figura 2.10 ubicadas en un sistema coordenada local.

Las carga F_1 en comparación con la carga viva C_v , es pequeña, por tal motivo se considera a la suma de las dos como una carga distribuida F que actúa sobre la cubierta de la Nave Industrial.

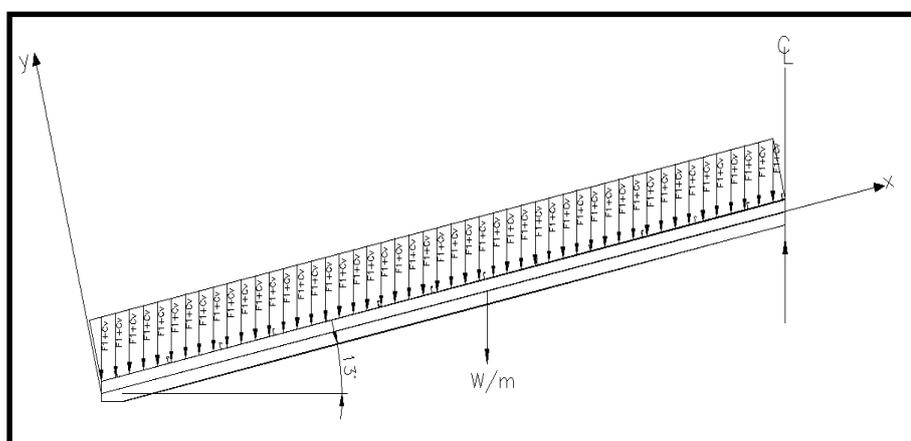


FIGURA 2.10: CARGAS SOBRE VIGA DE CUBIERTA [18].

En la figura 2.11 se representan las cargas de la Viga de Cubierta en el Diagrama de Cuerpo Libre, para determinar las componentes de las Fuerzas.

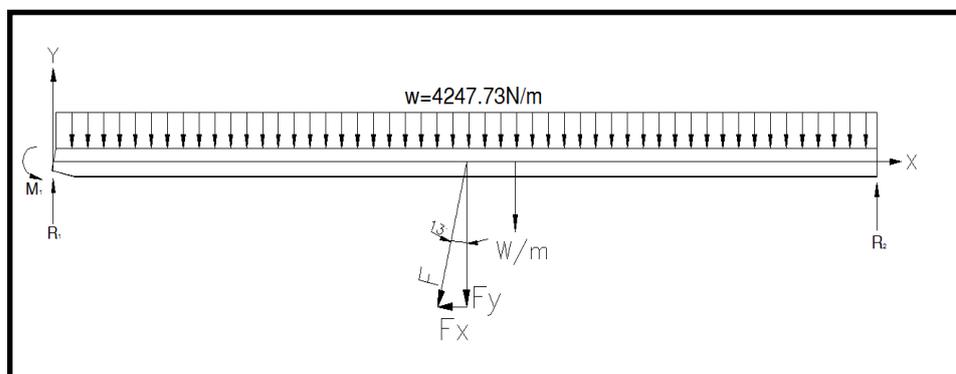


FIGURA 2.11: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE VIGA DE CUBIERTA [18].

Se ha designado a la fuerza “**F**” como la suma de la Carga Viva, F_1 fuerza debida a Steel Panel y IPE, y W el Peso de la propia Viga. Las componentes “**x**” y “**y**” de esta fuerza son las que actuarán principalmente en la viga, y las que permitirán determinar el perfil a utilizar.

$$F = C_v + F_1 + W$$

$$F = (2943 + 533.57 + 882.9) \text{ N/m}$$

$$F = 4359.47 \text{ N/m}$$

A continuación se analizará la mitad de la sección de la Viga de Cubierta $L=19,5\text{m}$ por ser esta una estructura simétrica, por tanto

las componentes principales de la fuerza que actúan sobre la viga de cubierta quedan dadas de la siguiente manera.

$$F_y = F * \cos 13$$

$$F_y = 4359.47 * \cos 13$$

$$F_y = 4247.73 \text{ N/m}$$

$$F_x = F * \sin 13$$

$$F_x = 4359.47 * \sin 13$$

$$F_x = 980.66 \text{ N/m}$$

Considerando que las ecuaciones de la viga se encuentran ya desarrolladas para este tipo de estudios con carga distribuida, por tanto se tiene la carga distribuida;

$$w_y = 4247.73 \text{ N/m}$$

que es la carga que actúa directamente en la dirección "y" de la viga según ejes coordenado local, como se muestra en la figura 2.12

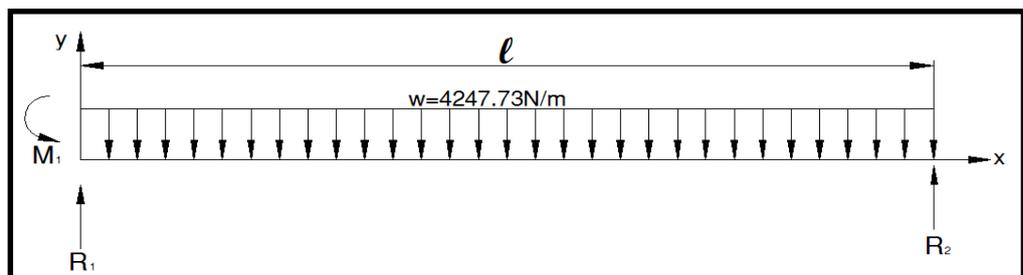


FIGURA 2.12: REACCIONES Y CARGA DISTRIBUIDA SOBRE VIGA DE CUBIERTA [18].

Al analizar la sección de la viga en estudio, esta se asemeja a una viga con una carga distribuida, rígida en un extremo y con una reacción en el extremo opuesto, para lo cual las ecuaciones de la viga quedan de la siguiente manera:

Reacción en extremo rígida:

$$R_1 = w_y * l$$

$$R_1 = 4247.73 \text{ N/m} * 19.5 \text{ m}$$

$$R_1 = \mathbf{82830.74 \text{ N}}$$

$$R_2 = \frac{3 * w_y * l}{8}$$

$$R_2 = \frac{3 * 4247.73 \text{ N/m} * 19.5 \text{ m}}{8}$$

$$R_2 = \mathbf{31061.52 \text{ N}}$$

Momento Flexionante en Extremo Rígido:

$$M_1 = \frac{w_y * l^2}{2}$$

$$M_1 = \frac{4247.73 * 19.5^2}{2}$$

$$M_1 = \mathbf{807.6 \text{ kN.m}}$$

Para determinar el perfil a utilizar, se aplicará el Teorema de Diseño de Von Mises, utilizado para materiales dúctiles el cual predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total

excede la energía de deformación correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material.

Se aplicará a su vez este método por ser en común su aplicación con el Teorema aplicado en el método de Elementos Finitos al utilizar ANSYS®.

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Donde $S_y=345$ MPa es el Esfuerzo de Fluencia del Material ASTM A588 Gr.A, que se utilizará para la fabricación de la estructura y "n" es el factor de seguridad para el mismo material en servicio. La AISC-ASD sugiere un factor de seguridad para Estructuras de Pórticos de $n=1.65$, por tanto el Esfuerzo permisible debe ser:

$$\sigma' = \frac{345 \text{ MPa}}{1.65} = 209.09 \text{ MPa}$$

Una vez conocido el esfuerzo permisible y el momento flexionante, se determina el Modulo de Resistencia de la Sección "S", que es la relación entre I/c , el cual permite seleccionar por medio de tablas el perfil comercial requerido para este trabajo.

$$S = \frac{M_1}{\sigma'}$$

$$S = \frac{807.6 \text{ kN} \cdot \text{m}}{209.09 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$S = 3.862 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S = 3862.45 \text{ cm}^3$$

Tomando como referencia las tablas de perfiles comerciales europeos, se buscará un perfil laminado por medio de su módulo de sección S que sea igual o mayor al calculado, para que cumpla con los requerimientos de diseño.

Por facilidad en su fabricación, montaje y sus características mecánicas como buen comportamiento ante la flexión, y por constituir una solución económica para el trabajo, se utilizará un perfil comercial "**IPE**", con las siguientes características como se muestra en la tabla 2.4.

TABLA 8

PROPIEDADES DE PERFILES EUROPEOS [15].

DESCRIPCIÓN DE PERFIL SELECCIONADO							
PERFIL	h (cm)	b (cm)	e (cm)	e1 (cm)	I_{x-x} (cm ⁴)	S_x (cm ³)	A (cm ²)
IPE 600	60	21,5	2,15	3,24	139000	4630	254

Conociendo el perfil de la viga que se utilizará para la sección de la cubierta, se puede calcular verdaderamente cual es el peso real de

la misma y, realizar un reajuste en las cargas que va a soportar la sección, para lo cual las cargas quedan de la siguiente manera:

Fuerza debida al peso propio de la viga:

$$W' = A * m * 9.81 \text{ N/kgf}$$

$$W' = 0.0254 \text{ m}^2 * 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{N}}{\text{kgf}}$$

$$\mathbf{W' = 1956.02 \text{ N/m}}$$

Se calcula nuevamente las cargas en Viga de Cubierta con el reajuste del peso de la viga de cubierta ya conocida:

$$F' = C_v + F_1 + W'$$

$$F' = (2943 + 533.5 + 1956.02) \text{ N/m}$$

$$\mathbf{F' = 5432.52 \text{ N/m}}$$

La carga distribuida determinada a partir del reajuste de las fuerzas, queda de la siguiente manera;

$$\mathbf{w' = 5432.52 \text{ N/m}}$$

y sus componentes principales;

$$F'_y = F' * \cos 13$$

$$F'_y = 5432.52 * \cos 13$$

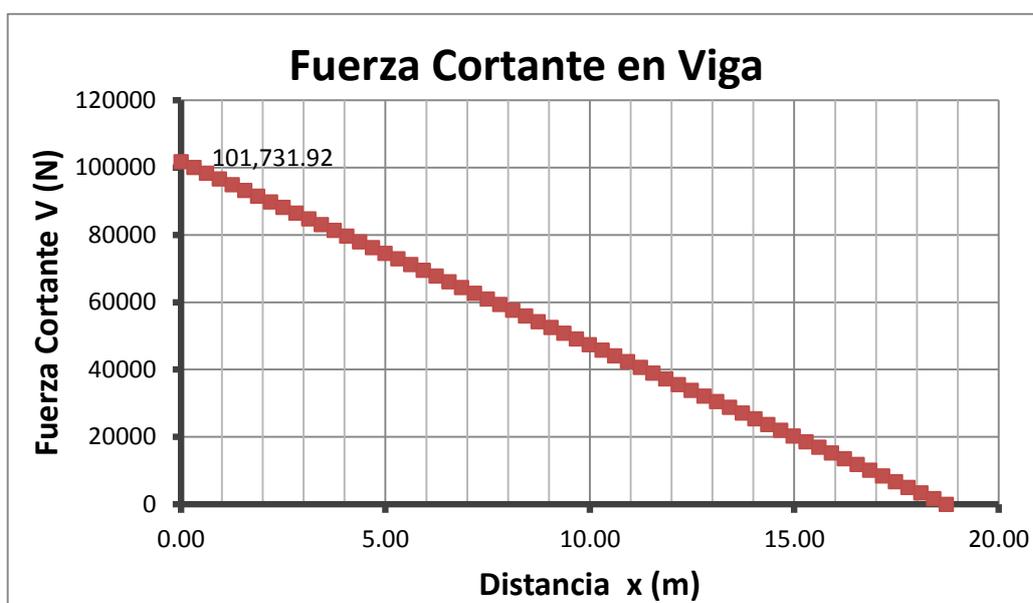
$$\mathbf{F'_y = 5293.28 \text{ N/m}}$$

$$F'_x = F * \sin 13$$

$$F'_x = 5432.52 * \sin 13$$

$$F'_x = 1222.05 \text{ N/m}$$

En donde la fuerza cortante y momento flexionante en el extremo rígido se lo determina por medio de la gráficas de fuerza cortante y momento flexionante.

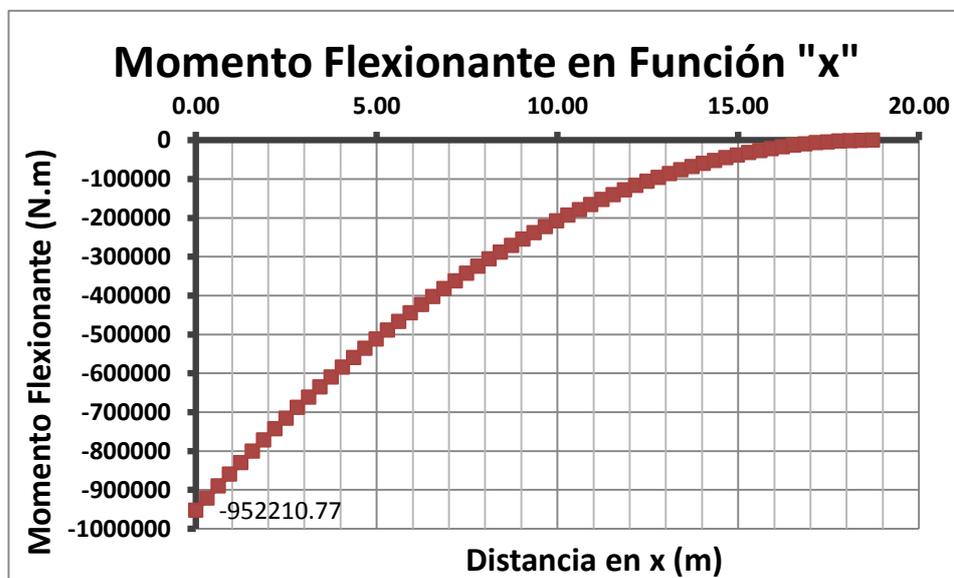


GRAFICA 2.1: DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE DE VIGA DE CUBIERTA [18].

En la gráfica 2.1, determinada a partir de las ecuaciones de una viga empotrada en un extremo y simplemente apoyada en el otro, se tiene que la reacción R'_1 descrita en la figura 2.12 en el extremo rígido de la viga, es la fuerza cortante máxima en la viga.

Dónde:

$$V = R'_1 = 101.73 \text{ kN}$$



GRAFICA 2.2: DIAGRAMA DE MOMENTO FLEXIONANTE DE VIGA DE CUBIERTA [18].

En la gráfica 2.2 determinada a partir de las ecuaciones de una viga en voladizo, se tiene el momento M'_1 en el extremo rígido, de igual manera como fue descrita en la figura 2.12 esta corresponde al Momento Flexionante máximo que debe soportar la viga en servicio, en sentido horario a las manecillas del reloj.

Dónde:

$$M'_1 = 952.21 \text{ kN.m}$$

Con la fuerza cortante y el momento flexionante conocidas, ahora si se puede verificar si la sección de la viga IPE600 cumple con el

criterio de VON MISES, para lo cual se procede a determinar el esfuerzo de Von Mises y compararlo con el Esfuerzo Permisible determinado previamente.

Esfuerzo Máximo por Flexión:

$$\sigma = \frac{M'_1 * c}{I}$$

$$\sigma = \frac{952.21 \text{ kN.m} * (0.6/2)\text{m}}{(0.00139)\text{m}^4}$$

$$\sigma = \mathbf{205.51 \text{ MPa}}$$

Esfuerzo Cortante Máximo:

$$\tau = \frac{V}{A_{alma}}$$

$$\tau = \frac{101.73 \text{ kN}}{(0.0216 * 0.5352)\text{m}^2}$$

$$\tau = \mathbf{8.8 \text{ MPa}}$$

Esfuerzo de VON MISES.

$$\sigma_{VM} = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{VM} = (0 - 0 + (205.51)^2 + 3 * (8.80)^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{VM} = \mathbf{206.07 \text{ MPa}}$$

Una vez conocida el perfil de la viga, conociendo las propiedades del material a utilizar, y cumpliendo con los requisitos de diseño para estructuras en servicio, se puede calcular la deflexión máxima

en la viga, la cual es importante al momento del montaje y servicio de la estructura, ya que una deflexión vertical excesiva o desalineamiento ocurre por 3 factores según la AISC 360,2010: (1) Cargas Gravitacionales como las cargas vivas y muertas; (2) Efectos de Temperatura, Fluencia y (3) Tolerancias y errores en la construcción, causando en la instalación separación, agrietamiento, goteo, de revestimientos, desajuste en sellos de puertas y ventanas, y causando por último daños en el interior de componentes y acabados.

Tanto CPE INEN 5, Parte 1 y la AISC 360,2010; enuncian en sus códigos que la deflexión común límite para estructuras horizontales no debe exceder a **L/240** del tramo de luz de la estructura, por tanto para el diseño de esta cercha la deflexión máxima permitida para la estructura no debe ser mayor a:

$$\delta_{max} = L/240$$

La luz de la cercha para cubierta tiene una longitud de 39m, por tanto;

$$\delta_{max} = 39000/240$$

$$\delta_{max} = \mathbf{162.5mm}$$

que es la deflexión máxima permitida que puede tener la viga en el extremo libre.

Calculando la deflexión en el extremo de la viga de cubierta se tiene:

$$y_{max} = -\frac{w' * l^4}{8 * E * I_x}$$

$$y_{max} = -\frac{5432.52 \frac{N}{m} * 19.5^4 m^4}{8 * (200 \text{ GPa}) * (0.00139 \text{ m}^4)} * 1000$$

$$y_{max} = -353.18 \text{ mm}$$

Realizando los cálculos y gráficas de fuerzas y momentos a partir de una memoria de cálculo adjunta en el apéndice del presente proyecto, la cual no admite aproximaciones, sino los valores exactos en relación al Esfuerzo Permisible calculado y a la deflexión máxima permitida, se puede llegar a concluir lo siguiente:

El esfuerzo de Von Mises $\sigma_{VM} = 206.07 \text{ MPa}$ calculado para el perfil de la viga IPE600, es aproximadamente igual al esfuerzo permisible $\sigma' = 209.09 \text{ MPa}$ determinado, con un factor de seguridad de 1.65. Esta solución no se la puede aceptar como la solución exacta, a su vez la deflexión máxima causada por las cargas de servicio que debe soportar la cubierta sobrepasa la deflexión máxima permisible. A esta solución previa se la tomará como referencial, ya que se tiene que buscar el perfil adecuado que pueda satisfacer las condiciones de cargas de servicio y la deflexión máxima permisible.

En vista que la IPE600 se aproxima a la solución requerida, entonces al utilizar una viga con mayor esbeltez pueda considerarse como una solución viable, pero comercialmente no se encuentran vigas laminadas con esbeltez mayores a IPE600 por su baja comercialización y por su alto costo en el proceso de fabricación en el tren de laminado, por tanto se debe considerar conformar el perfil de la viga de mayor esbeltez a partir del corte de placas de planchas de espesores determinados.

La premisa que se seguirá, será el de buscar el perfil adecuado realizando un proceso iterativo sin que afecte en mayor medida a la Inercia de la Sección y el peso propio de la viga, pero que a su vez sea de fácil fabricación y conformado, y que al final converge con la solución requerida que cumpla con los requisitos de diseño.

Determinación del perfil adecuado para la Cubierta.

Para poder determinar el perfil adecuado para esta sección de viga de cubierta, se toma la ayuda de una hoja electrónica para realizar la respectiva Memoria de Cálculo la cual se la puede encontrar en los apéndices del presente proyecto, en esta se ingresan los datos del perfil de viga a estudiar, como: Espesor de Ala, Ancho de Ala, Espesor de Alma, Longitud de Alma, y siguiendo el mismo

procedimiento previo se podrá determinar las Cargas sobre la viga, junto con sus reacciones, Fuerza Cortante y Momento Flexionante, Esfuerzo de Von Mises y la Deflexión Máxima.

Ya determinado todos los parámetros anteriormente mencionados, y luego de una serie de iteraciones, con base al Módulo de Sección $S_x = 3862.45 \text{ cm}^3$ determinado, y tomando como referencia la Inercia $I_x=139000 \text{ cm}^4$ y el peso $W=122\text{kg/m}$ de la IPE600, se prueban diferentes configuraciones de alma - ala como se muestra en la tabla 2.2, con el fin de encontrar el perfil de la viga conformada que cumpla con los requisitos mencionados y de diseño.

TABLA 9
ESTUDIO DE PERFILES CONFORMADOS [18].

Designación	Área Trans. mm ²	Altura (h) mm	Esp. Alma (e) mm	Ancho Ala (b) mm	Esp. Ala (e1) mm	Radio Perfil (r) mm	Inercia X (I _x) cm ⁴	Peso (Kg/m)	S _x (cm ³)
IPE 600	25400,00	600	21,60	215,00	32,40	21,60	139000,00	122,00	4633,33
I 600 Conf.	26917,14	600	20	250	30	15	148194,00	211,30	4939,80
I 620 Conf.	19286,14	620	15	250	20	15	114422,33	151,40	3691,04
I 640 Conf.	20135,05	640	14	280	20	14	132869,33	158,06	4152,17
I 660 Conf.	19278,01	660	12	285	20	12	140606,80	151,33	4260,81

En la Tabla 2.5 se puede observar que ciertos perfiles conformados no cumplen con todos los requisitos, sea de Peso, Inercia, o Modulo de Sección, pero se obtiene una aproximación aceptable del perfil I **660**, que se muestra en la figura 2.13.

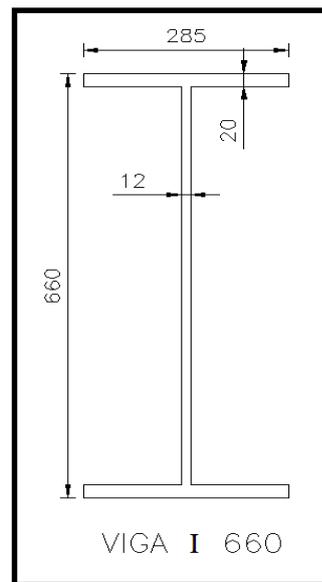


FIGURA 2.13: PERFIL DE VIGA DE CUBIERTA CONFORMADA I660 [18].

A este perfil se le determina el estado de fuerzas, esfuerzo y deflexión para comprobar que cumple con los requisitos de diseño de Esfuerzo Permisible y Deflexión Máxima Permisible.

TABLA 10

RESULTADO DE ESTADOS DE ESFUERZO DE I 660 [18].

Perfil	I_x (cm ⁴)	S_x (cm ³)	W' (kg)	w (N/m)	$R1=V$ (N)	$M1$ (N.m)	σ (Mpa)	ζ (Mpa)	σ_{vm} (MPa)	Y_{max} (mm)
IPE 600	139.000,00	4.630,00	2.379,00	1.196,82	101.731,92	952.210,77	205,51	8,80	206,07	353,18
I 660 Conf	140.606,80	4.260,81	2.950,94	1.484,55	93.230,33	872.635,87	204,81	12,14	205,88	271,86

En la tabla 2.6 se puede observar los resultados de las operaciones de los estados de esfuerzo a la que está sometida el perfil

seleccionado; el cual cumple con el requisito de diseño del σ_{vm} , pero no con la Y_{max} deflexión máxima. Las estructuras de grandes luces tienen su particularidad de al soportar grandes cargas, someterse a grandes deflexiones en el centro del claro, por lo que se suele acompañar al pórtico principal con una estructura armada, la cual permita disminuir la deflexión provocada por las cargas de servicio y de soporte para los elementos que en esta se construyan. En la tabla 2.6 también se puede encontrar los valores de esfuerzo obtenido para la IPE600, la cual me sirve para comparar los dos perfiles. Se puede notar que hay un aumento ligero en el peso de la I 660, a su vez se puede notar que aumento la Inercia, disminuye el Esfuerzo sobre la viga, y disminuye la deflexión máxima.

Para poder corregir la deflexión máxima en el centro del claro, se realizará el estudio para agregar una estructura armada la cual me permita disminuir la deflexión y soportar los elementos faltantes en la estructura, como son los paneles de poliuretano y los evaporadores, la cual se la estudiará en subcapítulo siguiente.

2.2.2. Diseño De Armadura Para Soporte

Evaporadores Y Panel De Poliuretano.

Las armaduras son la unión de barras articuladas en los extremos llamados también nodos, estas pueden ser de acero, hormigón o madera. Al juntar las barras forman una estructura rígida adoptando formas geométricas triangulares, las cuales trabajan principalmente tanto a tensión y a compresión, con el fin de mantener a la estructura en equilibrio estático.

La estructura de cubierta diseñada con vigas de alma llena pueden soportar las cargas vivas y cargas muertas expuestas anteriormente, pero dentro del diseño aún no se ha considerado el soporte del panel de poliuretano que permite darle forma a la cámara frigorífica y de los evaporadores, para lo cual es adecuado realizar una estructura armada que permita soportar estos elementos. Juntamente con la armadura para el soporte de panel y evaporadores, dispondrá de la misma para impedir que la estructura de cubierta se flexione más de 156mm, que es la deflexión máxima permitida, como se lo determino en subcapítulo anterior.

Diseño de Armadura para Cubierta.

Para el diseño de la armadura para la cubierta, anteriormente se ha expuesto el tipo del mismo a utilizar, correspondiente a la estructura tipo Pratt, la cual son diseñadas para soportar cargas en cubiertas de grandes luces, por tanto la forma geométrica de la armadura queda dada como se muestra en la figura 2.14, y la misma se combina con la viga de cubierta de alma llena con la que se toma en cuenta la pendiente de de 13° que formara parte de la armadura.

La carga que debe soportar la armadura la determina la carga máxima que provoca la deflexión en el centro del claro, más el peso del panel de poliuretano y los evaporadores.

Para determinar la carga que provoca el exceso de deflexión en la viga de cubierta se tiene que la deflexión permisible no debe exceder los 176mm, por tanto se tiene.

$$y_{max} = \frac{w_p * l^4}{8 * E * I_x}$$

$$w_p = \frac{y_{max} * 8 * E * I_x}{l^4}$$

$$w_p = \frac{0.176m * 8 * 200GPa * 0.00146m^4}{(39)^4m^4}$$

$$w_p = 177.71 N/m$$

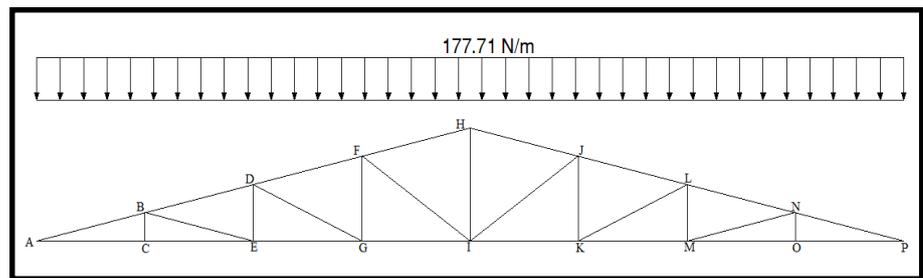


FIGURA 2.14: ARMADURA PARA CUBIERTA MIXTA CON CARGA DISTRIBUIDA [18].

La armadura tiene una distribución tipo Pratt con 16 nodos desde la A-P y 29 eslabones donde las diagonales van a estar trabajando a tensión y las montantes a compresión.

Con la armadura también se quiere evitar que el pandeo de la viga de cubierta no exceda la deflexión máxima según la AISC y NTE, por lo que parte de la carga de cubierta tendrá que ser soportada por la armadura más las cargas del panel de poliuretano y de los evaporadores.

Como requisito para el diseño y criterio de aceptación se tiene:

- La armadura debe soportar las cargas del panel de poliuretano y de los evaporadores.

- La armadura debe soportar las cargas que en la viga de cubierta provocan que la deflexión máxima exceda los 162.5mm, según normas técnica AISC-360, 2010 y CPE INEN5.

La carga que debe soportar la armadura para evitar la deflexión está dada;

$$F_p = 177.71 \frac{N}{m} * 39m$$

$$F_p = 6930N$$

La fuerza que va a soportar la armadura será de 6930 N que corresponde a la carga que provoca que la viga exceda la deflexión máxima permitida, al diseñar una armadura con "n" número de nodos en la parte superior, se reparte la fuerza de cubierta para cada uno de los nodos, con el fin de poder aplicar el método de nodos y encontrar las cargas internas en cada uno de los eslabones, por tanto se tiene que F_{p1} corresponde a la fuerza interna de la armadura causada por la carga por deflexión, y F_{p2} corresponde a la carga en los extremos o juntas de soporte, teniendo:

$$F_{p1} = \frac{F_p}{9}$$

$$F_{p1} = 770 N \text{ (Fuerza en nodos centrales)}$$

$$F_{p2} = \frac{F_p}{18}$$

$$F_{p2} = 385 \text{ N (Fuerza en nodos extremos)}$$

Del mismo modo el panel de poliuretano y el evaporador son otros componentes que producen una carga sobre la armadura, estas cargas ya se han determinado y corresponden a:

- Cargas del Panel de Poliuretano: $C_p = 2854.8 \text{ kgf}$

- Carga del Evaporador: $E = 360 \text{ kgf}$

Con estas se determina la carga total que se va a distribuir en cada nodo de la armadura, por lo que se designará a T_1 como la carga aplicada en los nodos centrales y T_2 como carga aplicada en nodos extremos, representadas en las siguientes ecuaciones:

$$T_1 = \frac{E_1 + C_{p1}}{9} \text{ (Fuerza en nodos centrales)}$$

$$T_2 = \frac{E_2 + C_{p2}}{18} \text{ (Fuerza en nodos extremos)}$$

$$T_1 = \frac{(360 + 2854.8) * 9.81}{9} \text{ (N) (Fuerza en nodos centrales)}$$

$$T_2 = \frac{(360 + 2854.8) * 9.81}{18} \text{ (N) (Fuerza en nodos extremos)}$$

$$T_1 = 3504.13 \text{ N Carga en los nodos centrales}$$

$$T_2 = 1752.06 \text{ N Carga en los extremos.}$$

Conocidas las fuerzas externas F_p y T , estas quedan distribuidas como se muestran en la figura 2.15, las cuales servirán para determinar las fuerzas internas en la armadura que permitan mantener el equilibrio estático.

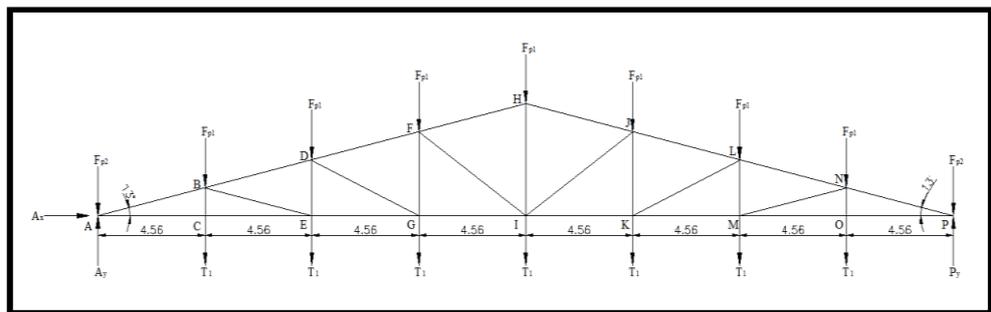


FIGURA 2.15: FUERZAS EXTERNAS F_p Y T EN ARMADURA [18].

