

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA TIPO PÓRTICO PARA LA CÁMARA DE LA PEQUEÑA INDUSTRIA UBICADA EN EL CENTRO DE EXPOSICIONES QUITO**

#### **PROYECTO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**RUTH ADELA BADILLO TOCAÍN**

(rut\_0506@yahoo.es)

**JOSUÉ ALEXANDER MORILLO CÁRDENAS**

(jalexander.morillo@hotmail.com)

**DIRECTOR: ING. CARLOS OSWALDO BALDEÓN VALENCIA**

(carlos.baldeon@epn.edu.ec)

**CO-DIRECTOR: ING. WILSON AUGUSTO FRANCO ORTIZ**

(wfranco@dimalvid.com)

**Quito, Julio 2015**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Ruth Adela Badillo Tocaín y Josué Alexander Morillo Cárdenas, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Ruth Adela Badillo Tocaín

---

Josué Alexander Morillo Cárdenas

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Ruth Adela Badillo Tocaín y el señor Josué Alexander Morillo Cárdenas, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Carlos Baldeón

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

Ing. Wilson Franco

**CO-DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

A Dios que me lo ha dado todo, a mis padres quienes han estado pendientes de mí, no solo en educación sino procurando darme todo lo necesario para ser feliz, su cariño, su amor, su experiencia, enseñándome las cosas más simples de la vida, que es más satisfactorio ser una persona humana que estudiada, a mi familia en la que puedo apoyarme todo el tiempo y confiar en su amor para sobrellevar las situaciones más difíciles y de la misma manera y con el mismo amor compartir los éxitos de mi vida, a mis amigos y compañeros de facultad con los que hemos crecido en experiencias y conocimiento para formarnos en lo que hoy somos, mejores seres humanos y profesionales.

De manera muy especial agradezco a nuestro director el Ingeniero Carlos Baldeón por su paciencia y dedicación para encaminarnos a culminar el proyecto de titulación y de igual manera al Ingeniero Wilson Franco quien no solo nos brindó su tiempo, sino también conocimiento en este proyecto.

Ruth Badillo

Agradezco a Dios, por estar conmigo siempre en las buenas y malas situaciones, por darme la fuerza y el valor para seguir adelante y afrontar los obstáculos que se presentan en la vida. Por darme lecciones que me ayudarán a crecer como persona.

A la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Ingeniería Mecánica, por ser mi segundo hogar y brindarme la oportunidad de crecer como persona y profesionalmente.

Al Ingeniero Carlos Baldeón, por ser nuestro director de este proyecto de titulación, dedicando su tiempo y conocimiento en el desarrollo del mismo, aportando ideas que nos ayudaron de manera significativa.

Al Ingeniero Wilson Franco, por abrirnos las puertas de su empresa, permitiendo obtener experiencia laboral, como también siendo nuestro colaborador en este proyecto, y aportando su criterio profesional.

A mi familia, que siempre me apoyo, en especial a mi madre Marisol Cárdenas, a mi abuela Carmen Aulestia y a mi tía María Fernanda Cárdenas; quienes siempre me motivaron a seguir adelante y a no rendirme a pesar de las dificultades que se presentaron en estos años.

A mis amigos, con quienes se compartió momentos buenos y malos, quienes siempre estuvieron apoyando y formaron parte de mi familia, en este mi segundo hogar la Escuela Politécnica Nacional.

Josué Morillo

## DEDICATORIA

Este logro es para mi familia, para mis padres que se han esforzado en darme una buena educación y me han acompañado en todo el camino, para mis hermanos que me han apoyado y ayudado en la medida que han podido y de la manera más especial para mi hijo, quien es la mayor inspiración que llegó a mi vida, quien me ha dado los momentos más felices y me ha enseñado que el amor es más importante que cualquier triunfo, tu eres mi primer y mayor logro en la vida Timoteo.

Ruth Badillo

Este proyecto de titulación está dedicado:

A Dios por guiarme por el buen camino y darme la fuerza y el valor para afrontar los obstáculos, permitiendo seguir adelante.

A mi familia, por sus consejos y apoyo incondicional que me sirvió para crecer como persona y como profesional.

Josué Morillo

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	v
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABLAS.....	xvii
LISTA DE CUADROS .....	xvii
RESUMEN .....	xix
PRESENTACIÓN .....	xx
<b>CAPITULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	1
1.4. ALCANCE .....	2
1.5. OBJETIVOS .....	2
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.6. INTRODUCCIÓN .....	3
1.7. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MODERNOS .....	4
1.7.1. HORMIGÓN ARMADO .....	4
1.7.2. ACERO.....	5
1.7.3. MADERA .....	5
1.7.4. ALUMINIO .....	5
1.7.5. CERÁMICA.....	5
1.7.6. PLÁSTICOS.....	6

1.8.	CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS .....	6
1.8.1.	ESTRUCTURAS RETICULARES.....	6
1.8.2.	ESTRUCTURAS APORTICADAS .....	9
1.8.3.	ESTRUCTURAS APANTALLADAS.....	9
1.8.4.	ESTRUCTURAS TIPO CASCARÓN .....	10
1.9.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO EN BASE A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	11
1.9.1.	CLASIFICACIÓN DE SECCIONES SEGÚN PANDEO LOCAL.....	12
1.9.2.	DISEÑO DE MIEMBROS EN TRACCIÓN .....	12
1.9.3.	DISEÑO DE MIEMBROS EN COMPRESIÓN .....	13
1.9.4.	DISEÑO DE MIEMBROS EN FLEXIÓN .....	16
1.9.5.	DISEÑO DE MIEMBROS EN CORTE .....	19
1.10.	TIPOS DE SOLDADURA .....	19
1.10.1.	SOLDADURA OXIACETILÉNICA POR GAS.....	19
1.10.2.	SOLDADURA POR ARCO .....	20
1.10.3.	SOLDADURA POR PLASMA .....	21
1.10.4.	SOLDADURA POR HAZ ELECTRÓNICO.....	22
1.10.5.	SOLDADURA POR LÁSER.....	22
1.10.6.	SOLDADURA POR PRESIÓN.....	23
1.10.7.	SOLDADURA FUERTE .....	24
1.10.8.	SOLDADURA BLANDA.....	25
1.11.	DIMENSIONES EN SOLDADURA.....	25
1.12.	CLASIFICACIÓN DE LAS SOLDADURAS .....	26
1.12.1.	SOLDADURAS A TOPE .....	27
1.12.2.	SOLDADURAS DE FILETE.....	28
1.13.	REQUISITOS DEL METAL DE APORTE .....	29

CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y ESTRUCTURALES REQUERIDOS .....	30
2.1. ESTRUCTURA.....	30
2.1.1. UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	31
2.1.2. LUZ A CUBRIR.....	31
2.1.3. GEOMETRÍA DE LA CUBIERTA.....	32
2.2. MECANISMO .....	33
2.3. ANÁLISIS ESTÁTICO .....	34
2.3.1. CARGAS MUERTAS .....	34
2.3.2. CARGAS VIVAS .....	34
2.3.3. CARGAS DE LLUVIA Y GRANIZO.....	39
2.4. ANÁLISIS DINÁMICO .....	39
2.4.1. CARGAS POR VIENTO .....	39
2.4.2. CARGAS SÍSMICAS .....	42
2.4.3. VIBRACIÓN.....	45
2.4.4. MOVIMIENTO DE LA CUBIERTA .....	45
2.5. CARGA DE SEGURIDAD .....	45
CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE ESTRUCTURAS .....	48
3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS .....	48
3.1.1. ESTRUCTURAS TRIANGULADAS .....	48
3.1.2. ESTRUCTURAS FUNICULARES.....	51
3.1.3. ESTRUCTURAS DE MEMBRANAS.....	54
3.1.4. ESTRUCTURAS LAMINADAS .....	55
3.1.5. ESTRUCTURAS VERTICALES.....	59
3.2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....	62
3.2.1. FUNCIONALIDAD .....	63

3.2.2.	TAMAÑO Y FORMA DE LA ESTRUCTURA .....	68
3.2.3.	RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA (CARGAS).....	69
3.2.4.	SEGURIDAD .....	69
3.2.5.	COSTOS DE FABRICACIÓN .....	70
3.2.6.	COSTOS DE MANTENIMIENTO.....	70
3.2.7.	ESTÉTICA .....	70
3.2.8.	PESO DE LA ESTRUCTURA.....	71
3.3.	ESTRUCTURA RETRÁCTIL TIPO PÓRTICO .....	74
3.3.1.	CELOSÍA.....	74
3.3.2.	TIPOS DE CELOSÍA .....	75
3.3.3.	TIPOS DE UNIONES.....	77
3.3.4.	DISEÑO CONCEPTUAL DE PÓRTICOS.....	77
3.3.5.	ESTRUCTURA DE PÓRTICOS SIMPLES .....	78
3.3.6.	PILARES COMPUESTOS .....	79
3.3.7.	GEOMETRÍA DE LAS CELOSÍAS.....	81
3.3.8.	SECCIÓN DE LOS ELEMENTOS .....	81
CAPÍTULO IV: CÁLCULO Y DISEÑO .....		84
4.1.	PARÁMETROS FUNCIONALES Y DE DISEÑO.....	84
4.2.	ANÁLISIS DE CASOS DE CARGAS.....	85
4.2.1.	COMBINACIONES DE CARGA.....	86
4.2.2.	CARGAS UTILIZADAS EN LA ESTRUCTURA.....	88
4.3.	APLICACIÓN DEL PAQUETE COMPUTACIONAL ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL.....	98
4.3.1.	CREACIÓN DE UN NUEVO MODELO .....	98
4.3.2.	GENERACIÓN DE LA ESTRUCTURA TIPO PÓRTICO RETRÁCTIL 102	
4.3.3.	DEFINICIÓN DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA .....	116

4.3.4.	ANÁLISIS DEL PÓRTICO RETRÁCTIL .....	121
4.3.5.	DISEÑO A COMPRESIÓN .....	125
4.3.6.	DISEÑO A CORTANTE .....	129
4.4.	VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD Y FUNCIONALIDAD DE LA BARRA MÁS CRÍTICA DE LA ESTRUCTURA (BARRA 2259).....	161
4.4.1.	DISEÑO A COMPRESIÓN .....	163
4.4.2.	DISEÑO A CORTANTE .....	165
4.5.	DISEÑO DE SOLDADURA .....	168
4.5.1.	CÁLCULO DE SOLDADURA.....	169
4.6.	DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE .....	179
4.6.1.	PERNO DE ANCLAJE .....	179
4.6.2.	LONGITUD EFECTIVA DEL PERNO DE ANCLAJE .....	180
4.7.	PLACA BASE .....	182
4.8.	LONGITUD TOTAL DEL PERNO DE ANCLAJE .....	183
CAPITULO 5: ANÁLISIS DE COSTOS .....		184
5.1.	MATERIA PRIMA .....	184
5.2.	PROCESO DE FABRICACIÓN .....	184
5.2.1.	SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	184
5.2.2.	CORTE DE LOS PERFILES.....	185
5.2.3.	CONFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA .....	185
5.2.4.	ACABADO .....	186
5.3.	EQUIPO A USAR.....	186
5.3.1.	EQUIPO.....	186
5.3.2.	HERRAMIENTAS .....	187
5.3.3.	EQUIPO DE SEGURIDAD .....	187
5.3.4.	EQUIPO DE SEGURIDAD .....	188
5.3.5.	ESTRUCTURA .....	189

5.3.6.	COSTO DE LA MATERIA PRIMA .....	189
5.3.7.	COSTO DE MONTAJE DE LA ESTRUCTURA .....	189
5.3.8.	COSTO DE MANO DE OBRA CIVIL .....	190
5.3.9.	COSTO DE OBRA CIVIL .....	190
5.3.10.	COSTO DE ALQUILER DE LOS EQUIPOS .....	190
5.3.11.	COSTO DEL EQUIPO DE SEGURIDAD .....	191
5.3.12.	RESUMEN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA 191	
5.4.	ANÁLISIS DE COSTOS .....	191
5.4.1.	COSTOS DIRECTOS .....	191
5.4.2.	ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS .....	192
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		198
6.1.	CONCLUSIONES.....	198
6.2.	RECOMENDACIONES .....	199

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1: Torre Eiffel (ejemplo de estructura reticular). .....	6
Figura 1. 2: Grados de libertad en una estructura reticular simple. ....	7
Figura 1. 3: Estructura reticular compuesta. ....	8
Figura 1. 4: Estructura reticular compleja. ....	8
Figura 1. 5: Esqueleto de una estructura aporticada. ....	9
Figura 1. 6: Distribución de cargas en estructuras aporticadas y apantalladas. ...	10
Figura 1. 7: Oceanográfico, restaurante submarino de estructura tipo cascarón. ...	10
Figura 1. 8: Tabla de selección para la aplicación de las secciones del capítulo 10 NEC. ....	17
Figura 1. 9: Soldadura oxiacetilénica. ....	20
Figura 1. 10: Soldadura por arco eléctrico. ....	21
Figura 1. 11: Soldadura por plasma. ....	21
Figura 1. 12: Soldadura por haz de electrones. ....	22
Figura 1. 13: Soldadura por láser. ....	23
Figura 1. 14: Soldadura por presión. ....	24
Figura 1. 15: Soldadura fuerte. ....	24
Figura 1. 16: Soldadura blanda. ....	25
Figura 1. 17: Dimensiones en soldadura. ....	26
Figura 1. 18: Clasificación de las soldaduras. ....	26
Figura 1. 19: Soldadura de tope con penetración parcial. ....	27
Figura 1. 20: Soldadura efectiva de tope biselada. ....	28
Figura 1. 21: Metal base y metal de aporte. ....	29
Figura 2. 1: Área disponible (Centro de Exposiciones Quito). ....	31
Figura 2. 2: Área a usar (Centro de Exposiciones Quito). ....	32
Figura 2. 3: Gráfica esfuerzo-deformación para algunos materiales. ....	33
Figura 2. 4: Mecanismo para el movimiento de la cubierta. ....	33
Figura 2. 5: Cargas de viento a barlovento y sotavento. ....	40
Figura 2. 6: Mapa de zonas sísmicas del Ecuador. ....	43
Figura 3. 1: Esfuerzos de las armaduras. ....	48
Figura 3. 2: Tipos de armaduras. ....	49

Figura 3. 3: Armadura espacial. ....	49
Figura 3. 4: Tipos de armaduras. ....	50
Figura 3. 5: Armaduras espaciales. ....	51
Figura 3. 6: Tipos estructura funicular. ....	51
Figura 3. 7: Esfuerzos en estructuras funiculares. ....	52
Figura 3. 8: Sistemas con cables. ....	52
Figura 3. 9: Sistemas con membranas. ....	54
Figura 3. 10: Esfuerzos en estructuras de membranas. ....	54
Figura 3. 11: Esfuerzos en estructuras laminadas. ....	55
Figura 3. 12: Esfuerzos en estructuras plegables. ....	55
Figura 3. 13: Lámina plegada. ....	56
Figura 3. 14: Lámina cilíndrica. ....	57
Figura 3. 15: Lámina esférica. ....	58
Figura 3. 16: Sistema de platos. ....	58
Figura 3. 17: Tipos de superficie cascarón. ....	59
Figura 3. 18: Estructuras verticales. ....	60
Figura 3. 19: Sistemas de muros de corte. ....	60
Figura 3. 20: Sistemas especiales. ....	62
Figura 3. 21: Membrana móvil con soporte fijo. ....	64
Figura 3. 22: Estructura rígida-móvil. ....	64
Figura 3. 23: Cubierta de cerramiento móvil sin soporte fijo (tipo sombrilla). ....	65
Figura 3. 24: Membrana móvil con soporte móvil. ....	66
Figura 3. 25: Estructura retráctil. ....	66
Figura 3. 26: Sistema tijera. ....	67
Figura 3. 27: Estructura telescópica. ....	67
Figura 3. 28: Área regular disponible. ....	68
Figura 3. 31: Celosía tipo Pratt. ....	77
Figura 4. 1: Esquema del techo de la estructura. ....	85
Figura 4. 2: Cargas en la estructura. ....	87
Figura 4. 3: Cargas de viento en diferentes ángulos de la estructura. ....	98
Figura 4. 4: Robot Structural Analysis Professional. ....	99
Figura 4. 5: Selección del proyecto. ....	99

Figura 4. 6: Barra de herramientas.....	100
Figura 4. 7: Preferencias.....	100
Figura 4. 8: Preferencias.....	101
Figura 4. 9: Preferencias.....	101
Figura 4. 10: Complementos.....	102
Figura 4. 11: Estructuras tipo pórtico.....	102
Figura 4. 12: Separación de las tijeras máxima.....	103
Figura 4. 13: Separación de las tijeras mínima.....	105
Figura 4. 14: Pórticos y separación.....	106
Figura 4. 15: Pórticos dimensiones.....	107
Figura 4. 16: Selección de los perfiles.....	108
Figura 4. 17: Celosía del techo.....	109
Figura 4. 18: Celosía del techo.....	110
Figura 4. 19: Arriostramientos.....	111
Figura 4. 20: Detalle de los tipos de arriostamiento que ofrece el programa.....	112
Figura 4. 21: Comprobación.....	112
Figura 4. 22: Estructura disyunta con pórticos dobles arriostrados en el techo, paredes y perfiles 2 U en todas las columnas sin arriostamiento.....	113
Figura 4. 23: Creación de un nuevo perfil con coordenadas.....	113
Figura 4. 24: Columnas arriostadas de los pórticos dobles y simples.....	114
Figura 4. 25: Perfil rectangular y correa para el desplazamiento de las tijeras.....	114
Figura 4. 26: Tijeras ubicadas en los perfiles de apoyo de la estructura.....	115
Figura 4. 27: Relajaciones en las tijeras.....	115
Figura 4. 28: Vista frontal de la estructura.....	116
Figura 4. 29: Definición de cargas.....	117
Figura 4. 30: Aplicación de carga muerta.....	117
Figura 4. 31: Aplicación de carga viva.....	118
Figura 4. 32: Aplicación de carga viva de techo.....	118
Figura 4. 33: Aplicación de carga de viento.....	119
Figura 4. 34: Combinaciones automáticas según norma LRFD.....	120
Figura 4. 35: Combinaciones de carga sobre la estructura.....	120
Figura 4. 36: Dimensionamiento de perfiles de acero.....	121
Figura 4. 37: Selección de los perfiles que se van a analizar.....	121

Figura 4. 38: Fuerzas sobre una columna. ....	122
Figura 4. 39: Esfuerzos internos producidos en la columna 2204. ....	128
Figura 4. 40: Verificación del canal “U 100x50x3”. ....	132
Figura 4. 41: Verificación de un ángulo “L 20x20x3”. ....	133
Figura 4. 42: Verificación del tubo rectangular “R 60x40x3”. ....	133
Figura 4. 43: Verificación del tubo cuadrado “Q 30x30x2”. ....	134
Figura 4. 44: Resultados de verificación de perfiles. ....	147
Figura 4. 45: Selección de esfuerzos y momentos de la estructura. ....	148
Figura 4. 46: Valores máximos y mínimos de fuerzas y momentos. ....	148
Figura 4. 47: Visualización de fuerzas y momentos en los perfiles de la estructura. .....	149
Figura 4. 48: Selección de deformación de la estructura. ....	149
Figura 4. 49: Desplazamientos de la estructura. ....	150
Figura 4. 50: Selección de esfuerzos normales y cortantes. ....	151
Figura 4. 51: Visualización de los esfuerzos normales y cortantes. ....	151
Figura 4. 52: Tablas de esfuerzos normales y cortantes máximos y mínimos. ...	152
Figura 4. 53: Selección de las reacciones en la estructura. ....	153
Figura 4. 54: Visualización de los valores de reacciones en cada punto de la estructura. ....	154
Figura 4. 55: Extracto de valores de las reacciones en la estructura. ....	155
Figura 4. 56: Valores de esfuerzos y momentos máximos y mínimos en la estructura. ....	157
Figura 4. 57: Selección de los diagramas de barras. ....	158
Figura 4. 58: Análisis detallado de diagramas del perfil “Q 30x30x2”. ....	158
Figura 4. 59: Selección de las barras más críticas. ....	159
Figura 4. 60: Combinación de cargas más desfavorables actuando sobre las barras más críticas. ....	159
Figura 4. 61: Barra 2259 resaltada en color rojo. ....	160
Figura 4. 62: Esfuerzos internos del elemento 2259. ....	161
Figura 4. 63: Perfil U-U. ....	169
Figura 4. 64: Unión de la cartela. ....	174

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1: Factor de corrección $\sigma$ .....	41
Tabla 2. 2: Factor Z para las zonas de riesgo sísmico del Ecuador. ....	43
Tabla 4. 1: Coeficientes según la categoría de exposición. ....	91
Tabla 4. 2: Coeficientes de categoría topográfica. ....	92
Tabla 4. 3: Factor de probabilidad de la dirección del viento.....	93
Tabla 4. 4: Factores de importancia. ....	93
Tabla 4. 5: Factores de importancia. ....	97
Tabla 4. 6: Cargas de viento en los diferentes ángulos de la estructura. ....	97
Tabla 4. 7: Tabla de resultados de esfuerzos y momentos exportada del programa ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS (extracto). ....	157
Tabla 4. 8: Parámetros. ....	169
Tabla 5. 1: Materiales de la estructura .....	189
Tabla 5. 2: Alquiler de los equipos. ....	190
Tabla 5. 3: Grúa y andamios. ....	190
Tabla 5. 5: Construcción de la estructura. ....	191

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2. 1: Cargas vivas uniformemente distribuidas y concentradas.....	37
Cuadro 2. 2: Cargas vivas para cubiertas en kg/m <sup>2</sup> . ....	38
Cuadro 2. 3: Factor de forma $C_f$ . ....	42
Cuadro 2. 4: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. ....	44
Cuadro 2. 5: Factor R de reducción de respuesta para estructuras diferentes a las de edificación. ....	45
Cuadro 3. 1: Selección de alternativas. ....	72

Cuadro 4. 1: Extracto de cargas vivas uniformemente distribuidas y concentradas.	89
Cuadro 4. 2: Cargas vivas para cubiertas en kg/m <sup>2</sup> .	90
Cuadro 4. 3: Clasificación de las estructuras.	93
Cuadro 4. 5: Soldadura de barras.	170
Cuadro 4. 6: Parámetros de la cartela.	170
Cuadro 4. 7: Distancias.	170
Cuadro 4. 8: Material de la estructura.	170
Cuadro 4. 9: Coeficientes de seguridad.	170
Cuadro 4. 10: Esfuerzo axil.	170
Cuadro 4. 11: Verificación de las soldaduras.	171
Cuadro 4. 12: Parámetros.	174
Cuadro 4. 13: Dimensiones.	175
Cuadro 4. 14: Datos de la placa.	175
Cuadro 4. 15: Distancias.	175
Cuadro 4. 16: Material.	175
Cuadro 4. 17: Coeficiente de seguridad.	175
Cuadro 4. 18: Esfuerzo axil.	176
Cuadro 4. 19: Dimensiones.	176
Cuadro 5. 1: Materia prima.	189
Cuadro 5. 2: Montaje de la estructura.	189
Cuadro 5. 3: Mano de obra civil.	190
Cuadro 5. 4: Obra civil.	190
Cuadro 5. 5: Equipo de seguridad.	191
Cuadro 5. 6: Costos directos.	192
Cuadro 5. 7: Suministro de acero estructural.	192
Cuadro 5. 8: Fabricación de la estructura.	193
Cuadro 5. 9: Montaje de la estructura.	194
Cuadro 5. 10: Placas de cimentación.	195
Cuadro 5. 11: Pernos de anclaje.	196
Cuadro 5. 12: Cubierta.	197

## RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se realizó el diseño de una estructura tipo pórtico para la Cámara de la Pequeña Industria ubicada en el Centro de Exposiciones Quito, se tomó en cuenta varios requerimientos para la construcción de la misma, basándose en normas y códigos nacionales e internacionales.

En el diseño, se hizo un estudio de los materiales y fundamentos teóricos de las estructuras metálicas y tipos de soldadura, que son necesarios para elegir el tipo de pórtico que resulta más conveniente y se adapte a los requerimientos solicitados por la Cámara de la Pequeña Industria. Posteriormente se describió los pasos del diseño de la estructura, así como también la selección de la mejor alternativa, basándose en los parámetros de funcionalidad, forma, tamaño, resistencia, seguridad, costos, estética y peso; estos parámetros fueron fundamentales para elegir dentro de las empresas nacionales el material más ligero y los perfiles adecuados para movilizar la estructura.

Al tener una idea clara de la forma del pórtico y los materiales con los que se iba a trabajar, se tomó en cuenta las condiciones del lugar para definir los parámetros estructurales que permitieron el cálculo de cargas y de estabilidad basándose en la AISC. El software ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL permitió diseñar la estructura y simular los casos de carga calculados, así como la combinación de cargas en el mismo; ya que este programa hace un análisis por el método de elementos finitos, se facilitó el reconocer las barras más críticas para comprobar que cumple todas las normas.

Uno de los parámetros que la CAPEIPI tomó como más importante, fue la estética. Para ello se realizó un análisis del costo de los materiales que forman el armazón del pórtico, es decir, las columnas, vigas e incluso uniones necesarias para construir la estructura, además se eligió una membrana que cumpla con las características estéticas y estructurales para cubrir y dar forma al pórtico.

## **PRESENTACIÓN**

La Cámara de la Pequeña Industria se encuentra ubicada en el Centro de Exposiciones Quito, en donde se realizan eventos relacionados con la industria en general. El presente proyecto de titulación proveerá el diseño de una estructura tipo pórtico, la misma que es retráctil, es decir, que presenta un sistema de movimiento de cada uno de los pórticos.

La estructura es de acero y su movimiento se realizará mediante un sistema de viga- carril, cada pórtico transmite el movimiento a través de un sistema de tijeras.

Para llevar a cabo el proyecto se realizará un estudio de las alternativas, tomando en cuenta varios parámetros de diseño requeridos. Para diseño de la misma se utilizará el programa ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL.

# **CAPITULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS**

## **1.1. ANTECEDENTES**

La Cámara de la Pequeña Industria de Pichincha (CAPEIPI) es la institución representante de los sectores productivos y de prestación de servicios de la provincia, la cual fomenta la innovación de productos para brindar calidad y lograr competitividad en el mercado.

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En conjunto con el Centro de Exposiciones Quito, la CAPEIPI ha buscado brindar herramientas para que los profesionales puedan vender sus productos y ofrecer sus servicios, es decir, promover trabajo; para ello continuamente realizan ferias y eventos que impulsan un desarrollo económico de las empresas, sin embargo, para ello deben contratar carpas, pórticos, tarimas y estructuras, para así brindar resguardo y proteger los productos que se exponen, también en ocasiones se requiere el mayor espacio libre disponible para exhibir grandes productos como autos y maquinaria.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La necesidad de contratar continuamente estructuras desmontables que permitan realizar los eventos, hace que los representantes de la CAPEIPI busquen una forma de obtener este servicio a un menor costo y disponer de él en el momento que lo requieran, evitando así gastos innecesarios de alquiler y posibles daños de los materiales contratados.

La Cámara de la Pequeña Industria de Pichincha (CAPEIPI) requiere de una estructura de características especiales, tanto a nivel tecnológico como estético,

con la finalidad de la realización de diversos eventos de carácter variado. El conocimiento y la experiencia del Ingeniero Carlos Baldeón han llevado a plantear el diseño de una estructura tipo pórtico, la cual cumple con los requisitos solicitados.

Con la ayuda de los diversos paquetes tecnológicos aprendidos a lo largo de la carrera, se puede realizar el estudio de las características que posee dicha estructura y proporcionar los datos necesarios para su posterior construcción.

Mediante el diseño de esta estructura se desea obtener un prototipo que sirva como punto de partida para la construcción de futuros proyectos que permitan la innovación y desarrollo de la matriz productiva del país.

#### **1.4. ALCANCE**

En el presente proyecto de titulación se analizará las posibilidades de cubrir el máximo espacio destinado a las ferias en el Centro de Exposiciones Quito, para esto se diseñará una estructura que pueda abrirse o cerrarse de acuerdo a la necesidad del evento, determinando primeramente los parámetros geométricos y estructurales como tamaño, peso y material adecuado para facilitar el movimiento de la estructura, sin dejar de lado la estabilidad y seguridad de la misma. Se trabajará con un software que permita comprobar y simular los efectos combinados de cargas.

#### **1.5. OBJETIVOS**

##### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una estructura tipo pórtico para la Cámara de la Pequeña Industria de Pichincha (CAPEIPI) ubicada en el Centro de Exposiciones Quito.

### 1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de los materiales, estructuras, uniones y normas vigentes a utilizar.
- Analizar de las diferentes tipologías de las estructuras pórtico.
- Realizar el análisis de ventajas y desventajas que nos proporciona este tipo de estructuras respecto a las estructuras convencionales.
- Seleccionar los materiales y dimensionar la estructura utilizando un software apropiado.
- Determinar los costos que implica el desarrollo del proyecto.

## 1.6. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el hombre tuvo necesidades, las cuales consistían en disponer de alimentos, de un refugio y de vestidos; pero al ir aumentando el número de habitantes se vio forzado a abandonar las cavernas y buscar nuevos refugios que les protegieran de las inclemencias del tiempo. En aquellos tiempos los recursos que poseían eran limitados, así que sus construcciones eran hechas con ramas de árboles, paredes de losas de piedra o de barro, entre otros.

Con el pasar del tiempo las técnicas de edificación fueron modernizándose, dependiendo del desarrollo de la habilidad intelectual del hombre fueron despejando los problemas técnicos para usar su ingenio en resolverlos.

El origen de las construcciones modernas y el uso de nuevos materiales ocurren en la última parte del siglo XVIII, con el inicio de la Revolución Industrial. Hasta ese entonces los materiales dominantes eran la madera y la piedra; la estructura de los edificios estaba formada esencialmente por suelos de madera soportados por muros de carga, o bien por entramados igualmente de madera.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Salvat, J. (1980). Cómo funciona. Estella: Editorial Marshall Cavendish. (Vol. 4, pp.132-138).

A finales del siglo XVIII se incrementó el uso de fundición de hierro para columnas y vigas, reemplazando así a la madera. Con el apareamiento del ferrocarril a inicios del siglo XIX, el uso de la fundición de hierro aumento de manera considerada, pero su uso generó ciertas dificultades debido a la poca resistencia a la tracción, así que se lo reemplazo con vigas de hierro forjado, el cual era un material con mayor pureza y con mayor resistencia a la tracción y compresión.

Con el desarrollo industrial, se generaron cambios en los métodos de producción y aparecieron nuevos métodos constructivos, en donde se introdujo el concepto de estructura de acero.

## **1.7. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MODERNOS**

En la actualidad, el desarrollo de nuevos materiales, ha permitido la construcción de estructuras con diseños novedosos y que cumplen con una determinada funcionalidad, aunque el acero y el hormigón siguen siendo los materiales más comunes.

### **1.7.1. HORMIGÓN ARMADO**

El hormigón es un material compuesto formado por cemento, arena, grava y agua; es un material que se usa frecuentemente en las construcciones, este material presenta una alta resistencia a la compresión, pero con la gran ventaja de que su plasticidad permite verter moldes para formar suelos, vigas, columnas y estructuras de poco espesor.<sup>2</sup>

El hormigón tiene baja resistencia a los esfuerzos de tracción, por lo que se refuerza con acero, proporcionando así una buena resistencia a la compresión (hormigón) y la a tracción (varillas de acero).

---

<sup>2</sup> Salvat, J. (1980). Cómo funciona. Estella: Editorial Marshall Cavendish. (Vol. 4, pp.132 -138).

### **1.7.2. ACERO**

Los perfiles de acero fueron de gran utilidad debido a su abundante uso, gracias a esto se desarrolló diversas técnicas de unión de los distintos elementos, ya sea, remaches, pernos, soldaduras, etc.

### **1.7.3. MADERA**

A pesar de que la madera es un elemento muy antiguo de construcción, en la actualidad se lo sigue utilizando, ya que nos proporciona propiedades como ligereza, resistencia a la tracción, compresión y flexión. Incluso se han modernizado las técnicas de ensamblaje de piezas de madera con dispositivos metálicos. El uso de la madera como elemento estructural es amplio ya que su poco peso es notorio, pues la densidad de la madera es la quinta parte de la del hormigón y una dieciseisava de la del acero.<sup>3</sup>

### **1.7.4. ALUMINIO**

Lo interesante del aluminio, es que es un metal dúctil y blando en estado puro, pero al combinarse con otros elementos aumenta su resistencia, dando la posibilidad de ser usado como elemento estructural. El aluminio presenta una duración mayor que la del acero, ya que debido a la capa de óxido que se forma en la superficie actúa como capa protectora para una oxidación posterior.

### **1.7.5. CERÁMICA**

La construcción con cerámica, se refiere al uso de ladrillos, este material al igual que la madera se lo ha utilizado desde tiempos remotos, el ladrillo ofrece una gran capacidad de resistencia a la compresión, generalmente se aprovecha la rigidez de las paredes de ladrillo a las estructuras de hormigón y de acero.

---

<sup>3</sup> Salvat, J. (1980). Cómo funciona. Estella: Editorial Marshall Cavendish. (Vol. 4, pp.132-138).

### 1.7.6. PLÁSTICOS

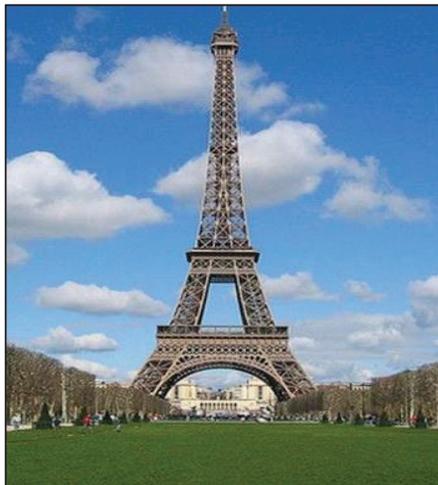
Estos materiales se producen a partir de productos naturales tales como el carbón, aire, agua e hidrocarburos mediante una serie de procesos químicos. Debido a su composición sintética se pueden crear distintos tipos de plásticos con propiedades diversas. Para las aplicaciones estructurales se requiere del uso de un tipo de refuerzo o fibras. El plástico más usado es el poliéster reforzado con fibra de vidrio, el cual soporta las cargas de tracción y compresión.

### 1.8. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS

Las estructuras metálicas se dividen en cuatro grupos principales:

- Estructuras reticulares.
- Estructuras aporticadas.
- Estructuras apantalladas.
- Estructuras tipo cascarón.

#### 1.8.1. ESTRUCTURAS RETICULARES



**Figura 1. 1: Torre Eiffel (ejemplo de estructura reticular).**  
**FUENTE:** <http://www.arqhys.com/fotos-de-la-torre-eiffel.html>

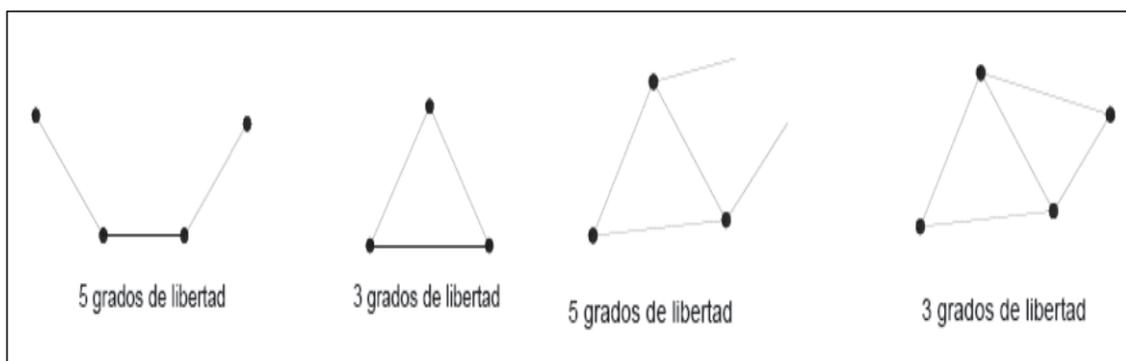
Una estructura reticular, también conocida como armadura está constituida por un conjunto de barras que se unen en un punto llamado nudo, formando así un cuerpo rígido; estas barras son elementos delgados que se unen entre sí al soldar dichos elementos, o simplemente mediante un perno y trabajan a compresión y tracción principalmente, aunque también se presentan flexiones.

Las estructuras reticulares se clasifican según la forma como se generan:

- Estructuras reticulares simples.
- Estructuras reticulares compuestas.
- Estructuras reticulares complejas.

#### 1.8.1.1. Estructuras reticulares simples

Este tipo de estructuras forman un polígono, el más usado es el triángulo, el cual no se deforma cuando actúa sobre él una carga. Cuando sobre este polígono se aplica una fuerza de compresión, dos de estas barras están sometidas a dicha fuerza mientras que la tercera barra está sometida a una fuerza de tracción.<sup>4</sup>



**Figura 1. 2: Grados de libertad en una estructura reticular simple.**

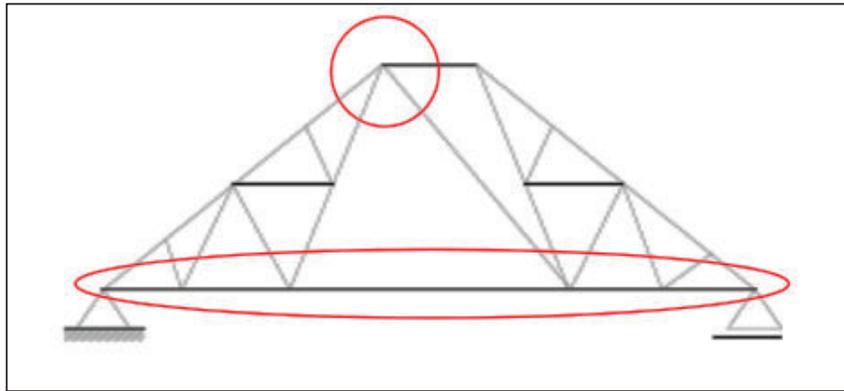
**FUENTE:** <http://isostaticas.zxq.net/reticulados.pdf>

<sup>4</sup> <http://isostaticas.zxq.net/reticulados.pdf>

### 1.8.1.2. Estructuras reticulares compuestas

Este tipo de estructuras se forman con la unión de dos reticulados simples, a través de tres vínculos eficientes. Puede ser:

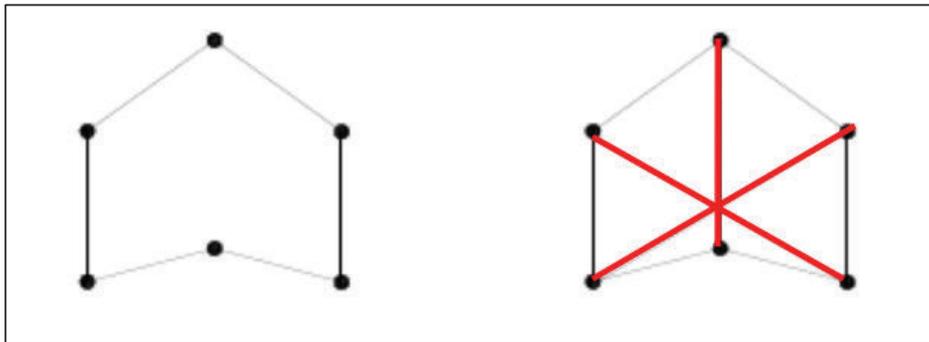
- Una articulación y una barra que no pase por ella.
- Tres barras que no concurran a un punto.