Una vez conocidas el sistema de fuerzas, se puede aplicar el método de nodos para determinar las fuerzas internas en cada miembro de la armadura. El método consiste en analizar cada nodo definido en la armadura, calculando las fuerzas internas generadas en el mismo mediante la aplicación del principio de equilibrio $\sum F = 0$ en los ejes principales, en el equilibrio intervienen tanto las fuerzas internas y externas.

Dentro de las consideraciones para el estudio de cada nodo se tiene:

- No se necesario conocer previamente la dirección de las fuerzas internas, el sistema de ecuaciones determinara por medio del signo, (+) a Tensión y (-) a Compresión.
- Para el estudio del sistema de fuerzas se asumirá que las fuerzas internas están a tensión, en otras palabras que las fuerzas salen del nodo. El resultado (+) indicará que la asunción fue correcta, fuerza a tensión, caso contrario el signo (-) indicará que la fuerza es a compresión.
- Es preciso comenzar por el nodo con el menor número de incógnitas, con el objetivo de poder determinar todos sus valores resultantes.
- Se puede determinar todas las ecuaciones que definen a cada miembro de la armadura y al final resolver el sistema de ecuaciones por medio de sustitución o un sistema de matriz de m filas por n columnas.
- La armadura está compuesta de $m=29$ miembros, y $n=16$ nodos, por lo que para resolver el sistema de ecuaciones se debe cumplir:

$$\# \text{ ecuaciones} = \# \text{ incógnitas}$$

$$\# \text{ ecuaciones} = 2 \times n$$

$$\# \text{ incógnitas} = m + r$$

$$2 \times 16 = 29 + 3$$

32 = 32 Sistema Estáticamente Determinada

Una vez conocido que el sistema de ecuaciones es estáticamente determinado se realiza los Diagramas de Cuerpo Libre de cada uno de los nodos con el fin de determinar la matriz de incógnitas de n filas x m columnas.

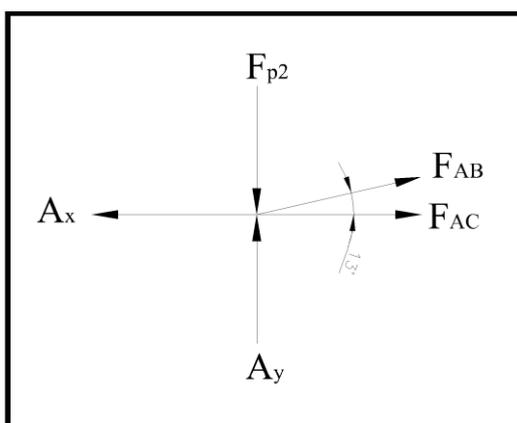


FIGURA 2.16: DIAGRAMA CUERPO LIBRE NODO A [18].

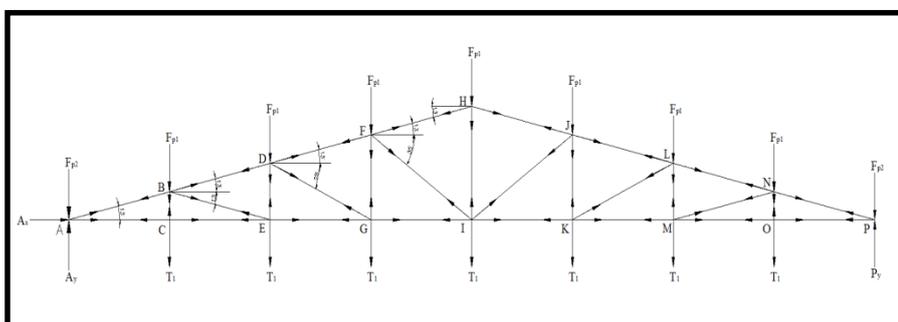


FIGURA 2.17: FUERZAS INTERNAS EN ARMADURA [18].

Se considera como premisa que todas las fuerzas salen del nodo, de este modo al momento de resolver las ecuaciones, el valor de la

fuerza será dada por el signo, si es positivo la fuerza es asumida correctamente, y si es negativa la fuerza debe ser en sentido contrario a la asumida.

Determinando las ecuaciones que se forman en cada nodo para de esta manera determinar las matriz de incógnitas se tiene:

Nodo A

$$\sum F_x = A_x + F_{AB} * \cos 13^\circ + F_{AC} = 0$$

$$\sum F_y = A_y + F_{AB} * \sin 13^\circ = F_{p2}$$

Nodo B

$$\sum F_x = F_{BD} * \cos 13^\circ + F_{BE} * \cos 13^\circ - F_{BA} * \cos 13^\circ = 0$$

$$\sum F_y = F_{BD} * \sin 13^\circ - F_{BE} * \sin 13^\circ - F_{BA} * \sin 13^\circ - F_{BC} = F_{p1}$$

Nodo C

$$\sum F_x = F_{CE} - F_{AC} = 0$$

$$\sum F_y = F_{CB} = T_1$$

Nodo D

$$\sum F_x = F_{DF} * \cos 13^\circ + F_{DG} * \cos 25^\circ - F_{DB} * \cos 13^\circ = 0$$

$$\sum F_y = F_{DF} * \sin 13^\circ - F_{DG} * \sin 25^\circ - F_{DB} * \sin 13^\circ - F_{DE} = F_{p1}$$

Nodo E

$$\sum F_x = F_{EG} + F_{EC} - F_{EB} * \cos 13^\circ = 0$$

$$\sum F_y = F_{ED} + F_{EB} * \sin 13^\circ = T_1$$

Nodo F

$$\sum F_x = F_{FH} * \cos 13^\circ + F_{FI} * \cos 35^\circ - F_{FD} * \cos 13^\circ = 0$$

$$\sum F_y = F_{FH} * \sin 13^\circ - F_{FI} * \sin 35^\circ - F_{FD} * \sin 13^\circ - F_{FG} = F_{p1}$$

Nodo G

$$\sum F_x = -F_{HF} * \cos 13^\circ - F_{HI} = 0$$

$$\sum F_y = -F_{HF} * \sin 13^\circ - F_{HI} = F_{p1}$$

Nodo I

$$\sum F_x = -F_{IF} * \cos 35^\circ - F_{IG} = 0$$

$$\sum F_y = F_{IH} + F_{IF} * \sin 35^\circ = T_1$$

Por ser una cercha simétrica, se tiene que las reacciones en la otra mitad de cercha se comportarán de la misma manera, por tanto la matriz de coeficientes e incógnitas a resolver queda expresada de la siguiente manera. $A * X = B$;

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0.97 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0.22 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -0.97 & 0 & 0 & 0.97 & 0.97 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -0.22 & 0 & -1 & 0.22 & -0.22 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.97 & 0 & 0 & 0 & 0.97 & 0.91 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.22 & 0 & 0 & -1 & 0.22 & -0.42 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.97 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.22 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.97 & 0 & 0 & 0 & 0.97 & 0.819 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.22 & 0 & 0 & -1 & 0.22 & -0.57 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.91 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.43 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.97 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.22 & 0 & 0 & -1 \\
 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.82 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.57 & 0 & 1
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 A_X \\
 A_Y \\
 I_X \\
 F_{AB} \\
 F_{AC} \\
 F_{BC} \\
 F_{BD} \\
 F_{BE} \\
 F_{CE} \\
 F_{DE} \\
 F_{DF} \\
 F_{DG} \\
 F_{EG} \\
 F_{FG} \\
 F_{FH} \\
 F_{FI} \\
 F_{GI} \\
 F_{HI}
 \end{bmatrix}$$

Y la matriz B de términos independientes:

$$B = \begin{bmatrix}
 0 \\
 371.51 \\
 0 \\
 743.02 \\
 0 \\
 3504.13 \\
 0 \\
 743.02 \\
 0 \\
 3504.13 \\
 0 \\
 743.02 \\
 0 \\
 3504.13 \\
 0 \\
 743.02 \\
 0 \\
 3504.13 \\
 0
 \end{bmatrix}$$

De esta manera utilizando el método de Eliminación de Gauss-Jordan, se resuelve la matriz utilizando una memoria de cálculo para obtener el valor de cada incógnita, como se ve en la tabla 2.7.

TABLA 11
FUERZAS EN LOS NODO DE LA ARMADURA [18].

Ecuaciones	Valor (N)	Estado
Ax	0.00	TENSIÓN
Ay	17360.11	TENSIÓN
Ix	(46111.54)	COMPRESIÓN
Fab	(75521.33)	COMPRESIÓN
Fac	73585.72	TENSIÓN
Fbc	3504.13	TENSIÓN
Fbd	(66081.16)	COMPRESIÓN
Fbe	(9440.17)	COMPRESIÓN
Fce	73585.72	TENSIÓN
Fde	5627.71	TENSIÓN
Fdf	(56702.89)	COMPRESIÓN
Fdg	(10082.56)	COMPRESIÓN
Feg	64387.51	TENSIÓN
Ffg	7765.20	TENSIÓN
Ffh	(47324.47)	COMPRESIÓN
Ffi	(11155.51)	COMPRESIÓN
Fgi	55249.60	TENSIÓN
Fhi	9902.67	TENSIÓN

En la tabla se puede notar las fuerzas que se ejercen en los nodos de la estructura, tanto en tensión como a compresión, de esta manera una vez conocida la fuerza máxima, se puede determinar el perfil que se debe utilizar.

Por tanto se tiene las siguientes fuerzas máximas que se aplican en la armadura:

- $F_{ac} = 73585.72\text{N}$ A TENSIÓN

- $F_{ab} = 75521.33\text{N}$ A COMPRESIÓN

Para conocer la sección de la viga se necesita conocer el esfuerzo permisible del material a utilizar para la estructura, utilizando el Teorema de Von Mises, que predice el comportamiento de materiales dúctiles hasta su punto de fluencia, como ya se lo vio en el diseño de la viga de cubierta.

$$\sigma' = \frac{S_y}{1.25}$$

$$\sigma' = \frac{345\text{MPa}}{1.25}$$

$$\sigma' = \mathbf{276\text{MPa}}$$

El esfuerzo normal axial máximo que puede soportar el material es de 276MPa, con un factor de seguridad de 1.25 sugerido por la AISC-ASD para condiciones controlables conocidas en estructuras armadas.

Determinando la Sección Requerida.

Con las fuerzas de tensión y compresión determinadas por medio del método de nodos, se calcula el área requerida para soportar estas fuerzas ya sea trabajando a tensión o compresión, y con esto poder determinar el perfil adecuado, por tanto se tiene:

$$A = \frac{F}{\sigma'}$$

Se utiliza la fuerza a compresión por ser la fuerza normal axial de mayor magnitud y se tiene;

$$A = \frac{F_c}{\sigma'}$$

$$A = \frac{75521.33 \text{ N}}{276 \times 10^6 \text{ Pa}}$$

$$A = 2.736 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

En tablas de perfiles comerciales se buscará el área requerida para soportar la fuerza axial debida a la compresión y a la tensión. Dentro de la lista de perfiles comerciales que se encuentra en ICHA (Instituto Chileno del Acero, traducción al español del AISC360), se escogen tres perfiles y se aproximan al área requerida y se comparan como se ven en la tabla 2.8.

TABLA 12

PERFILES SELECCIONADOS EN BASE A LOS RESULTADOS [18].

	HEB100	IPE200	2 L 80 x 10
Peso (kg/m)	20,4	22,4	23,72
A (mm²)	2604	2848	3022
I_{x-x} (mm⁴)	4,50E06	19,4E05	1,75E06
r_x (mm)	41,6	82,6	24,1
I_{y-y} (mm⁴)	1,67E06	1,42E06	
r_y (mm)	25,3	22,4	

Conociendo los perfiles que se aproximan al área requerida se prueba la HEB100 a compresión para verificar si esta se pandea por compresión y si cumple con el criterio de esfuerzo de Von Mises.

Para determinar la carga crítica, se utilizará la menor inercia del perfil que es por donde tiende usualmente a fallar por compresión que en este caso es la Inercia en Y, considerando la condición que sus extremos se encuentran empotrados con un $L_e = 1/2L$, y conociendo que el eslabón más largo de la armadura tienen una longitud de 5.5m, se tiene;

$$P_{cr} = \frac{E * I_y * \pi^2}{L_e^2}$$

$$P = \frac{E * I_y * \pi^2}{0.5 * L}$$

$$P = \frac{200GPa * \left(\frac{1.67E6}{1000^4}\right) m^4 * \pi^2}{(0.5 * 5.5)^2 m^2}$$

$$P = 435893.9 N$$

Determinando el esfuerzo en el perfil HEB100;

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{435893.9 N}{2.604 \times 10^{-3} m^2}$$

$$\sigma = 167.4 MPa$$

La viga HEB100 soporta un esfuerzo a compresión menor al esfuerzo permisible el cual no falla por pandeo, con un factor de

seguridad de 1.75; por tanto se lo utilizará para el armado de la estructura de la cercha; por resistir la carga de compresión, por ser de menor peso respecto a otros perfiles con las mismas características, por su aproximación al área requerida, inercia y por la facilidad de trabajo al momento de montar la estructura y realizar la conexión entre los elementos como se lo verá posteriormente.

- HEB100
 - Área: 2604 mm².
 - Peso: 20.4 kg/m
 - I_{x-x} : 4.5x10⁻⁶mm⁴.

2.2.3. Diseño de la Columna y Placa Base

Diseño de Columnas

Para el diseño de la columna, el principal parámetro a tener en cuenta es el pandeo provocado por la carga crítica que esta debe soportar, debido a esto la columna tiende a pandearse por el lado más flexible. El pandeo tiende a darse por la menor Inercia de la sección del perfil seleccionado, el cual se debe tener en cuenta al momento del diseño y selección del perfil.

Requisitos para el Diseño:

- El esfuerzo crítico aplicado en la columna tiene como límite superior al esfuerzo en el límite de proporcionalidad.
- La esbeltez de la columna $L_e/r \geq 100$ se debe cumplir para columnas largas, caso contrario la fórmula de Euler no es aplicable para este caso de columnas.
- Se debe considerar la inercia mínima de la sección, ya que el pandeo tiene a suceder por el momento de inercia mínimo de la sección recta.

Estado de Esfuerzos en Columna.

Al soportar la columna fuerzas debidas a la viga de cubierta y la armadura, las fuerzas actuantes en la columna están dadas como reacciones de la viga de cubierta y la armadura como se muestra en la figura 2.18, junto con la cortante basal en la base de la columna.

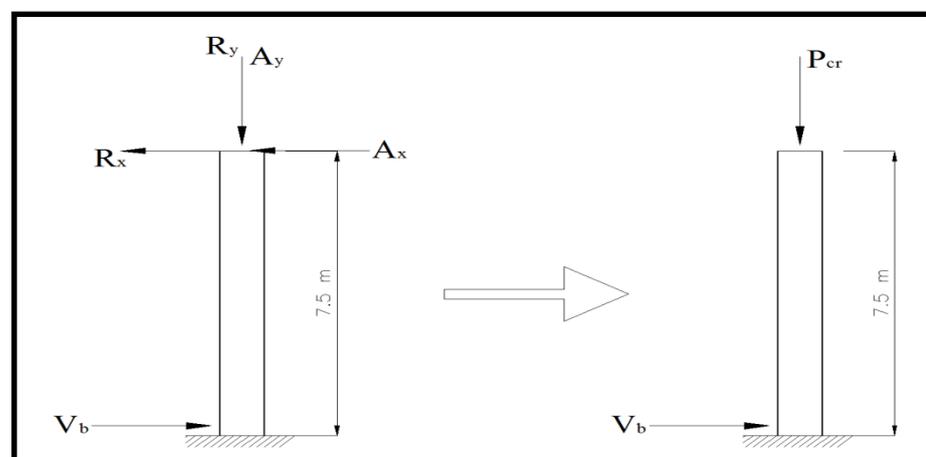


FIGURA 2.18: FUERZAS RESULTANTES EN COLUMNA [18].

La cortante basal en la base de la columna ya se a determinado en cálculos previos y corresponde a:

$$V_b = 320013 \text{ N}$$

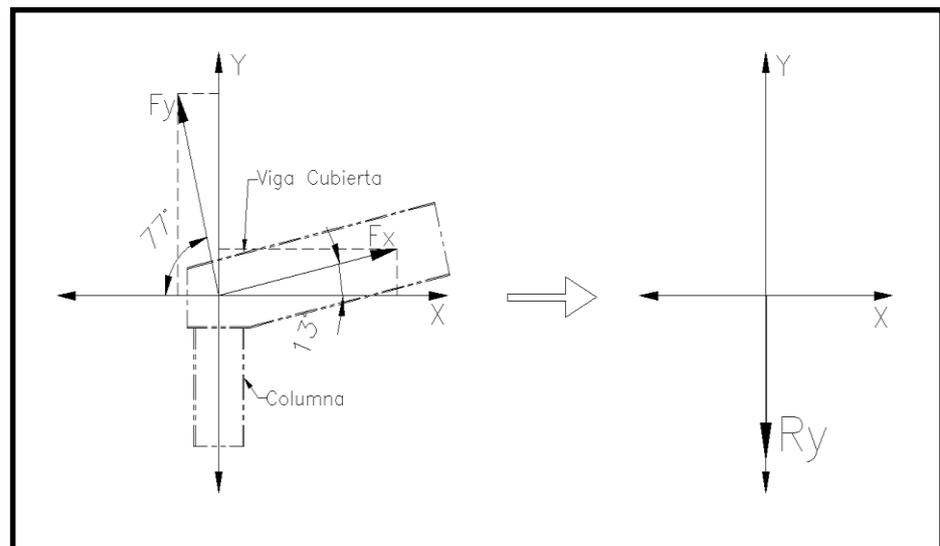
Las reacciones F_y , F_x y M_1 son debidas a la conexión rígida entre la viga de cubierta y la columna ya conocidas, las cuales llevándolas al eje de coordenadas local de la columna quedan dadas de la siguiente manera.

$$F_x = 23829.97 \text{ N}$$

$$F_y = 103218.96 \text{ N}$$

$$M_1 = 952.21 \text{ kNm}$$

Realizando el diagrama de cuerpo libre se determinan las fuerzas resultantes que actuarán en la columna.



**FIGURA 2.19: FUERZA RESULTANTE DE VIGA DE CUBIERTA
SOBRE COLUMNA [18].**

$$\sum F_x = R_x$$

$$F_{xx} * \cos 13^\circ - F_{yx} * \cos 77^\circ = R_x$$

$$R_x = 23829.97 * \cos 13^\circ - 103218.96 * \cos 77^\circ$$

$$R_x = 0.0044 \text{ N}$$

$$\sum F_y = R_y$$

$$F_{xy} * \sin 13^\circ + F_{yy} * \sin 77^\circ = R_y$$

$$R_y = 23829.97 * \sin 13^\circ + 103218.96 * \sin 77^\circ$$

$$\mathbf{R_y = 105934.04 \text{ N}}$$

Lo que indica que la R_y es la que ejerce mayor fuerza para la columna, como se lo ilustra en la figura 2.19.

Las fuerzas A_y corresponde a las reacción causada por la cercha para soporte de evaporadores y corresponde:

$$A_y = 17360.11 \text{ N}$$

Una vez conocidas las reacciones que actúan en la columna, se determina las fuerzas resultantes que actuarán en los ejes principales de la columna, que en este caso vienen dadas por P_{cr} , M_1 y V_b , que permitirán diseñar la columna que servirá de soporte para los elementos de cubierta y equipos instalados en el mismo, por tanto se tiene:

$$\sum F_y = P_{cr}$$

$$P_{cr} = R_y + A_y$$

$$P_{cr} = (105934.04 + 17360.11) N$$

$$P_{cr} = 123294.15 N$$

P_{cr} es la carga crítica necesaria para mantener la columna deformada sin empuje lateral alguno, si se aumenta el valor de P_{cr} , aumentara la deflexión lateral hasta el punto en el que la columna se rompa por pandeo, si se disminuye P_{cr} , disminuye la deflexión y la columna se enderezará por completo. Así la carga crítica es considerada como la mayor carga axial a la que puede someterse la columna permaneciendo recta.

Selección del Perfil en Base a la Formula de Euler para Columnas Esbeltas.

Para la aplicación de la formula de Euler para columnas esbeltas se de cumplir lo siguiente:

- La tendencia al pandeo tiene lugar a darse con respecto al eje principal de momento de inercia mínimo, por lo que el perfil a seleccionar se lo debe hacer respecto a su menor inercia.
- La esbeltez mecánica indica que no se puede aplicar la formula de Euler para cuando $L/r < 100$, aquí el esfuerzo que

daría de la fórmula de Euler excedería el límite de proporcionalidad, por tanto la columna se pandearía.

- Se debe tener presente las condiciones de sujeción de la columna.

Para determinar las condiciones de sujeción en la columna se puede observar en la figura 2.20 que para poder montar la misma, un extremo debe estar empotrado en la cimentación y el otro extremo es una unión rígida con la cubierta sin ninguna restricción para moverse, por tanto se considerará para el diseño como un extremo libre.

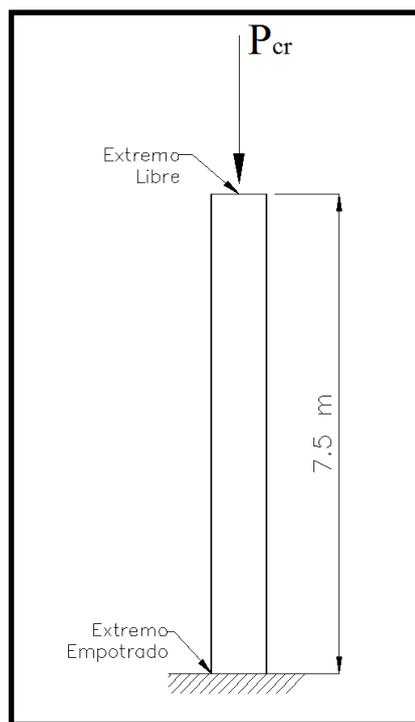


FIGURA 2.20: CONDICIONES DE SUJECIÓN EN COLUMNA [18].

Conociendo las condiciones de sujeción, se puede determinar la longitud efectiva para una columna con un extremo empotrado y el otro extremo libre. En el diseño de forma se puede apreciar la altura de las columnas que se requiere para contener la cámara frigorífica dando una longitud de 7.5m:

$$L_e = 2 * L$$

$$L_e = 2 * 7.56$$

$$L_e = \mathbf{15.12m}$$

El material a utilizar para las columnas será de ASTM A588, con un Esfuerzo en el Límite de Proporcionalidad de 345MPa y un Modulo de Elasticidad de 200GPa, con un factor de seguridad de 2.

La fórmula de Euler para columnas esbeltas está dada de la siguiente manera.

$$P = \frac{E * I * \pi^2}{L_e^2}$$

En la ecuación de Euler se determinan los parámetros conocidos y se despeja la Inercia, que permitirá determinar el perfil adecuado para soportar las cargas de diseño.

$$P = 2 * P_{cr}$$

$$P = 2 * (123294.15) N$$

$$P = \mathbf{246.6 kN}$$

Determinando la Inercia:

$$I \geq \frac{P * L_e^2}{E * \pi^2}$$

$$I \geq \frac{246.6x10^3 * (15.12)^2}{(200x10^9) * \pi^2}$$

$$I \geq 28.561x10^{-6}m^2$$

$$I \geq \mathbf{28.561x10^6mm^4}$$

Determinando el radio de giro:

$$\frac{L_e}{r} \geq 100$$

$$r \leq \frac{L_e}{100}$$

$$r \leq \frac{15120}{100}$$

$$r \leq \mathbf{151.2mm}$$

En tabla de perfiles comerciales de la AISC, se busca el perfil más adecuado que pueda cumplir con la condición dada de Inercia y Radio de Giro, siempre considerando que esta Inercia dada, corresponde a la menor Inercia del perfil, por tanto en la tabla 2.9 se muestran los perfiles que más se acercan a esta condición.

TABLA 13

PERFILES SELECCIONADOS PARA COLUMNA [18].

	IPE 600	W530 X 109
Peso (kg/m)	122,4	109
A (mm ²)	15598	13900
I _{x-x} (mm ⁴)	921E+06	667E+06
r _x (mm)	243	219
I _{y-y} (mm ⁴)	33,9E+06	29,5E+06
r _y (mm)	46,6	46,1

Se escoge utilizar perfiles I para la fabricación de las columnas, por sus propiedades mecánicas y su facilidad de trabajar al momento del montaje. Entre los dos perfiles seleccionados, se puede apreciar que el perfil **W530x109** es el que más se acerca a los requisitos de Inercia, Radio de Giro, y por su bajo peso como se ve sus características en la tabla 2.10 y la figura 2.2, por lo cual se procede a comprobar si este perfil soporta la fuerza basal provocada por cargas de sismo.

TABLA 14
CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL [18].

W 530 x 109			
Propiedades para el Diseño		Geometría de la Sección	
Peso (kg/m)	109	d (mm)	539,0
A (mm ²)	13900	b _f (mm)	211,0
I _{x-x} (mm ⁴)	667E+06	t _f (mm)	18,8
r _x (mm)	219	t _w (mm)	11,6
I _{y-y} (mm ⁴)	29,5E+06	T (mm)	463,0
r _y (mm)	46,1	k (mm)	38,0
		K ₁ (mm)	19,0
		r (mm)	11,5

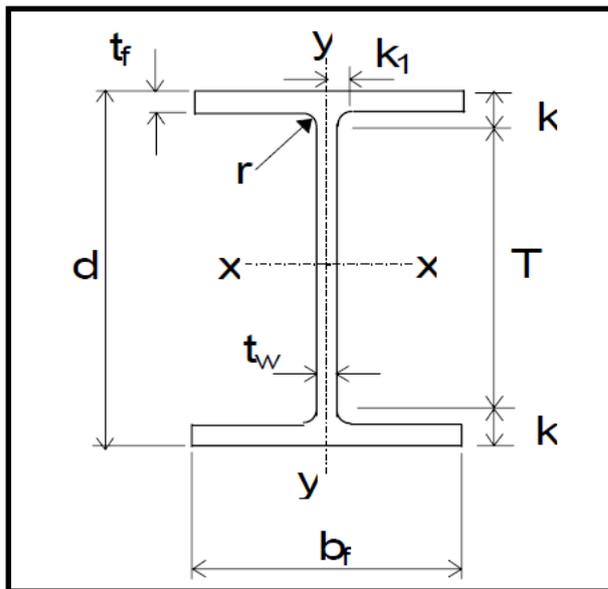


FIGURA 2.21: PERFIL W530 X 109 [16]

Diseño de Columna para Carga Sísmica.

El perfil W530 x 109, soporta adecuadamente la carga crítica de compresión al cumplir con los requerimientos de esbeltez e Inercia. Por ser un diseño basado en carga sísmica, se debe comprobar si el perfil soportará la carga en mención.

Para su estudio, se tomará al elemento como una viga en voladizo con una carga puntual en la base, como se lo muestra en la figura 2.22.

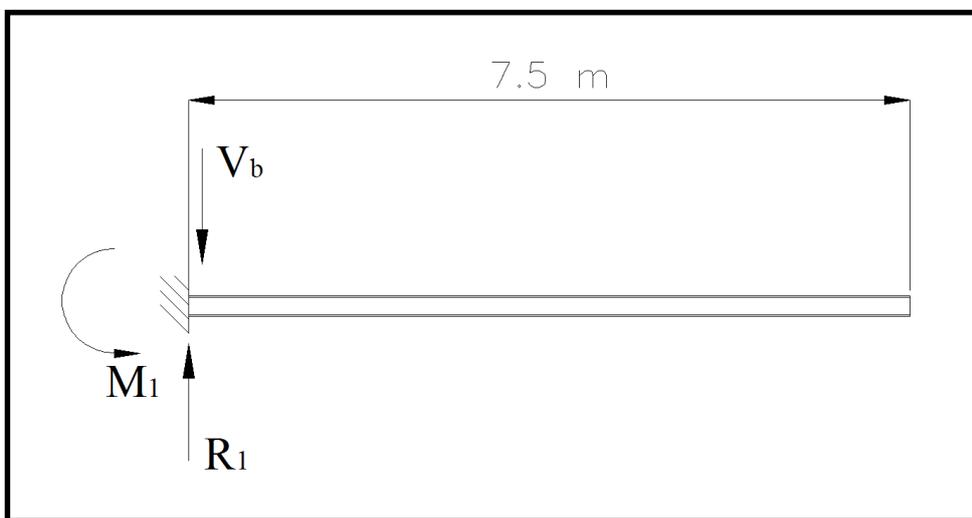


FIGURA 2.22 CONDICIONES DE CARGA EN VIGA [18].

Estados de Fuerza de la Viga.

Calculo de la Fuerza Cortante:

$$R_1 = V = V_b$$

$$V = 320013 \text{ N}$$

Cálculo del Momento Flexionante:

El momento flexionante si es colocado en la base de la columna es cero, pero la columna al ser sometida a una fuerza sísmica, tiende a fallar por encima de la base en el alma del perfil, por eso se supondrá que esta fallará desde una distancia de $l=50\text{mm}$ por encima de la base, por tanta el momento flexionante está dada por:

$$M_1 = V_b * a$$

$$M_1 = 320013 \text{ N} * 0.05 \text{ m}$$

$$M_1 = 16000.65 \text{ Nm}$$

Aplicando el Teorema de Von Mises se tiene:

Esfuerzo Máximo por Flexión:

$$\sigma = \frac{M_1 * c}{I_y}$$

$$\sigma_y = \frac{16000.65 \text{ N} \cdot \text{m} * (0.539/2) \text{ m}}{(0.000667) \text{ m}^4}$$

$$\sigma_y = 6.47 \text{ MPa}$$

Esfuerzo Cortante Máximo:

$$\tau_{xy} = \frac{V}{A_{alma}}$$

$$\tau_{xy} = \frac{320.01 \text{ kN}}{(0.463 * 0.0116) \text{ m}^2}$$

$$\tau_{xy} = 59.58 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de VON MISES.

$$\sigma_{VM} = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{VM} = (0 - 0 + (6.47)^2 + 3 * (59.58)^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{VM} = 103.40 \text{ MPa}$$

El esfuerzo permisible para columnas bajo condiciones de cargas sísmicas debe estar diseñadas con un factor de seguridad entre 2 y 3.

$$\sigma' = \frac{S_y}{f.s.}$$

$$\sigma' = \frac{345 \text{ MPa}}{3} = 115 \text{ MPa}$$

Comparando el Esfuerzo de Von Mises con el Esfuerzo Permisible, se puede concluir que el perfil seleccionado W530 x 109 para la columna del pórtico, cumple con los requisitos de diseño provocadas tanto por las fuerzas de compresión causadas por las cagas de cubierta y las fuerzas causadas por las cargas sísmicas.

Diseño de la Placa Base.

Las placas bases son los elementos estructurales de conexión entre las columnas de acero y la cimentación de concreto, estas

distribuyen las cargas de compresión de la columna en un área mayor del concreto localizado bajo dicha placa.

La placa base es dimensionada con la asunción que la porción en voladizo de la placa base actúa como una viga en voladizo con su extremo fijo justo en el interior de los bordes de las columnas, como se muestra en la figura 2.23.

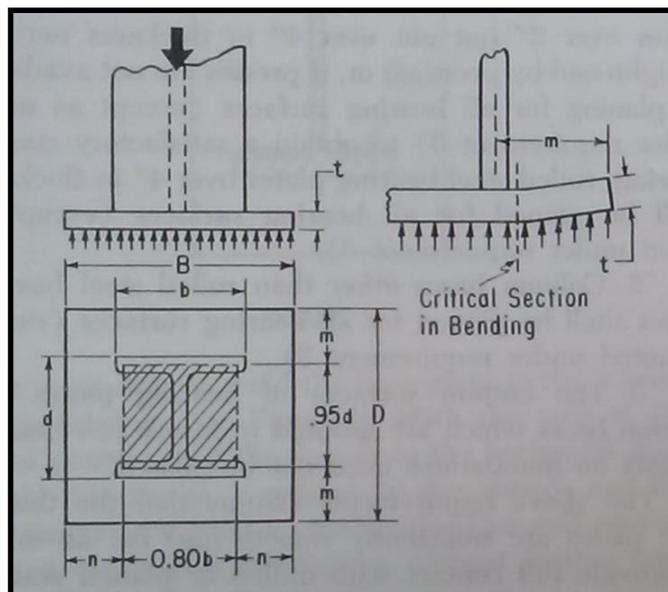


FIGURA 2.23: CONDICIONES DE CARGA EN VIGA [17]

La AISC sugiere el siguiente método para determinar las dimensiones y el espesor requerido de la placa base, usando un Esfuerzo de Flexión Máximo de $0,75 \cdot \sigma_y$ psi.

Esfuerzo Máximo de Flexión:

$$\sigma_f = 0.75 * \sigma_y = 0.75 * \frac{P_{cr}}{A} \text{ (psi)}$$

$$\sigma_f = 0.75 * \frac{P_{cr}}{A}$$

$$\sigma_y = 0.75 * \frac{246.6 \text{ kN}}{0.0139 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_y = \mathbf{13.30 \text{ MPa}}$$

Determinando el Área Mínima Requerida de la Placa Base

La placa base tendrá las siguientes dimensiones basadas en la configuración geométrica del perfil W530x109 que se utiliza como columna, como se ve en la figura 2.23.

Conociendo las dimensiones del perfil de la columna se determina las dimensiones de esta área relativa de la placa base:

$$A_r = (0.95 * d) * (0.80 * b)$$

$$A_r = (0.95 * 539) * (0.80 * 211)$$

$$A_r = 512.05 * 168.8$$

$$A_r = \mathbf{86434.04 \text{ mm}^2}$$

El esfuerzo "p" soportada por la placa base es la correspondiente causada por la fuerza "P_{cr}" que se ejerce en la columna sobre el área mínima requerida "A_r".

$$A_r = \frac{P_{cr}}{p}$$

$$p = \frac{P_{cr}}{A_r}$$

$$p = \frac{246.60 \text{ kN}}{0.0864 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{p = 2.85 MPa}$$

Este esfuerzo debe ser menor que el esfuerzo que soporta la cimentación, la cual se asume que soporta una presión uniforme p' contra el área total de la placa base BxD.

Las cimentaciones en la que se asienta esta estructura se considera que es un área completamente de concreto, con una resistencia a la compresión del concreto de 21Mpa, considerado para hormigón de peso normal a los 28 días, por tanto el esfuerzo que puede soportar el concreto es:

$$p' = 0.25 * f'_c$$

Donde:

p' : *Esfuerzo de Compresión que Soporta el Concreto en MPa*

f'_c : *Resistencia de Compresión del Concreto en MPa*

$$p' = 0.25 * 21 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{p' = 5.25 MPa.}$$

Por lo cual la fuerza de compresión sobre el área requerida de la placa base es menor al esfuerzo de compresión del concreto.

Tomando como base el área requerida para la placa base, se itera para determinar las dimensiones **BxD** y espesor adecuado para la placa base.

Para determinar las dimensiones de B y D, se determina previamente las dimensiones de **m** y **n** que son las longitud en voladizo a partir del área requerida del perfil W530x109, como se muestra en la figura 2.23.

Al ser un proceso iterativo y tomando el siguiente procedimiento, hasta encontrar las dimensiones adecuadas de la placa base y el espesor, se considera que los parámetros de B y D son iguales, tomando como valor inicial la raíz cuadrada del área mínima requerida.

$$B = D = \sqrt{A_r}$$

$$B = D = \sqrt{86434,04 \text{ mm}^2}$$

$$B = D = 294 \text{ mm}$$

Determinando **m** y **n**;

$$m = \frac{1}{2}(D - 0,95 * d) \text{ mm}$$

$$m = \frac{1}{2}(294 - 0,95 * 539) \text{ mm}$$

$$m = -109,03 \text{ mm}$$

$$n = \frac{1}{2}(B - 0,80 * b) \text{ mm}$$

$$n = \frac{1}{2}(294 - 0,80 * 211) \text{ mm}$$

$$\mathbf{n = 62,60 \text{ mm}}$$

Determinando el Espesor de la Placa Base, tomando el valor mayor de m y n. En este caso el valor mayor esta dado por **n**, entonces se tiene;

$$t = n * \sqrt{\frac{3 * p}{\sigma_y}}$$

Donde:

t: Espesor de la Placa Base en mm

n: dimensión en voladizo en mm

p: esfuerzo sobre área requerida de placa base en MPa

σ_y : esfuerzo máximo de flexión aplicado en MPa

$$t = 62,60\text{mm} * \sqrt{\frac{3 * 2,85 \text{ MPa}}{13.3 \text{ MPa}}}$$

$$\mathbf{t = 50.19 \text{ mm}}$$

Esta valor de "t" indica que la placa base para la columna tiene un espesor de 50,19mm, y tiene dimensiones de B=D=294mm que corresponde al área mínima requerida para el perfil, el cual geoméricamente se muestra en la figura 2.24.

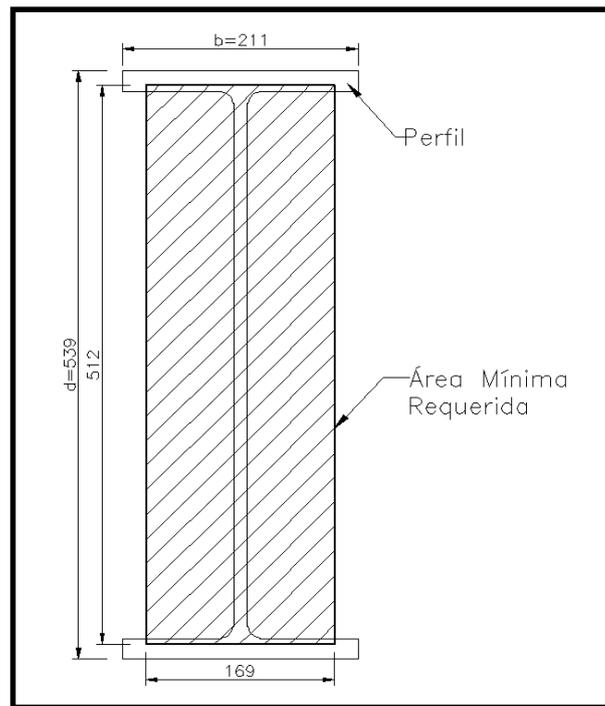


FIGURA 2.24: ÁREA MÍNIMA REQUERIDA PARA PLACA BASE [18].

Para el diseño, estas dimensiones no son suficiente, ya que por temas de soldadura y anclaje a la cimentación, el perfil completo no entra en la placa base, y el espesor es muy grande, por lo cual se procede a realizar un proceso iterativo aumentando los lados de la placa base tomando como referencia el área mínima requerida y sumándole el valor de **m** y **n** encontrados previamente.

Para cada proceso iterativo se realizará este paso como se muestra en la tabla 2.8, hasta encontrar las dimensiones adecuadas de **B** y

D de la placa base que permitan la soldadura del perfil de la columna y anclaje a la cimentación.

Nuevos valores de:

$$d = 539 + 109.03 \text{ mm}$$

$$\mathbf{d = 757.05 \text{ mm}}$$

$$b = 211 + 62,60 \text{ mm}$$

$$\mathbf{b = 336,20 \text{ mm}}$$

Con estos valores **d** y **b** se vuelve a calcular el Área de la Placa Base y la esfuerzo "**p**" que se ejerce sobre esta nueva área. Para esto se utiliza una tabla en Excel que permite resolver el proceso iterativo y determinar las dimensiones de la placa base "**B=D**" y "**t**", que se observan en la 3era Iteración, y se ilustra gráficamente en la figura 2.25.

TABLA 15

PROCESO ITERATIVO; DIMENSIONES DE PLACA BASE [18].

Memoria de Calculo Placa Base				
	1era Iteración	2da Iteración	3era Iteración	4ta Iteración
σ_y (MPa)	13.3	13.3	13.3	13.3
P_{cr} (N)	246600	246600	246600	246600
Perfil Relativo de la Columna				
d (mm)	539	757,05	1036,44	1389,08
b (mm)	211	336,20	507,05	733,39

Área Requerida de Placa Base				
Ar (m ²)	0,09	0,19	0,40	0,77
Presión sobre placa Base				
p (MPa)	2,85	1,27	0,617	0,319
Dimensionamiento de Placa Base				
B=D (m)	0,29	0,44	0,63	0,88
B=D (mm)	294,00	439,81	631,98	879,91
Determinando m y n				
m (mm)	-109,03	-139,69	-176,32	-219,86
n (mm)	62,60	85,43	113,17	146,60
Determinando el Espesor				
tm (mm)	-87,44	-74,89	-65,78	-58,91
tn (mm)	50,20	45,80	42,22	39,28

Estas dimensiones son adecuadas ya que permiten colocar el perfil de la columna en la placa para ser soldada, y la misma es de un espesor adecuado que distribuye los esfuerzos a la cimentación y permite el anclaje a la cimentación.

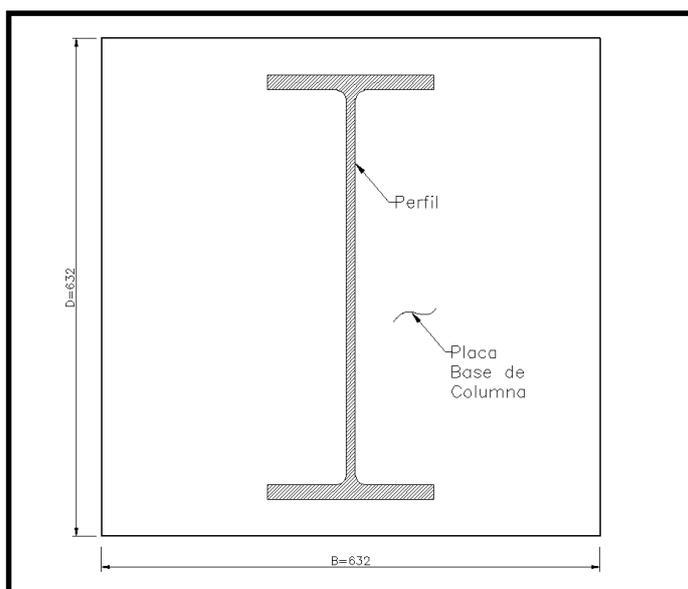


FIGURA 2.25: COLUMNA Y PLACA BASE [18]

2.2.4. Diseño De Elementos Complementarios

UNIONES SOLDADAS

Se llama soldadura a la unión de dos o más piezas metálicas de igual o parecida composición, con el fin de obtener una unión rígida entre los elementos. Esta unión se consigue por el efecto de la fusión en las piezas metálicas que proporciona la aportación del calor fundiendo los extremos de la pieza y bien al solidificarse se produce la fusión.

La soldadura es un proceso que permite ahorro de tiempo, es un proceso rápido para la fabricación y permiten obtener uniones fuertes.

Para el presente proyecto se utilizará el proceso de soldadura GMAW (Gas Metal ArcWelding).

En el proceso, el calor del arco generado entre el electrodo consumible y la pieza a ser soldada es utilizado para fundir las superficies del metal base y el extremo del electrodo. El metal fundido del electrodo es transferido hacia la pieza a través del arco, donde se convierte en metal de soldadura depositado. La protección es obtenida por una cubierta de gas, que puede ser un gas inerte, gas activo o una mezcla de ambos. El gas de protección envuelve el área del arco para protegerlo de contaminantes de la atmósfera.

Las ventajas del proceso GMAW son:

- Es el proceso más limpio, no produce escoria y presenta una mejor presentación del cordón.
- Es de gran velocidad para producción en serie, ya que la aportación se la realiza mediante alambre continuo, para lo cual no hay que parar el proceso.
- Permite obtener uniones menos sensibles a la corrosión, debido al gas protector impide el contacto entre la atmósfera y el charco de fusión.
- Permite el trabajo en todas las posiciones independiente de la forma en que se realiza el proceso, pero dependiente de la habilidad del soldador.

Dentro de los consumibles a utilizar se tiene:

- Gas de Protección: INDURMIG 20.
 - Composición: Argón - Dióxido de Carbono
 - Mejora la estabilidad del arco y el depósito del material.
 - Se usa para soldar alambres tubulares de baja y mediana aleación, y alambres de acero inoxidable de alto silicio.

- Material de Aporte: Alambre Tubular E71T
 - Diseñada para fabricación de acero de alta resistencia.
 - Gran aplicación estructuras metálicas.
 - Limite de Fluencia: 540MPa

Entre los tipos de uniones más utilizadas en soldadura se encuentra la unión a filete, la unión a tope y bisel. En el presente proyecto se utilizará estos tipos de uniones, como lo especifica los WPS que se encuentra ya prediseñado en la Norma de la Sociedad Americana de Soldadura AWS D1.1 y se lo especificará en los planos de diseño, con su respectivo símbolo y numero de WPS.

UNIONES APERNADAS

Cuando se desea realizar una conexión que se pueda desensamblar sin el empleo de métodos destructivos y que sea suficientemente fuerte para resistir cargas externas de tensión, cortante y debidas a momentos, una buena solución a emplear es la unión perno, arandela, tuerca. La función del perno consiste en sujetar dos o más partes; apretando la tuerca se estira el perno, y de esta manera se produce la fuerza de sujeción que se la conoce como pre-carga del perno, sin considerar la fuerza externa que actúa sobre esta.

Al ser la Nave una estructura en su mayoría soldada, y de gran dimensión, por facilidad del montaje, existen ciertos elementos que no pueden ser transportado en su longitud total, por lo que una solución es enviarlos por separados para que en obra estos sean armados por medio de uniones apernadas.

Para determinar las dimensiones de los pernos a utilizar; se debe conocer los tipos de uniones que se van a emplear y las fuerzas que a los cuales van a estar sometidos.

Entre los tipos de uniones apernadas a tener se tiene:

- Unión de Conjuntos Viga de Cubierta - Columna
- Unión Conjunto Cerchas
- Unión Vigas para Soporte de Steel Panel

En los cálculos previos para determinar el perfil de la estructura se conocen las fuerzas, de esta manera se conoce que la viga de cubierta es la que soporta la mayor carga, por lo que se tomara esta fuerza para determinar la cantidad de pernos y dimensiones del mismo.

Selección del Perno

Al existir pernos ya normalizados en comercialización, para el presente diseño se utilizará pernos UNC, SAE Grado 5 galvanizados por ser de alta resistencia a la corrosión, al ser instalado esta Nave Industrial en un ambiente muy salino.

Del capítulo de diseño de cubierta se conocen las fuerzas debidas a las cargas vivas, muertas y de trabajo respecto a su sistema coordinado local, por tanto se tiene:

$$F_y = P = 103218.96 \text{ N (23.2kip)}$$

$$F_x = 23829.97 \text{ N}$$

Donde la fuerza P se la conoce como fuerza externa que actúa en los pernos y es la mayor fuerza que actúa en los conjuntos de unión mencionados, por lo que se la utilizará para la selección del perno.

Para la unión de los conjuntos se dispone a utilizar perno con las siguientes características, a la cual se le determinará si cumple con los criterios de diseño.

TABLA 16
CARACTERÍSTICAS DE PERNO [19].

PERNOS UNC						
ϕ (pulg)	Área de Esfuerzo de Tensión At (pulg ²)	SAE Grado	Intervalo de Tamaños (pulg)	Resistencia de Prueba Min Kpsi	Resistencia Min. Tensión kpsi	Resistencia a la Fluencia kpsi
7/8	0,462	5	1/4 - 1	85	120	92

Ahora se determina la cantidad de pernos por junta que se necesita, utilizando las características de este perno con un factor de seguridad de 3.

Determinando la Precarga F_i del Perno.

La precarga recomendada para cargas estáticas y de fatiga debe ser:

$$F_i = 0.90 * F_p$$

Donde:

- F_p : es la carga de prueba.
- A_t : Área de esfuerzo de tensión
- S_p : Resistencia de Prueba

$$F_p = A_t * S_p$$

$$F_p = 0.462 \text{ pulg}^2 * 85 \text{ kpsi}$$

$$F_p = 39.27 \text{ kip}$$

Por tanto:

$$F_i = 0.90 * 39.27$$

$$F_i = 35.34 \text{ kip}$$

Una vez conocidas la precarga del perno y la fuerza externa que actúa en el mismo, se determina la cantidad de pernos que se necesita en la unión.

Número de Pernos en la Unión.

La fórmula para determinar el número de pernos, viene dada por la siguiente expresión.

$$N = \frac{C * n * P}{F_p - F_i}$$

Donde;

- N: número de pernos
- C: fracción de la carga externa P soportada por el perno
- n: factor de seguridad
- P: carga externa
- k_b : rigidez efectiva en la zona de sujeción
- k_m : rigidez del elemento

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d}$$

$$k_b = \frac{(0.601 \text{ pulg}^2) * (0.462 \text{ pulg}^2) * 30 \text{ ksi}}{(0.601 \text{ pulg}^2) * (0.838) + (0.462 \text{ pulg}^2) * (0.5)}$$

$$k_b = 11.845 \text{ Mlbf/pulg}$$

$$k_m = \frac{0.5774 * \pi * E * d}{2 * \ln \left(5 * \frac{0.5774 * l + 0.5 * d}{0.5774 * l + 2.5 * d} \right)}$$

$$k_m = \frac{0.5774 * \pi * (14) * (0.875 \text{ pulg})}{2 * \ln \left(5 * \frac{0.5774 * (1.338) + 0.5 * (0.875)}{0.5774 * (1.338) + 2.5 * (0.875)} \right)}$$

$$k_m = 15.554 \text{ Mlbf/pulg}$$

$$C = \frac{11.845 \text{ Mlbf/pulg}}{(11.845 + 15.554) \text{ Mlbf/pulg}}$$

$$C = 0.4323$$

Reemplazando en N:

$$N = \frac{0.4323 * 3 * 23.2 \text{ kip}}{(39.27 \text{ kip}) - (35.343 \text{ kip})}$$

$$N = 7.66$$

Con este resultado se verifica que el grado y el perno escogido cumplen con su función de unión siempre que la cantidad de pernos para la sujeción sea de una cantidad superior a 6, por tanto para las uniones ya especificadas se tiene la distribución de pernos queda de la siguiente manera.

Unión de Conjuntos Viga de Cubierta y Columna - Cubierta

La viga de cubierta por tener una longitud de 39 m, tiene que ser fabricada de modo que su fabricación, galvanizado y el montaje sean fácil de realizar, por tanto la fabricación se realizará por tramos de 6m, para tanto su unión se lo realizará por medio del sistema de Perno, Arandela, Tuerca, como se ilustra en la figura 2.26 y las características de la junta se muestra en la tabla 2.10.

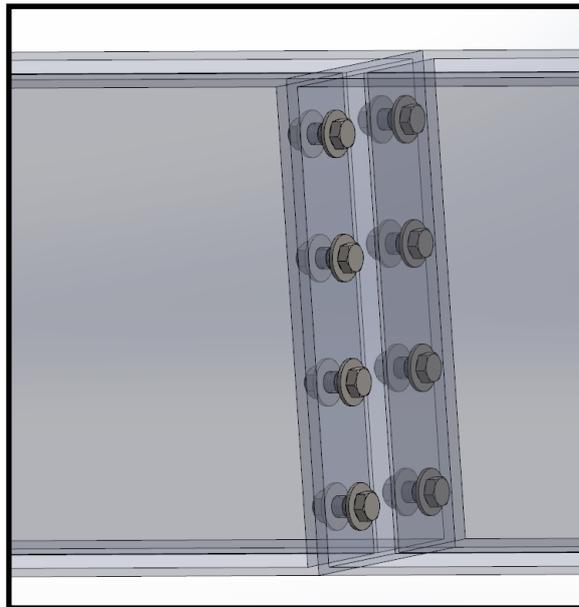


FIGURA 2.26: UNIÓN VIGA DE CUBIERTA [8].

TABLA 17

CARACTERÍSTICAS DE PERNO [20].

Unión: Viga de Cubierta y Columna - Cubierta				
Ítem	Tamaño	Longitud	Grado	Cantidad
Perno Hexagonal Galvanizado	$\Phi 7/8''$	2-1/2"	SAE 5	8
Arandela Plana Galvanizado	$\Phi 7/8''$	-	-	16
Tuerca Hexagonal Galvanizado	$\Phi 7/8''$	-	-	8

Por ser las fuerzas cortante menores en la conexión viga - columna y los pernos al estar simplemente sometidos a una fuerza flexionante de $P=82830.74\text{N}$ (18.62kip) similar a la que se utiliza en

la viga de cubierta, y realizando el mismo procedimiento para determinar el número de pernos que se necesita se tiene:

$$N = \frac{C * n * P}{F_p - F_i}$$

$$N = \frac{0.4323 * 3 * 18.62 \text{ kip}}{(39.27 \text{ kip}) - (35.343 \text{ kip})}$$

$$N = 6.15$$

Por tanto la cantidad requerida de pernos para la unión viga de cubierta - columna se realizará de la misma manera que la unión de los conjuntos de cubierta, por ser un valor superior a 6 como se ve en la figura 2.27 y en la tabla 2.10

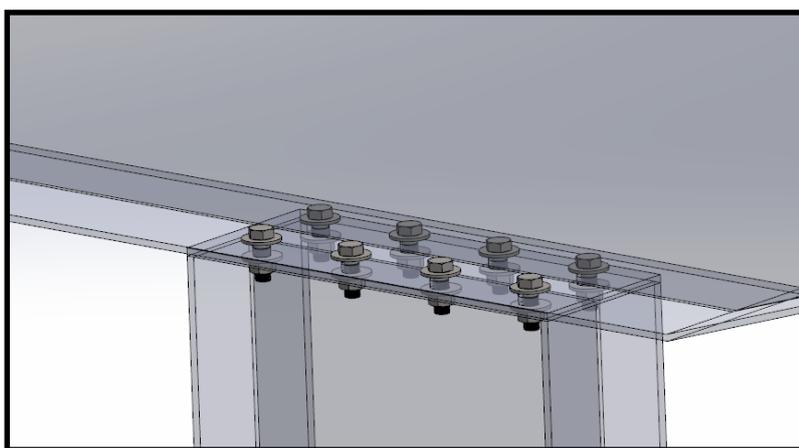


FIGURA 2.27: UNIÓN VIGA DE CUBIERTA - COLUMNA [8].

UNIÓN CONJUNTO CERCHAS

Para los pernos de la unión de la cercha de cubierta se dimensiona en función de los pernos ya seleccionados para viga de cubierta y

columna, por ser pernos SAE Grado 5 de alta resistencia y con el fin de evitar diversificar en la utilización de varios diámetros y longitudes, se busca estandarizar una misma dimensión o la menor cantidad de estos que facilitan al montador en obra.

Por tanto se distribuye en la unión de cercha 4 pernos cabeza hexagonal de $\Phi 1/2"$ x 2" con 2 arandelas de 1/2" y 1 tuerca de 1/2", y la unión se la realiza como se muestra en la figura 2.28.



FIGURA 2.28: UNIÓN CERCHA DE CUBIERTA [8].

Unión Vigas para Soporte de Steel Panel

Del mismo modo que en el caso anterior con el fin de estandarizar, para la unión de la viga para soporte de Steel Panel se utilizará 2 pernos hexagonales de $\Phi 3/8"$ x 1-1/4" con 1 arandela plana de 3/8"

y 1 tuerca 3/8" y la unión se la realiza como se muestra en la figura 2.29.

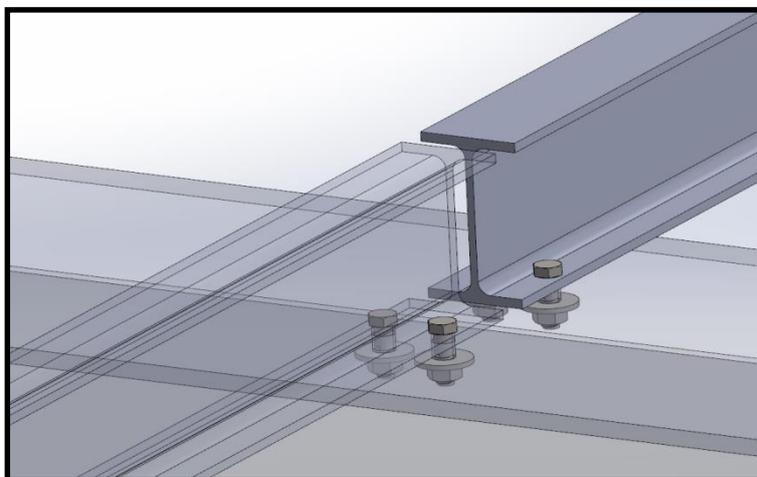


FIGURA 2.29: UNIÓN VIGA DE STEEL PANEL [8].

De esta manera los pernos a utilizar para el montaje tal como se listan en la tabla 2.11 no diversificarán en sus dimensiones, lo que facilita al montador evitar pérdidas o errores al colocarlos en donde no corresponda.

TABLA 18

LISTA DE PERNOS PARA ELEMENTOS DEL PÓRTICO [18].

LISTA DE PERNOS A UTILIZAR POR PÓRTICO					
Ubicación	Ítem	Tamaño	Longitud	Grado	Total por Pórtico
CUBIERTA COLUMNA	Perno Hexagonal Galvanizado	Φ7/8"	2-1/2"	SAE 5	64
	Arandela Plana Galvanizado	Φ7/8"	-	-	128
	Tuerca Hexagonal Galvanizado	Φ7/8"	-	-	64
CERCHA DE CUBIERTA	Perno Hexagonal Galvanizado	Φ1/2"	2"	SAE 5	152
	Arandela Plana Galvanizado	Φ1/2"	-	-	304
	Tuerca Hexagonal Galvanizado	Φ1/2"	-	-	152
SOPORTE STEEL PANEL	Perno Hexagonal Galvanizado	Φ3/8"	1-1/4"	SAE 5	104
	Arandela Plana Galvanizado	Φ3/8"	-	-	104
	Tuerca Hexagonal Galvanizado	Φ3/8"	-	-	104

2.3. Armado De Conjuntos

2.3.1. Estructura Principal Viga-Columna-Placa

Base

La estructura principal está conformada por la viga de cubierta, columnas y placas base, estos tres elementos pre-armados en fabrica dan forma a un pórtico de la estructura de la Nave Industrial

en obra. Estos elementos son ensamblados por medio de los métodos de unión ya seleccionados Perno, Arandela, Tuerca.

VIGA DE CUBIERTA

La viga de cubierta está formada de segmentos de vigas I660 conformada de 6m longitud determinada a través del cálculo de viga de cubierta con la denominación de V1, V2 y V3, como se muestra en las figuras siguientes.

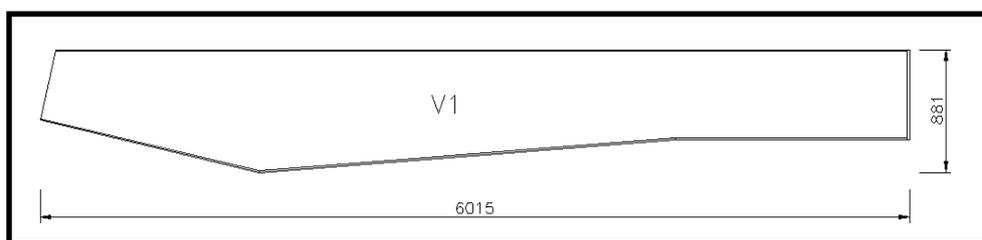


FIGURA 2.30: CONJUNTO V1, VIGA DE CONEXIÓN CON COLUMNA [18].

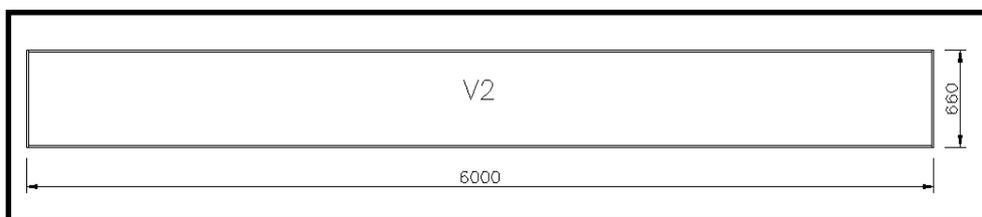


FIGURA 2.31: CONJUNTO V2, VIGA DE AMARRE DE CUBIERTA [18].

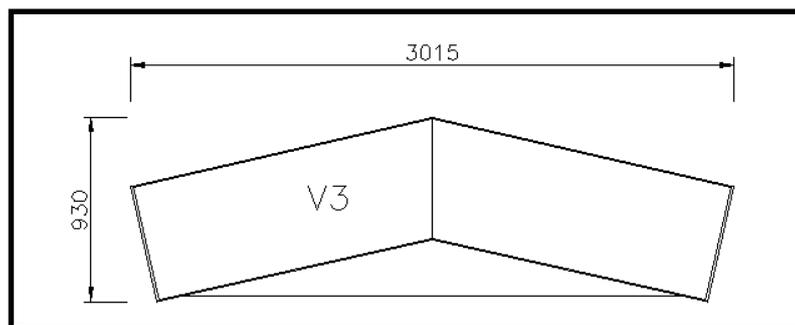


FIGURA 2.32: CONJUNTO V3, VIGA DE CUBIERTA CENTRAL

[18].

Los planos constructivos de los conjuntos de viga de cubierta se los detalla en los anexos del presente proyecto.

COLUMNAS

La columna según el cálculo está dada por vigas laminadas W530x109 de longitud de 7560mm con sus respectivas placas de conexión a la cubierta que se conecta por medio de pernos de $\Phi 7/8$ " y, placa base para la conexión con la cimentación por medio de pernos de anclaje.