**Figura 1. 3: Estructura reticular compuesta.**  
**FUENTE:** <http://isostaticas.zxq.net/reticulados.pdf>

### 1.8.1.3. Estructuras reticulares complejas

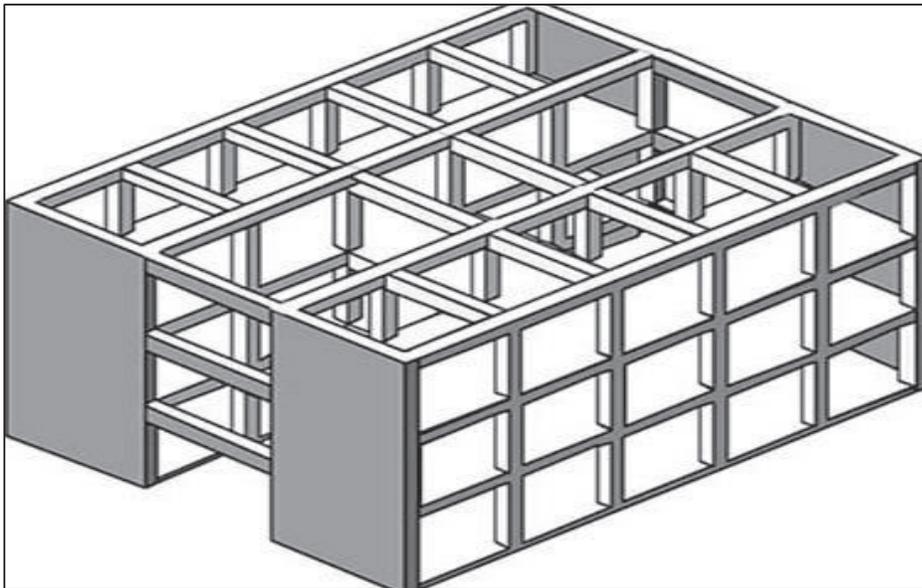
Para transformarlo en un reticulado rígido se tiene que dejar sólo tres grados de libertad. Se debe agregar, vinculando sus vértices, tantas barras como grados de libertad posea la cadena, menos tres.



**Figura 1. 4: Estructura reticular compleja.**  
**FUENTE:** <http://isostaticas.zxq.net/reticulados.pdf>

### 1.8.2. ESTRUCTURAS APORTICADAS

Es un sistema de gran dureza en todos sus elementos y éstos están adosados con juntas rígidas, es decir, una estructura aporticada, es aquella cuyos elementos estructurales consisten en vigas y columnas conectadas a través de nudos formando pórticos resistentes. Generalmente este tipo de estructuras son de concreto armado con la misma dosificación de columnas, vigas, unidas en zonas de confinamiento donde forman un ángulo de  $90^\circ$  en el fondo, lado superior y partes laterales. <sup>5</sup>



**Figura 1. 5: Esqueleto de una estructura aporticada.**

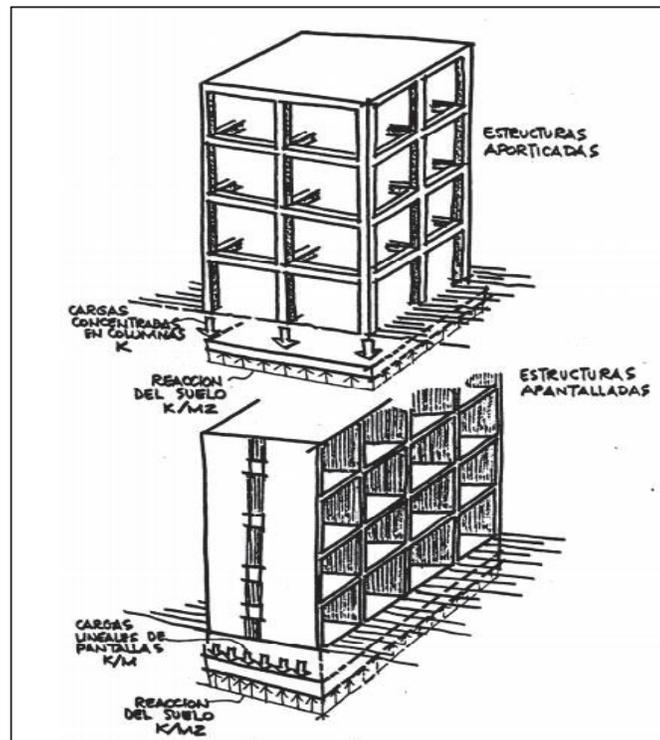
**FUENTE:** <https://www.google.com.ec/search?q=estructuras+aporticadas>

### 1.8.3. ESTRUCTURAS APANTALLADAS

Son estructuras formadas por muros, a diferencia de las estructuras aporticadas, las estructuras apantalladas distribuyen las cargas en los muros, paredes; mientras que las estructuras aporticadas las cargas están en los pórticos, vigas, columnas.

---

<sup>5</sup> <http://www.scribd.com/doc/50129773/SISTEMA-TRADICIONAL-APORTICADO>



**Figura 1. 6: Distribución de cargas en estructuras aporticadas y apantalladas.**  
**FUENTE:** <http://udocivil678.files.wordpress.com/2010/07/fundaciones-elaborado-por-prof-jose-velasquez.pdf>

#### 1.8.4. ESTRUCTURAS TIPO CASCARÓN



**Figura 1. 7: Oceanográfico, restaurante submarino de estructura tipo cascarón.**  
**FUENTE:** <http://fresharquitectos.blogspot.com/2010/02/felix-candela-la-conquista-de-la.html>

Entre las características estructurales más novedosas que presentan este tipo de estructuras, es que brindan una gran rigidez con un bajo peso, pero se debe tomar en cuenta que el diseño y la selección del material son primordiales, ya que si estos no son correctos, se puede obtener una estructura frágil, sobre-diseñada y para nada ligera.

Las estructuras tipo cascarón poseen un espesor muy delgado en comparación con el largo y ancho de la estructura, esta condición permite que no se desarrolle flexión en el cascarón pero a la vez tiene la capacidad de soportar cargas de compresión, corte y tracción; la superficie de los cascarones puede ser curva o plana pero a diferencia de las cúpulas y bóvedas los cascarones si resisten esfuerzos de tracción lo cual permite una amplia diversidad de formas.

### **1.9. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO EN BASE A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Para diseñar miembros y conexiones de acero deben hacerse las hipótesis necesarias para definir el sistema estructural, bajo el cual se comporta el miembro.

Para diseño en base a factores de carga y resistencia; la resistencia de diseño de los miembros debe ser mayor o igual a la resistencia requerida según la ecuación:

$$R_U \leq \phi R_n$$

Donde:

$R_U$  = Resistencia requerida (LRFD).

$R_n$  = Resistencia nominal.

$\phi$  = Factor de resistencia.

$\phi R_n$  = Resistencia de diseño.

### 1.9.1. CLASIFICACIÓN DE SECCIONES SEGÚN PANDEO LOCAL

Para compresión, las secciones se clasifican como esbeltas o no esbeltas basándose en las tablas B 1.4a y B 1.4b de la AISC, donde se especifica la relación ancho-espesor de las diferentes secciones de acuerdo al tipo de compresión que se produce en el ala o en el alma del miembro y también se especifica la relación ancho-espesor, límite para determinar si el miembro es esbelto o no esbelto y compacto o no compacto.

### 1.9.2. DISEÑO DE MIEMBROS EN TRACCIÓN

No existe límite de esbeltez máxima para el diseño de miembros en tracción, sin embargo la razón de esbeltez  $L/r$  debe ser menor de 300.

Para el diseño de miembros a tracción se distinguen dos secciones, sección bruta (área total de la sección transversal) para fluencia, y sección neta (suma del producto del espesor por el ancho neto correspondiente) para fractura, donde la resistencia de diseño en tracción será:

- Fluencia en la sección bruta:

$$P_n = F_y * A_g$$

$$\phi_t = 0.9 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega_t = 1.67 \text{ (ASD)}$$

- Fractura en la sección neta:

$$P_n = F_u * A_e$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega_t = 2 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia de diseño en tracción.

$F_y$  = Tensión de fluencia mínima según el acero utilizado.

$F_u$  = Tensión última mínima según el acero utilizado.

$A_e$  = Área neta efectiva.

$A_g$  = Área bruta del miembro.

El diseño de bielas y miembros conectados por pasadores debe realizarse a tracción según las especificaciones de la AISC.

### 1.9.3. DISEÑO DE MIEMBROS EN COMPRESIÓN

Para determinar la resistencia de compresión nominal es necesario analizar el estado límite de pandeo por flexión, pandeo torsional y pandeo flexo-torsional y obtener el menor valor de éstos, teniendo en cuenta que en las secciones de simetría doble y simple se aplica el estado límite de pandeo por flexión y los estados límite de pandeo torsional y flexo-torsional también pueden aplicarse a éstas secciones y a secciones asimétricas.

El límite de esbeltez para miembros diseñados a compresión es de 200, y la longitud efectiva para determinar la esbeltez de la columna se calcula con la fórmula:

$$\frac{K * L}{r}$$

Donde:

$K$  = Factor de longitud efectiva, igual a la unidad a menos que se justifique un valor menor.

$L$  = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro.

$r$  = Radio de giro.

#### 1.9.3.1. Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos

Los miembros diseñados pueden ser de sección compacta o no compacta, la resistencia de compresión nominal será determinada por el estado límite de pandeo por flexión:

$$P_n = F_{cr} * A_g$$

Si:

$$\frac{K*L}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ó} \quad \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] * F_y$$

Si:

$$\frac{K*L}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ó} \quad \frac{F_y}{F_e} > 2.25$$

$$F_{cr} = 0.877 * F_e$$

$F_e$  puede determinarse como sigue a continuación:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2}$$

Donde:

$\frac{K*L}{r}$  = Relación de esbeltez.

$P_n$  = Resistencia de compresión nominal.

$F_{cr}$  = Tensión de pandeo crítica.

$A_g$  = Área bruta del miembro, mm<sup>2</sup>.

$F_e$  = Tensión de pandeo elástico.

### 1.9.3.2. Resistencia a compresión, pandeo torsional y flexo-torsional de miembros sin elementos esbeltos

Se aplica para el diseño de miembros con simetría simple, simetría doble y miembros asimétricos de secciones compactas o no compactas en compresión

uniforme, donde la resistencia nominal a compresión será determinada por el estado límite de pandeo por torsión y flexo-torsión:

$$P_n = F_{cr} * A_g$$

La tensión de pandeo crítica  $F_{cr}$ , se determina según lo establecido en la AISC, de acuerdo al tipo de sección en compresión.

### 1.9.3.3. Miembros con elementos esbeltos

Se aplica para el diseño de miembros con elementos esbeltos solicitados en compresión, donde la resistencia de compresión nominal será determinada según el estado límite de pandeo por flexión, torsión o flexo-torsión.

$$P_n = F_{cr} * A_g$$

Si:

$$\frac{K*L}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \text{ó} \quad \frac{QF_y}{F_e} \leq 2.25$$

$$F_{cr} = Q * \left[ 0.658^{QF_y/F_e} \right] * F_y$$

Si:

$$\frac{K*L}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \text{ó} \quad \frac{QF_y}{F_e} > 2.25$$

$$F_{cr} = 0.877 * F_e$$

$F_e$  debe determinarse según las ecuaciones que definen sección simétrica, sección simétrica doble o sección asimétrica.

Donde:

$P_n$  = Resistencia de compresión nominal.

$F_{cr}$  = Tensión de pandeo crítica.

$A_g$  = Área bruta del miembro, mm<sup>2</sup>.

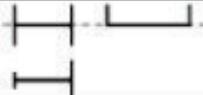
$F_e$  = Tensión de pandeo elástico.

#### **1.9.4. DISEÑO DE MIEMBROS EN FLEXIÓN**

El diseño de miembros solicitados por flexión simple en torno a un eje principal. Para flexión simple, el miembro es cargado en un plano paralelo al eje principal que pasa a través del centro de corte o es restringido al giro en los puntos de carga y los apoyos.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Sección	Sección	Esfeltez Ala	Esfeltez Alma	Estados Límite
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	Y, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	Y, LTB, FLB, TFY
F6		C, NC, S	N/A	Y, FLB
F7		C, NC, S	C, NC	Y, FLB, WLB
F8		N/A	N/A	Y, LB
F9		C, NC, S	N/A	Y, LTB, FLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
F11		N/A	N/A	Y, LTB
F12	Pe	N/A	N/A	Todos

Y = fluencia, LTB = pandeo lateral-torsional, FLB = pandeo local ala, WLB = pandeo local alma, TFY = fluencia a la tracción, LLB = pandeo local ala, LB = pandeo local, C = compacto, NC = no-compacto, S = esbelto.

Figura 1. 8: Tabla de selección para la aplicación de las secciones del capítulo 10 NEC.  
FUENTE: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

#### 1.9.4.1. Disposiciones generales

La resistencia de diseño en flexión,  $\phi_n * M_n$ , y la resistencia admisible en flexión,  $M_n/\Omega_b$ , deben ser determinadas de la siguiente manera:

- Para todas las disposiciones del en el diseño de miembros a flexión:

$$\Phi_b = 0.9 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

La resistencia de flexión nominal,  $M_n$ , debe ser determinada de acuerdo con las Secciones F2 hasta F12 de la NEC.

- Las disposiciones están basadas en la suposición de que los puntos de apoyo de vigas están restringidos contra la rotación en torno al eje longitudinal (volcamiento).

Los siguientes términos son comunes en las ecuaciones del diseño de miembros a flexión:

$$C_b = \frac{12.5 * M_{m\acute{a}x}}{12.5 * M_{m\acute{a}x} + 3 * M_A + 4 * M_B + 3 * M_C} * R_m \leq 3$$

Donde:

$M_{m\acute{a}x}$  = Valor absoluto del momento en el primer cuarto del segmento no arriostrado Tm (Nm).

$M_A$  = Valor absoluto del momento en el primer cuarto del segmento no arriostrado Tm (Nm).

$M_b$  = Valor absoluto del momento en el centro del segmento no arriostrado Tm (Nm).

$M_c$  = Valor absoluto del momento en el tercer cuarto del segmento no arriostrado Tm (Nm).

$R_m$  = Parámetro de monosimetría de la sección transversal.

$$R_m = 1$$

*Para miembros con doble simetría.*

$$R_m = 1$$

*Para miembros con simple simetría solicitados a flexión con curvatura simple.*

$$R_m = 0.5 + 2 * \left( \frac{I_{yc}}{I_y} \right)$$

*Para miembros con simple simetría solicitados por flexión con doble curvatura.*

$I_y$  = Momento de inercia del ala de compresión en torno al eje principal  $y$ ,  $\text{cm}^4$  ( $\text{mm}^4$ ).

$I_{yc}$  = Momento de inercia del ala de compresión en torno al eje principal  $y$ , o si flexión es una curvatura reversible, el momento de inercia de la menor ala,  $\text{cm}^4$  ( $\text{mm}^4$ ).

### **1.9.5. DISEÑO DE MIEMBROS EN CORTE**

Se presentan dos métodos para calcular la resistencia de corte. El método presentado en Sección 10.2 de la NEC no utiliza la resistencia post-pandeo del miembro (campo de tracciones). El método presentado en Sección 10.3 de la NEC utiliza el campo de tracciones.

La resistencia de corte de diseño,  $\phi_v * V_n$ , y la resistencia de corte admisible,  $V_n/\Omega_v$ , deben ser determinadas de la siguiente manera:

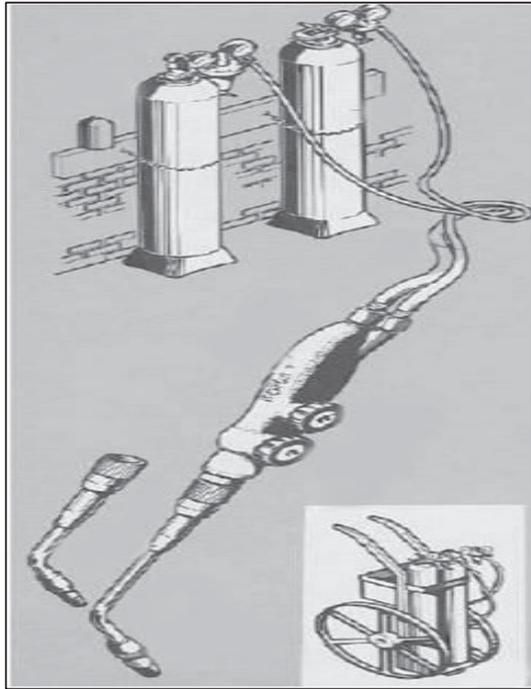
$$\Phi_v = 0.9 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

## **1.10. TIPOS DE SOLDADURA**

### **1.10.1. SOLDADURA OXIACETILÉNICA POR GAS**

En este proceso, el calor se produce por la combustión del acetileno con el oxígeno, ambos gases vienen de tanques, los cuales llegan a un soplete a través de válvulas que regulan la presión y el caudal, la llama producida puede alcanzar temperaturas aproximadas de 3000 °C.

En este procesos la llama funde los materiales a soldar y también una varilla de material similar a la composición de los materiales base (material de aporte).



**Figura 1. 9: Soldadura oxiacetilénica.**  
**FUENTE:** <http://soladuraoxiacetilénica.blogspot.com/>

### 1.10.2. SOLDADURA POR ARCO

Este proceso de soldadura se obtiene por la formación de un arco eléctrico entre un electrodo el cual está sujeta a una pinza de soldar y el material base. El electrodo suele estar conectado a polaridad negativa, por lo que los electrones se mueven hacia la pieza, que forma el ánodo. En el arco que se produce se generan grandes cantidades de calor, y la mayor cantidad de calor se desprende del ánodo.

Comúnmente se dispone de la soldadura de modo que el arco salte en una atmósfera de argón con la finalidad que el metal no se oxide. Existen varias modificaciones de este proceso, como las técnicas del material de aporte continuo, la aportación de fundentes, y en casos especiales la formación de arcos a temperaturas elevadas.

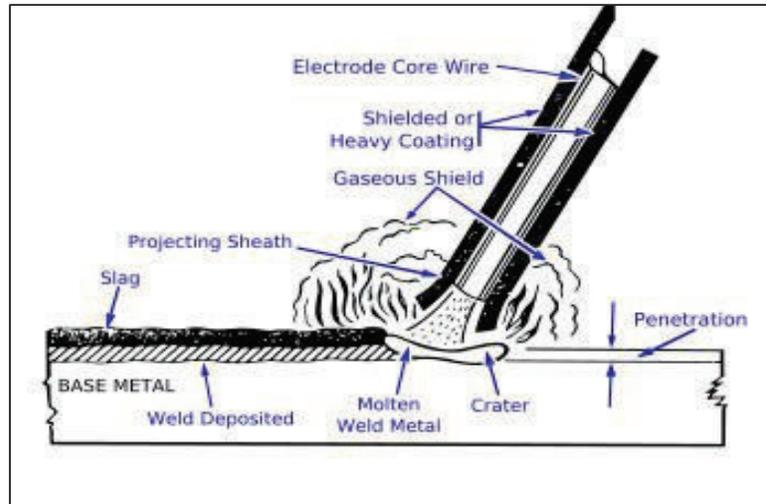


Figura 1. 10: Soldadura por arco eléctrico.

FUENTE: <http://www.smaw.cl/>

### 1.10.3. SOLDADURA POR PLASMA

Esta soldadura se deriva de la de arco de argón, en el hecho de que se emplea un electrodo no consumible de wolframio y una protección de gas inerte que sale de una boquilla. Sin embargo en la soldadura por plasma la boquilla es más estrecha y está ubicada debajo del electrodo con el fin del efecto de estrechar el arco, aumentando la temperatura y la velocidad del gas.

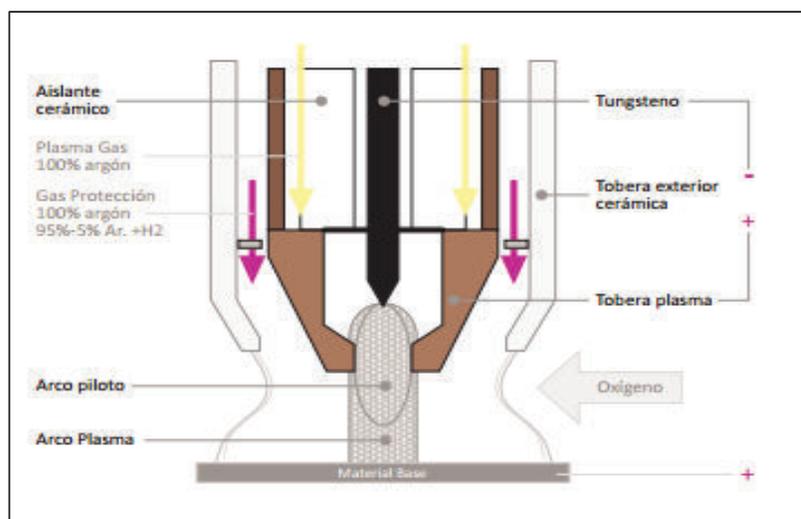


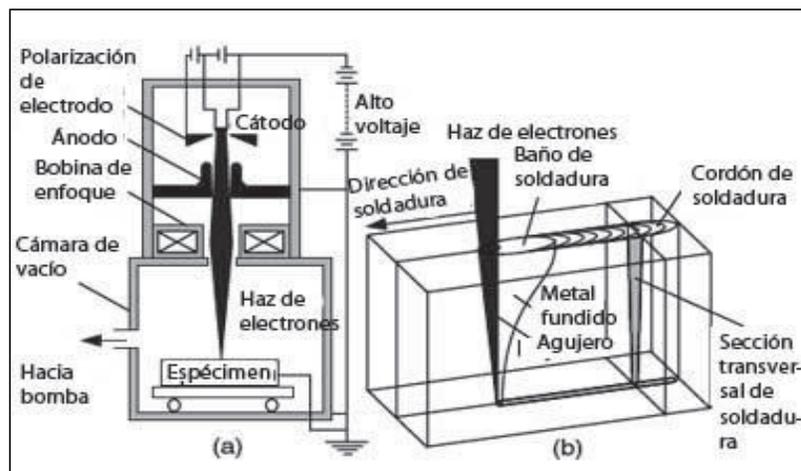
Figura 1. 11: Soldadura por plasma.

FUENTE: <http://www.kempomat.com/>

### 1.10.4. SOLDADURA POR HAZ ELECTRÓNICO

Este es un procedimiento sin arco, de alta potencia, en el que también incluye la soldadura con perforación. El haz de electrones se forma por la emisión de estos desde un cátodo que se halla a un potencial altamente negativo con respecto al ánodo, ambos encerrados en una cámara de alto vacío (alrededor de 1.5 MPa).

Los electrones se mueven a alta velocidad hacia el ánodo, en el que hay un orificio que permite el paso del haz electrónico y este es enfocado por una lente electrostática, o electromagnética, como se hace en un tubo de rayos catódicos.



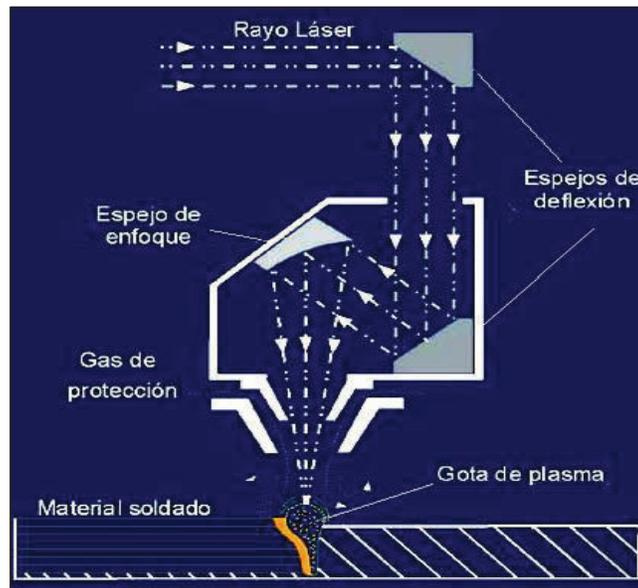
**Figura 1. 12: Soldadura por haz de electrones.**  
**FUENTE:** <http://www.tecnoficio.com/soldadura/images/>

### 1.10.5. SOLDADURA POR LÁSER

En las primeras soldaduras se empleó láser de rubí, que emite radiaciones electromagnéticas de longitud de onda de 694.3.

Es un proceso de soldadura por fusión, que utiliza la energía aportada por un haz láser para fundir y recristalizar el material o los materiales a unir, obteniéndose la correspondiente unión entre los elementos involucrados. En la soldadura láser comúnmente no existe aportación de ningún material externo.

La soldadura se realiza por el calentamiento de la zona a soldar, y la posterior aplicación de presión entre estos puntos. Normalmente la soldadura láser se efectúa bajo la acción de un gas protector, que suelen ser helio o argón.

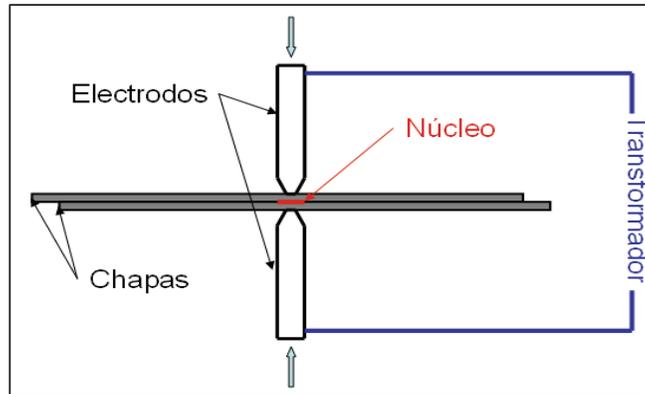


**Figura 1. 13: Soldadura por láser.**

FUENTE: <http://www.nibbler.com.ar/UserFiles/Image/soldaduralaser.JPG>

#### 1.10.6. SOLDADURA POR PRESIÓN

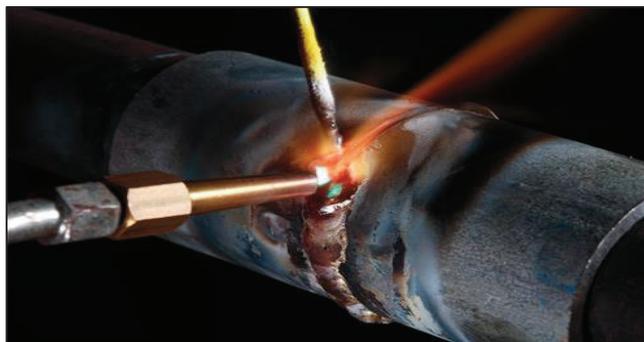
La soldadura a presión es un proceso que hace parte del tipo de soldadura homogénea. Este proceso se realiza aplicando calor al material, evitando llevarlo al estado de fusión; para dejarlo en el estado de plástico. Este estado es una propiedad de los materiales anelásticos de deformarse cuando se encuentra en tensiones por su rango elástico. El material al encontrarse en estado de plástico se procede unir los dos materiales a presión hasta conseguir que se unan.



**Figura 1. 14: Soldadura por presión.**  
**FUENTE:** <http://www.elchapista.com/images/>

### 1.10.7. SOLDADURA FUERTE

Para que el proceso pueda ser considerado como "soldadura fuerte" (en inglés "brazing") el material de aporte debe fundir a una temperatura superior a 450 °C. El proceso por soldadura fuerte es un método de soldeo versátil, que proporciona además una gran resistencia a la unión. De hecho, si se usa el material de aporte adecuado, proporciona una unión con características resistentes incluso superior a la del metal base. En general, cuando factores como resistencia y durabilidad, conservar las propiedades metalúrgicas del metal base, geometría de la unión y nivel de producción son condicionantes importantes, el proceso por soldadura fuerte es muy recomendable.<sup>7</sup>



**Figura 1. 15: Soldadura fuerte.**  
**FUENTE:** <https://www.castolin.com/>

<sup>7</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn49.html>

### 1.10.8. SOLDADURA BLANDA

Para que el proceso pueda ser considerado como "soldadura blanda" (en inglés "soldering") el material de aporte debe fundir a una temperatura inferior a 450 °C, además de estar por debajo también del punto de fusión del metal base.

La soldadura blanda emplea menor aporte de energía que la fuerte, siendo similares los métodos de calentamiento de las piezas, aunque en la soldadura blanda también puede llevarse a cabo mediante un soldador eléctrico, también llamado soldador de estaño. El material de aportación utilizado en la soldadura blanda varía en función del material de las piezas a unir, siendo las aleaciones que más se utilizan las de estaño-plomo, estaño-plata y estaño-zinc.



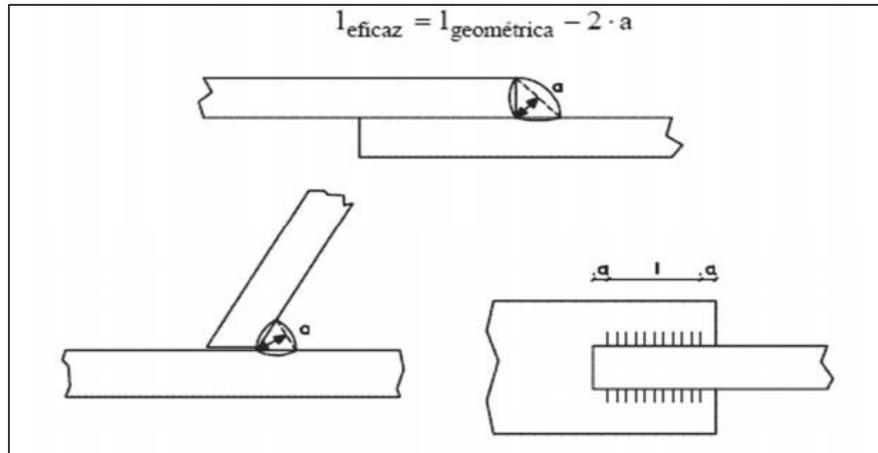
**Figura 1. 16: Soldadura blanda.**

**FUENTE:** <http://www.profesormolina.com.ar/electronica/soldadura/imagen/soldadura2.jpg>

### 1.11. DIMENSIONES EN SOLDADURA

La garganta ( $a$ ) es la altura del máximo triángulo isósceles cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas a unir y es inscribible en la sección transversal de la soldadura.

Se llama longitud eficaz ( $l$ ) a la longitud real de la soldadura menos los cráteres extremos. Se admite que la longitud de cada cráter es igual a la garganta.

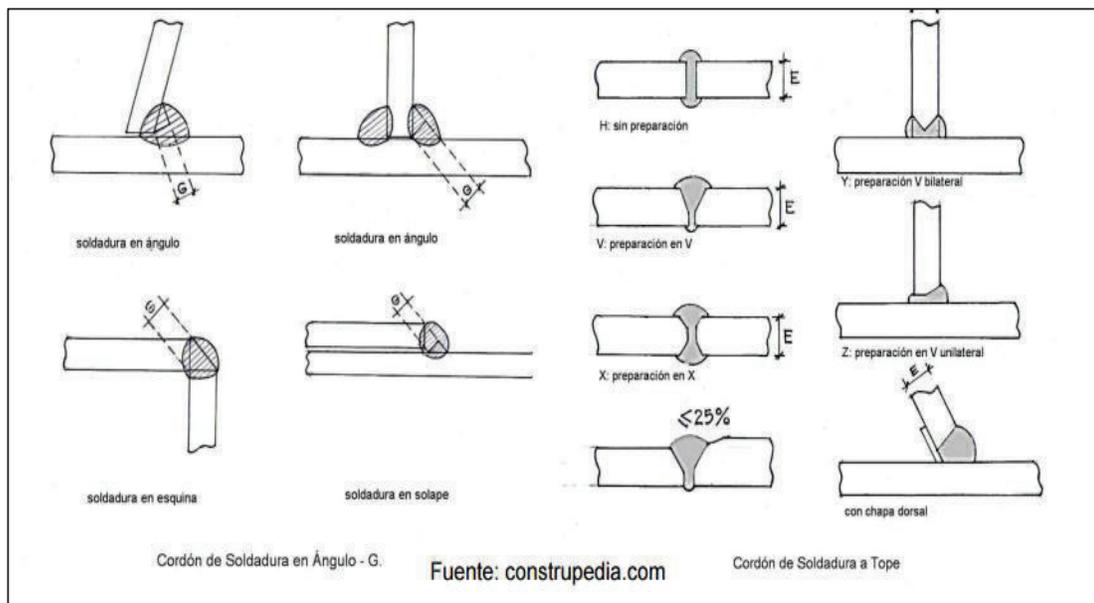


**Figura 1. 17: Dimensiones en soldadura.**  
**FUENTE:** American Institute of Steel Construction (AISC).

## 1.12. CLASIFICACIÓN DE LAS SOLDADURAS

Por la posición geométrica de las piezas a unir.

- Soldaduras a tope.
- Soldaduras en ángulo.



**Figura 1. 18: Clasificación de las soldaduras.**  
**FUENTE:** American Institute of Steel Construction (AISC).

### 1.12.1. SOLDADURAS A TOPE

Se debe considerar el área efectiva de las soldaduras de tope como la longitud de la soldadura por el espesor de la garganta efectiva.

El espesor de la garganta efectiva de una soldadura de tope con junta de penetración completa (CPJ) debe ser el espesor de la parte más delgada conectada.

El espesor de la garganta efectiva de una soldadura de tope con junta de penetración parcial (PJP) debe ser el que se muestra en la figura:

<b>TABLA J2.1</b> <b>Garganta Efectiva de Soldaduras de tope</b> <b>Con Junta de Penetración Parcial</b>			
Proceso de Soldado	Posición de Soldado F (plano), H (horizontal), V (vertical), OH (sobre cabeza)	Tipo de surco (Figura 3.3, AWS D1.1)	Garganta Efectiva
Arco de electrodo revestido (SMAW) Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	Todos	Bisel J o U 60° V	Profundidad del bisel
Arco Sumergido (SAW)	F	Bisel J o U Bisel 60° o V	
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	F, H	Bisel 45°	Profundidad del bisel
Arco de electrodo revestido (SMAW)	Todos	Bisel 45°	Profundidad del bisel menos 3 mm
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	V, OH	Bisel 45°	

**Figura 1. 19: Soldadura de tope con penetración parcial.**  
**FUENTE:** American Institute of Steel Construction (AISC).

El tamaño de la soldadura efectiva para soldadura a tope con bisel convexo, cuando se llena al nivel de la superficie de una barra redonda, del dobléz de 90 °C en una

sección conformada o en un tubo rectangular, debe ser como se muestra en la figura:

<b>TABLA J2.2</b> <b>Tamaño de Soldadura Efectiva de</b> <b>Soldaduras de Tope Biselada Curva</b>		
Proceso de Soldado	Surco de Bisel Curvo <sup>[a]</sup>	Surco V Curvo
GMAW y FCAW-G	$5/8 R$	$3/4 R$
SMAW y FCAW-S	$5/16 R$	$5/8 R$
SAW	$5/16 R$	$1/2 R$
<p><sup>[a]</sup> Para surcos de bisel curvo con <math>R &lt; 10</math> mm usar solamente soldadura de filete de refuerzo en juntas llenadas a tope.  Nota general: <math>R</math> = radio de la superficie de junta (se puede suponer igual a <math>2t</math> para secciones tubulares), mm.</p>		

**Figura 1. 20: Soldadura efectiva de tope biselada.**  
**FUENTE:** American Institute of Steel Construction (AISC).

### 1.12.2. SOLDADURAS DE FILETE

El área efectiva de una soldadura de filete será la longitud efectiva multiplicada por la garganta efectiva. La garganta efectiva de una soldadura de filete debe ser la menor distancia desde la raíz hasta la superficie de la soldadura. Se permite un aumento de la garganta efectiva si se demuestra una penetración consistente más allá de la raíz de la soldadura mediante ensayos consistentes al proceso de producción las variables del procedimiento.

Para la soldadura en perforaciones y ranuras, la longitud efectiva debe ser la longitud del eje central de la soldadura a lo largo del plano que pasa a través de la garganta.

En el caso de filetes traslapados, el área efectiva no debe exceder el área nominal de la perforación o ranura, en el plano de la superficie de contacto.

### 1.13. REQUISITOS DEL METAL DE APORTE

La elección del electrodo para ser usado en soldaduras de tope con junta de penetración completa solicitada a tracción normal del área efectiva debe cumplir con los requisitos para metales de aporte según el metal base dados en la AWS D1.1.

Metal Base	Metal de Aporte Compatible
A36, espesor $\leq$ 19 mm	Electrodos E60 & E70
A36, espesor $>$ 19 mm A572(Gr.50&55) A588* A1011 A913(Gr.50) A992 A1018	SMAW: E7015, E7016, E7018, E7028 Otros procesos: Electrodo E70
A913 (Gr.60&65)	Electrodos E80

**Figura 1. 21: Metal base y metal de aporte.**  
**FUENTE:** Norma AWS D1.1.

## **CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y ESTRUCTURALES REQUERIDOS**

Los parámetros que deben tomarse en cuenta para diseñar una estructura capaz de abrirse y cerrarse son:

- La estructura.
- El mecanismo que permitirá su movilidad.