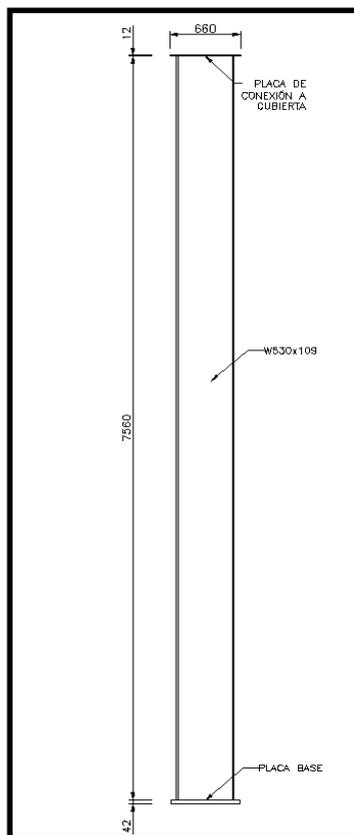


FIGURA 2.33: CONJUNTO CP1. COLUMNA DE PÓRTICO [18].

2.3.2. Cerchas Soporte de Evaporadores

La Cercha para el soporte de los evaporadores, es una parte complementaria de suma importancia del pórtico, ya que ayuda a disminuir la deflexión en el centro del claro y sirve como punto de anclaje de los equipos, paneles de poliuretano de la cámara frigorífica y demás instrumentos, y equipos necesarios para su funcionamiento.

Esta cercha es seleccionada de perfil estructural HEB100 a la cual se le suelda dos placas en sus extremos que permite la unión con los demás elementos que forman parte de esta cercha.

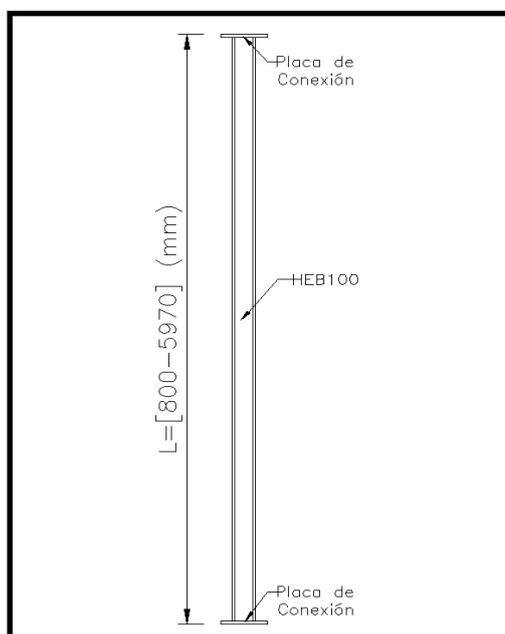


FIGURA 2.34: CONJUNTO A1-A9. VIGA HEB100 PARA CERCHA [18].

Por medio de estos conjuntos pre-armados en fabrica se realiza el montaje de la estructura principal junto con la cercha para soporte de evaporadores en obra, los cuales dan forma a uno de los pórticos de la Nave Industrial.

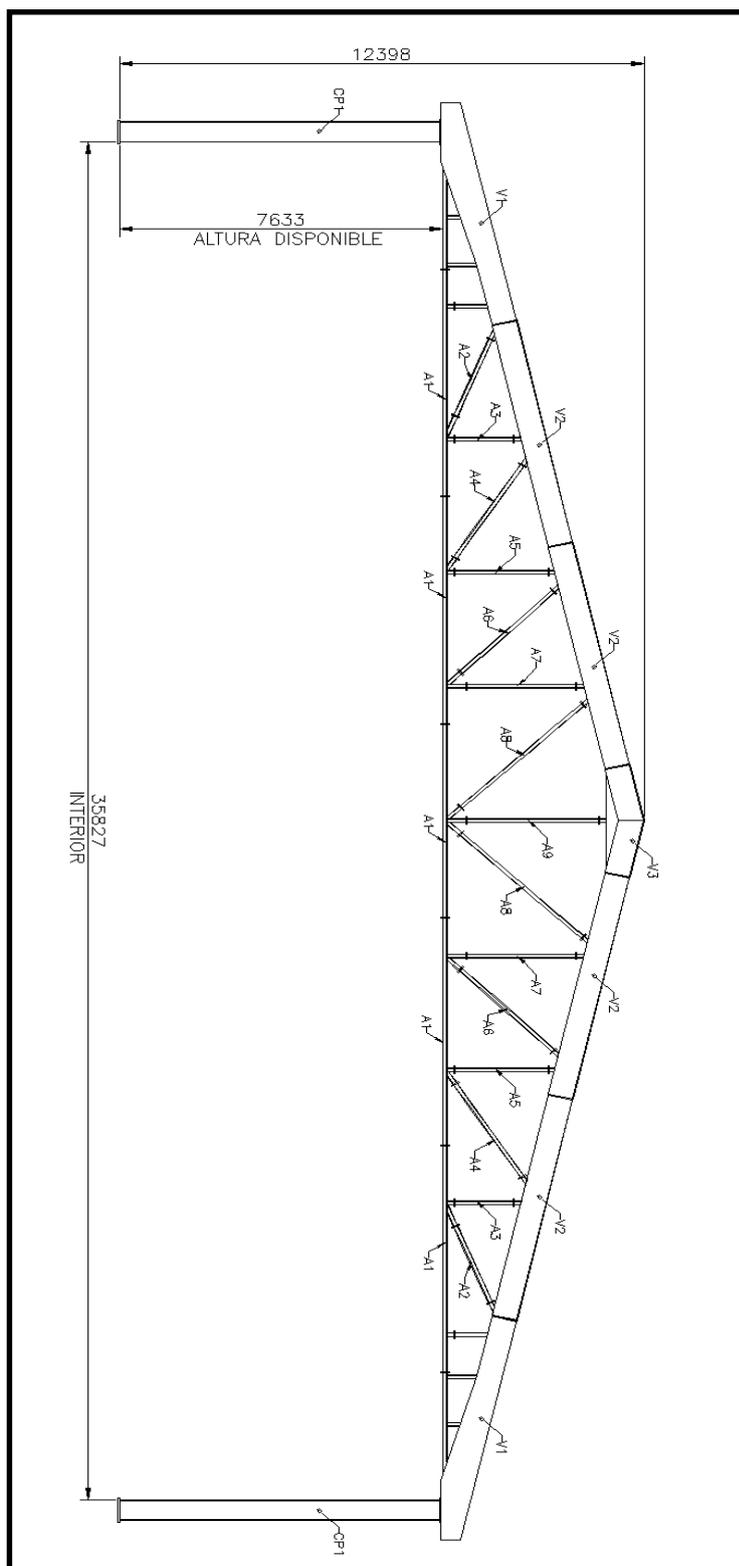


Figura 2.35: CONJUNTO ARMADO DE PÓRTICO DE NAVE INDUSTRIAL [18].

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

3.1. Modelado de la Estructura en Solidworks

3.1.1. Conjunto Principal Viga - Columna

Para tener una visión del diseño de forma del pórtico principal conformada por Viga para el Techo, Columnas y Placa Base, se toma como base los resultados obtenidos del método analítico y se modelará la estructura en el software comercial SolidWorks, por ser un programa 3D intuitivo y de fácil interacción, el cual permite dibujar con mayor rapidez, a su vez es compatible y permite exportar los modelos 3D a otros programas de diseño y análisis de elementos finitos tales como ANSYS®.

Con los parámetros iniciales descritos en el párrafo 2.1.2, se procede a realizar un diseño de forma del pórtico principal, las columnas estarán formadas de perfil laminado W530x109 y la viga de cubierta con perfil conformado I660, los cuales dan forma al pórtico principal de la Nave Industrial, como se muestra en la figura 3.1, los planos constructivos del pórtico y de los perfiles seleccionados se los puede encontrar en el apéndice del presente proyecto.

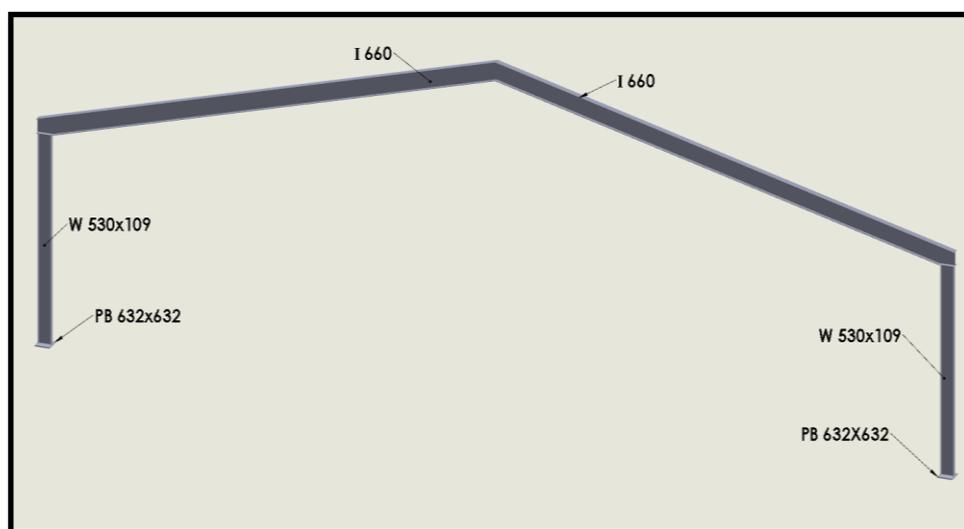


FIGURA 3.1: ESTRUCTURA DEL PÓRTICO PRINCIPAL CON PERFILES SELECCIONADOS [8].

El diseño preliminar del pórtico principal me permitirá saber si la estructura se encuentra sobredimensionada, o si necesita ser reforzada de mejor manera, para lo cual se realiza el respectivo

análisis por elementos finitos en ANSYS® de los perfiles seleccionados y luego se busca rigidizar las zona en la que se encuentra la mayor concentración de esfuerzos, hasta obtener el diseño final acorde a los requisitos de trabajo y cumpliendo las normas de diseño establecidas.

3.1.2. Cercha Soporte Evaporadores

Para la segunda parte de la nave industrial, se considerará a la estructura del pórtico principal y se la rigidizara con una cercha tipo pratt; se utilizará esta cercha debido a su principal característica de trabajar en estructuras de grandes luces, y debido a que también esta estructura estará soportando el peso de los evaporadores y el panel aislante del techo, quedando su diseño preliminar formada con viga HEB100 como se muestra en la figura 3.2.

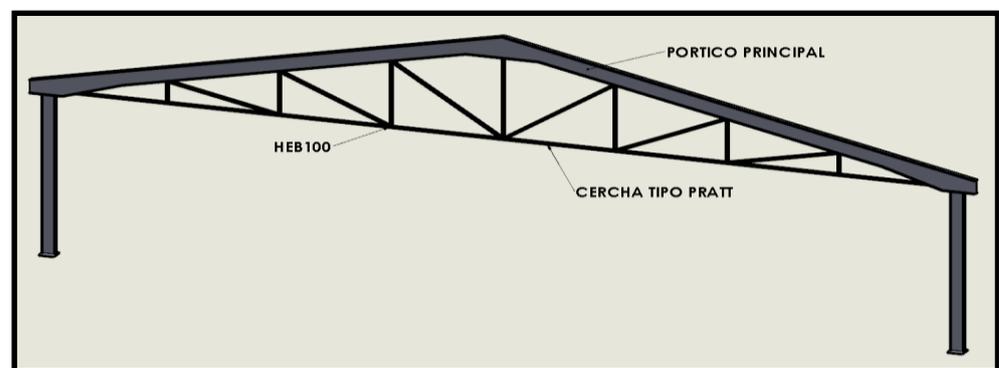


FIGURA 3.2: PÓRTICO PRINCIPAL CON CERCHA PARA SOPORTE EVAPORADORES [8].

Definida los diseños preliminares de los pórticos principales, se realizará un análisis por elementos finitos en el que se observará el funcionamiento de cada parte de estas estructuras, con el cual se puede confirmar los perfiles a utilizar o se realizará modificaciones que permitan el correcto funcionamiento del sistema.

3.1.3. Placas Rigidizadoras para Estructura.

Una vez conocida la forma del pórtico principal y de la cercha de soporte de evaporadores, la estructura debe ser rigidizada de tal manera que en los puntos en los que existan concentración de esfuerzos, minimizarlos utilizando rigidizadores, placas de continuidad, o conectores para que de esta forma el sistema pueda soportar todas las fuerzas externas a la que está siendo sometido. La manera de conocer de forma rápida en donde se presentan estos esfuerzos es por medio del análisis de elementos finitos, donde las zonas más afectadas siempre se encuentran en las conexiones.

Una de los puntos necesarios a ser rigidizados es en las uniones de las placas base con la cimentación; en donde las fuerzas provocadas por las cargas sísmicas indican que la mejor manera de

evitarlas es rigidizando la conexión colocando placas o ángulos, como se ilustra en la figura 3.3.

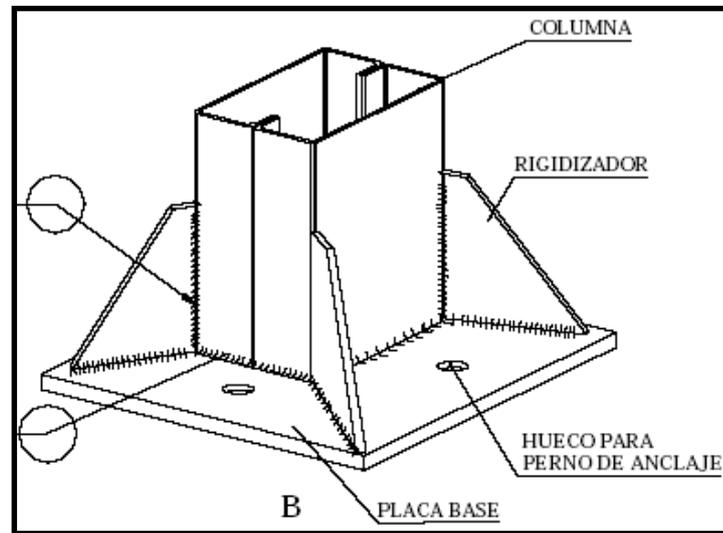


FIGURA 3.3: RIGIDIZADORES EN PLACA BASE [21]

Otra zona afectada por las fuerzas externas son las columnas, y la conexión columna - cubierta, en donde dependiendo del análisis por elementos finitos se conocerá el lugar correcto en donde colocar las placas rigidizadoras.

3.2. Análisis Estructural en ANSYS®.

3.2.1. Análisis del Conjunto Principal Viga – Columna

Una vez realizado el modelo virtual 3D con los perfiles seleccionados y con las características de diseño, se realiza la

simulación por elementos finitos en ANSYS®, en el que se estudiará los estados de esfuerzo, deformación en la estructura, y factor de seguridad quedando de la siguiente manera.

ANÁLISIS DEL ESFUERZO DE VON MISES PARA PÓRTICO PRINCIPAL.

ESTRUCTURA PRINCIPAL

Para el análisis del esfuerzo de Von Mises, se debe tener conocimiento del tipo de fuerzas que actúan sobre el perfil de la viga y su modo de actuar. Para la estructura principal, se conoce que las fuerzas que estará soportando son las siguientes:

- Fuerzas IPE100 y Steel Panel = 533.57 N/m
- Cargas Vivas = 2943 N/m
- Cargas Muertas = 882.9 N/m
- Cargas por Viento = 53.58 N/m²
- Cargas Sísmicas = 320013 N

Antes de comenzar con el estudio de las fuerzas, se debe importar el modelo virtual desde el software SolidWorks hacia ANSYS® Workbench, para que el programa pueda relacionarlo con el entorno de trabajo de esta plataforma de análisis estructural.

En la ventana Project Schematic, es donde se ingresarán los datos necesarios para el análisis por medio de la herramienta Static Structural, Engineering Data y Mesh.

En esta ventana se definen los parámetros necesarios, como tipo de material, cargas aplicadas, generación del mallado para análisis estructural y se receptan las variables como esfuerzo de Von Mises, Deformación y Factor de Seguridad, quedando el estudio como se muestra en la figura 3.4.

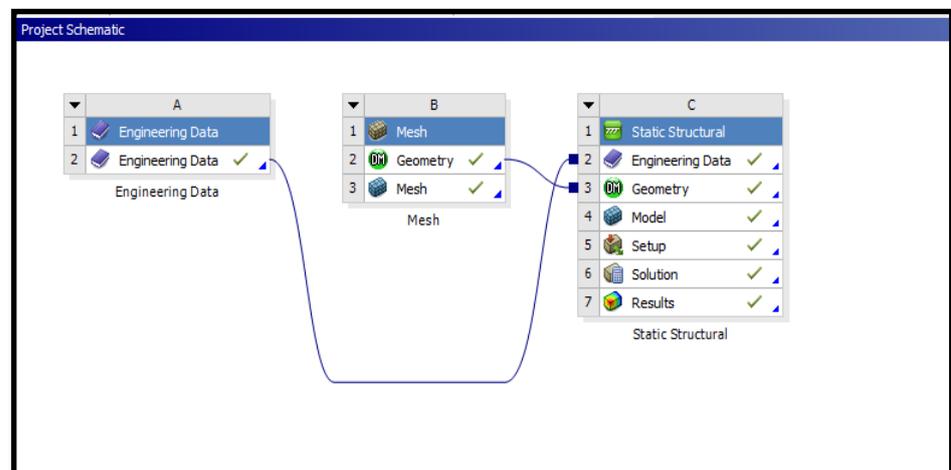


FIGURA 3.4: VENTANA DE ESTUDIO PROJECT SCHEMATIC [9].

Con la herramienta Engineering Data se define el tipo de material a utilizar, que para este caso particular se utilizará el acero ASTM A588, al no encontrarse dentro de la librería del programa, se crea el material con las propiedades mecánicas necesarias para el estudio.

Outline of Schematic A2, C2: Engineering Data			
A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	Source	Description
2	Material		
3	AASTM 588		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material		

Properties of Outline Row 3: AASTM 588			
A	B	C	D
Property	Value	Unit	
1			
2	Density	7850	kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
16	Strain-Life Parameters		
24	Tensile Yield Strength	3,45E+08	Pa
25	Compressive Yield Strength	3,45E+08	Pa
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹
29	Specific Heat	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹
30	Isotropic Relative Permeability	10000	
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m

FIGURA 3.5: ENGINEERING DATA, MATERIAL A588 [9].

Con la herramienta Mesh se define el tipo de mallado a utilizar y es donde se pueden cambiar los parámetros de mallado que permitirán al modelo estar más cerca de la realidad. Este paso es muy importante porque divide el modelo en un número finito de subregiones de manera que mientras más densa sea está menor será el error.

Para el diseño de esta estructura se utilizará el mallado Hexagonal Dominante, ya que por ser una estructura en su mayoría formada por piezas planas, la forma de malla rectangular-hexagonal permitirá la convergencia de los datos con mayor rapidez.

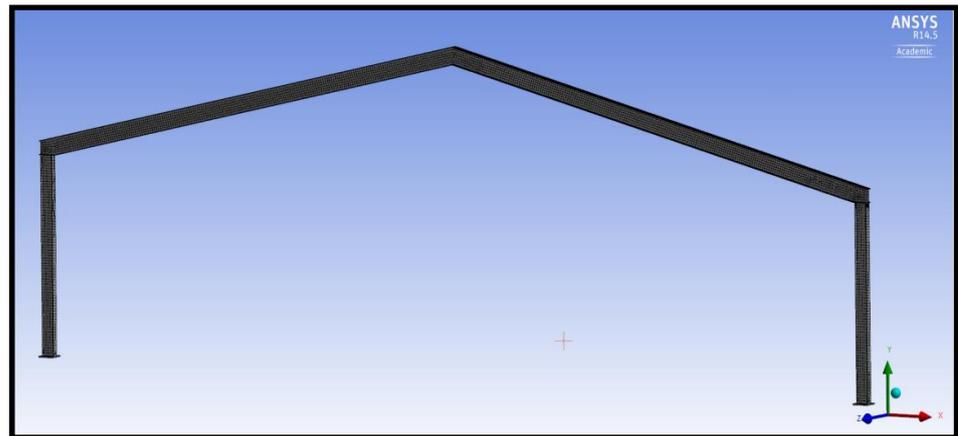


FIGURA 3.6: MESH HEX DOMINANT EN PÓRTICO PRINCIPAL

[9].

Realizando un acercamiento a la malla en cualquier zona de la estructura, se puede notar la calidad de la malla, su geometría simétrica y rectangular-hexagonal.

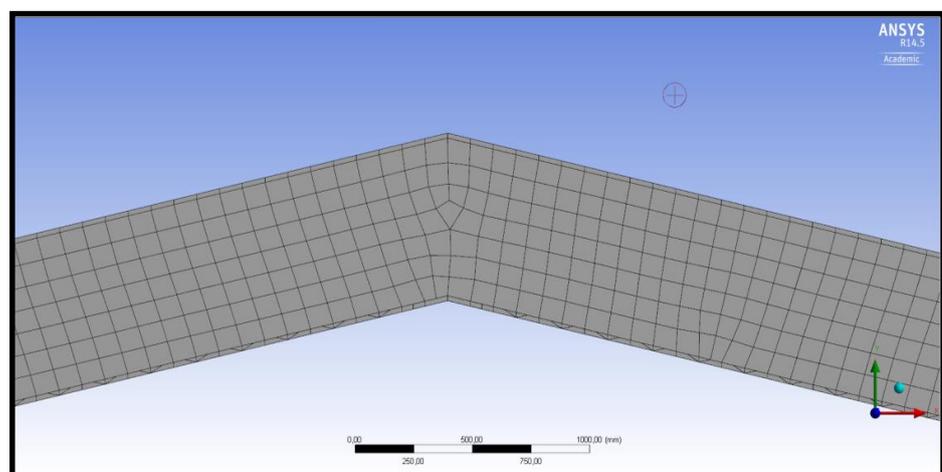


FIGURA 3.7: MESH HEX DOMINANT - CUBIERTA [9].

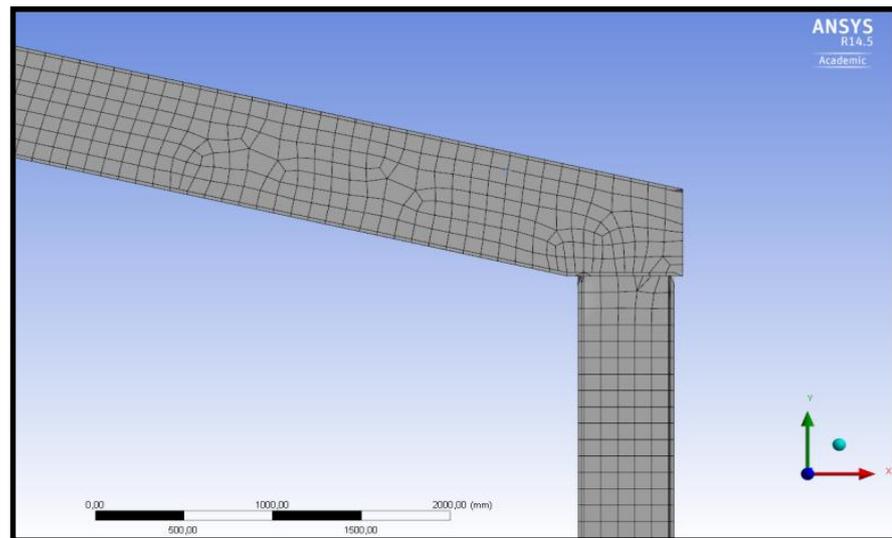


FIGURA 3.8: MESH HEX DOMINANT - CONEXIÓN VIGA-COLUMNA [9].

En la figura 3.7, 3.8 se puede observar el mallado de la estructura principal del pórtico con una calidad de los elementos cercano a la forma básica del rectángulo que en la métrica de la malla de ANSYS® se lo define como muy bueno, como se observa en la figura 3.9.

La mayor densidad de la malla forma la estructura en estudio, y las partes restantes la complementan geometrías de forma tetraedral, teniendo al final una malla mixta, formada en su mayoría de rectángulos y complementada con triángulos.

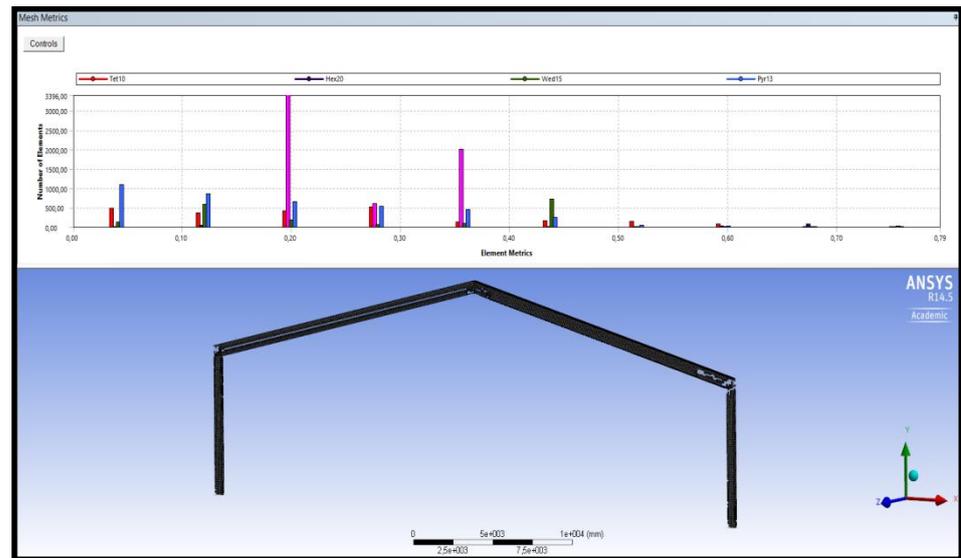


FIGURA 3.9: MESH - ELEMENT QUALITY DE PÓRTICO PRINCIPAL. [9].

Una vez realizada la malla, con la herramienta Static Structural, se colocan las cargas que actúan sobre el pórtico, y a su vez se obtienen las variables requeridas del diseño, esfuerzo, deformación y factor de seguridad, como se muestra en la figura 3.10, el cual corresponde al árbol de parámetros requeridos para el análisis y las variables dadas de manera de solución.

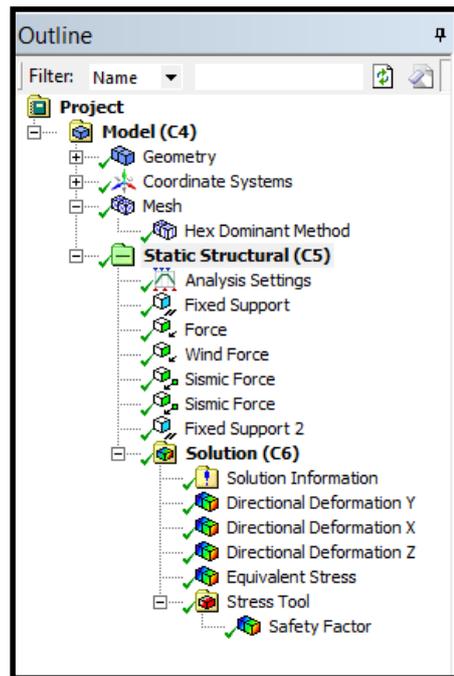


FIGURA 3.10: STATIC STRUCTURAL - DEFINICIÓN DE CARGAS [9].

En la figura 3.11 se representan las fuerzas anteriormente ya definidas sobre la estructura en estudio, estas fuerzas son las que definirán si la estructura esta correctamente dimensionada, y una vez definidas se resuelve el mallado con las fuerzas aplicadas y dentro de los resultados se tiene.

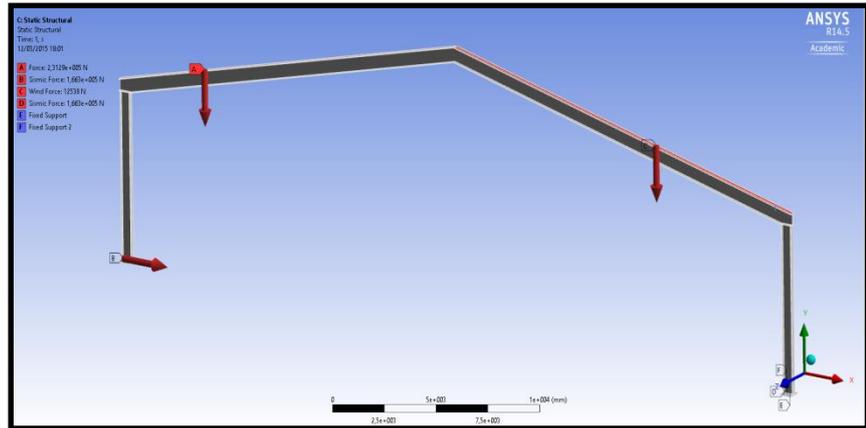


FIGURA 3.11: FUERZAS REPRESENTADAS EN ESTRUCTURA [9].

En las figuras siguientes se representan los resultados debido por las fuerzas externas aplicadas en la estructura:

- Deformación $Y_{\max} = 290.69\text{mm}$
- Deformación $X_{\max} = 39.48 \text{ mm}$
- Deformación $Z_{\max} = 39.48 \text{ m}$
- Esfuerzo de Von Mises $\sigma_{\max} = 231.9 \text{ MPa}$
- Factor de Seguridad $f_s = 1.4$

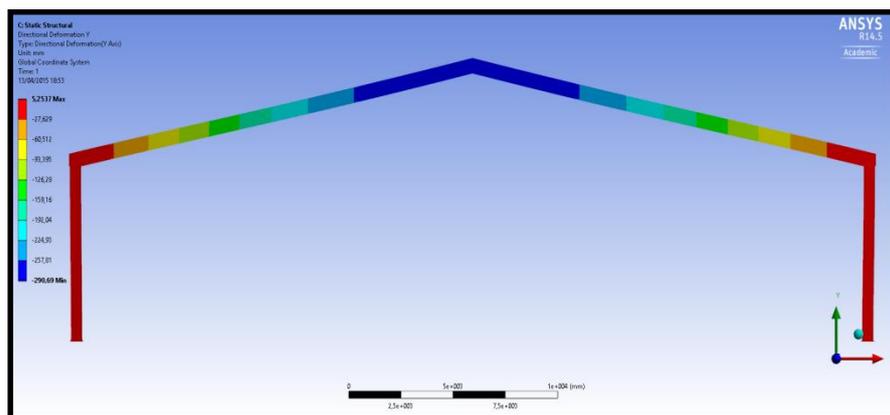


FIGURA 3.12: DEFORMACIÓN EN Y PÓRTICO PRINCIPAL [9].