### **2.1. ESTRUCTURA**

La estructura, es el esqueleto de la construcción, es decir las vigas, columnas y cubrimientos que forman parte de la cubierta, por lo general las estructuras son fijas y deben soportar todas las cargas a las que va a estar sometida, asegurando un correcto funcionamiento de la misma para alargar su tiempo de vida útil.

Los elementos que componen una estructura pueden ser unidimensionales, si solo una de sus dimensiones es grande comparada con las demás; bidimensionales, si una de sus dimensiones es pequeña en comparación a las restantes; y tridimensionales cuando ninguna de sus dimensiones es mucho más grande o más pequeña que las demás.

El espacio donde colocar la cubierta, la luz a cubrir y la geometría de la cubierta son los aspectos más importantes para definir la forma más conveniente de la estructura.

### 2.1.1. UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura va a estar ubicada en el centro de Exposiciones Quito, el cual cuenta con un amplio terreno dentro de sus instalaciones con un área de 805.36 m<sup>2</sup> aproximadamente, que será utilizado para la construcción de la cubierta móvil.

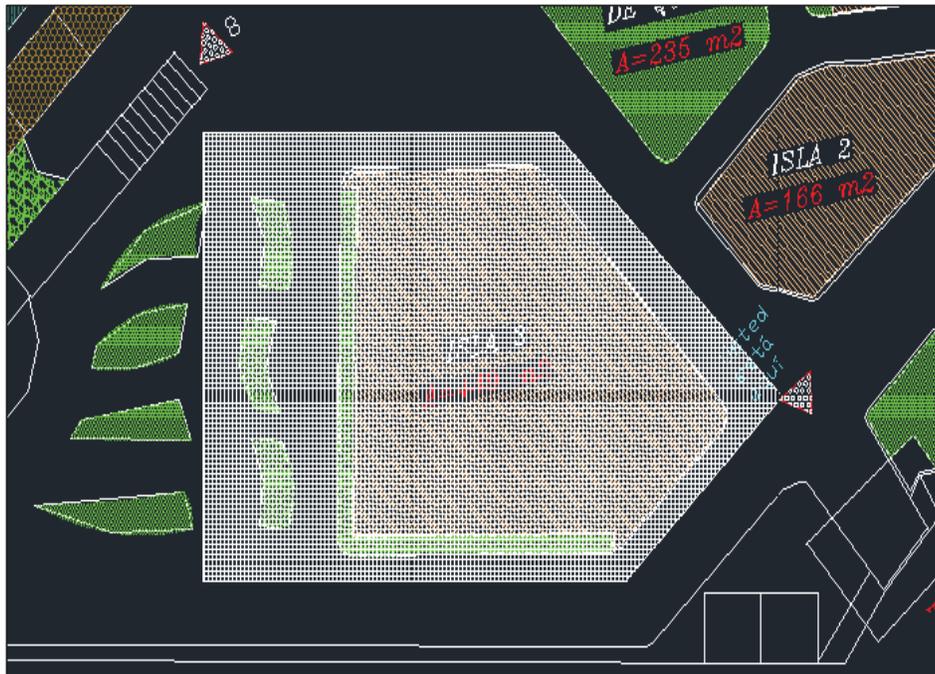


Figura 2. 1: Área disponible (Centro de Exposiciones Quito).  
FUENTE: Elaboración propia.

### 2.1.2. LUZ A CUBRIR

La luz de cálculo es la distancia entre los ejes de apoyo de la estructura o entre los ejes de pilares de la misma.

Es necesario que la estructura que se va a diseñar cubra la mayor área posible de terreno para albergar a todas las personas que asistan a las ferias y eventos.

Se ha determinado que el área que puede cubrir una estructura tipo reticular en este espacio es de 634.28 m<sup>2</sup>.

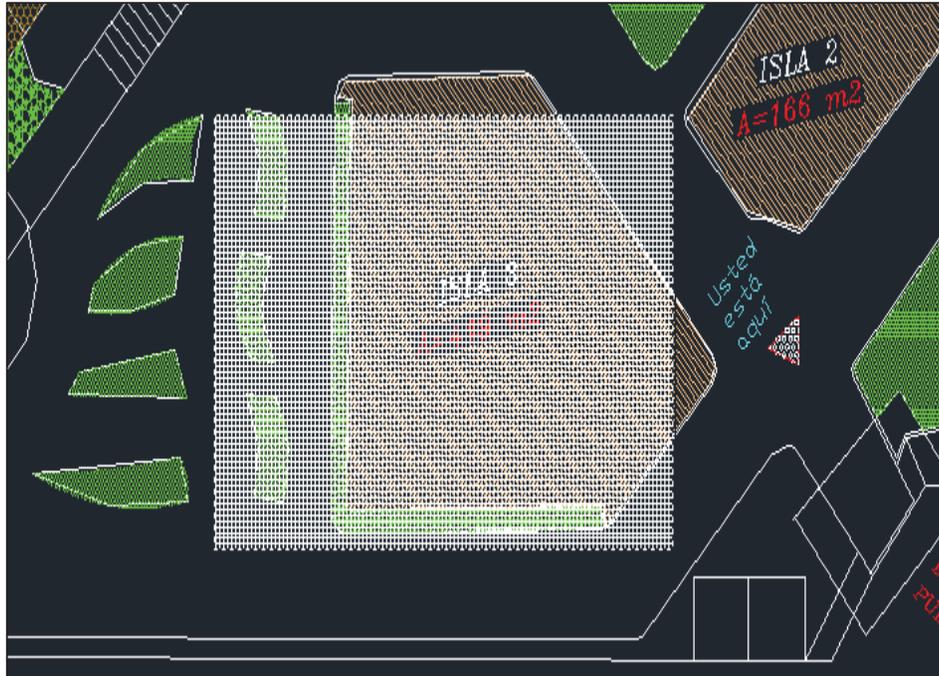
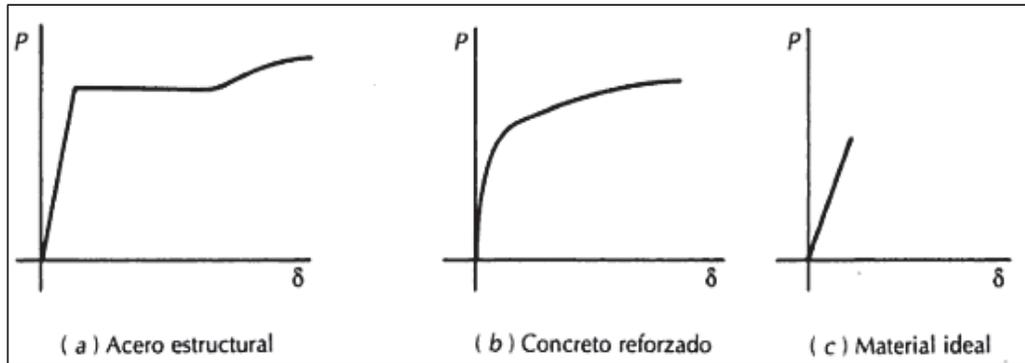


Figura 2. 2: Área a usar (Centro de Exposiciones Quito).  
FUENTE: Elaboración propia.

### 2.1.3. GEOMETRÍA DE LA CUBIERTA

La geometría de la estructura es un factor de gran importancia para determinar los esfuerzos que deberá soportar la cubierta y lograr cubrir la mayor parte del terreno.

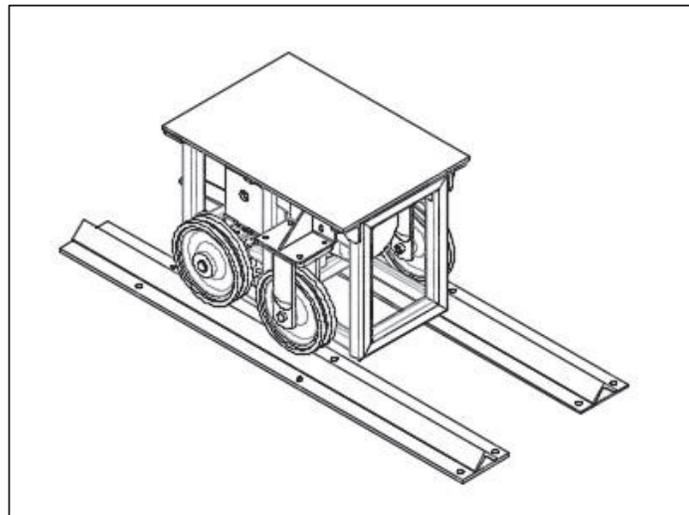
El material que se va a utilizar para la construcción de la estructura es uno de los mayores limitantes en la geometría que va a adoptar, puesto que no todos los materiales tienen la misma capacidad de resistir esfuerzos antes de deformarse, el acero es uno de los elementos más utilizados para la construcción seguido del concreto tal como lo muestra la gráfica de esfuerzo-deformación de estos materiales.



**Figura 2. 3: Gráfica esfuerzo-deformación para algunos materiales.**  
**FUENTE:** <http://isostaticas.zxq.net/reticulados.pdf>

## 2.2. MECANISMO

Por mecanismo, se entiende todas las partes móviles de la cubierta, comprende los motores que la mueven, los rodamientos, los sensores que controlan la apertura y cierre de la estructura, además de los mecanismos de automatización que regulan las funciones de la cubierta.



**Figura 2. 4: Mecanismo para el movimiento de la cubierta.**  
**FUENTE:** Elaborado por Sanango, Sango.

Ya que la cubierta requerida para el Centro de Exposiciones Quito debe tener la particularidad de movilizarse es importante realizar un análisis estático y dinámico de la estructura.

## **2.3. ANÁLISIS ESTÁTICO**

Cuando las cargas que actúan sobre una estructura son permanentes, debe realizarse un análisis estático para determinar las acciones que estas cargas van a realizar sobre los miembros estructurales. Las cargas que forman parte del análisis estático son:

- Cargas muertas.
- Cargas vivas.
- Cargas de lluvia y granizo.

### **2.3.1. CARGAS MUERTAS**

Son cargas que estarán presentes siempre en la estructura con una magnitud y posición fijas, ya que están constituidas por los mismos pesos de los elementos estructurales, sean vigas, placas, membranas, instalaciones eléctricas, mecánicas o sanitarias que forman parte de la construcción.

El tamaño y peso exacto de la estructura no se puede determinar con precisión hasta realizar un diseño y análisis estructural del mismo.

### **2.3.2. CARGAS VIVAS**

También se las conoce como sobrecargas de uso y dependen de la función que va a desempeñar la estructura, puesto que todos los elementos móviles como muebles, accesorios e incluso personas son quienes causan la carga viva, en el caso de la presente estructura se puede considerar que la carga viva será la de mantenimiento.

Debe suponerse que las cargas vivas actúan verticalmente sobre el área proyectada en un plano horizontal.<sup>8</sup>

Estas cargas están tabuladas en códigos locales y nacionales como cargas uniformes o cargas concentradas de acuerdo al uso dentro de la estructura o al servicio que realiza.

OCUPACIÓN/USO	CARGA UNIFORME (kN/m <sup>2</sup> )	CARGA CONCENTRADA (kN)
<b>Almacenes de venta al por menor:</b>		
- Primer piso.	4.8	4.5
- Pisos superiores.	3.6	4.5
<b>Almacenes de venta por mayor: todos los pisos.</b>	6.0	4.5
<b>Armerías y salas de instrucción militar.</b>	7.2	
<b>Áreas de reunión y teatros:</b>		
- Asientos fijos.	2.9	
- Áreas de recepción.	4.8	
- Asientos móviles.	4.8	
- Plataformas de reunión.	4.8	
- Escenarios .	7.2	
<b>Áreas de almacenamiento sobre techos.</b>	1.0	
<b>Balcones.</b>	4.8	
<b>Bibliotecas:</b>		
- Salas de lectura.	2.9	4.5
- Estanterías .	7.2	4.5
- Corredores en pisos superiores a planta baja.	4.0	4.5
<b>Bodegas de almacenamiento (diseñadas para la mayor carga prevista):</b>		
- Livianas.	6.0	
- Pesadas.	12.0	
<b>Coliseos (estadios y graderíos).</b>		
<b>Comedores y restaurantes.</b>	4.8	
<b>Construcción ligera de placa de piso sobre un área de 625 mm<sup>2</sup>.</b>		0.9
<b>Corredores/pasarela/plataforma para mantenimiento.</b>	2.0	1.33
<b>Corredores:</b>		
- Primer piso.	4.8	
- Otros pisos de igual ocupación (de no existir otra indicación).	4.8	

<sup>8</sup> <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.cpe.5.1.2001.pdf>

<b>Cubiertas planas, inclinadas y curvas:</b>		
- Cubiertas para áreas de paseo.	0.7	
- Cubiertas para jardinería o patios de reunión.	3.0	
- Cubiertas para propósitos especiales.	4.8	
<b>Toldos y carpas:</b>		
- Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera.	0.24 (no reduc)	
- Todas las demás.	1.0	
<b>Elementos principales expuestos a áreas de trabajo:</b>		
- Carga puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubiertas sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular.		8.9
- Todos los otros usos.		1.4
- Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores.		1.4
<b>Edificios de oficinas:</b>		
- Salas de archivo y computación (para la mayor carga prevista).		
- Áreas de recepción y corredores del primer piso.	4.8	9.0
- Oficinas.	2.4	9.0
- Corredores sobre el primer piso.	4.0	9.0
<b>Escalera y rutas de escape.</b>	4.8	
<b>Escaleras para residencias unifamiliares y bifamiliares.</b>	2.0	
<b>Estadios y coliseos:</b>		
- Graderíos .	4.8 <sup>d</sup>	
- Asientos fijos.	3.0 <sup>d</sup>	
<b>Fábricas/industria/manufactura:</b>		
- Livianas.	6.0	9.0
- Pesadas.	12.0	13.4
<b>Gimnasios.</b>	4,8	
<b>Graderías para estadios y similares.</b>	4,8 <sup>d</sup>	
<b>Hospitales:</b>		
- Sala de quirófanos, laboratorio.	2.9	4.5
- Sala de pacientes.	2.0	4.5
- Corredores en pisos superiores a la planta baja.	4.0	4.5
<b>Instituciones penales:</b>		
- Celdas.	2.0	
- Corredores.	4.8	
<b>Pasarelas y plataformas elevadas (excepto rutas de escape).</b>	3.0	
<b>Patios y terrazas peatonales.</b>	4.8	
<b>Pisos para cuarto de máquinas de elevadores (áreas de 2600 mm<sup>2</sup>).</b>		1.4

<b>Residencias:</b> - Viviendas unifamiliares y bifamiliares.	2.0	
<b>Hoteles y multifamiliares:</b> - Habitaciones. - Salones de uso público y sus corredores.	2.0 4.8	
<b>Salas de baile.</b>	4.8	
<b>Salas de billar, bolos y otras áreas de recreación similar.</b>	3.6	
<b>Salida de emergencia.</b>	4.8	
<b>Salida para residencias unifamiliares.</b>	2.0	
<b>Sistemas de pisos para circulación:</b> - Para oficinas. - Para centros de cómputo.	2.4 4.8	9.0 9.0
<b>Soportes para luces cenitales y cielos rasos accesibles.</b>		0.9
<b>Unidades educativas:</b> - Aulas. - Corredor primer piso. - Corredores segundo piso y superiores.	2.0 4.0 4.8	4.5 4.5 4.5
<b>Veredas, áreas de circulación vehicular y patios que puedan estar cargados por camiones.</b>	12.0	35.6

**Cuadro 2. 1: Cargas vivas uniformemente distribuidas y concentradas**  
FUENTE: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Quando se trata de determinar las cargas vivas en cubiertas, el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC), proporciona valores más detallados de la carga que se ejerce de acuerdo a la inclinación que tenga la cubierta para distintos rangos de áreas.

INCLINACIÓN DE LA CUBIERTA	ÁREA TRIBUTARIA DE CARGA EN METROS CUADRADOS PARA CUALQUIER ELEMENTO ESTRUCTURAL		
	0 a 20	21 a 60	Sobre 60
Plana o con pendiente menor que 1:3. Arco o bóveda con flecha menor de 1/8 de luz	100	80	60
Pendiente de 1:3 a menos de 1:1. Arco o bóveda con flecha de 1/8 de luz a menos de 3/8 de luz.	80	70	60
Pendiente de 1:1 y mayor. Arco o bóveda con flecha de 3/8 de luz o mayor.	60	60	60

Marquesinas, excepto cubiertas con tela.	25	25	25
Invernaderos y edificios agrícolas.	50	50	50

**Cuadro 2. 2: Cargas vivas para cubiertas en kg/m<sup>2</sup>.**  
**FUENTE:** Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Ya que la región andina se caracteriza por una frecuente caída de granizo y posiblemente ceniza, no se debe reducir la carga viva sobre cubiertas desde alturas de 1000 m sobre el nivel del mar.

Para cubiertas cuya estructura esté compuesta de un cascarón esforzado, reticulado o macizo, donde los esfuerzos producidos por cualquier condición de carga concentrada estén distribuidos sobre toda el área, los requisitos para el diseño por carga viva unitaria desequilibrada pueden reducirse al 50 %.<sup>9</sup>

Se permite reducir la carga viva de cubiertas planas, inclinadas o curvas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$L_T = L_0 * R_1 * R_2$$

$$0.6 \leq L_T \leq 1$$

$$R_1 = 1$$

$$R_1 = 1.2 - 0.011 * A_T$$

$$R_1 = 0.6$$

$$\text{Para } A_T \leq 18 \text{ m}^2$$

$$\text{Para } 18 \text{ m}^2 < A_T < 56 \text{ m}^2$$

$$\text{Para } A_T \geq 56 \text{ m}^2$$

$$R_2 = 1$$

$$R_2 = 1.2 - 0.006 * F$$

$$R_2 = 0.6$$

$$\text{Para } F \leq 33.33 \%$$

$$\text{Para } 33.33 \% < F < 100 \%$$

$$\text{Para } F \geq 100 \%$$

Donde:

$L_T$  = Carga viva de cubierta reducida en proyección horizontal, en kN/m<sup>2</sup>.

$L_0$  = Carga viva de cubierta no reducida en proyección horizontal, en kN/m<sup>2</sup>.

$R_1$  y  $R_2$  = Factores de reducción de carga viva.

<sup>9</sup> <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.cpe.5.1.2001.pdf>

$A_T$  = Área tributaria soportada por el elemento en  $m^2$ .

$f$  = Pendiente de la cubierta expresada en porcentaje.

### **2.3.3. CARGAS DE LLUVIA Y GRANIZO**

Para evitar efectos de encharcamiento (acumulación de agua en una parte del techo) lo más adecuado es proporcionarle una pendiente a la cubierta ya que el encharcamiento causa deflexiones que pueden llegar a colapsar la estructura.

Una pendiente del 10 % o superior es adecuada para evacuar el agua y granizo de la cubierta.

## **2.4. ANÁLISIS DINÁMICO**

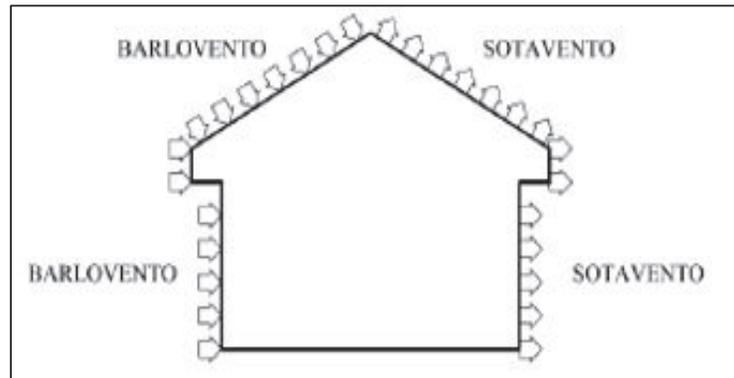
El análisis dinámico de estructuras es un análisis de todos los posibles movimientos que puede sufrir la estructura, ya sean causados por cargas o por la vibración y movimiento de los mismos elementos estructurales que causan deformaciones y tensiones adicionales. Las cargas dinámicas que se han considerado en el presente estudio son:

- Cargas por viento.
- Cargas sísmicas.
- Vibración.
- Movimiento de la cubierta.

### **2.4.1. CARGAS POR VIENTO**

Las cargas de viento, son cargas dinámicas que pueden considerarse estáticas para cuestiones de diseño ya que el valor resulta aproximado, salvo en casos especiales que requieran un análisis estrictamente dinámico.

Las cargas de viento se manifiestan como presiones y succiones en las caras de la estructura, cuando el viento actúa como presión la cara de la estructura toma el nombre de barlovento, mientras las caras que presentan succión se las llama sotavento como se muestra en la figura.



**Figura 2. 5: Cargas de viento a barlovento y sotavento.**  
FUENTE: Barlovento y sotavento, PDF.

La carga que el viento puede ejercer sobre una estructura dependerá en gran medida de la altura de la edificación así como el lugar donde se va a construir y la posición que va a ocupar de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V_b = V * \sigma$$

Donde:

$V_b$  = Velocidad corregida del viento en m/s.

$V$  = Velocidad instantánea máxima del viento en m/s

$\sigma$  = coeficiente de corrección.

El coeficiente de corrección  $\sigma$  es un factor que permite conocer la velocidad adecuada de diseño para el viento en tres distintas categorías:

**Categoría A:** espacios abiertos o sin obstrucciones.

**Categoría B:** espacios con edificaciones aledañas de baja altura (10 m).

**Categoría C:** espacios rodeados de edificios de altura.

ALTURA (m)	CATEGORÍA A	CATEGORÍA B	CATEGORÍA C
5	0.91	0.86	0.8
10	1.0	0.9	0.8
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

**Tabla 2. 1: Factor de corrección  $\sigma$ .**

**FUENTE:** Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

#### 2.4.1.1. Presión del viento

La acción que ejerce el viento sobre las estructuras se presenta como presión o empuje del viento, para determinar la resistencia de los elementos de la estructura es necesario calcular este valor de presión con la siguiente expresión:

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

Donde:

$P$  = Presión del viento en Pa ó N/m<sup>2</sup>.

$\rho$  = Densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>; se puede adoptar un valor de 1.25 kg/m<sup>3</sup>.

$V_b^2$  = Cuadrado de la velocidad corregida del viento.

$C_e$  = Coeficiente de entorno / altura.

$C_f$  = Coeficiente de forma.

El coeficiente de forma puede determinarse de la siguiente tabla:

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios.	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento.	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica.	+0.7	

Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular.	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con ángulo de inclinación que no excede los 45°.	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos.	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°.	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical.	+0.8	-0.6

**Cuadro 2. 3: Factor de forma  $C_f$ .**  
**FUENTE:** Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

#### 2.4.1.2. Cargas de viento (normas y códigos)

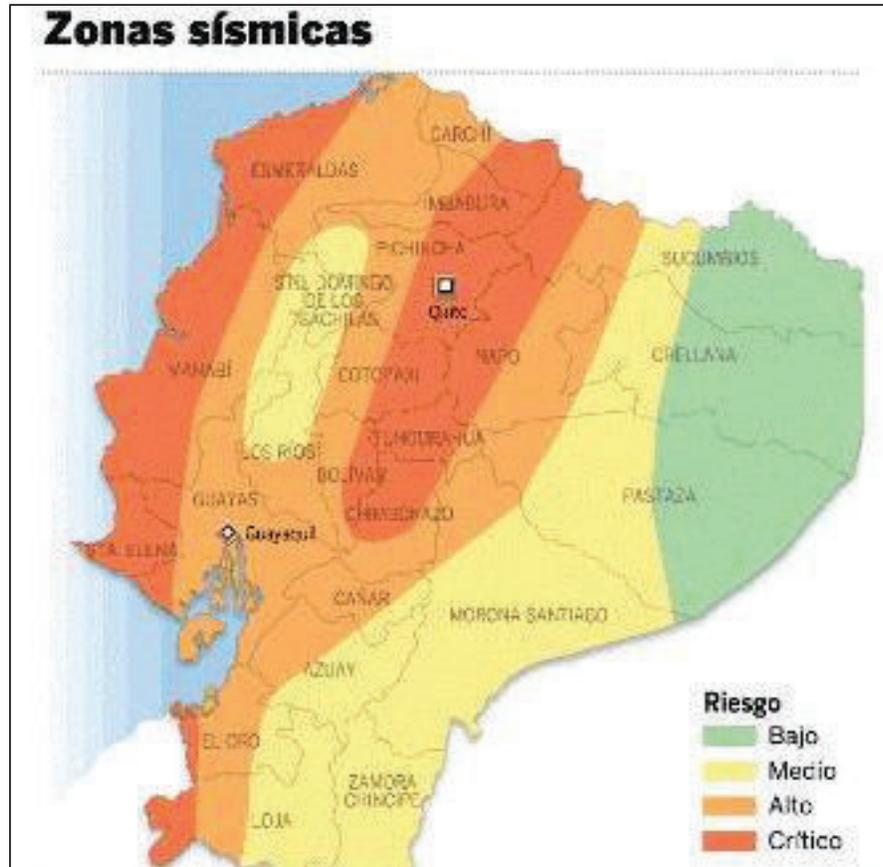
Debido a que en nuestro país, en el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC 2000 no existe ninguna norma o código para el diseño ni la obtención de las cargas de viento, estos valores se obtendrán de acuerdo a la norma ASCE 7-98 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (American Society of Civil Engineers).

Los códigos y normas internacionales han simplificado el análisis de las cargas de viento y el factor del efecto ráfaga a expresiones matemáticas proveyendo cargas estáticas equivalentes.

#### 2.4.2. CARGAS SÍSMICAS

Los movimientos sísmicos son una consecuencia de la liberación de energía del interior de la tierra, por lo cual la interacción del suelo con la estructura se manifiesta como cargas sobre la misma estructura, pero ya que las estructuras ligeras poseen poca masa y rigidez, la magnitud de estas cargas sísmicas no será representativa porque depende de la velocidad y aceleraciones que se dan en el suelo hacia la estructura.

En nuestro país el movimiento sísmico es de gran importancia por lo que es necesario determinar la zona sísmica donde se construirá la estructura.



**Figura 2. 6: Mapa de zonas sísmicas del Ecuador.**

**FUENTE:** <http://www.laminasescolares.com/2012/08/mapa-zonas-sismicas-ecuador.html>

ZONA DE RIESGO SÍSMICO	Bajo	Medio	Alto	Crítico
Factor Z	0,15	0,25	0,30	0,40

**Tabla 2. 2: Factor Z para las zonas de riesgo sísmico del Ecuador.**

**FUENTE:** Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Las cargas sísmicas son dinámicas pero pueden considerarse estáticas cuando la esbeltez y altura de la estructura lo permitan, en tal caso este método se encarga de aproximar el valor de carga sísmica dinámica a fuerzas estáticas externas aplicadas lateralmente a la estructura.

#### 2.4.2.1. Fuerzas laterales externas de diseño

Son fuerzas sísmicas que actúan en dirección horizontal a la estructura, el valor de la carga sísmica se determina como una reacción de la estructura por lo cual su valor es el mismo de la carga muerta total, excepto para estructuras de bodega o

almacenaje. Las fuerzas laterales externas se determinan mediante el cortante basal ( $V$ ) que se aplica en una dirección dada el cual no debe ser menor que:

$$V = 0.48 * Z * I * W$$

Ni menor que:

$$V = \frac{1.14 * Z * I}{R} * W$$

Donde:

$Z$  = Factor de zona de riesgo sísmico.

$I$  = Tipo de uso de la estructura.

$W$  = Peso de la estructura (carga muerta total).

$R$  = Factor de reducción de respuesta.

Donde el factor  $R$  e  $I$  se determinan de los valores tabulados en el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC.

CATEGORÍA	TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA	FACTOR I
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1.0

**Cuadro 2. 4: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.**

**FUENTE:** Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

<b>TIPOS DE ESTRUCTURAS</b>	<b>R</b>
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas, soportadas mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	3
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación.	5
Estructuras tipo cantiliver, tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes.	4
Torres en celosía (autoportantes o atirantadas).	4
Estructuras en forma de péndulo invertido.	3
Torres de enfriamiento.	5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados.	4
Letreros y carteleras.	5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos.	3
Otras estructuras no descritas en este código.	3

**Cuadro 2. 5: Factor R de reducción de respuesta para estructuras diferentes a las de edificación.**

**FUENTE:** Código Ecuatoriano de la construcción (CEC 2001).

### 2.4.3. VIBRACIÓN

Una estructura puede sufrir pequeños o grandes desplazamientos debido a vibraciones que por lo general se presentan cuando la estructura no trabaja para el fin que fue construida, dichas vibraciones dependen directamente del número de grados de libertad de la estructura. Una vibración excesiva puede causar el colapso de una estructura por lo que es necesario que la estructura presente una buena rigidez.

### 2.4.4. MOVIMIENTO DE LA CUBIERTA

Adicionalmente a las cargas que se han establecido anteriormente es indispensable determinar una carga de seguridad para asegurar que la estructura va a soportar y transmitir todas las cargas antes de fallar.

## 2.5. CARGA DE SEGURIDAD

Se define a través de un factor de seguridad como la razón de la resistencia última de un miembro estructural al máximo esfuerzo esperado, es decir, el máximo

esfuerzo que va a resistir la estructura antes de fallar (a causa de excesivas deformaciones).

En materiales dúctiles el factor de seguridad se determina mediante el esfuerzo de fluencia, mientras en materiales frágiles se utiliza la resistencia última del material. La corrosión y fatiga pueden causar que la resistencia de los materiales disminuya .

El factor de seguridad es un índice que se presenta en un diseño, desde el punto de vista de su resistencia mecánica. Para definir este coeficiente se toma en cuenta las siguientes definiciones:

- Como cociente entre la resistencia del material (S) y la tensión realmente existente ( $\sigma$ ):

$$n_s = \frac{S}{\sigma}$$

- Como cociente entre la fuerza última o máxima para un funcionamiento correcto ( $F_u$ ) y la fuerza realmente existente (F):

$$n_s = \frac{F_u}{F}$$

Un valor del coeficiente de seguridad superior a la unidad indica seguridad ante el fallo, tanto mayor, cuanto más elevado sea su valor, mientras que un valor inferior a la unidad indica inseguridad o probabilidad elevada de que ocurra el fallo. En función de la variabilidad de las cargas aplicadas y las propiedades del material, cada valor del coeficiente de seguridad se puede asociar a una probabilidad de fallo o de supervivencia de la pieza analizada.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> [http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente\\_de\\_seguridad.htm](http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_seguridad.htm)

Para la determinación del factor de seguridad, se debe tomar en cuenta ciertos criterios:

- La magnitud y tipo de cargas, sean estas estáticas, dinámicas, cíclicas; las cuales actuarán sobre la estructura.
- Los materiales que se utilizan para la construcción.
- La relación con el medio ambiente en el que se construirá.
- La naturaleza del fallo previsto. Ante una posible falla se deben tomar precauciones tales como reforzar la estructura.
- Las consecuencias del fallo, por lo que es necesario incrementar el factor de seguridad.
- El costo del incremento del factor de seguridad.
- Los efectos en el cálculo de la estructura, debido al uso de simplificaciones.

Una estructura puede fallar, generalmente esto suele darse por las siguientes razones:<sup>11</sup>

- Debido a una excesiva deformación elástica o viscoelástica de uno o más de los elementos que la constituyen.
- Fallo de estructuras realizadas de materiales dúctiles debido a la inicialización del proceso de plastificación o debido al colapso plástico.
- Fallo de la estructura por inestabilidad elástica o plástica de alguno de sus elementos.
- Fallo de la estructura por rotura repentina de alguno de sus elementos.

---

<sup>11</sup> [http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/10673/mod\\_resource/content/1/html/elasticidad/node60.html](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/10673/mod_resource/content/1/html/elasticidad/node60.html)

## CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE ESTRUCTURAS

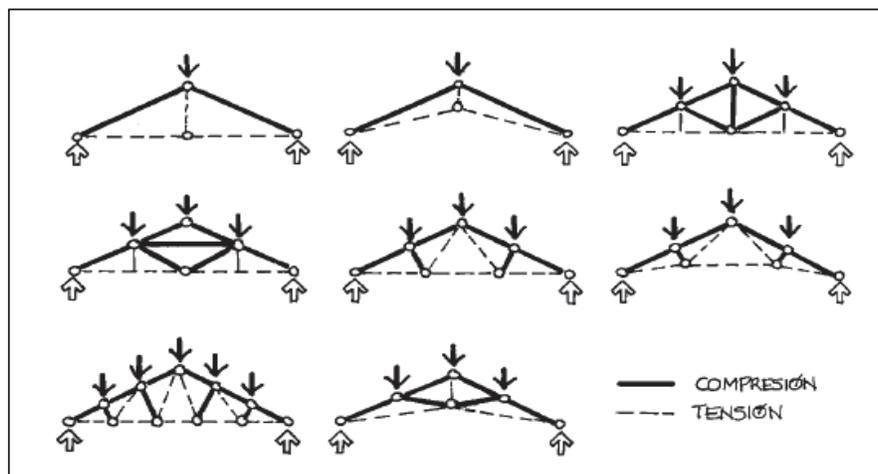
### 3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Anteriormente a las estructuras reticulares se las clasificó según la forma como se generan, pero en este capítulo se presenta una nueva clasificación considerando el diseño, así se tiene:

- Estructuras trianguladas.
- Estructuras funiculares.
- Estructuras de membranas.
- Estructuras laminadas.
- Estructuras verticales.

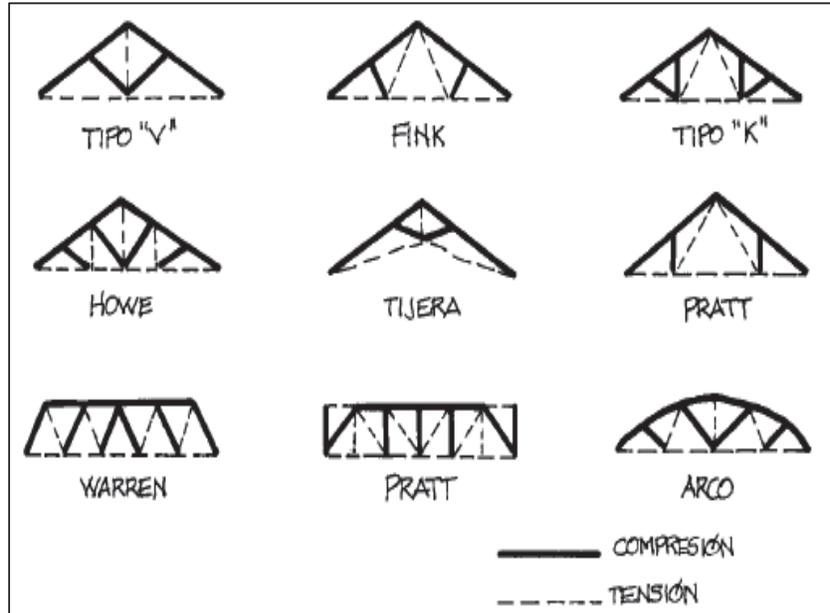
#### 3.1.1. ESTRUCTURAS TRIANGULADAS

Este tipo de estructura se caracteriza por ser un sistema rígido ya que descompone las fuerzas en tensión pura o compresión pura.



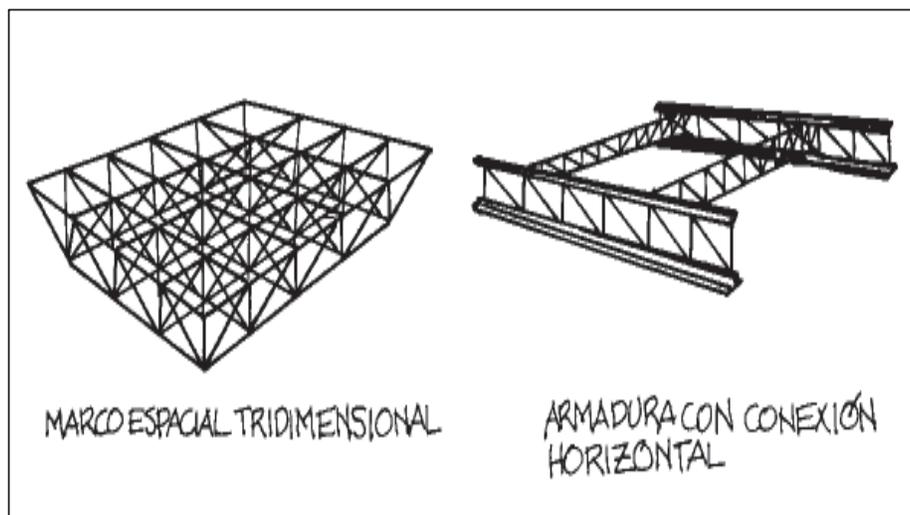
**Figura 3. 1: Esfuerzos de las armaduras.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.



**Figura 3. 2: Tipos de armaduras.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.



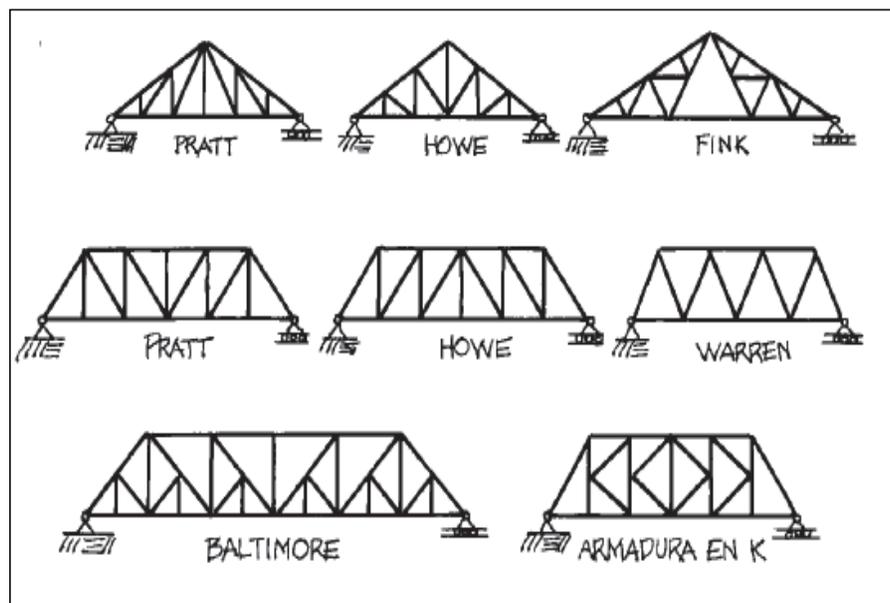
**Figura 3. 3: Armadura espacial.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

En este tipo de estructuras las que más se caracterizan son:

### 3.1.1.1. Armaduras

La armadura es un tipo de estructura de mayor importancia en ingeniería, ya que proporciona soluciones tanto prácticas como económicas a muchos problemas, principalmente en el diseño de puentes y edificios. Una armadura consta de elementos rectos conectados en los nodos. Los miembros de una armadura se unen solamente en sus extremos; es decir, un miembro no puede ser continuo a través de un nodo.