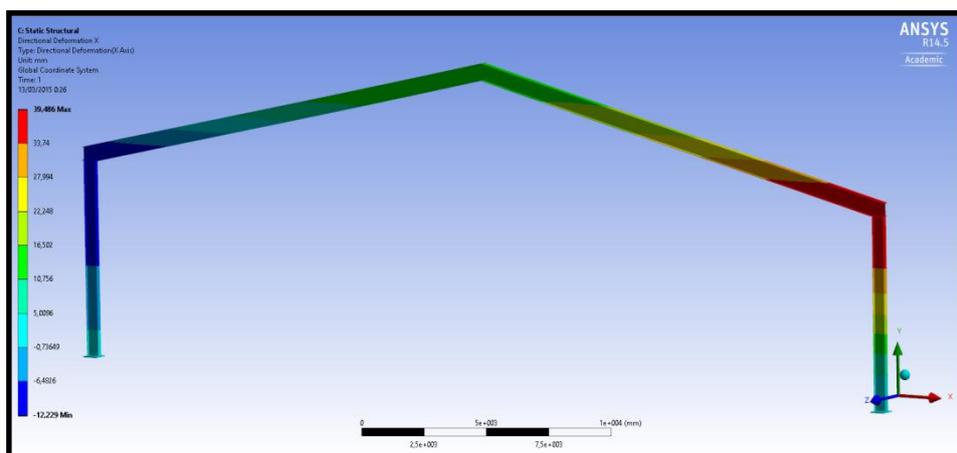
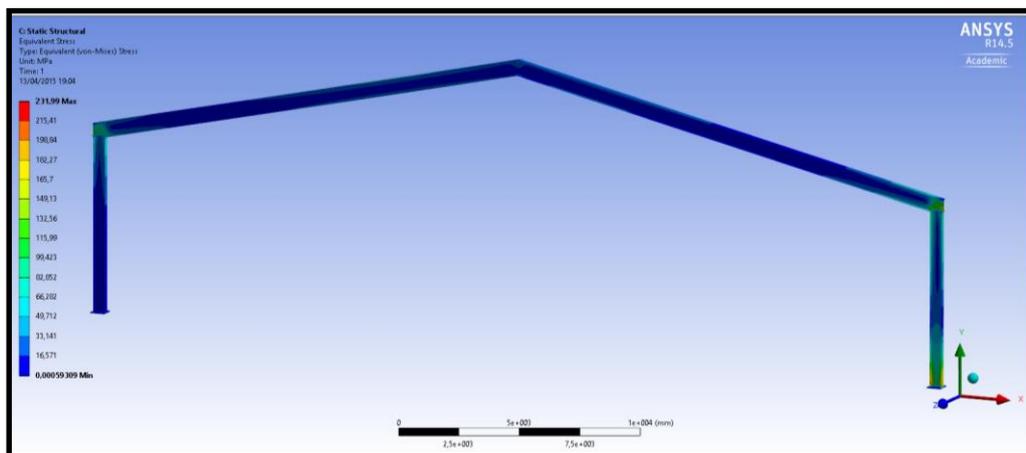


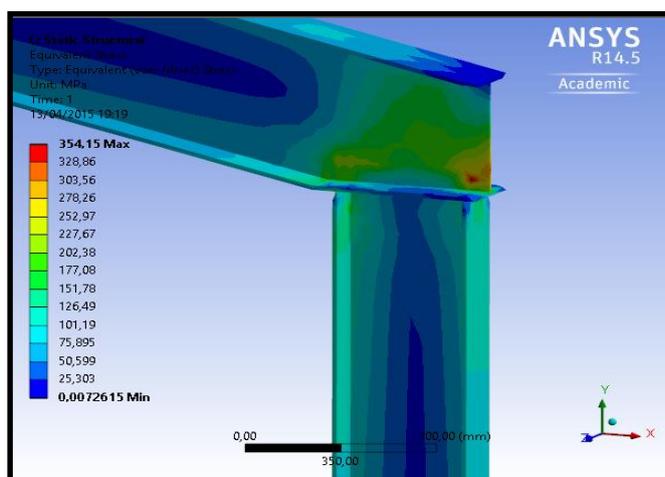
FIGURA 3.13: DEFORMACIÓN EN X Y Z PÓRTICO PRINCIPAL [9].

La deformación máxima está dada en la dirección del eje coordenado Y representado en la figura de color azul, la cual se presenta en el centro del pórtico, como se era de esperar, luego se realizarán cambios para que se puede corregir en mayor medida la deformación presente en esta zona de la estructura.



**FIGURA 3.14: ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES
PÓRTICO PRINCIPAL [9].**

Realizando un aumento en las zonas en donde se presenta la mayor concentración de esfuerzo para analizar y poder corregir o rigidizar la estructura, se tiene las siguientes figuras.



**FIGURA 3.15: ZONA DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO.
CONEXIÓN CUBIERTA - COLUMNA [9].**

En la figura 3.15 se puede notar que en la unión de la viga de cubierta con la columna se tiene una zona en donde el esfuerzo $\sigma = 354.05MPa$ es mayor al esfuerzo en el límite de fluencia de este acero, por lo que el análisis indica que esta zona debe ser rigidizada para disminuir la concentración de esfuerzos, a su vez en esta zona se presenta un bajo factor de seguridad 0.97, lo que indica que la estructura puede comenzar a fallar por esta conexión.

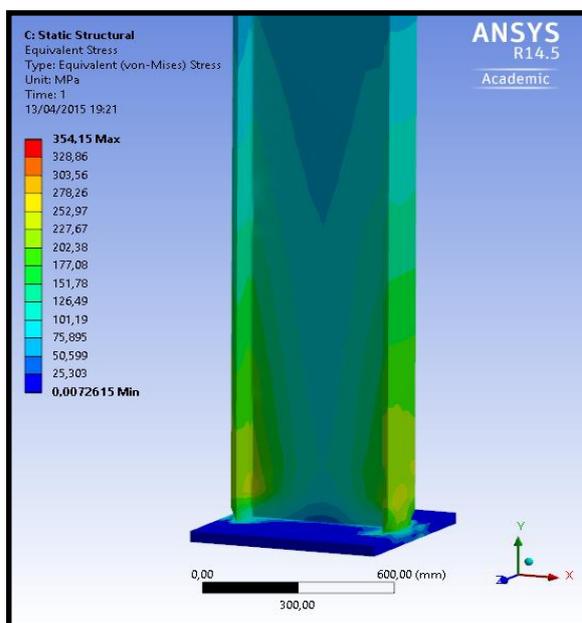


FIGURA 3.16: ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES EN COLUMNA [9]

Otra zona que muestra el mismo efecto de concentración de esfuerzo, son las columnas del pórtico que soportan los esfuerzos debido a las cargas de cubierta y las cargas sísmicas; estas

soportan esfuerzos alrededor de 304 MPa, ya muy próximo al esfuerzo en el límite de fluencia del material, con un factor de seguridad de 1.13, por lo que conviene que sean rigidizado para su trabajo.

En la figura 3.17 se observa el factor de seguridad en toda la estructura, así se puede analizar las zonas en la que se debe mejorar la misma. El factor de seguridad mínimo en la estructura se presenta en la conexión entre la viga de cubierta y la columna.

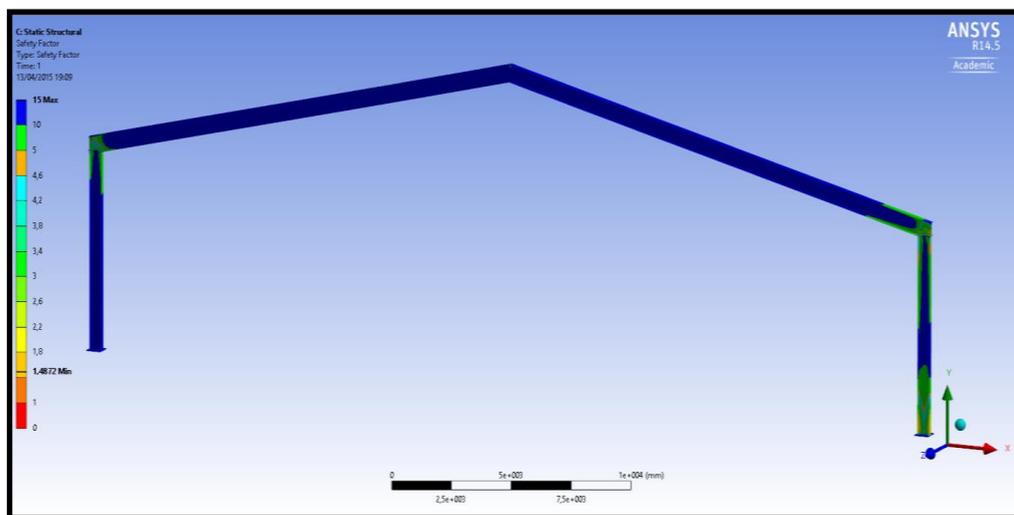


FIGURA 3.17: FACTOR DE SEGURIDAD PÓRTICO PRINCIPAL

[9].

Conociendo las zonas en las que se debe rigidizar la estructura, y utilizando el proceso iterativo que me permite realizar el programa de elementos finitos, se busca el lugar correcto para la ubicación de

los rigidizadores que permitan poder disminuir los esfuerzos concentrados en las conexiones y la columna, por tanto se tiene las siguientes mejoras en el pórtico principal.

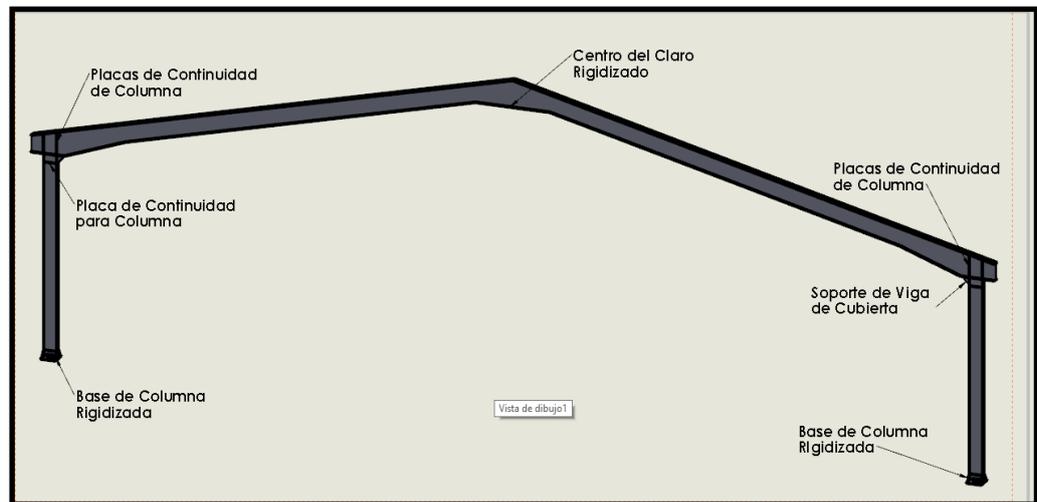


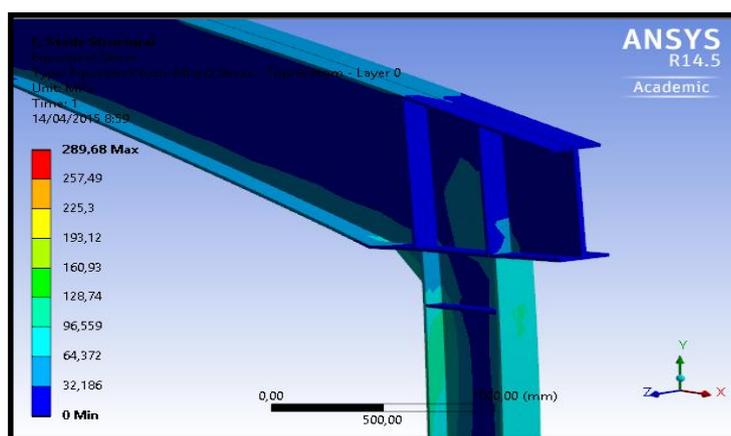
FIGURA 3.18: PÓRTICO PRINCIPAL MODIFICADO CON RIGIDIZADORES [9].

Realizado el proceso iterativo, para determinar si los rigidizadores ubicados en el pórtico principal son adecuados, se llega a la forma del pórtico mostrado en la figura 3.18, en donde la ubicación de placas de continuidad en la conexión viga - columna permiten distribuir el esfuerzo y eliminar los concentradores de esfuerzo. A su vez al rigidizar las bases de las columnas se puede lograr que el esfuerzo sea distribuido y que la columna soporte la cortante basal causada por la carga sísmica.

Estas mejoras al diseño de la estructura permiten soportar las cargas externas a las que va a estar sometida la Nave Industrial, quedando los resultados para estas zonas en particular mejoradas, como se muestra en las figuras siguientes.

- Esfuerzo de Von Mises $\sigma_{\max} = 289.68 \text{ MPa}$
- Factor de Seguridad $f_s = 1.20$

Como es de notar, al colocar estos rigidizadores las cargas concentradas en la conexión viga - columna se disminuyen a $\sigma = 268.66 \text{ MPa}$, evitando que fallen en estas zonas y alargando el ciclo de vida de la estructura.



**FIGURA 3.19: ESFUERZO DE VON MISES CONEXIÓN VIGA
- COLUMNA [9].**

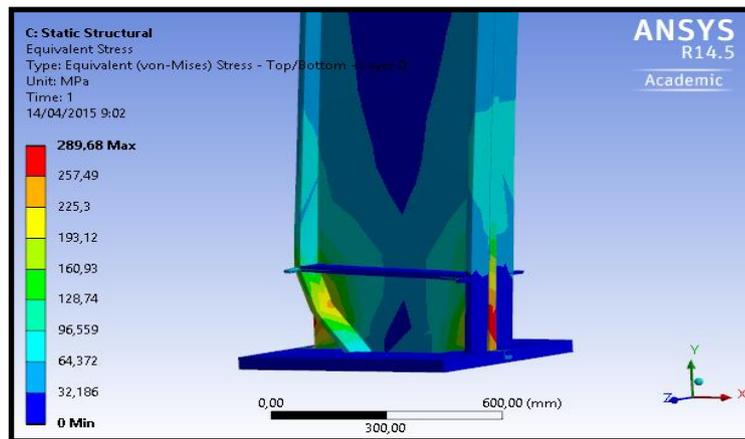


FIGURA 3.20: ESFUERZO DE VON MISES COLUMNA - PLACA BASE [9].

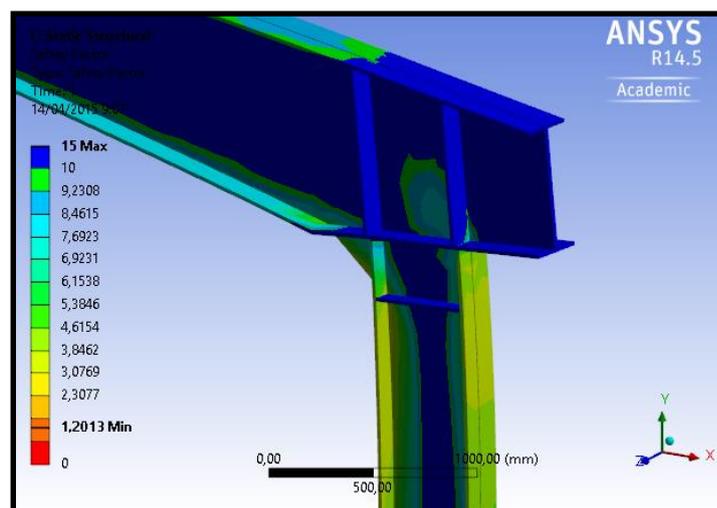


FIGURA 3.21: FACTOR DE SEGURIDAD CONEXIÓN VIGA - COLUMNA [9].

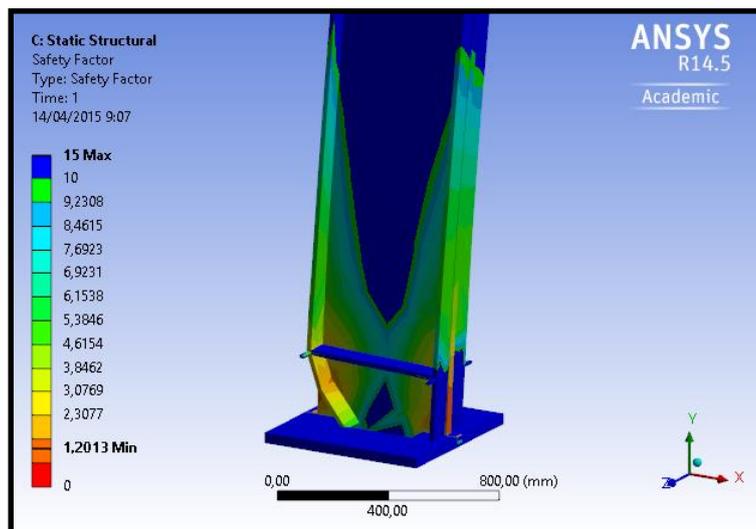


FIGURA 3.22: FACTOR DE SEGURIDAD COLUMNA - PLACA BASE [9].

Dentro del análisis realizado, se pueden notar las mejoras en la estructura, ahora la conexión de viga de cubierta - columna no soportan esfuerzos superiores al esfuerzo de fluencia del material mejorando su factor de seguridad en 1.3 por medio de las placas de continuidad y placas para soporte de viga de cubierta. También al rigidizar la base de la columna permite disminuir los esfuerzos causados por las cargas sísmicas, teniendo al final $\sigma = 289.68MPa$ con un factor de seguridad de 1.20.

Ahora con la ayuda de la cercha para soporte de evaporadores y panel de poliuretano, se realizará un nuevo estudio de la deflexión,

esfuerzos y factor de seguridad con el fin de aumentar la fiabilidad de la estructura.

3.2.2. Análisis De Cercha De Soporte Evaporadores

Para el soporte de los evaporadores y panel de poliuretano que forman las paredes de la cámara frigorífica, se necesita de una estructura de la cual se pueda colgar estos componentes, a su vez, por medio de esta estructura se busca rigidizar en mayor medida la estructura del pórtico principal quedando de este modo una estructura completamente rigidizada.

Dentro del método analítico se dispuso de una cercha formada de HEB100 las cual permitirá servir de soporte para los elementos de máquina y paredes de la cámara, por lo cual en la figura 3.23 se muestra los resultados de la aplicación de esta estructura, los cuales se listan a continuación.

- Deformación $Y_{\max} = 45.00$ mm
- Deformación $X_{\max} = 16.20$ mm
- Deformación $Z_{\max} = 16.20$ m
- Esfuerzo de Von Mises $\sigma_{\max} = 192.6$ MPa
- Factor de Seguridad $f_s = 1.5$

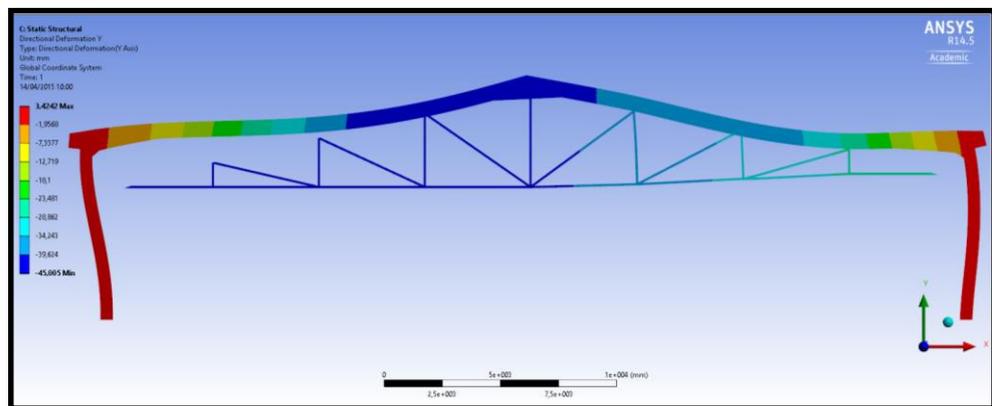


FIGURA 3.23: DEFORMACIÓN EN "Y" ESTRUCTURA MIXTA FINAL [9].

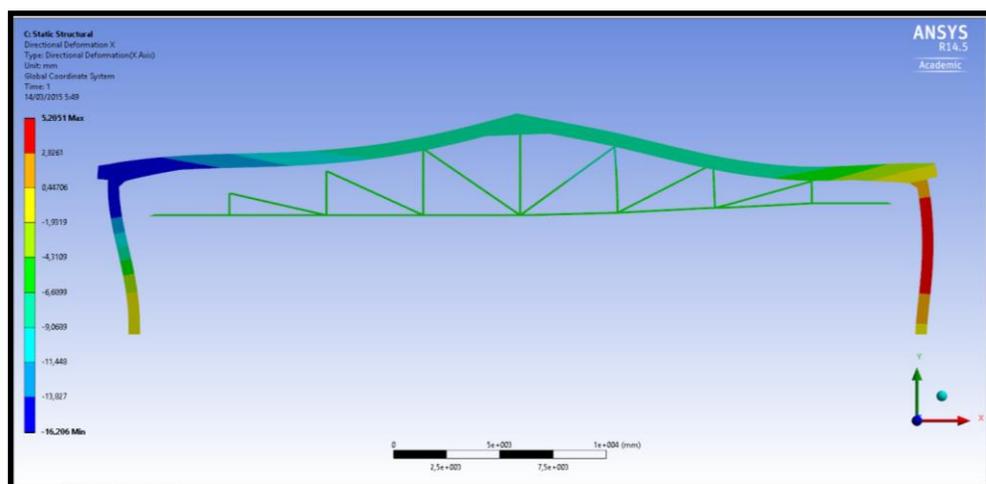


FIGURA 3.24: DEFORMACIÓN EN "X" Y "Z" ESTRUCTURA MIXTA FINAL [9].

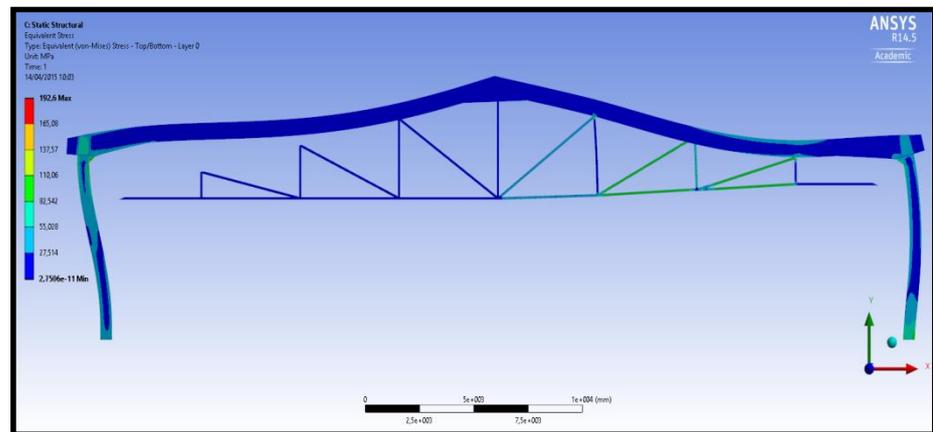


FIGURA 3.25: ESFUERZO DE VON MISES ESTRUCTURA MIXTA FINAL [9].

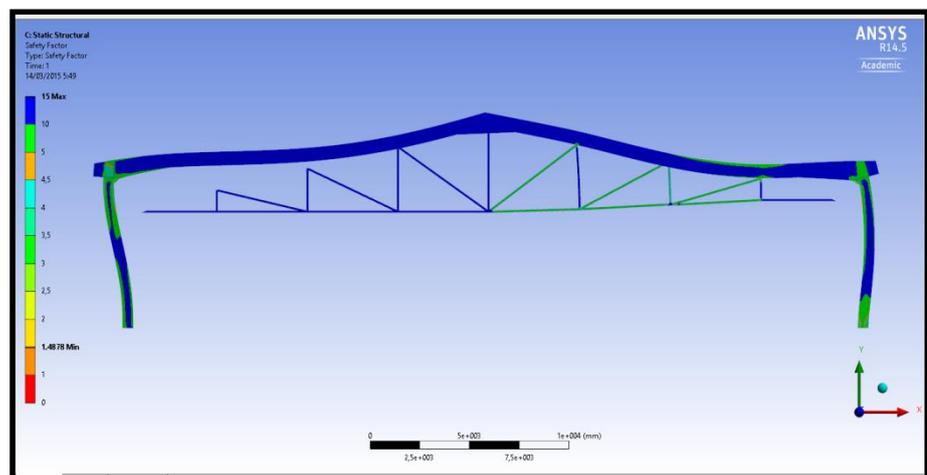


FIGURA 3.26: FACTOR DE SEGURIDAD ESTRUCTURA MIXTA FINAL [9].

Con los cambios realizados y los resultados obtenidos al combinar la viga de cubierta de alma llena con la armadura para soporte de

evaporadores se puede asegurar que la estructura del pórtico principal de la Nave Industrial es lo suficientemente rígida, segura y que soportar las cargas externas e internas para lo que está diseñada,

Al realizar la unión de los 16 pórticos, estas conforman la estructura de la Nave Industrial, como se muestra en la figura 3.27.

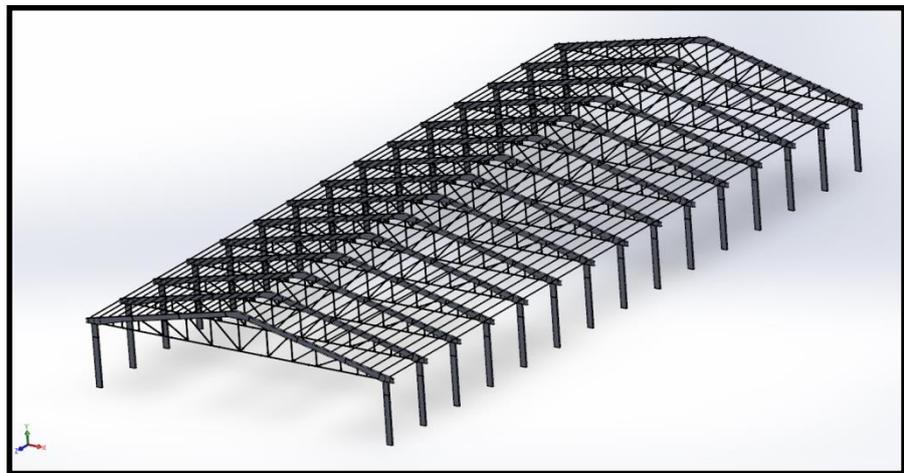


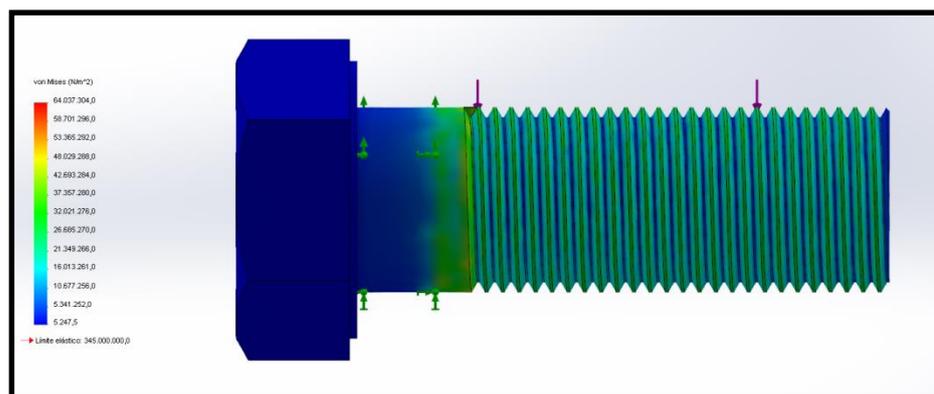
FIGURA 3.27: CONJUNTO DE PÓRTICOS QUE FORMAN LA NAVE INDUSTRIAL [8].

3.2.3. Análisis de Elementos Complementarios.

Dentro de los elementos complementarios que conforman la estructura del pórtico principal se encuentran los pernos para la unión de viga - columna, columna - placa base.

Para determinar el grado del perno en la industria metalmecánica, se seleccionan en función al elemento que estará sometido a mayor carga, que para el caso de la estructura esta se encuentra en la unión placa base - columna, por soportar las cargas sísmicas de $V_b = 320013N$, lo cual indica que el perno está sometido a cargas de esfuerzo cortante.

Para el estudio como se ha determinado en el capítulo 2, el perno que sirve de unión entre la columna y placa base son 8 pernos de $\Phi 7/8"$ en SAE Gr.5. Aplicando el análisis de elementos finitos en ANSYS® a este elemento, se tienen los siguientes resultados.



**FIGURA 3.28: ESFUERZO DE VON MISES EN PERNO MAX:
64MPA [9].**

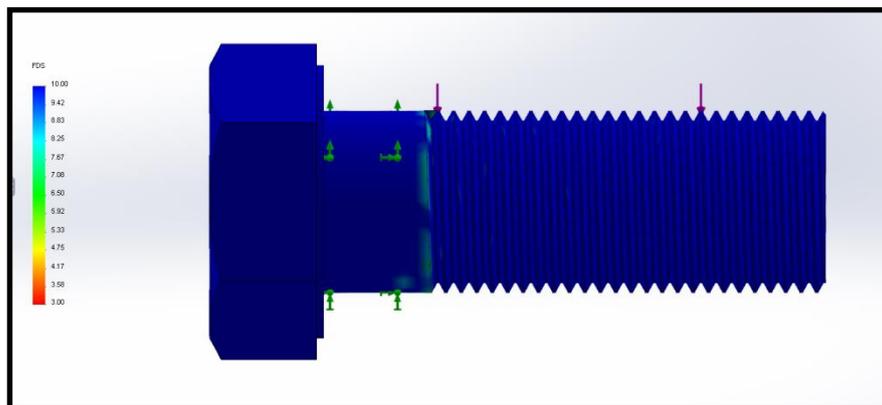


FIGURA 3.29: FACTOR DE SEGURIDAD MIN: 5.4 [9].

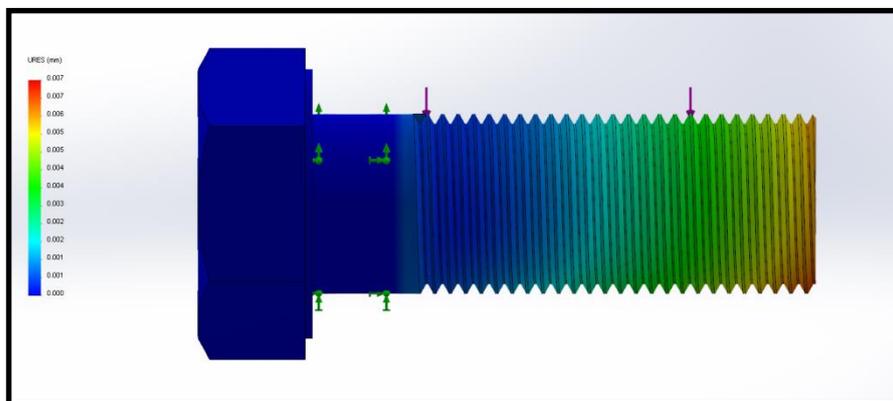


FIGURA 3.30: DEFORMACIÓN EN YMAX:0.007MM [9].

Con estos resultados obtenidos se puede asegurar que los pernos soportan los esfuerzos para los que son seleccionados y, conociendo que el grado del mismo, se puede dimensionar y seleccionar la cantidad de pernos a utilizar para la unión de viga de cubierta - columna, columna - placa base, unión de armadura y conexión viga soporte steel panel con cubierta, para lo cual el perno será UNC SAE Gr.5, como se lo calculo por medio del método

analítico. Las dimensiones de longitud del perno se lo muestra en los planos adjuntos en el apéndice del presente proyecto y estos están dados en función de los espesores de los elementos a unir.

3.3. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

Uno del principales factores que influye el obtener mejores resultados en el análisis de elementos finitos es la aplicación del mallado del elemento, si se realiza un mallado más fino, los resultados serán más precisos y la simulación será lo más real posible, mientras que si el mallado es pobre, los resultados obtenidos tienen a dar valores fuera del rango de trabajo de la estructura sobredimensionándola, por lo que se debe seleccionar correctamente el mallado para cada elemento.

Como se puede notar en los resultados finales del diseño del pórtico principal de la Nave Industrial, al utilizar la combinación de viga de alma llena con la armadura para soporte evaporadores y los rigidizadores en comparación con el diseño original, existe una gran mejora tanto funcional al disminuir la flexión en el centro del claro en la dirección de Y negativa desde 298mm a 48mm, a su vez los esfuerzos concentrados en ciertos puntos de la estructura con el uso rigidizadores y placas de continuidad se da un mayor rigidez de

los elementos que conforman la estructura, quedando de esta manera que el esfuerzo máximo presente en la estructura es de 192.6MPa con un factor de seguridad global mínimo de 1.5, lo cual vuelve a la estructura segura, funcional, y sin la necesidad de realizar gastos innecesarios sobredimensionando la misma.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

El presente capítulo tiene como objeto comparar la aplicación del método de elementos finitos con el método, y comprobar la eficiencia del método de elementos finitos en el diseño de la estructura. Para poder realizar esta comprobación, primero se deben conocer los resultados de obtenidos en ambos métodos.

4.1. RESULTADOS DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

Luego de aplicar el método de elementos finitos a la estructura de la Nave Industrial conformada de columnas W530x109, cubiertas conformada I660, armadura para soporte evaporadores formada por la unión de vigas HEB100 y una vez rigidizada la estructura en los puntos de mayor concentración de esfuerzos, se tiene que el

método permite obtener de manera más rápida resultados que lleven al diseño final deseado, sin la necesidad de volver a realizar los cálculos una vez se haya realizado algún cambio mínimo en la estructura.

Para la estructura principal de la Nave Industrial se tiene que;

- La cubierta de la Nave Industrial es una combinación entre Viga conformada I660 y armadura de viga HEB100, para ayudar que la flexión en el centro disminuya por debajo de 298mm. Al aplicar esta combinación se ayuda a que la estructura solo se flexione 45mm en la dirección de Y negativo evitando que existan deformaciones o fugas al momento del montaje o al instalar los paneles de poliuretano y demás equipos con los que contará la misma.
- Las placas rigidizadoras y las placas de continuidad son una gran ayuda para la estructura, ya que permiten distribuir los esfuerzos a otros elementos adyacentes y, evitando concentrar esfuerzos en un solo elemento. La aplicación de estas placas ayuda a la estructura a disminuir los esfuerzos de 304MPa concentrado en puntos de conexión a 289.68MPa

como esfuerzo máximo en las mismas conexiones, mejorando de esta manera su factor de seguridad en 1.2.

- Al utilizar una cercha central para rigidizar la estructura y que cumple con la función de soportar equipos e instrumentos necesarios para el funcionamiento de la cámara frigorífica, se puede notar que el esfuerzo de máximo con estos se reduce desde 289.68MPa a 197.3MPa, con un factor de seguridad de 1.5, que para estructuras de este tipo se acepta como nivel más bajo un factor de seguridad de 1.25, teniendo el diseño de la Nave Industrial como adecuado para su trabajo.
- Junto con la cubierta como parte principal de la Nave Industrial se encuentra las columnas seleccionadas de perfil comercial W530x109, que soportan las cargas de la cubierta y las fuerzas por viento y cargas sísmicas. A su vez se encuentran las placas bases de 632x632mm, que permitirán anclar la estructura a la cimentación y soportar todas las fuerzas de la Nave Industrial.
- Para la unión de los conjuntos viga-cubierta, armadura, soporte steel panel; se dispondrá a utilizar pernos UNC SAE Grado 5, soportando esfuerzos de 64MPa debido a la mayor fuerza que se presenta como cortante basal en la conexión de

columna - placa base, con un factor de seguridad de 5.4, teniendo de este manera las siguientes conexiones.

- Para la unión de la conexión cubierta-columna se utilizará 8 pernos $\Phi 7/8" \times 2-1/2"$; para la unión de la armadura de cubierta 4 pernos $\Phi 1/2" \times 2"$; y para unión de las vigas para soporte del Steel Panel, 2 pernos $\Phi 3/8" \times 1-1/4"$.

Por medio de los elementos mencionados anteriormente se puede realizar la construcción del pórtico principal. La unión de 16 pórticos permiten dar forma a la Nave Industrial en su totalidad en un terreno de 80x40m.

4.2. Resultados Basados en el Método Analítico.

El método analítico permite obtener resultados de una manera más tediosa, ya que para conocer de manera exacta la ubicación de un concentrador de esfuerzos, se debe iterar finitas veces de manera manual, pero a su vez permite determinar las secciones de los perfiles requeridos de una manera más sencilla y rápida.

Como resultados del método analítico se tiene;

- Para conocer el perfil necesario para la cubierta, se lo determina a partir del módulo de sección S , con el cual se

puede elegir rápidamente en tablas de perfiles comerciales el que más se acerque al mismo. En este caso se podría utilizar un perfil IPE600, pero en vista que se necesita que la flexión en el centro del claro sea la menor posible, se realiza la búsqueda del perfil adecuado, cambiando los espesores de ala y alma e iterando hasta que converja hasta la solución más adecuada, teniendo al final un perfil conformado I660, el cual soporta las cargas de cubierta $\sigma = 205.88\text{Mpa}$, el cual es menor al esfuerzo permisible del material, pero no cumple con los requisitos de diseño respecto a la flexión máxima permitida, teniendo 271.86mm, por lo que se combina esta solución con una armadura para la cubierta para poder disminuir la flexión.

- La armadura de la cubierta debe soportar las cargas debida por flexión en exceso y las cargas debida al peso del panel de poliuretano y los evaporadores. El perfil que cumple con esta requisito es la viga HEB100, el cual permite disminuir la flexión en el centro del pórtico a 39.7mm, soportando las fuerzas de compresión y a su vez ayuda como soporte para los paneles de poliuretano, evaporadores y demás equipos que pertenecen a la Nave Industrial.

- Para la selección de las columnas del pórtico principal, se determina que estas deben soportar aparte de las cargas de cubierta, también deben soportar las cargas sísmicas, por encontrarse asentada en un sitio de alto riesgo sísmico. Para las columnas se seleccionó el perfil comercial W530x109, viga de ala ancha, el cual soporta las fuerzas de compresión que causa la cubierta y evita el pandeo, también soporta las cargas sísmicas teniendo finalmente un esfuerzo $\sigma = 103.40 \text{ MPa}$ menor al esfuerzo permisible y con un factor de seguridad 3.3.
- El diseño de placa base está dada en función de la geometría de la columna y las cargas que se deben soportar, quedando sus dimensiones en 632x632mm y con un espesor de 42mm.
- Los pernos para unión de los conjuntos se los selecciona basados en la mayor carga que se presenta en la estructura, la cual está dada en la conexión de columna-placa base, quedando seleccionados de la siguiente manera; para la unión de la cubierta-columna 8 pernos de $\Phi 7/8" \times 2-1/2"$, para la armadura de cubierta 4 pernos de $\Phi 1/2" \times 2"$, y para la viga de soporte del steel panel 2 pernos de $\Phi 3/8" \times 1-1/4"$.

4.3. Comparación Del Método De Elementos Finitos Con El Método Analítico.

En la tabla 4.1 se registran los valores a comparar tanto del método de elementos finitos como del método analítico del pórtico principal de la Nave Industrial con y sin armadura, y se determina un porcentaje de error para tener una mejor apreciación de los resultados de cada uno de los métodos.

TABLA 19
COMPARACIÓN DE MÉTODOS APLICADOS EN PÓRTICOS
PRINCIPAL DE NAVE INDUSTRIAL [18].

Elemento	Calculado	ANSYS	%Error
<i>Pórtico Principal sin Armadura</i>			
Esfuerzo de Von Mises (<i>Mpa</i>)	205,88	231,9	11,22
Flexión en Y (<i>mm</i>)	271,86	290,69	6,48
Factor de Seguridad	1,65	1,4	17,86
<i>Pórtico Principal con Armadura</i>			
Esfuerzo de Von Mises (<i>Mpa</i>)	167,4	192,6	13,08
Flexión en Y (<i>mm</i>)	39,7	45	11,78
Factor de Seguridad	1,75	1,5	16,67

En la tabla se puede notar que los valores calculados por medio del método de elementos finitos son mayores al valor dado por método de analítico, esto es debido a que al contar con un sistema que

permite tratar a la estructura como de una manera real, y con el cual se puede mallar cada parte de la estructura, al realizar este mallado de la manera más fina, los valores de esfuerzo, flexión y factor de seguridad se concentraran en mayor medida en estos puntos tan pequeños del mallado, obteniendo valores superiores a los calculados en el método analítico.

Estos valores obtenidos no son errados, al contrario; permiten visualizar en la estructura real los lugares en donde se van a concentrar los esfuerzos, permitiendo realizar mejoras o evitar sobrecargar la estructura en dichos lugares.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ La aplicación del método analítico en la industria es muy utilizado para conocer los perfiles comerciales o conformados necesarios para formar la estructura requerida, en este caso la estructura del Pórtico Principal de la Nave Industrial, pero como proceso iterativo su aplicación es tediosa, ya que requiere de muchos cálculos al realizar un pequeño cambio en la estructura.
- ❖ El método analítico permite conocer de manera general el comportamiento del elemento estructural que se está estudiando obteniendo resultados que satisfacen el diseño requerido, cumpliendo con los teoremas aplicados y las normas técnicas establecidas para su buen funcionamiento.

- ❖ Para el diseño del Pórtico Principal una de los requerimientos de diseño para realizar un buen montaje de la estructura es que la flexión sea la menor posible dentro de los normas técnicas establecidas, por lo que el utilizar una combinación en la estructura de la cubierta ayuda a rigidizar la misma, permitiendo obtener resultados satisfactorios de flexión en el centro del claro del pórtico principal.

- ❖ La combinación de estructuras permite a su vez disminuir el incrementar la esbeltez de la viga de alma llena de cubierta evitando incrementar su peso, precio de fabricación y facilitando el montaje del mismo, por eso la combinación de la viga de alma llena para la cubierta junto con la armadura, dan un mejor soporte a la estructura, mejorando el diseño y su apariencia.

- ❖ La utilización de perfiles comerciales ayudan a la fabricación de los conjuntos que forman la estructura de la Nave Industrial, disminuyendo el tiempo en fabricación y montaje de los mismos, por eso para el pórtico principal se utiliza perfiles comerciales en la armadura formada por HEB100, en las columnas formada por vigas de W530x109 y en la viga que soporta el steel panel formada por IPE100.

- ❖ Al realizar el análisis a los pernos que soportan la mayor carga los cuales se encuentran en la conexión columna-placa base, permite dimensionar las otras diferentes conexiones que forman parte del pórtico principal como en la viga de cubierta, armadura, soporte steel panel, conexión viga cubierta - columna, por soportar estos elementos cargas menores a la conexión columna - placa base. Este modo de selección basado solo en el análisis del perno que soporta mayor carga, ayuda en el montaje el no confundir los diferentes pernos en diferentes grados o medidas que se determinarían por cada fuerza aplicada, generalizando para un solo grado las dimensiones de los pernos en las diferentes conexiones.

- ❖ Para el diseño y comprobación de los elementos constitutivos del pórtico principal se aplica el método de elementos finitos utilizando ANSYS® R14.5 Academic, Static Structural, y las recomendaciones de aplicación del mallado a estructuras del libro Finit Element Simulation with ANSYS Workbenck 14.

- ❖ La simulación del pórtico principal con las cargas que va a soportar en sitio de trabajo, permite observar como funcionará la estructura de la Nave Industrial, en la cual una vez realizado el modelo virtual, el programa puede simular situaciones de esfuerzo muy próximos a la

realidad, permitiendo conocer cómo se comporta la estructura ante las diferentes cargas aplicadas.

- ❖ Uno de los principales puntos a tener en cuenta al momento de simular la Nave industrial, es conocer el tipo de mallado que se debe aplicar a la estructura, ya que este depende de la capacidad de memoria y el tiempo necesario para la convergencia de los datos, por eso para la simulación se aplica Hexahedral Mesh (malla hexagonal dominante), este enfoque genera una malla de superficie cuadrilátera dominante para luego llenarla con una mala hexagonal dominante, facilitando de esta manera la convergencia de los resultados de una manera más sencilla y rápida.

- ❖ Una de las facilidades que ofrece la simulación virtual es el poder revisar muchos puntos ciegos en la estructura, ya que al ser dibujada en 3D, se observan detalles que usualmente se podrían dejar escapar al diseño en 2D, a su vez, permite realizar modificaciones rápidas a la estructura, sin la necesidad de realizar todo el proceso iterativo y calculo matricial, mejorando el tiempo para el análisis de la estructura aplicando el método de elementos finitos.

- ❖ El método de elementos finitos permite obtener resultados rápidos de esfuerzo, deformación, factor de seguridad de los diferentes elementos en estudio, visualizados por medio de una tabla de colores que representa a cada una de los parámetros descritos, permitiendo analizar el diseño para corregir errores y mejorar la rigidez de la estructura, como se la realizo para eliminar los concentradores de esfuerzo presentes en las diferentes conexiones.

- ❖ Se puede concluir que el método de elementos finitos y el método analítico son complementarios, ya que al no contar con perfiles estructurales preseleccionados por medio del método analítico, el proceso iterativo en ANSYS se volvería igual de tedioso por encontrar el perfil adecuado para la estructura requerida, que va desde dibujar los diferentes perfiles que soporten las cargas de diseño. En cambio conociendo en primera medida el perfil aproximado que soporten las cargas de diseño, en la simulación se confirma su uso y se mejora el diseño rigidizando las diferentes partes y elementos estructurales.

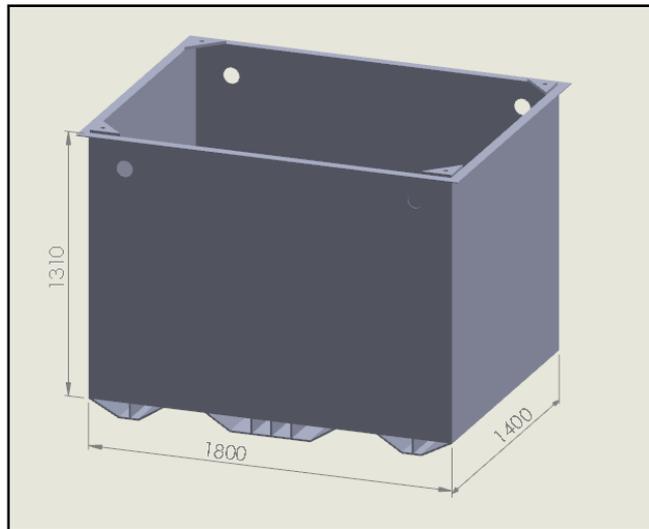
PLANOS

APÉNDICE

DIMENSIONAMIENTO DE NAVE INDUSTRIAL.

El dimensionamiento de la Nave Industrial es requerida para el almacenamiento de 1000 Toneladas de Atún. Para determinar las dimensiones se tiene:

- Peso de Atún: 16 - 27 kg
- Dimensiones del tanque: 1.4 x 1.3 x 1.8 metros.
- Un tanque almacena: 9 atunes.



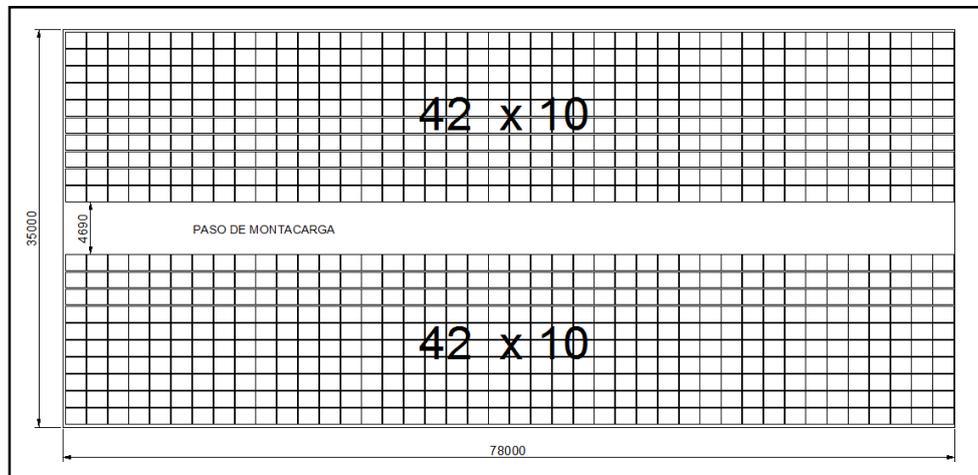
Peso de cada tanque con atún:

#de Atún en tanque X Peso de Atún promedio

$$9 \times 27 \text{ kg} = \mathbf{243 \text{ kg por tanque.}}$$

Considerando que se almacenan los tanques en cinco niveles, la altura del g la cámara será de 6.55 m, y la distribución de 42 x 10 tanques en planta se la

realiza para una espacio de 35x78 metros, como se muestra en la figura siguiente;



Distribución de Tanques en Vista Planta.

Por tanto la capacidad neta de almacenamiento será;

- Total de tanques en planta:

$$42 \times 10 \times 2 = 840 \text{ tanques de almacenamiento.}$$

- Total de almacenamiento en Cámara Frigorífica.

Total Tanques en 1 Nivel x Niveles

$$840 \times 5 = 4200 \text{ Tanques.}$$

- Capacidad de Almacenamiento;

Total de Tanques X 9 X peso de Atún

$$4200 \times 9 \times 27 \text{ kg} = 113400 \text{ kg}$$

1020 TON

PANEL AISLANTE: CARÁCTERÍSTICAS.

Isopur

Aislados

Características Técnicas

	Terminación Zincalum Zincalum Prepintado Zincalum Prepintado Prepintado	Acero 0,5/0,5 Aislación 50 80 100 120 150	Adaptabilidad Recto	Usos Revestimientos Vertical Cielos Falsos

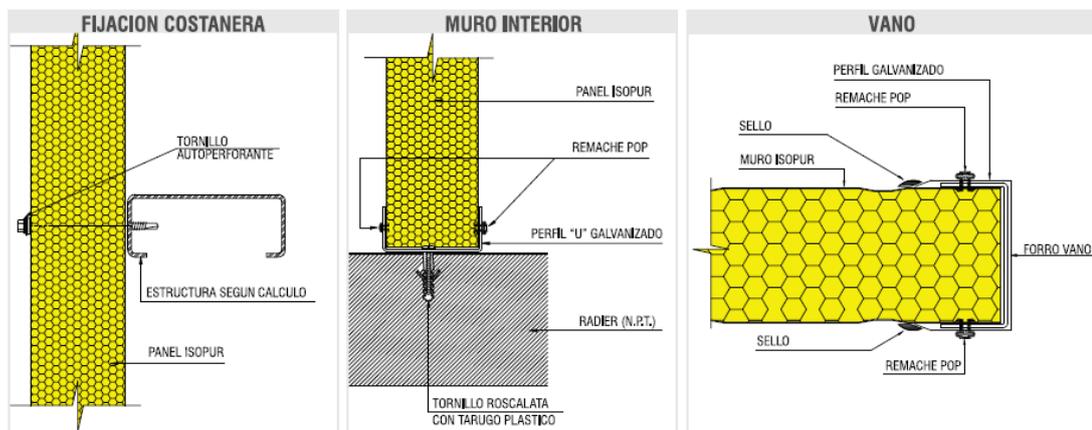
Notas:

- Para distanciamiento entre costaneras, consultar a departamento de Especificación.
- Terminaciones de pintura, consultar a catálogo de colores Instapanel Cintac.
- Para uso como revestimiento Horizontal, previa consulta departamento de Especificación.

Propiedades Térmicas

Espesor [mm]	Peso [kg/m ²]	Largo Máximo [m]	Elementos Horizontales (Flujo Ascendente)			Elementos Verticales (Flujo Horizontal)		
			Resistencia Térmica [m ² K/W]	Transmitancia Térmica		Resistencia Térmica [m ² K/W]	Transmitancia Térmica	
				W/m ² K	Kcal/m ² C		W/m ² K	Kcal/m ² C
50	6,4	10	2,140	0,467	0,402	2,170	0,461	0,396
80	11,4	12	3,340	0,299	0,258	3,370	0,297	0,255
100	12,2	12	4,140	0,242	0,208	4,170	0,240	0,206
120	13,0	12	4,940	0,202	0,174	4,970	0,201	0,173
150	14,2	12	6,140	0,163	0,140	6,170	0,162	0,139

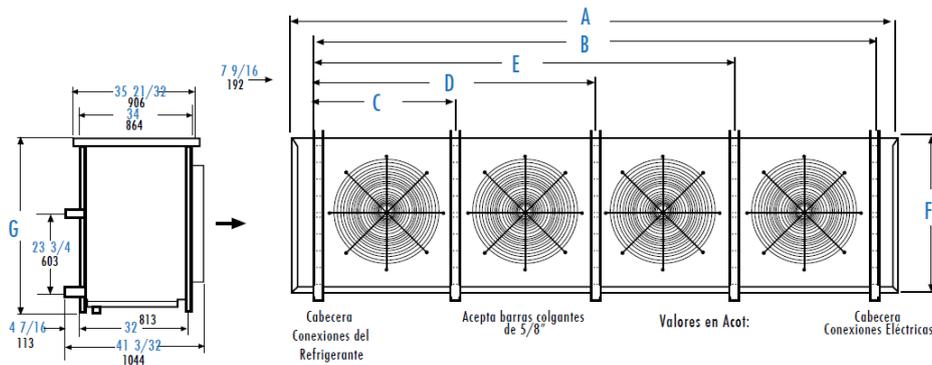
Esquemas de Instalación



EVAPORADORES BOHN.

4 Capacidades y Datos eléctricos Deshielo por aire

Deshielo por Aire Modelo	CAPACIDAD BTUH /kcal/Hr 10°F(5.55°C)DT +25°F(-3.9°C)TSS		DATOS DEL VENTILADOR					TIRO DE AIRE (pies/m) Std. C/Collar	HP c/u	DATOS DEL MOTOR ESTANDAR													
			PCM/ m3/Hr	No.	Diametro Pulg./mm		Amps. Totales 208-230 /3/60 460 /1/60 575 /3/60			1 Fase	3 Fases	1 Fase	3 Fases										
MODELOS DE 6 APP																							
BHA 520	52000	13098	9400	16000	2	24	610	70	21	85	26	1/2+	6.4	—	5.2	3.4	—	2.6	1.8				
BHA 630	63000	15869	9000	15300	2	24	610	70	21	85	26	1/2+	6.4	—	5.2	3.4	—	2.6	1.8				
BHA 750	75000	18892	13200	22400	3	24	610	70	21	85	26	1/2+	9.6	5.5	7.8	—	3	3.9	2.7				
BHA 850	85000	21411	12800	21400	3	24	610	70	21	85	26	1/2+	9.6	5.5	7.8	—	3	3.9	2.7				
BHA 930	93000	23426	17600	29900	4	24	610	70	21	85	26	1/2+	12.8	8.7	10.4	—	4.7	5.2	3.6				
BHA 1100	110000	27708	16800	28600	4	24	610	70	21	85	26	1/2+	12.8	8.7	10.4	—	4.7	5.2	3.6				
BHA 1170	117000	29471	21800	37200	3	30	762	100	30	115	35	1	—	—	13.8	—	—	6.9	7.8				
BHA 1400	140000	35264	20700	35200	3	30	762	100	30	115	35	1	—	—	13.8	—	—	6.9	7.8				
BHA 1610	161000	40554	24300	41300	3	30	762	100	30	115	35	1 1/2	—	—	19.8	—	—	9.9	7.8				
BHA 1900	190000	47859	26550	45100	3	30	762	120	37	140	43	1 1/2	—	—	21	—	—	10.5	8.4				



Pulgadas

Milímetros

Deshielo por Aire	Deshielo Eléctrico y por Gas Caliente Modelos			Dimensiones (pulg./ mm)														
	6 APP	6 APP	4 APP	Fig.	A	B	C	D	E	F	G							
1170	-	1020	890	2	135 13/32	3439	120 9/32	3055	40 3/32	1018	80 3/16	2037	-	-	44 1/2	1130	50 5/16	1278
1400	-	1200	1050	2	135 13/32	3439	120 9/32	3055	40 3/32	1018	80 3/16	2037	-	-	44 1/2	1130	50 5/16	1278
1610	-	1390	1220	2	135 13/32	3439	120 9/32	3055	40 3/32	1018	80 3/16	2037	-	-	50 7/32	1276	55 13/16	1418
1900	2160	1650	1440	2	142 29/32	3630	127 25/32	3246	42 19/32	1082	85 3/16	2037	-	-	50 7/32	1276	55 13/16	1418
2200	2500	-	-	2	185 1/2	4712	170 3/8	4328	42 19/32	1082	85 3/16	2134	127 25/32	3246	44 1/2	1130	50 5/16	1278
2440	2780	2120	1860	2	185 1/2	4712	170 3/8	4328	42 19/32	1082	85 3/16	2134	127 25/32	3246	50 7/32	1276	56 1/4	1429

REGLAMENTO DE TRANSPORTE Y LEY DE TRANSITO.

CAPITULO II DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE MERCANCIAS Y SUSTANCIAS TOXICAS Y PELIGROSAS

Art. 47.- El transporte terrestre de mercancías peligrosas tales como productos o sustancias químicas, desechos u objetos que por sus características peligrosas, corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, biológicas, infecciosas y radiactivas pueden generar riesgos que afecten a la salud de las personas expuestas, o causen daños a la propiedad y al ambiente, se regirán a lo establecido en las leyes pertinentes y en las normas de la Agencia Nacional de Tránsito, reglamentos INEN respectivos, los tratados y convenios internacionales ratificados por el Ecuador relativos a estos temas y la regulación emitida por los GADs de ser el caso.

Art. 48.- Las operadoras habilitadas para realizar el servicio de transporte terrestre de sustancias peligrosas calificadas para el manejo de sustancias tóxicas y peligrosas, deberán presentar el Plan de Seguridad Industrial, previo a la obtención de su contrato, permiso o autorización de operación y para la renovación de los mismos.

El Director Ejecutivo de la Agencia Nacional de Tránsito determinará el contenido del Plan de Seguridad Industrial.

Art. 49.- Los vehículos de transporte terrestre de sustancias tóxicas y peligrosas no pueden circular por carriles centrales cuando la carga:

1. Sobresalga de la parte delantera o de los costados, salvo cuando se obtenga el permiso correspondiente;
2. Sobresalga la parte posterior por más de dos metros; y si pasa de 1,20, se obliga a utilizar banderolas en el día y luces en la noche;
3. Obstruya la visibilidad del conductor;
4. No esté debidamente cubierta con lonas, tratándose de materiales que puedan esparcirse;
5. No vaya debidamente sujeta al vehículo por medio de cables; y,
6. Sin contar con un dispositivo localizador de vehículo, equipos o sistemas de control de proyección para impedir el robo del vehículo o de su carga, y de que estos funcionen correctamente en cualquier momento, tratándose de mercancías peligrosas de alto riesgo.

Art. 50.- Los conductores de vehículos de transporte terrestre de sustancias tóxicas y peligrosas deben:

1. Realizar un curso de capacitación obligatorio, del cual obtendrán un certificado que avalice que se encuentran aptos para realizar esta actividad;
2. Circular por el carril de la extrema derecha y usar el izquierdo sólo para rebasar o dar vuelta a la izquierda;
3. Sujetarse a los horarios y a las disposiciones viales establecidas por las Unidades Administrativas Regionales o Provinciales, o por los GADs, según corresponda, manteniendo la debida coordinación;
4. Estacionar el vehículo o contenedor en el lugar de estacionamiento correspondiente;
5. Circular con placas y el vehículo debidamente matriculado, así como con los correspondientes distintivos;
6. Conducir con licencia vigente;
7. Circular sin arrojar objetos o derramar sustancias que obstruyan el tránsito o pongan en riesgo la

integridad física de las personas;

8. Realizar maniobras de carga y descarga sin afectar o interrumpir el tránsito vehicular;

9. Sujetarse estrictamente a las rutas y los itinerarios de carga y descarga autorizados;

10. Abstenerse de realizar paradas que no estén señaladas en la operación del servicio; y,

11. En caso de congestión vehicular que interrumpa la circulación, el conductor deberá solicitar a los agentes de tránsito prioridad para continuar su marcha, mostrándoles la documentación que ampare el riesgo sobre el producto que transporta.

Art. 51.- Se prohíbe a los conductores de vehículos que transportan sustancias tóxicas o peligrosas:

1. Llevar a bordo personas ajenas a su operación;

2. Arrojar al piso o descargar en la vialidad, así como, ventear innecesariamente cualquier tipo de sustancias tóxicas o peligrosas;

3. Estacionar los vehículos en la vía pública o en la proximidad de fuentes de riesgo;

4. Realizar maniobras de carga y descarga en lugares inseguros y no destinados para tal fin; y,

5. Sobrepasar los límites de carga, establecidos en las normas INEN, instrumentos internacionales y demás normas que para el efecto se emitan.

Art. 52.- Cuando por alguna circunstancia de emergencia se requiera estacionar el vehículo que transporte sustancias tóxicas o peligrosas en la vía pública u otra fuente de riesgo, el conductor deberá asegurarse de que la carga esté debidamente protegida y señalizada, a fin de evitar que personas ajenas a la transportación manipulen el equipo o la carga.

Cuando lo anterior suceda en horario nocturno, el conductor deberá colocar triángulos de seguridad tanto en la parte delantera como posterior de la unidad, de acuerdo a las distancias y en las condiciones establecidas en este reglamento.

ANSI / ASTM A 588: HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY STRUCTURAL STEEL.

PROPIEDADES.