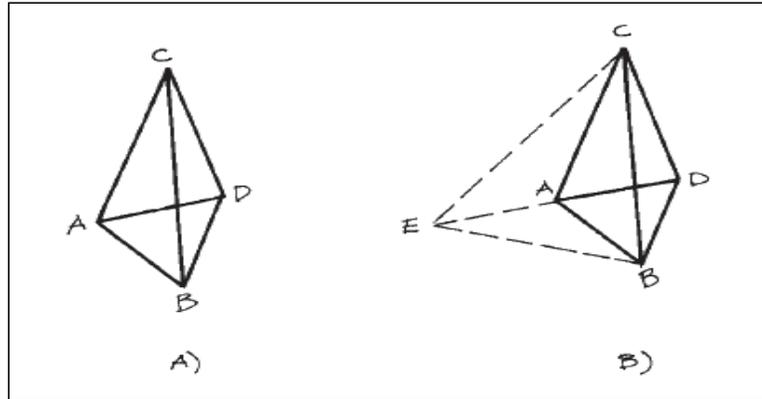


**Figura 3. 4: Tipos de armaduras.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.1.2. Armaduras espaciales

Este tipo de armadura se caracteriza porque sus miembros rectos se unen en sus extremos para formar configuraciones tridimensionales.

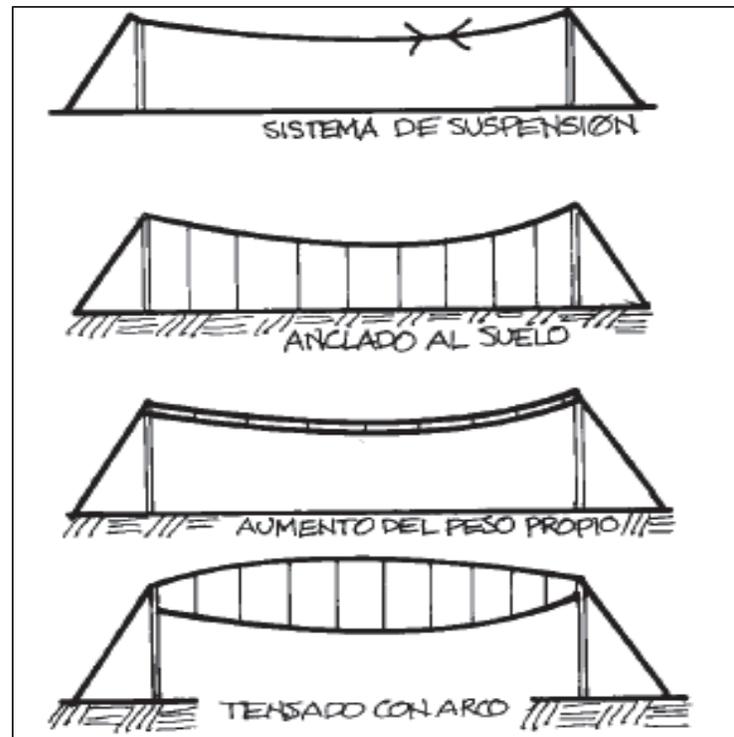


**Figura 3. 5: Armaduras espaciales.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

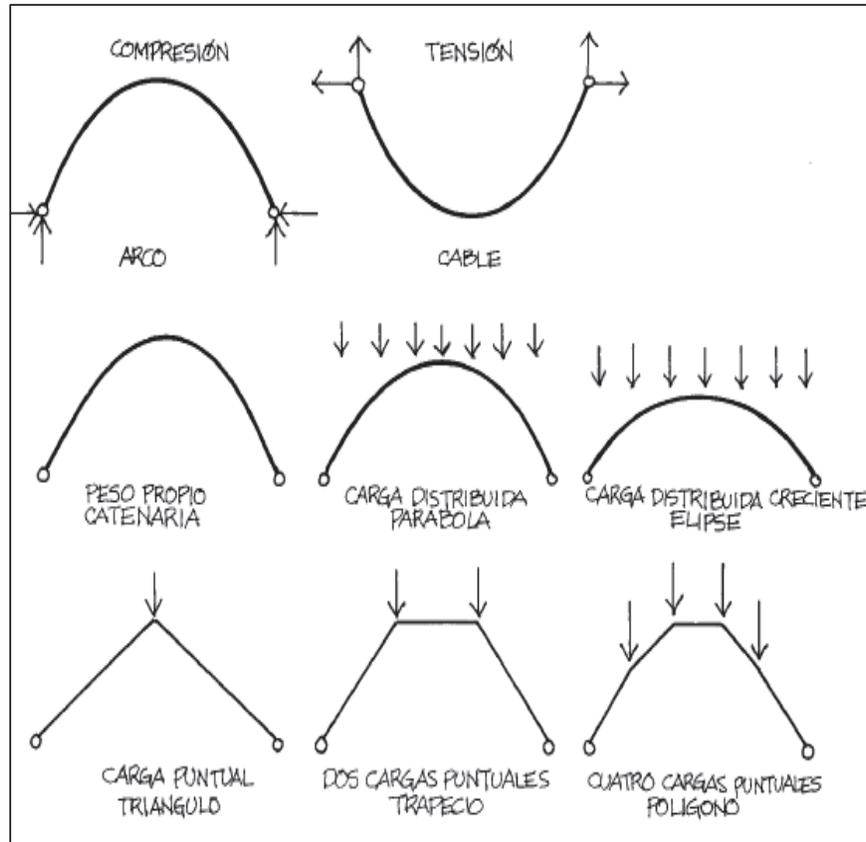
### 3.1.2. ESTRUCTURAS FUNICULARES

Este tipo de estructuras, puede ser rígido o flexible, dependiendo la funcionalidad, las fuerzas tienen conducción lineal a través de la forma funicular, debido a la tensión o compresión lineal.



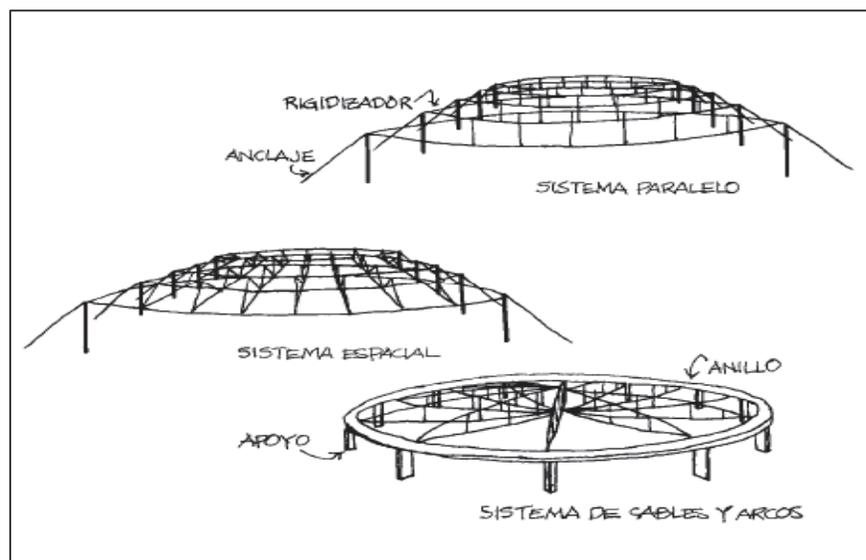
**Figura 3. 6: Tipos estructura funicular.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.



**Figura 3. 7: Esfuerzos en estructuras funiculares.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.



**Figura 3. 8: Sistemas con cables.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.2.1. Sistema de arco

Desde la antigüedad la humanidad ha usado los arcos para cubrir áreas. Esto se debió a que los arcos requerían materiales que solo resistieran la compresión.

Por otra parte, cuando se trata de estructuras con grandes claros, la relación entre peso muerto, resistencia y proporciones se torna crítica, razón por la cual para obtener una óptima eficiencia de la carga muerta, las formas de las estructuras de claros grandes deben aproximarse a las de una línea natural de presión, como la de un arco parabólico debido a que cuando se hace esto, la fuerza resistente al momento y al esfuerzo cortante siempre actúa en el centro de gravedad. Por ello, con frecuencia el uso de formas curvas es eficiente, porque dan un peralte estructural de conjunto para claros sin aumentar el peralte de la sección.<sup>12</sup>

### 3.1.2.2. Sistema de cables

El cable es el elemento estructural que reúne las características necesarias para determinar el funicular para cada tipo de carga que se le aplique a una estructura, ya que se define como un elemento lineal de escasa sección transversal y flexible. Esta característica lo hace apto para acomodarse a cualquier tipo de carga, ya que puede cambiar su forma de acuerdo con las cargas aplicadas.

Naturalmente esto se logra siempre que el cable esté suspendido para poder aplicarle las cargas, ya que la única manera en que puede trabajar es a tensión simple. Debido a su falta de rigidez no puede producirse en él compresión, ni mucho menos flexión. Los cables se usan con frecuencia para soportar cargas en claros grandes como en el caso de los puentes colgantes y de los techos de edificios grandes y abiertos. Las cargas aplicadas son transmitidas a los anclajes del cable a través del cable, por tensión.<sup>13</sup>

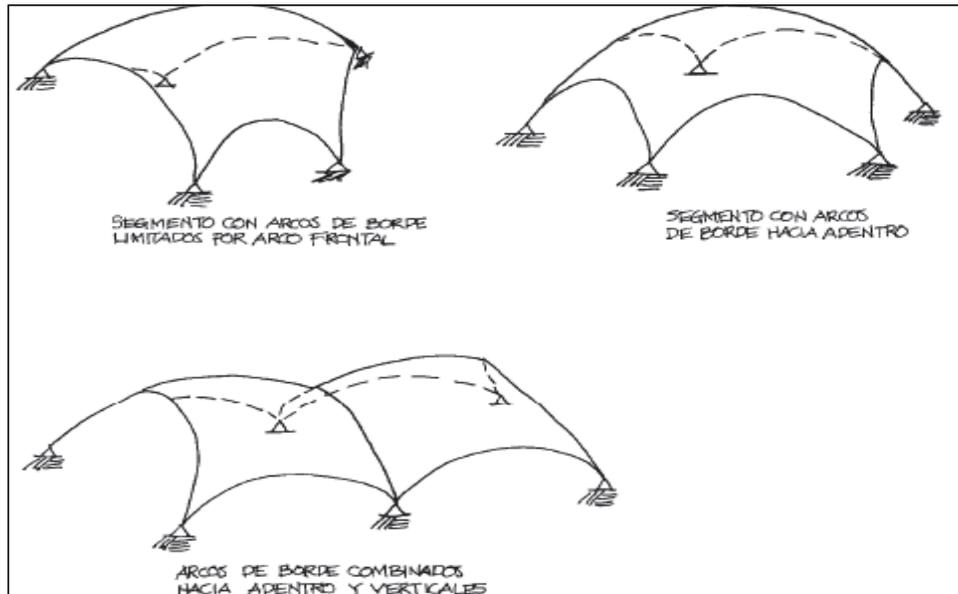
---

<sup>12</sup> Guía Teórica y Práctica del Curso Tipología Estructural.

<sup>13</sup> Guía Teórica y Práctica del Curso Tipología Estructural.

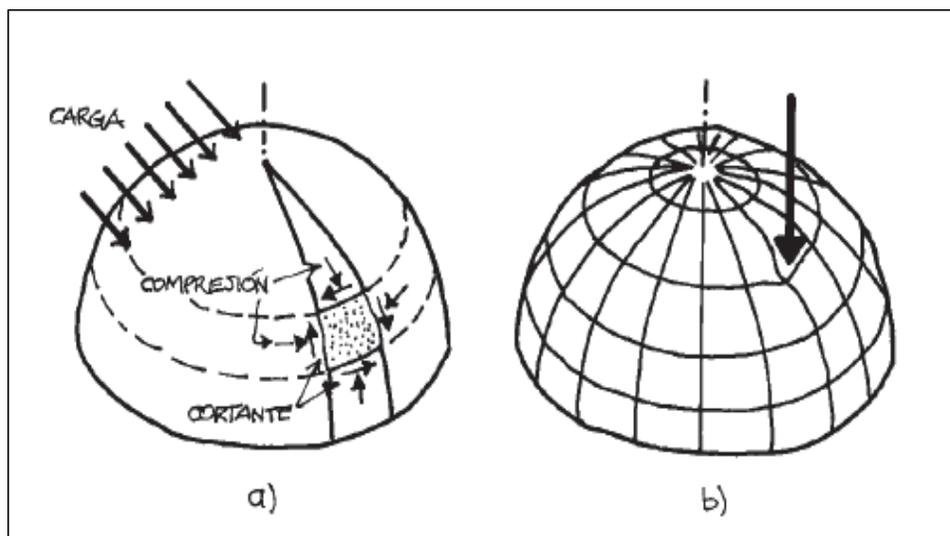
### 3.1.3. ESTRUCTURAS DE MEMBRANAS

En este tipo de estructuras, las fuerzas son conducidas superficialmente por tensión; son flexibles y necesitan de una tensión absoluta para poder trabajar.



**Figura 3. 9: Sistemas con membranas.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

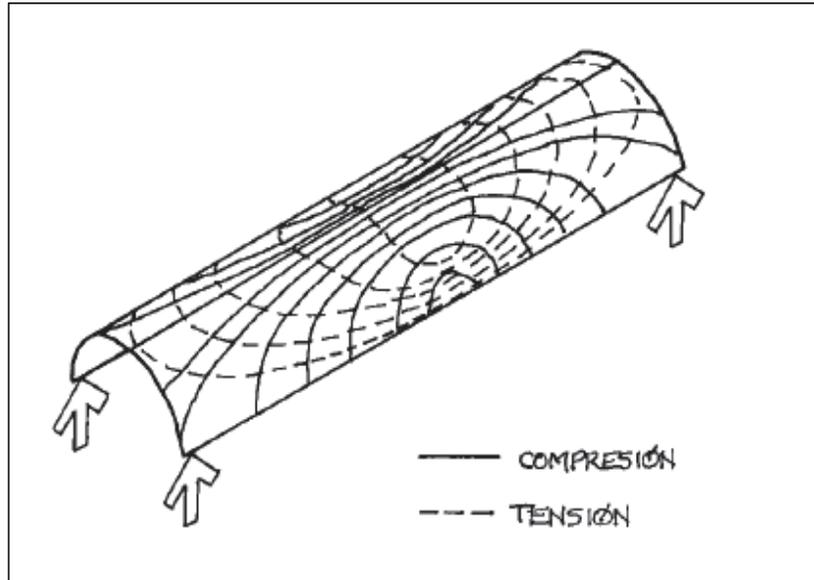


**Figura 3. 10: Esfuerzos en estructuras de membranas.**

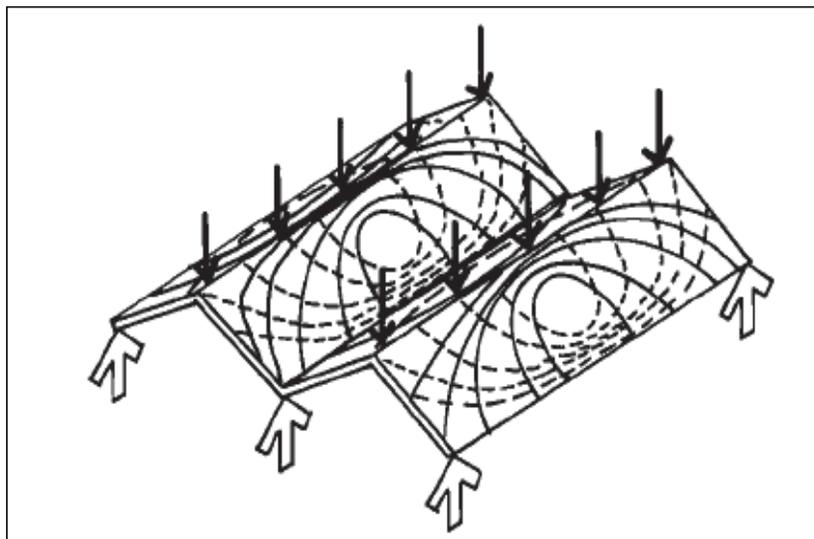
**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.4. ESTRUCTURAS LAMINADAS

En este tipo de estructuras, las fuerzas son conducidas a través de toda la superficie, permitiendo así dar rigidez.



**Figura 3. 11: Esfuerzos en estructuras laminadas.**  
**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.



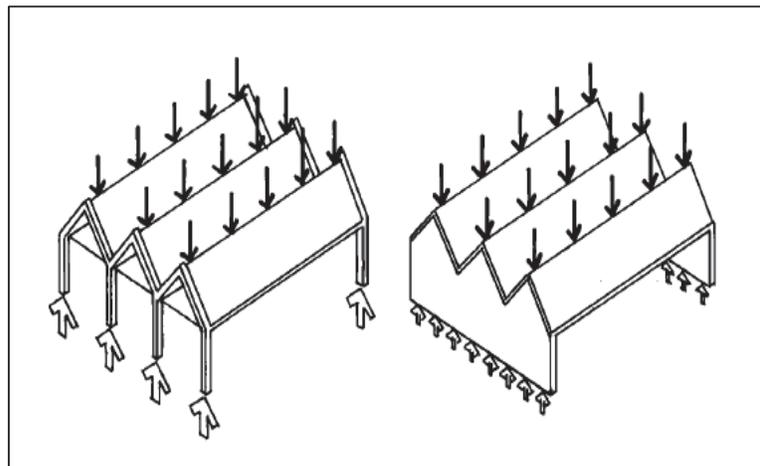
**Figura 3. 12: Esfuerzos en estructuras plegables.**  
**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.4.1. Lámina plegada

Las láminas plegadas son eficientes en estructuras (tales como techos) donde las cargas están distribuidas de manera uniforme y las formas irregulares son apropiadas. Su resistencia y rigidez se puede incrementar drásticamente doblándola, lo que a su vez incrementa la efectividad de su peralte y por consiguiente, su resistencia a la flexión.

Una lámina plegada es una estructura de superficie plana doblada que transfiere cargas a los soportes principalmente por tensión, compresión y cortante, con la flexión ocurriendo sólo entre los dobleces en la superficie del plano.

Debido a que el espaciado entre los dobleces es pequeño comparado con el claro, los esfuerzos de flexión en las losas son pequeños comparados con los esfuerzos de tensión y de compresión. Por lo general se construyen de concreto reforzado, aunque el metal y los plásticos de vidrio reforzado se puedan usar donde no son necesarios los claros largos. Su mecanismo resistente como todas las estructuras laminares consiste en la conducción superficial de fuerzas a través de la forma.