TABLE 1 Chemical Requirements (Heat Analysis)

Element	Composition, %								
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade D	Grade E	Grade F	Grade G	Grade H	Grade J
Carbon	0.19 max	0.20 max	0.15 max	0.10-0.20	0.15 max	0.10-0.20	0.20 max	0.20 max	0.20 max
Manganese	0.80-1.25	0.75-1.25	0.80-1.35	0.75-1.25	1.20 max	0.50-1.00	1.20 max	1.25 max	0.60-1.00
Phosphorus	0.04 max	0.04 max	0.04 max	0.04 max	0.04 max	0.04 max	0.04 max	0.035 max	0.04 max
Sulfur	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.040 max	0.05 max
Silicon	0.30-0.65	0.15-0.30	0.15-0.30	0.50-0.90	0.30 max	0.30 max	0.25-0.70	0.25-0.75	0.30-0.50
Nickel	0.40 max	0.50 max	0.25-0.50	...	0.75-1.25	0.40-1.10	0.80 max	0.30-0.60	0.50-0.70
Chromium	0.40-0.65	0.40-0.70	0.30-0.50	0.50-0.90	...	0.30 max	0.50-1.00	0.10-0.25	...
Molybdenum	...	...	...	...	0.08-0.25	0.10-0.20	0.10 max	0.15 max	...
Copper	0.25-0.40	0.20-0.40	0.20-0.50	0.30 max	0.50-0.80	0.30-1.00	0.30-0.50	0.20-0.35	0.30 min
Vanadium	0.02-0.10	0.01-0.10	0.01-0.10	...	0.05 max	0.01-0.10	...	0.02-0.10	...
Zirconium	...	...	...	0.05-0.15	...	...	...	...	...
Columbium	...	...	...	0.04 max	...	...	...	...	...
Titanium	...	...	...	...	...	...	0.07 max	0.005-0.030	0.03-0.05

TABLE 2 Tensile Requirements^a

	Plates and Bars			Structural Shapes
	For Thick- nesses 4 in. and Under (101.6 mm)	For Thick- nesses Over 4 in. to 5 in. incl (101.6 to 127.0 mm)	For Thick- nesses Over 5 in. to 8 in. incl (127.0 to 203.2 mm)	All Groups ^f
Tensile strength, min, psi (MPa)	70 000 (485)	67 000 (460)	63 000 (435)	70 000 (485)
Yield point, min, psi (MPa)	50 000 (345)	46 000 (315)	42 000 (290)	50 000 (345)
Elongation in 8 in. or 200 mm, min, %	18 ^{b, c, d}	...	...	18 ^b
Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %	21 ^{c, d}	21 ^{c, d}	21 ^{c, d}	21 ^c

^a For plates wider than 24 in. (610 mm), the test specimen is taken in the transverse direction. See 11.2 of Specification A 6.

^b See 5.2.

^c Elongation not required to be determined for floor plate.

^d For plates wider than 24 in. (610 mm), the elongation requirement is reduced two percentage points.

^e For wide flange shapes over 426 lb/ft elongation in 2 in. of 18 % minimum applies.

^f See Specification A 6.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ciclo de Funcionamiento del Sistema de Refrigeración de una Cámara Frigorífica.
www.empresaeficiente.com/es/catalogo
- [2] Paneles de Poliuretano, Datos técnicos de Paneles Aislantes.
www.ingein.cl
- [3] Catálogo Bohn Evaporadores para Cámara Frigorífica Industrial
www.bohn.com.mx/BOHN-2007/productos.htm
- [4] Acesco S.A. - Detalles Constructivos, tipos de conexiones de columna a Cimentación.
www.acesco.com/producto.php
- [5] GLC, Constructora Galpón Listo Ltda; Diseño y construcción de galpones
www.galponlisto.cl
- [6] ASTM International Handbook Materials. ASTM A588 Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance

[7] Proceso de Galvanizado en Caliente.

www.gcwordpress.com

[8] SolidWorks®, Software de Dibujo Mecánico en 3D, que permite visualizar cualquier pieza y vincular su estructura con varios programas de simulación y diseño estructural.

[9] ANSYS®, WORKBENCH, Static Structural, Software de Diseño y Simulación Estructural.

[10] Catálogo de Soportería para Cubiertas.

www.kubiec.com

[11] Catálogo de Perfiles Estructurales con Propiedades Mecánicas.

www.ipac-acero.com

[12] NEC 2014, Norma Ecuatoriana de la Construcción

[13] Arquitectura y Distribución de Pórticos.

www.soloarquitectura.com

[14] Diseño y Tipo de Vigas para Cubierta.

<http://www.virtual.unal.edu.co>

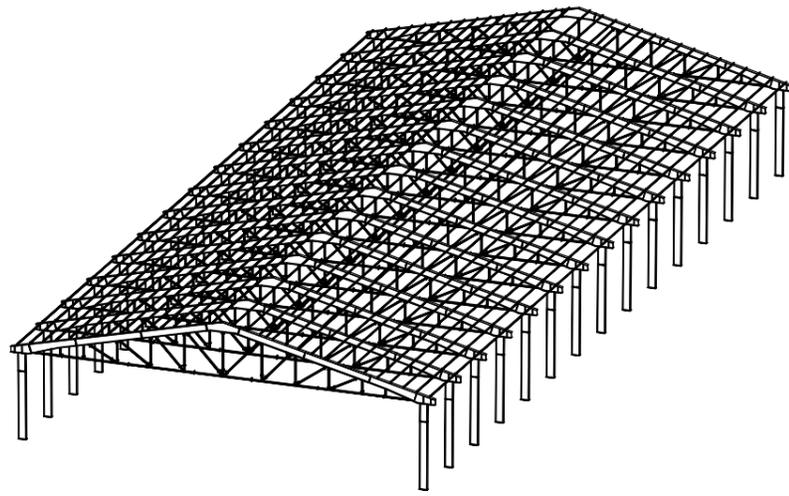
[15] Pytel-Singer, "Resistencia de Materiales", Alfaomega, Oxford, 1994.

- [16] ICHA (AISC360), Traducción al español de la American Institute of Steel Construction.
- [17] R. Nonnast, "El proyectista de Estructuras Metálicas", Paraninfo s.a., Kassel-Alemania, 1994.
- [18] Diseño Realizado en Base a los Calculo por el Autor del Proyecto.
- [19] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ava Ed., McGraw Hill, México, 2008.
- [20] Catálogo de Pernos, Tuercas, Arandelas, Métrica y en Pulgadas.

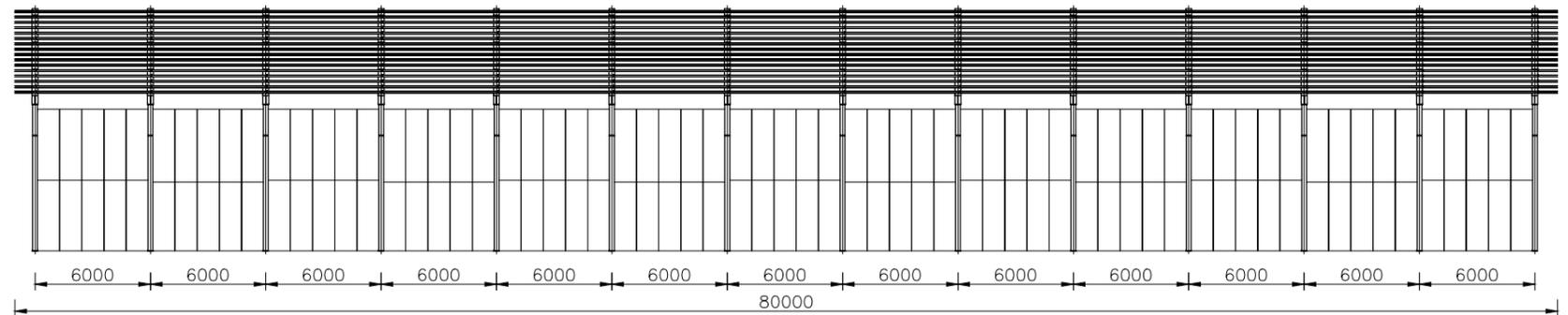
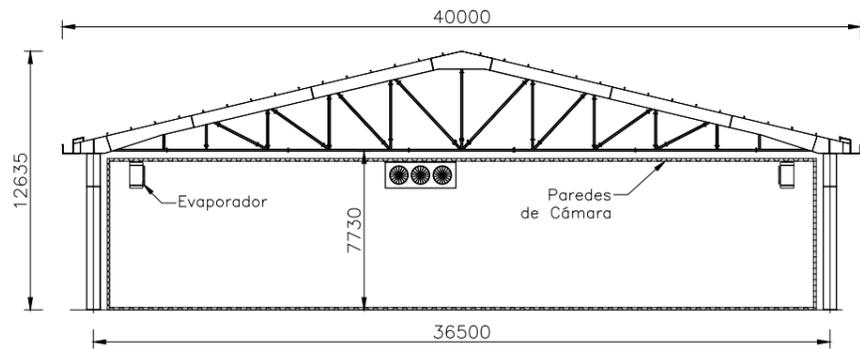
www.casadelperno.com

- [21] Diseño de Rigidizadores de Columna.

www.teklastructures.com



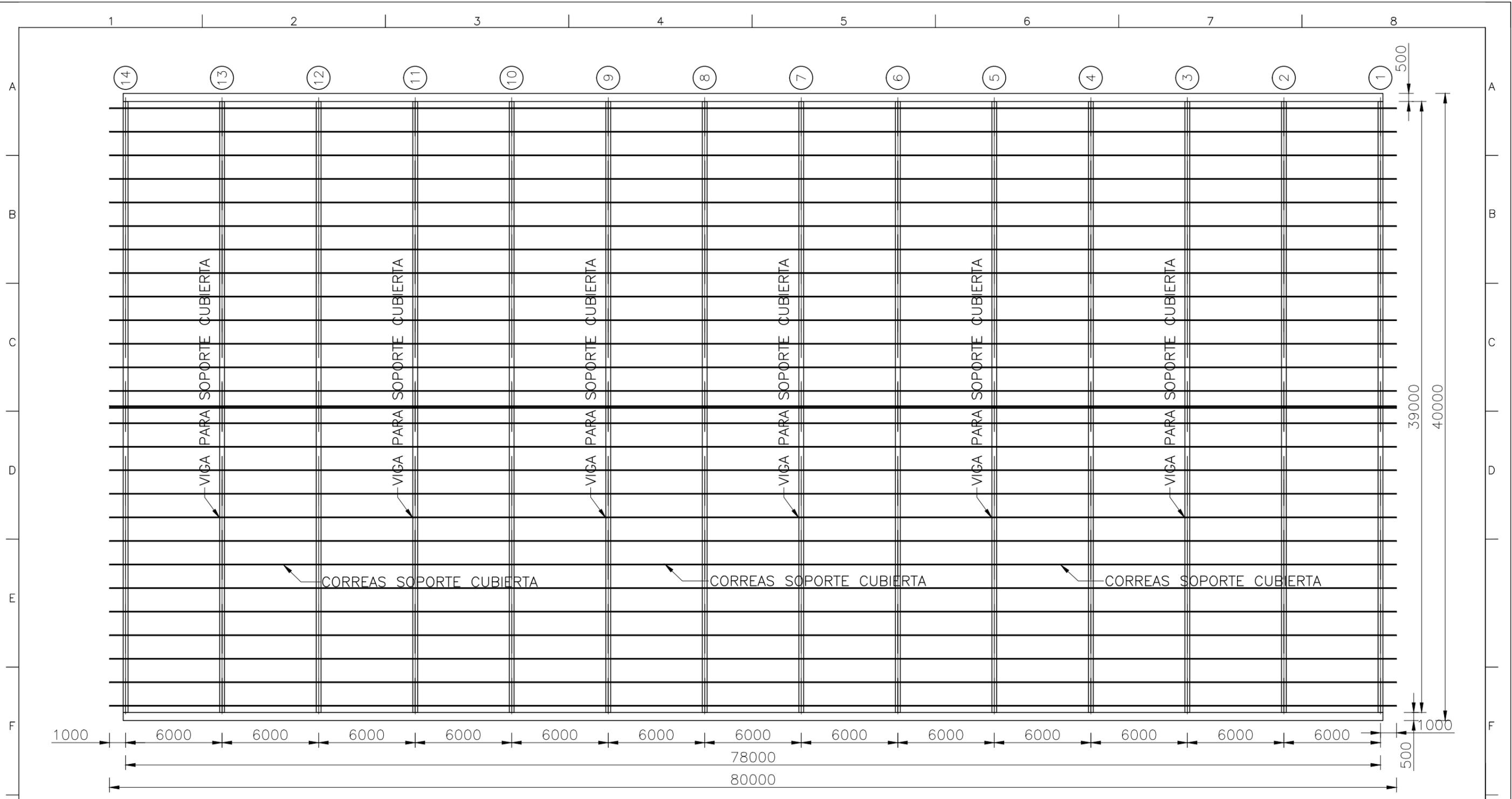
VISTA ISOMETRICA
ESC 1:600



NAVE INDUSTRIAL PARA CÁMARA FRIGORÍFICA
ESTRUCTURA METÁLICA

- NOTAS:
1. TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
 2. NAVE INDUSTRIAL CONFORMADA POR 14 PÓRTICOS.
 3. ESTRUCTURA GALVANIZADA EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123.
 4. NAVE INDUSTRIAL 80X40 m, PARA ALMACENAR 4000 TONELADAS DE ATÚN.

FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	ESPOL
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	
ESCALA: 1:350	DESCRIPCIÓN: NAVE INDUSTRIAL	PLANO N°: PG-IM-01	

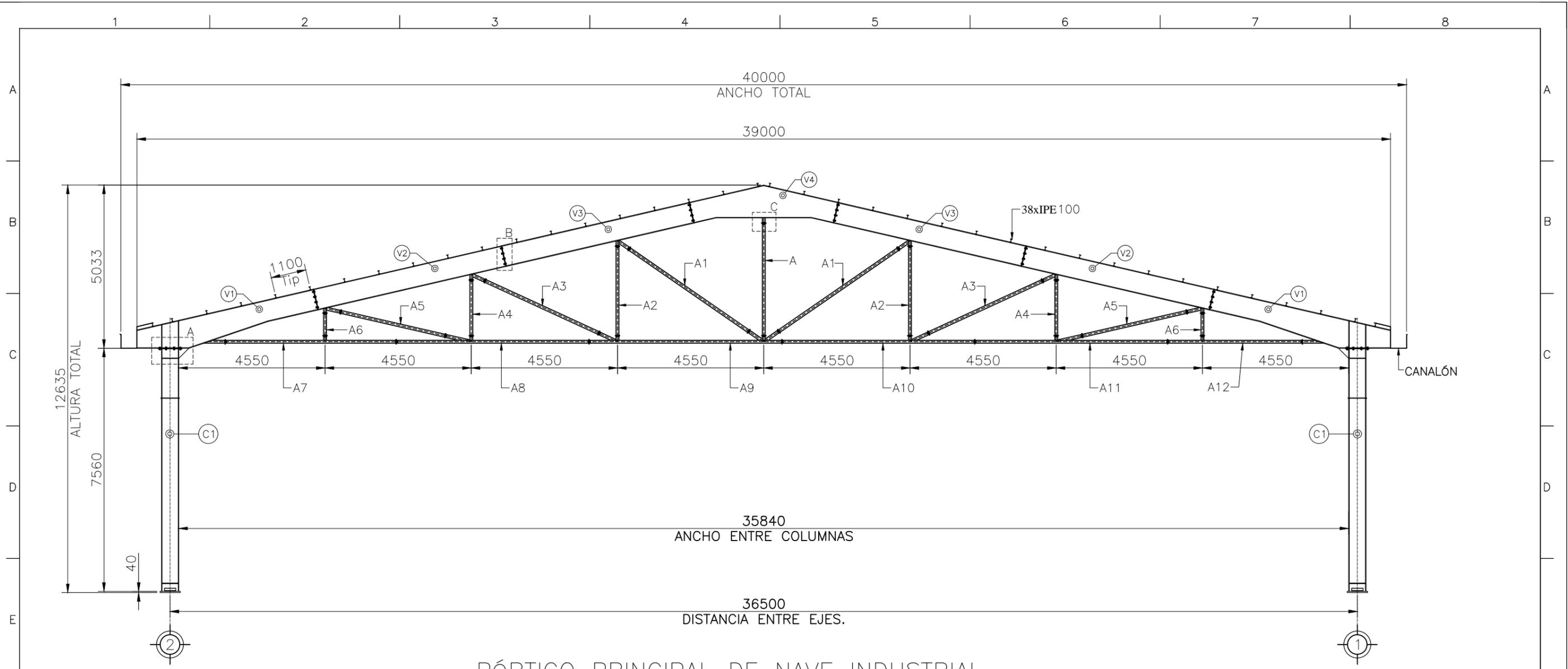


DISTRIBUCIÓN DE PÓRTICOS
VISTA PLANTA

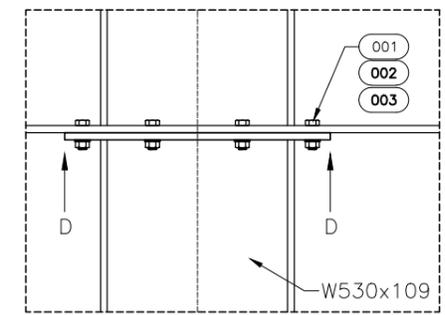
NOTAS:

1. TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
2. NAVE INDUSTRIAL CONFORMADA POR 14 PÓRTICOS.
3. ESTRUCTURA GALVANIZADA EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123.
4. ARMADO DE CONJUNTOS POR MEDIO DE UNIONES APERNADAS COMO ESPECIFICA EL PLANO.
5. NAVE INDUSTRIAL 80X40 m, PARA ALMACENAR 4000 TONELADAS DE ATÓN.

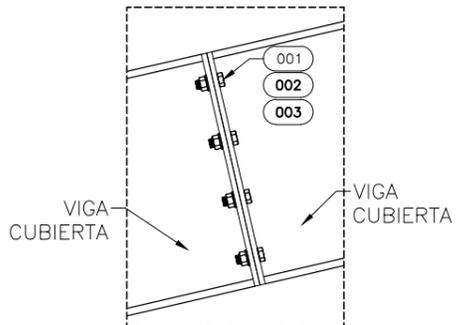
FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL			
ESCALA: 1:125	DESCRIPCIÓN: DISTRIBUCIÓN PLANTA	PLANO N°: PG-IM-02	



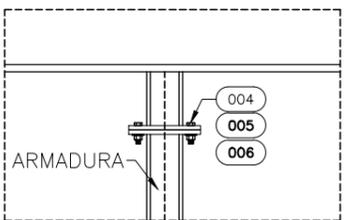
PÓRTICO PRINCIPAL DE NAVE INDUSTRIAL.



DETALLE A
UNIÓN VIGA-COLUMNA



DETALLE B
UNIÓN CONJUNTOS VIGA DE CUBIERTA

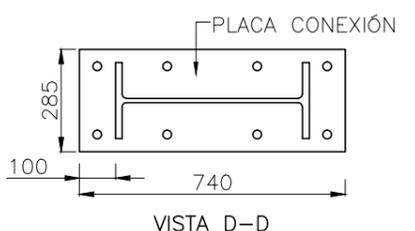


DETALLE C
UNIÓN ARMADURA: HEB100

CONJ.	DESCRIPCIÓN	CANT.	ESP. MATERIAL	DIMENSIONES
V1	Conj. Viga de Cubierta Tipo 1	2	ASTMA588	5636x1838x285 (mm)
V2	Conj. Viga de Cubierta Tipo 2	2	ASTMA588	6000x1012x285 (mm)
V3	Conj. Viga de Cubierta Tipo 3	2	ASTMA588	6000x1041x285 (mm)
V4	Conj. Viga de Cubierta Tipo 4	1	ASTMA588	4642x1181x285 (mm)
C1	Conj. Columna	2	ASTMA588	7600x744x632 (mm)
A	Conj. Armadura	1	ASTMA588	3500x150x150 (mm)
A1	Conj. Armadura Tipo 1	2	ASTMA588	4510x150x150 (mm)
A2	Conj. Armadura Tipo 2	2	ASTMA588	2781x150x150 (mm)
A3	Conj. Armadura Tipo 3	2	ASTMA588	3890x150x150 (mm)
A4	Conj. Armadura Tipo 4	2	ASTMA588	1731x150x150 (mm)
A5	Conj. Armadura Tipo 5	2	ASTMA588	3333x150x150 (mm)
A6	Conj. Armadura Tipo 6	2	ASTMA588	701x150x150 (mm)
A7	Conj. Armadura Tipo 7	1	ASTMA588	5321x238x150 (mm)
A8	Conj. Armadura Tipo 8	1	ASTMA588	6000x333x150 (mm)
A9	Conj. Armadura Tipo 9	1	ASTMA588	6000x462x150 (mm)
A10	Conj. Armadura Tipo 10	1	ASTMA588	6000x411x150 (mm)
A11	Conj. Armadura Tipo 11	1	ASTMA588	6000x333x150 (mm)
A12	Conj. Armadura Tipo 12	1	ASTMA588	4190x263x150 (mm)
001	Pernos 7/8"	64	SAE Gr. 5	Ø7/8" x 2-1/2"
002	Arandela Plana 7/8"	64	SAE Gr. 5	Ø7/8"
003	Tuerca Hexagonal 7/8"	64	SAE Gr. 5	Ø7/8"
004	Pernos 1/2"	124	SAE Gr. 5	Ø1/2" x 2"
005	Arandela Plana 1/2"	124	SAE Gr. 5	Ø1/2"
006	Tuerca Hexagonal 1/2"	124	SAE Gr. 5	Ø1/2"

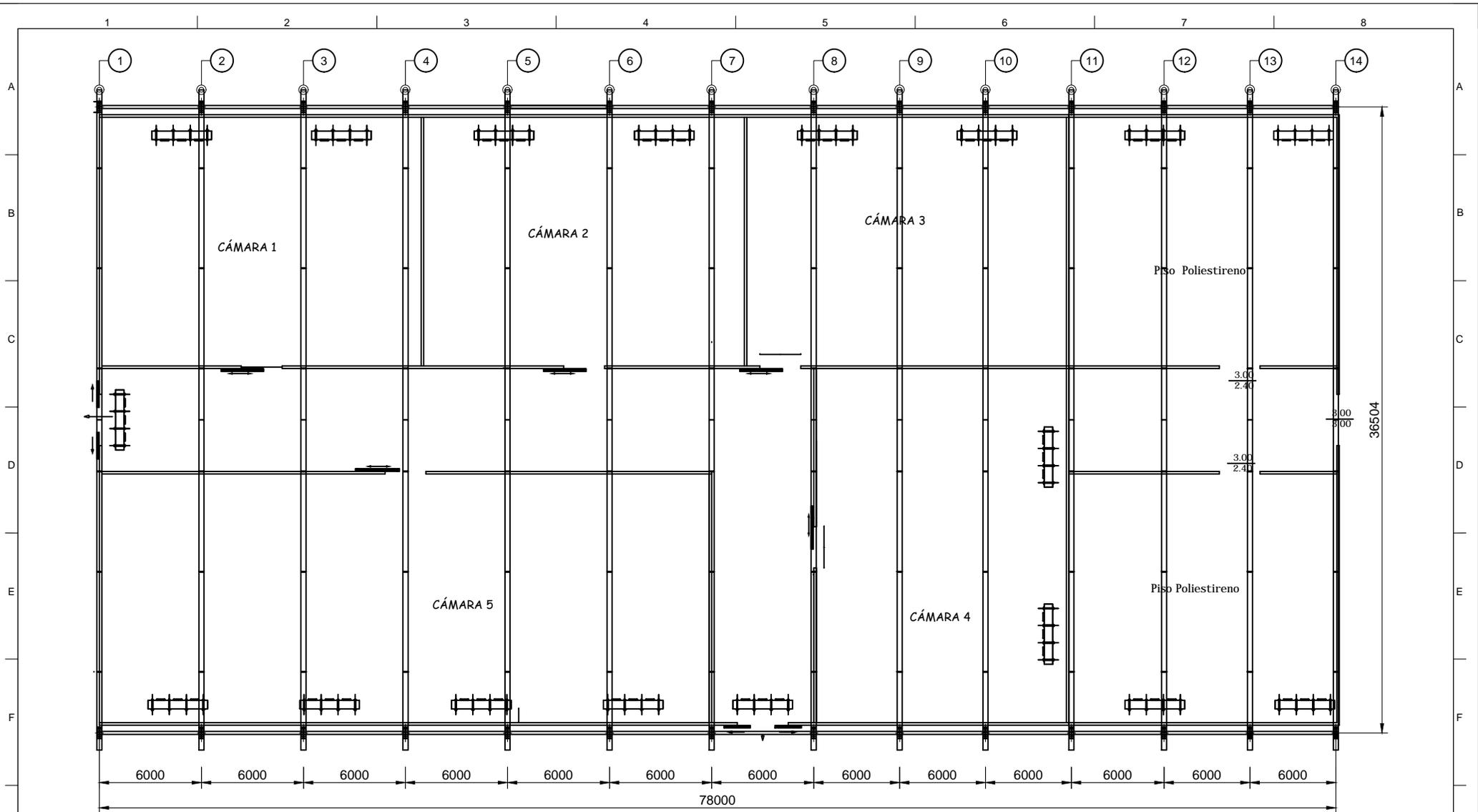
NOTAS:

- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
- PÓRTICO PRINCIPAL DE NAVE INDUSTRIAL, FABRICAR 14 UNIDADES.
- ESTRUCTURA GALVANIZADA EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123.
- ARMADO DE CONJUNTOS POR MEDIO DE UNIONES APERNADAS COMO ESPECIFICA EL PLANO.
- PLANOS DE FABRICACIÓN DE CONJUNTOS, REVISAR DESDE PG-IM-02 HASTA PG-IM-06-B.
- END: 100% VISUAL TESTING.



VISTA D-D

FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL		PLANO N°: PG-IM-03	
ESCALA: 1:125	DESCRIPCIÓN: PÓRTICO PRINCIPAL		



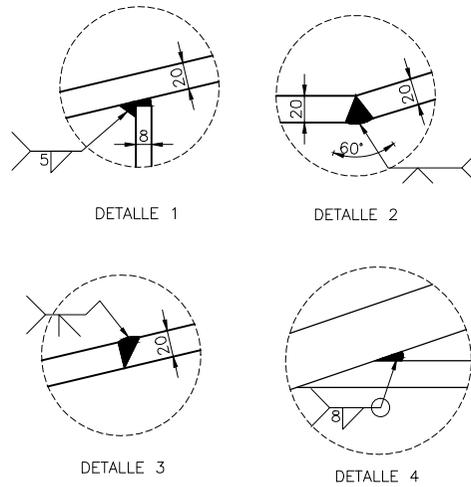
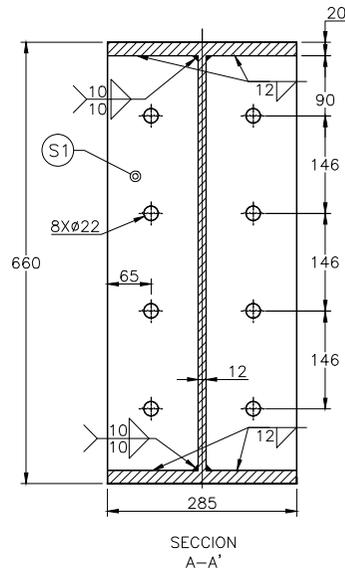
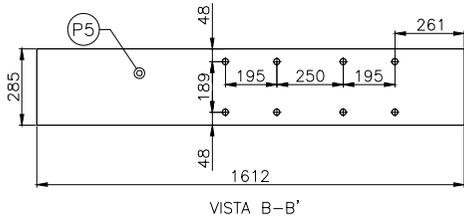
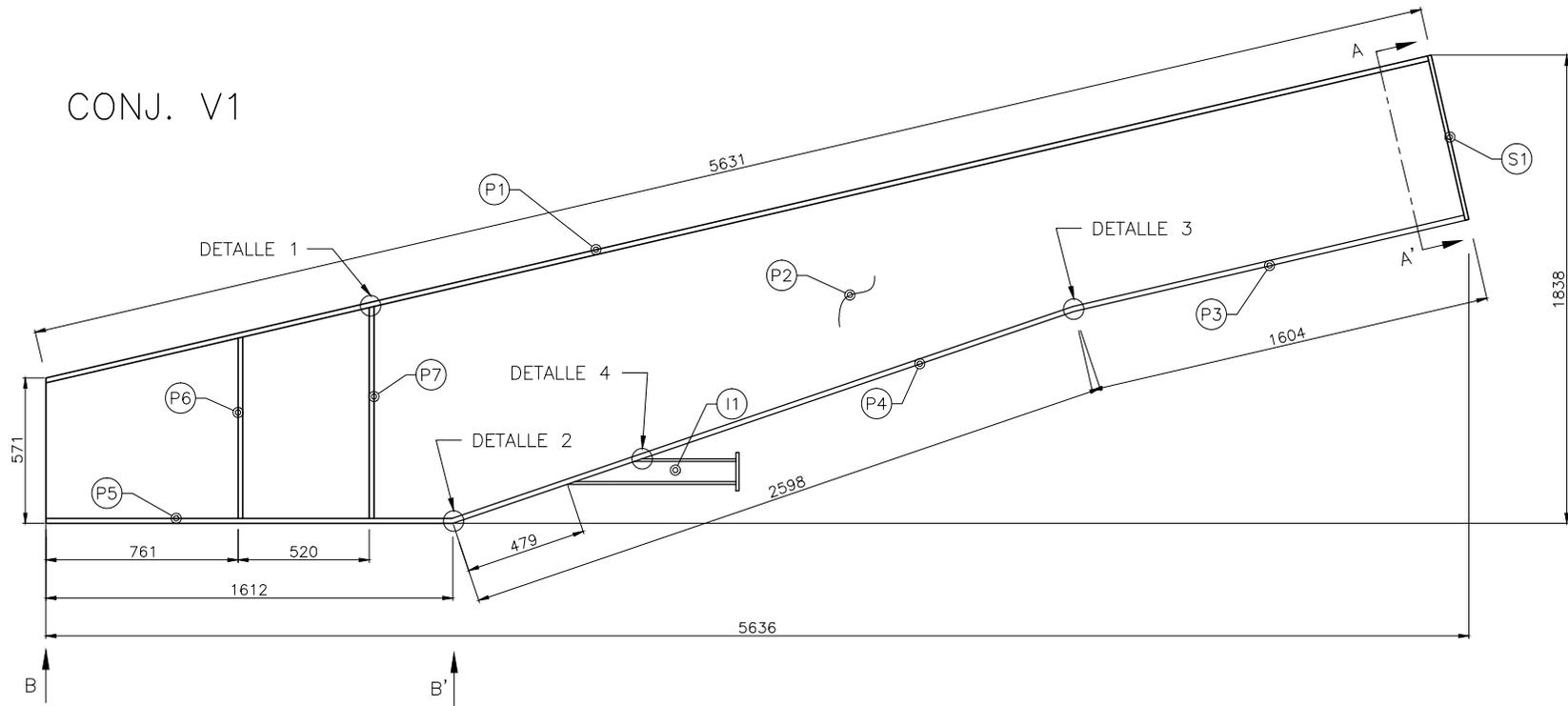
VISTA DE PLANTA
IMPLANTACION GENERAL

NOTAS:

1. TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
2. LAS MEDIDAS INDICAS SON DADAS CON RESPECTO A LOS CENTROS DE LAS VIGAS A NO SER QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO

FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL			
ESCALA: 1:125	DESCRIPCION: DISTRIBUCIÓN DE CÁMARA	PLANO N°: PG-IM-09	

CONJ. V1

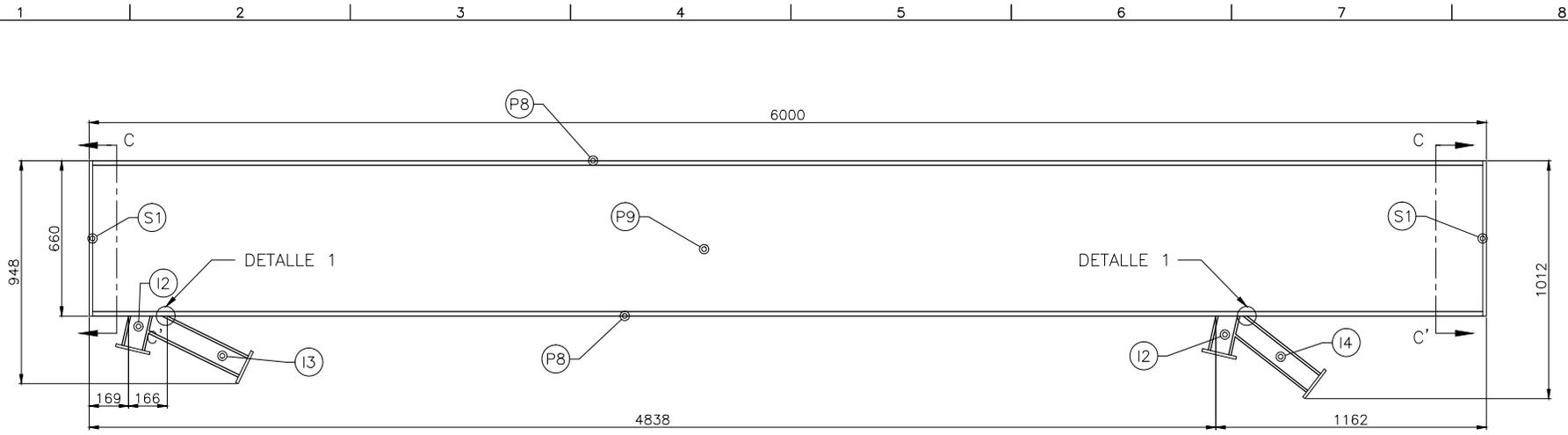


NOTAS:

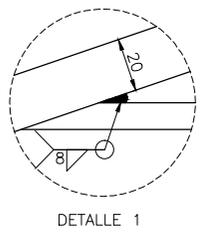
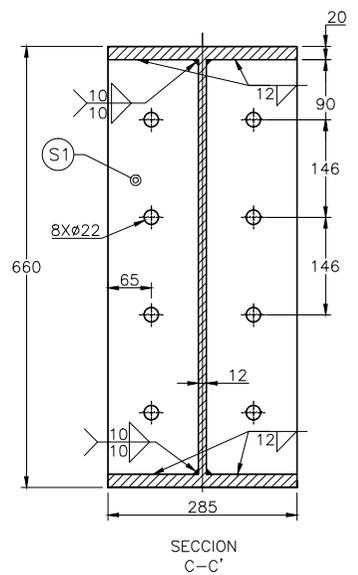
1. TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
2. CONJ. V1 PARA FORMAR CUBIERTA.
3. LISTA DE MATERIALES CORRESPONDEN AL TOTAL PARA UN CONJUNTO.
4. FABRICAR 2 UNIDADES POR PÓRICO
5. GALVANIZAR EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123.
6. NDT:
 * 100% VISUAL TESTING
 * 50% LIQUID PENETRANT EXAMINATION: SOLDADURA ALA - ALMA.

CONJUNTO V1							PESO : 949.6 KG	
ITEM	CANT	DESCRIPCION	ESPECIFICACION DEL MATERIAL	P. UNIT. (KG)	P. TOTAL (KG)			
I1	1	HEB100	L = 667 mm	ASTM-A588	13.6	13.61	KG	
S1	2	PL	285 x 660 X 12 mm	ASTM-A588	17.7	35.4	KG	
P7	3	AL	134 X 831 X 8 mm	ASTM-A588	7.0	21.0	KG	
P6	1	PL	134 x 711 X 8 mm	ASTM-A588	6.0	6.0	KG	
P5	1	PL	285 x 1612 X 20 mm	ASTM-A588	72.1	72.1	KG	
P4	1	PL	285 x 2598 X 20 mm	ASTM-A588	116.2	116.2	KG	
P3	1	PL	285 x 1604 X 20 mm	ASTM-A588	71.8	71.8	KG	
P2	1	PL	660 x 5814 X 12 mm	ASTM-A588	361.5	361.5	KG	
P1	1	PL	285 x 5631 X 20 mm	ASTM-A588	252.0	252.0	KG	
CF								

FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		
ESCALA: 1:125	DESCRIPCION: CONJ. V1 DE CUBIERTA	PLANO N°: PG-IM-05	



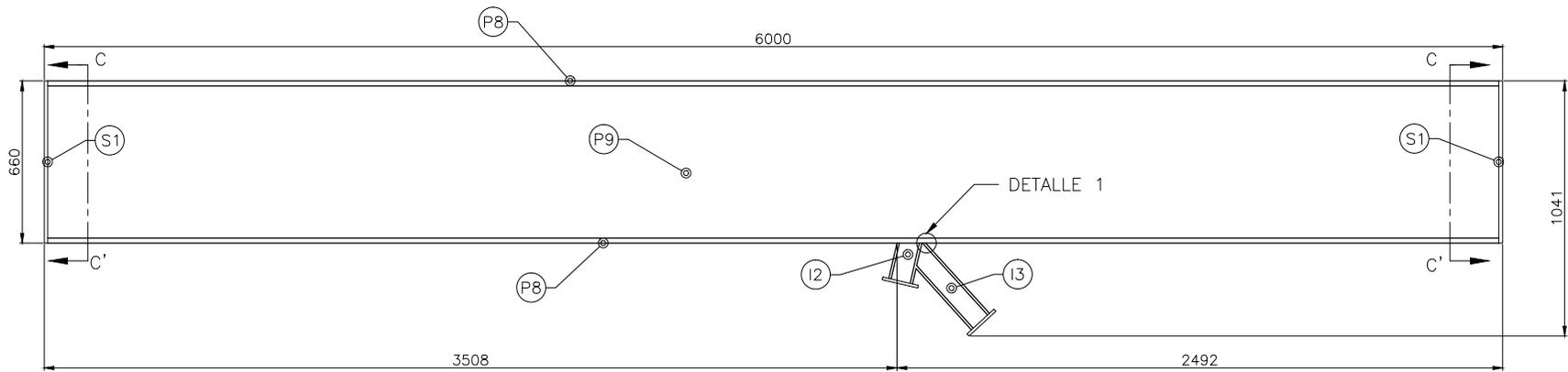
CONJ. V2



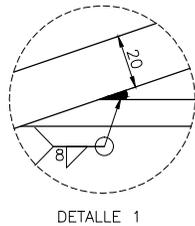
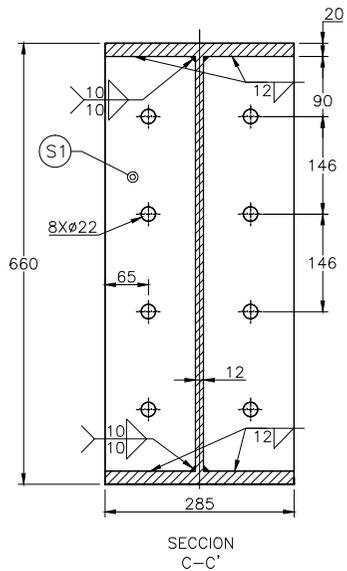
- NOTAS:**
- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
 - CONJ. V2 PARA FORMAR CUBIERTA.
 - LISTA DE MATERIALES CORRESPONDEN AL TOTAL PARA UN CONJUNTO.
 - FABRICAR 2 UNIDADES POR PÓRICO
 - GALVANIZAR EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123.
 - NDT:
 - *100% VISUAL TESTING
 - * 50% LIQUID PENETRANT EXAMINATION: SOLDADURA ALA - ALMA.

CONJUNTO V2							PESO : 956.3 KG		
I4	1	HEB100	L = 400	mm	ASTM-A588	8.2	8.16	KG	
I3	1	HEB100	L = 388	mm	ASTM-A588	7.9	7.92	KG	
I2	2	HEB100	L = 150	mm	ASTM-A588	3.1	6.12	KG	
S1	2	PL	285 x 660	X 12 mm	ASTM-A588	17.7	35.4	KG	
P9	1	PL	640 x 6000	X 12 mm	ASTM-A588	361.7	361.7	KG	
P8	2	PL	285 x 6000	X 20 mm	ASTM-A588	268.5	536.9	KG	
CF	CANT	DESCRIPCION				ESPECIFICACION DEL MATERIAL	P. UNIT. (KG)	P.TOTAL (KG)	

FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	 ESPOL FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL	ESCALA: 1:125	DESCRIPCION: CONJ. V2 DE CUBIERTA	
		PLANO N°: PG-IM-06	



CONJ. V3

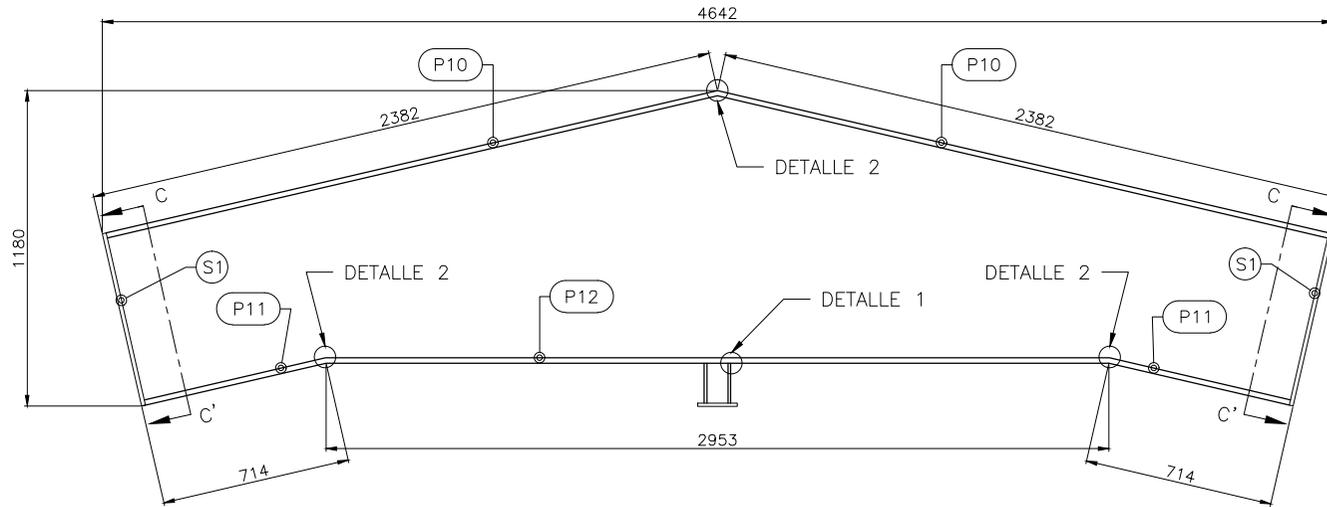


NOTAS:

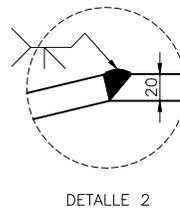
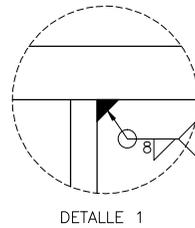
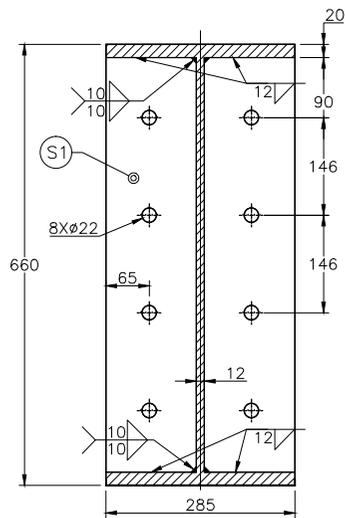
1. TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
2. CONJ. V3 PARA FORMAR CUBIERTA.
3. LISTA DE MATERIALES CORRESPONDEN AL TOTAL PARA UN CONJUNTO.
4. FABRICAR 2 UNIDADES POR PÓRICO
5. GALVANIZAR EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123.
6. NDT:
 - * 100% VISUAL TESTING
 - * 50% LIQUID PENETRANT EXAMINATION: SOLDADURA ALA - ALMA.

CONJUNTO V3						PESO : 945.1 KG	
I3	1	HEB100	L = 388	mm	ASTM-A588	7.9	7.92 KG
I2	1	HEB100	L = 150	mm	ASTM-A588	3.1	3.06 KG
S1	2	PL	285 x 660 X 12	mm	ASTM-A588	17.7	35.4 KG
P9	1	PL	640 x 6000 X 12	mm	ASTM-A588	361.7	361.7 KG
P8	2	PL	285 x 6000 X 20	mm	ASTM-A588	268.5	536.9 KG
CF	CANT	DESCRIPCION		ESPECIFICACION DEL MATERIAL	P. UNIT. (KG)	P.TOTAL (KG)	

FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	 ESPOL
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	
ESCALA: 1:125	DESCRIPCION: CONJ. V3 DE CUBIERTA	PLANO N°:	PG-IM-07



CONJ. V4

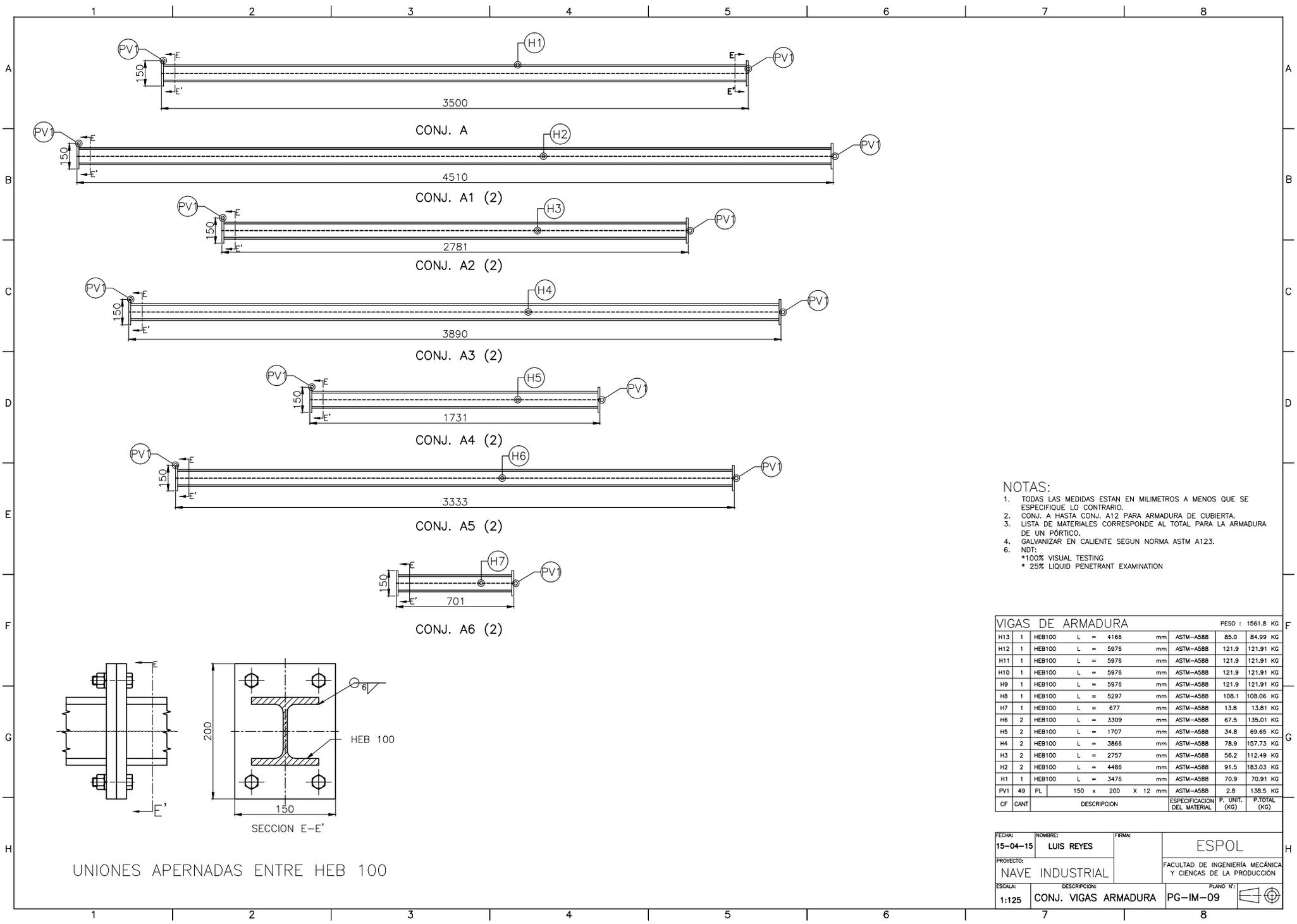


NOTAS:

1. TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
2. CONJ. V4 PARA FORMAR CUBIERTA.
3. LISTA DE MATERIALES CORRESPONDEN AL TOTAL PARA UN CONJUNTO.
4. FABRICAR 1 UNIDADES POR PÓRICO
5. GALVANIZAR EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123.
6. NDT:
* 100% VISUAL TESTING
* 50% LIQUID PENETRANT EXAMINATION: SOLDADURA ALA - ALMA.

CONJUNTO V3							PESO : 369.4 KG		
I6	1	HEB100	L = 155	mm	ASTM-A588	3.2	3.16	KG	
S1	2	PL	285 x 660	X 12 mm	ASTM-A588	17.7	35.4	KG	
P12	1	PL	285 x 2953	X 12 mm	ASTM-A588	79.3	79.3	KG	
P11	2	PL	285 x 714	X 12 mm	ASTM-A588	19.2	38.3	KG	
P10	2	PL	285 x 2382	X 20 mm	ASTM-A588	106.6	213.2	KG	
CF	CANT	DESCRIPCION				ESPECIFICACION DEL MATERIAL	P. UNIT. (KG)	P.TOTAL (KG)	

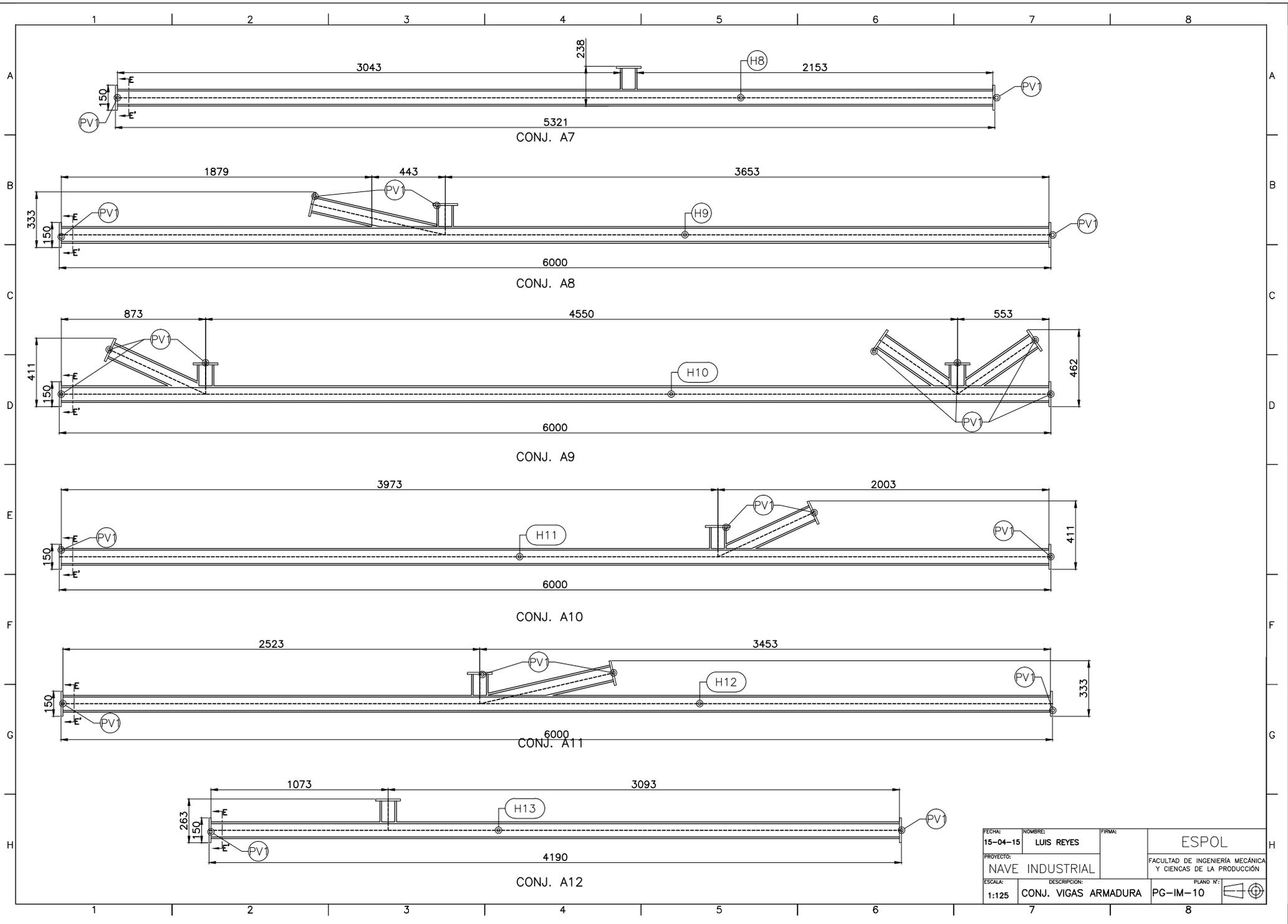
FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	ESPOL
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	
ESCALA: 1:125	DESCRIPCION: CONJ. V4 DE CUBIERTA	PLANO N°:	PG-IM-08



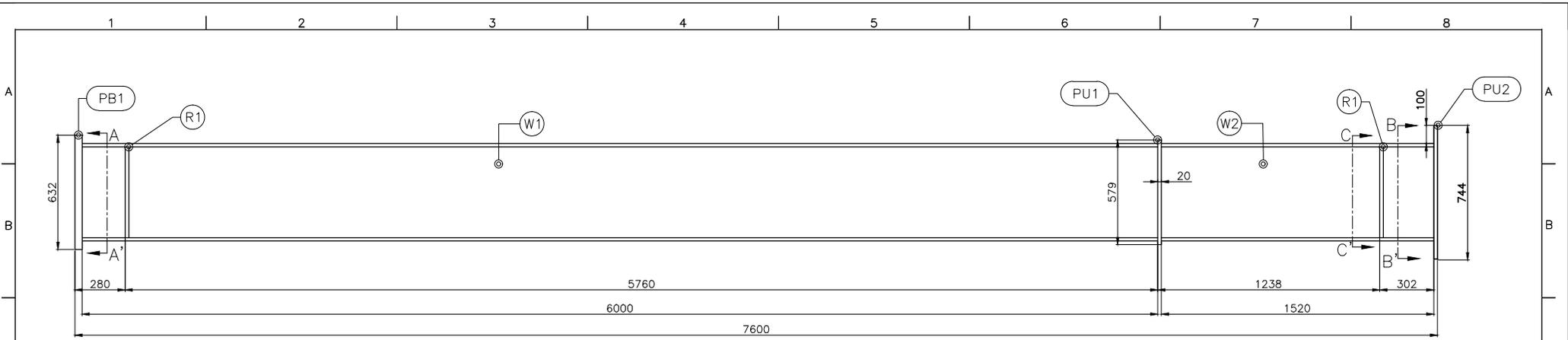
- NOTAS:**
- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
 - CONJ. A HASTA CONJ. A12 PARA ARMADURA DE CUBIERTA.
 - LISTA DE MATERIALES CORRESPONDE AL TOTAL PARA LA ARMADURA DE UN PÓRTICO.
 - GALVANIZAR EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123.
 - NDT:
 * 100% VISUAL TESTING
 * 25% LIQUID PENETRANT EXAMINATION

VIGAS DE ARMADURA						PESO : 1561.8 KG	
H13	1	HEB100	L = 4166	mm	ASTM-A588	85.0	84.99 KG
H12	1	HEB100	L = 5976	mm	ASTM-A588	121.9	121.91 KG
H11	1	HEB100	L = 5976	mm	ASTM-A588	121.9	121.91 KG
H10	1	HEB100	L = 5976	mm	ASTM-A588	121.9	121.91 KG
H9	1	HEB100	L = 5976	mm	ASTM-A588	121.9	121.91 KG
H8	1	HEB100	L = 5297	mm	ASTM-A588	108.1	108.06 KG
H7	1	HEB100	L = 677	mm	ASTM-A588	13.8	13.81 KG
H6	2	HEB100	L = 3309	mm	ASTM-A588	67.5	135.01 KG
H5	2	HEB100	L = 1707	mm	ASTM-A588	34.8	69.65 KG
H4	2	HEB100	L = 3866	mm	ASTM-A588	78.0	157.73 KG
H3	2	HEB100	L = 2757	mm	ASTM-A588	56.2	112.49 KG
H2	2	HEB100	L = 4486	mm	ASTM-A588	91.5	183.03 KG
H1	1	HEB100	L = 3476	mm	ASTM-A588	70.9	70.91 KG
PV1	49	PL	150 x 200 x 12	mm	ASTM-A588	2.8	138.5 KG
CF	CANT	DESCRIPCION		ESPECIFICACION DEL MATERIAL	P. UNIT. (KG)	P.TOTAL (KG)	

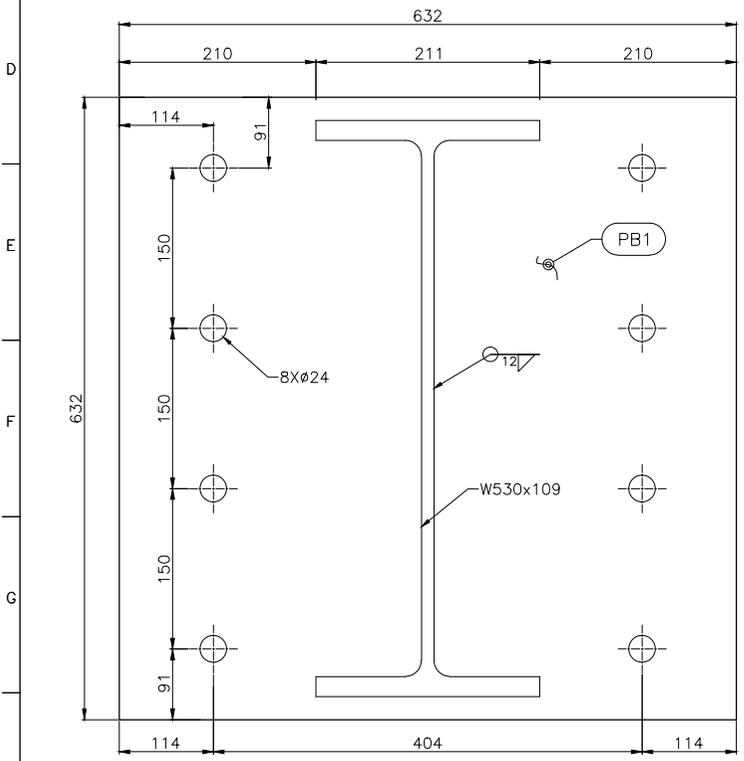
FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	ESPOL
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		
ESCALA: 1:125	DESCRIPCION: CONJ. VIGAS ARMADURA	PLANO N°:	PG-IM-09



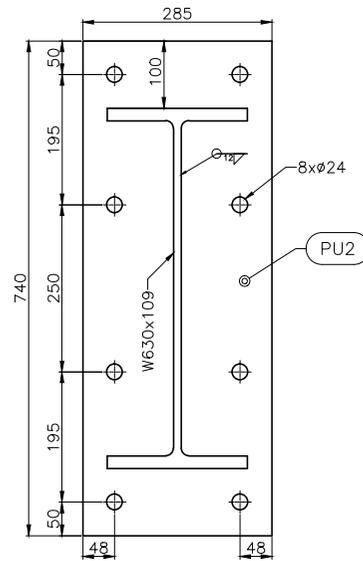
FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	ESPOL
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
ESCALA: 1:125	DESCRIPCIÓN: CONJ. VIGAS ARMADURA	PLANO N°:	PG-IM-10



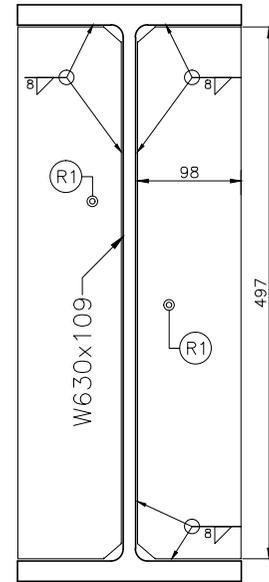
CONJ. C1



DETAILLE A-A'



DETAILLE B-B'



DETAILLE C-C'

NOTAS:

- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.
- CONJ. C1 PARA FORMAR COLUMNA DEL PÓRICO PRINCIPAL.
- FABRICAR 2 UNIDADES POR PÓRICO
- LISTA DE MATERIALES CORRESPONDE AL TOTAL PARA UNA COLUMNA.
- NDT:
*100% VISUAL TESTING
* 50% LIQUID PENETRANT EXAMINATION
- GALVANIZAR EN CALIENTE SEGUN NORMA ASTM A123 CON DOBLE INMERSION

VIGAS DE ARMADURA						PESO : 1181.1 KG		
W2	2	W530	L = 1520	mm	ASTM-A588	165.7	331.3 KG	
W1	1	W530	L = 6000	mm	ASTM-A588	654.0	654.0 KG	
PU2	1	PL	285 x 740 x 20	mm	ASTM-A588	33.1	33.1 KG	
PU1	1	PL	275 x 579 x 20	mm	ASTM-A588	25.0	25.0 KG	
PB1	1	PL	632 x 632 x 40	mm	ASTM-A588	125.4	125.4 KG	
R1	4	PL	98 x 497 x 8	mm	ASTM-A588	3.1	12.2 KG	
CF	CANT	DESCRIPCION				ESPECIFICACION DEL MATERIAL	P. UNIT. (KG)	P.TOTAL (KG)

FECHA: 15-04-15	NOMBRE: LUIS REYES	FIRMA:	ESPOL
PROYECTO: NAVE INDUSTRIAL		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION	
ESCALA: 1:125	DESCRIPCION: CONJ. V4 DE CUBIERTA	PLANO N°:	PG-IM-11