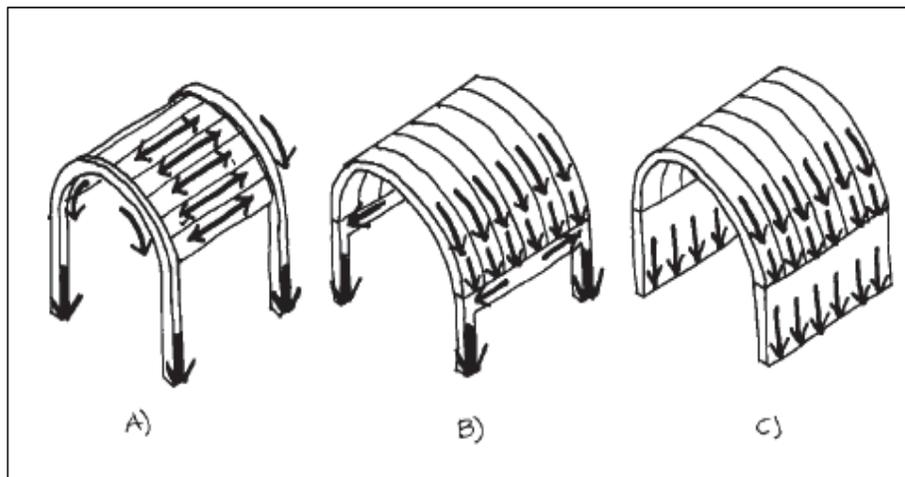


**Figura 3. 13: Lámina plegada.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.4.2. Lámina cilíndrica

Su comportamiento es similar al de la lámina plegada, con la diferencia que la lámina cilíndrica será más rígida que la plegada, por tener una sección transversal curva. La lámina cilíndrica se pueden formar doblando un plano, siendo curvas sólo en una dirección y formados por extrusión en una línea curva a lo largo de una trayectoria recta. Las formas más comúnmente usadas son las semicirculares y las parabólicas. Se distinguen de las bóvedas de forma similar por su capacidad de resistir esfuerzos de tensión. De modo que sólo se tienen que apoyar en las esquinas (o en los extremos) salvando claros a lo largo del eje longitudinal.

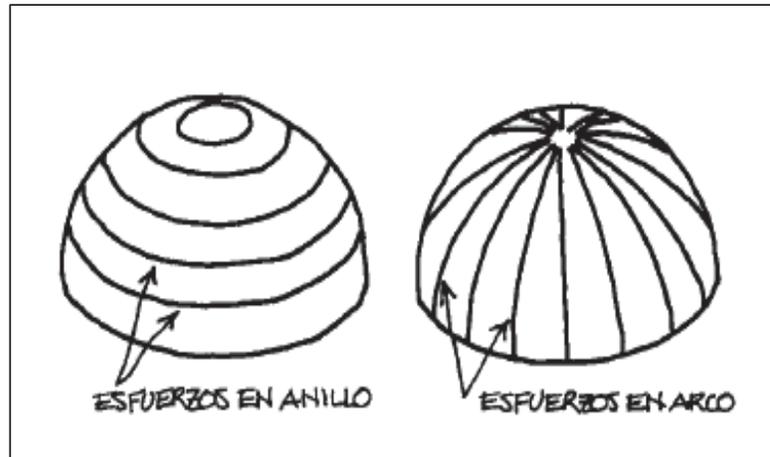


**Figura 3. 14: Lámina cilíndrica.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.4.3. Lámina esférica

Es una superficie derivada de la esfera, por lo que sus secciones transversales siempre serán curvas. Geométricamente, se puede concebir como un arco en revolución que gira alrededor de un eje contenido en su propio plano. En la práctica, se analiza como un hemisferio, es decir una mitad de esfera conformada por meridianos y paralelos, que en términos estructurales serán arcos y anillos.

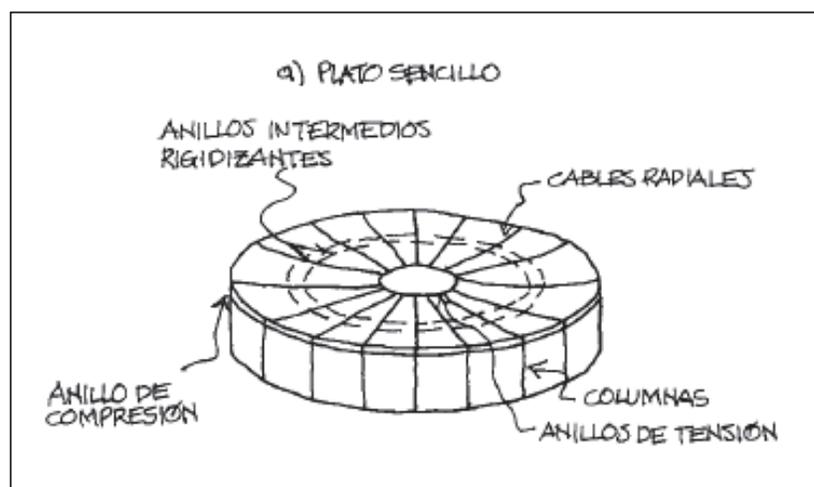


**Figura 3. 15: Lámina esférica.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

#### 3.1.4.4. Sistema de platos

Es una lámina en suspensión, como una cubierta espacial, que tiene la ventaja de tener mejores cualidades acústicas que el domo, porque no tiene un punto focal dentro del área cubierta por el plato. Estas estructuras de suspensión también son más eficientes porque la ondulación no constituye un problema. Sin embargo, la forma cóncava provoca un problema de drenaje, el cual se tiene que solucionar mediante bombas, tubos y desagües para evitar la sobrecarga.



**Figura 3. 16: Sistema de platos.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.4.5. Paraboloide hiperbólico

Son superficies generadas por parábolas cóncavas o convexas, se les conoce como cascarones de curvatura de Gauss positiva. Cuando una curvatura es cóncava y la otra convexa, se denominan curvatura de Gauss negativa, como una superficie hiperboloide parabólica comúnmente conocida como silla de montar.

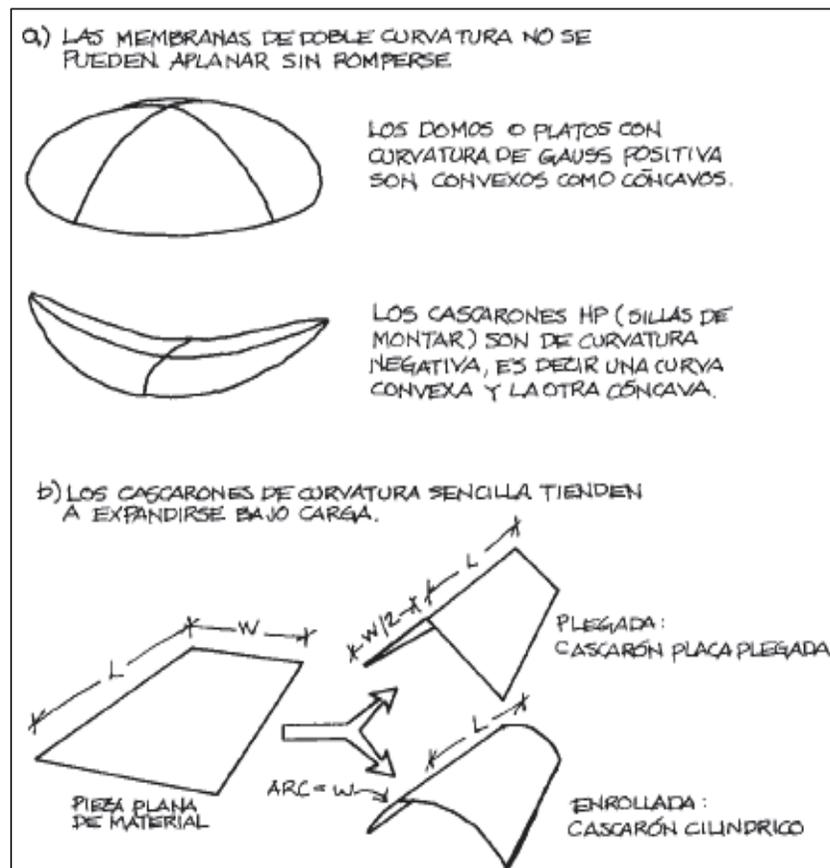
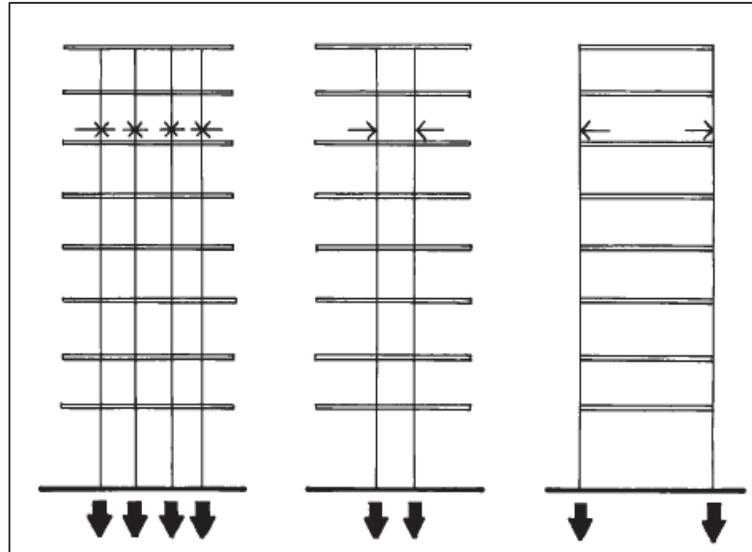


Figura 3. 17: Tipos de superficie cascarón.

FUENTE: Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.5. ESTRUCTURAS VERTICALES

Este tipo de estructura transmite las cargas a través de diversos mecanismos desde planos a elevada altura respecto al suelo.

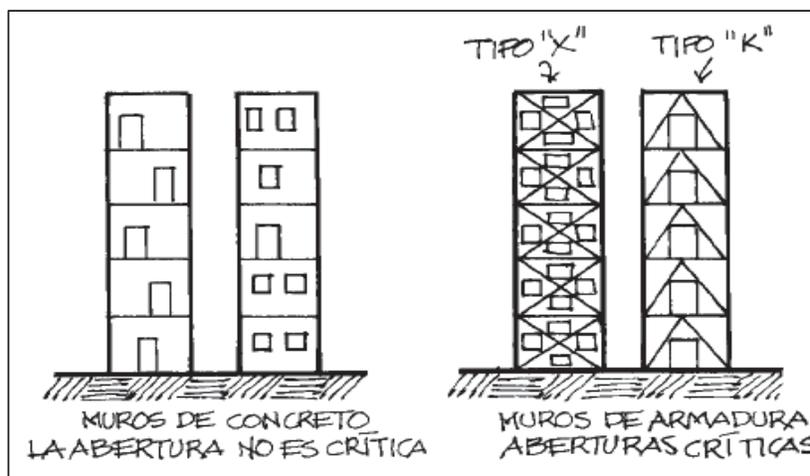


**Figura 3. 18: Estructuras verticales.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### 3.1.5.1. Sistemas de muros de corte

Cuando los muros resistentes al esfuerzo cortante son compatibles con otros requerimientos funcionales, se pueden utilizar económicamente para resistir fuerzas laterales en edificios de gran altura. Los edificios de departamentos requieren de modo natural muchos muros de separación.



**Figura 3. 19: Sistemas de muros de corte.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

### **3.1.5.2. Sistemas de marco rígido**

Los sistemas de marco rígido para resistir cargas verticales y laterales, han sido aceptados desde hace mucho tiempo como un medio importante y común para el diseño de edificios. Se emplean para construir edificios de altura baja, mediana y hasta de gran altura como de 50 niveles. En comparación con los sistemas de muro resistentes al cortante, estos marcos rígidos proporcionan excelentes posibilidades para aberturas rectangulares de superficies de muro tanto adentro como afuera del edificio. También aprovechan la rigidez de las vigas y las columnas que se requieren para cualquier caso de edificación, pero las columnas se hacen más fuertes cuando se conectan rígidamente para resistir las fuerzas tanto laterales como verticales a través del flexionamiento del marco.

Con frecuencia, los marcos rígidos no lo son tanto como la construcción de muros resistentes al cortante, y por tanto, pueden producir deflexiones excesivas en los diseños de edificios más esbeltos de gran altura. Pero a causa de su flexibilidad, a menudo se consideran más dúctiles y en consecuencia menos susceptibles de falla sísmica catastrófica, si se comparan con algunos diseños de muros resistentes al cortante.

### **3.1.5.3. Sistemas tubulares**

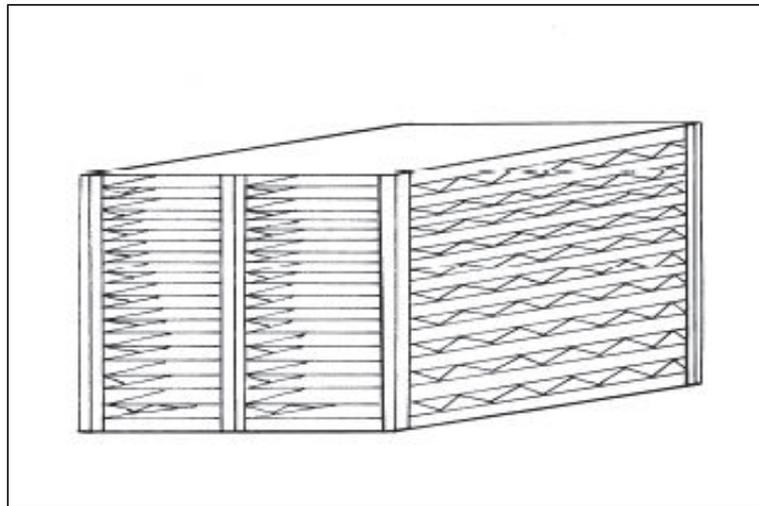
Los edificios de gran altura con más de 50 niveles se pueden diseñar mejor si se utilizan sistemas tubulares para resistir las fuerzas laterales. Esto dará al edificio mayor resistencia y rigidez en comparación tanto con el sistema de muro resistente al cortante como con el de marco rígido. Mediante el uso eficaz del material de cubiertas verticales, se obtiene un brazo de palanca máximo entre las fuerzas resistentes.

Una manera natural de construir un sistema tubular sería conectar los muros exteriores para formar una estructura tubular de conjunto. El tubo puede ser rectangular, circular o de cualquier otra forma regular. Los muros exteriores pueden tener aberturas para formar ventanas circulares o rectangulares. Si se desea tener

marcos de ventanas rectangulares en el exterior del edificio de gran altura, éstos se pueden integrar en un diseño de marco-tubo empleando ya sea grandes vigas peraltadas para conectar las columnas estrechamente espaciadas, o bien grandes montantes de ventana.

#### 3.1.5.4. Sistemas especiales

Aunque los tres sistemas anteriores (muros resistentes al cortante, marcos rígidos y tubulares) son quizá los de uso más común para edificios, es posible que surjan de otros sistemas denominados especiales o combinados. Para edificios que requieren grandes claros, a menudo es conveniente usar distribuciones de armadura alternada o de muro.



**Figura 3. 20: Sistemas especiales.**

**FUENTE:** Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.

## 3.2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Las alternativas que se van a considerar deben basarse en el aspecto más importante de esta estructura, es decir, que la estructura debe ser móvil con el objetivo de que no exista una cubierta cuando el Centro de Exposiciones Quito requiera colocar implementos para una feria abierta, pero la estructura debe plegarse para ciertos eventos de la misma.

Los parámetros que se analizarán son:

- Funcionalidad.
- Tamaño y forma de la estructura.
- Resistencia de la estructura (cargas).
- Seguridad.
- Costos de fabricación.
- Costos de mantenimiento.
- Estética.
- Peso de la estructura.

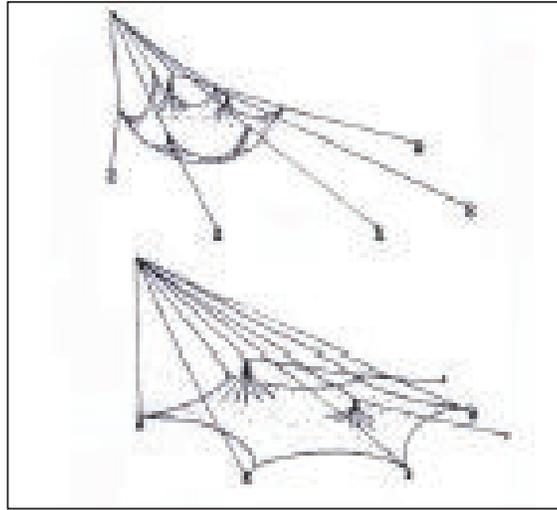
### **3.2.1. FUNCIONALIDAD**

La estructura debe tener la capacidad de abrirse y soportar todas las cargas de diseño, y cerrarse sin que se produzcan deformaciones permanentes, por lo que la ligereza y flexibilidad que presente la misma, ayudarán a que la estructura ocupe un modesto volumen cuando no esté en uso, para ello es indispensable determinar las estructuras móviles y elegir la que se adapte a los requerimientos.

La clasificación de las estructuras móviles se basa en tres tipos de cubiertas:

- Cubierta de membrana móvil con estructuras de soporte fijo.
- Cubierta de cerramiento móvil y estructura rígida.
- Cubierta de membrana o placa móvil con estructura de soporte móvil.

### 3.2.1.1. Cubierta de membrana móvil con estructuras de soporte fijo

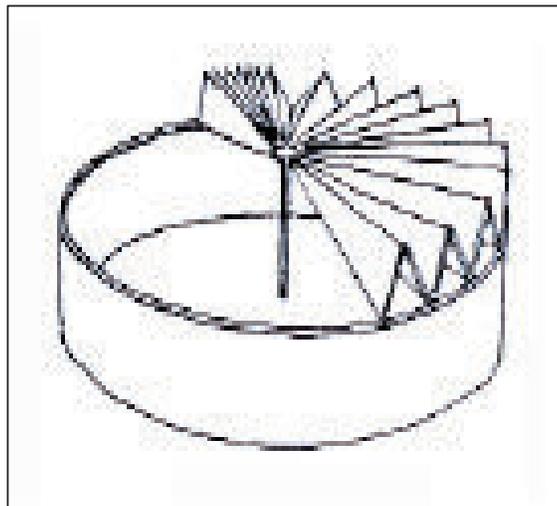


**Figura 3. 21: Membrana móvil con soporte fijo.**

**FUENTE:** [http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL\\_Movilidad\\_grandes\\_estructuras.pdf](http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL_Movilidad_grandes_estructuras.pdf)

Esta estructura se basa en una serie de cables tensados al suelo por medio de los cuales deslizará la membrana para cubrir o cerrar el techo de la estructura, pero no es adecuada para el diseño requerido ya que los cables tensados al suelo serían un obstáculo para transitar y mover los artículos de exposición.

### 3.2.1.2. Cubierta de cerramiento móvil y estructura rígida



**Figura 3. 22: Estructura rígida-móvil.**

**FUENTE:** [http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL\\_Movilidad\\_grandes\\_estructuras.pdf](http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL_Movilidad_grandes_estructuras.pdf)

Esta estructura posee una parte fija a través de la cual desliza una membrana plegable con un soporte central que permite plegar o desplegar la misma.

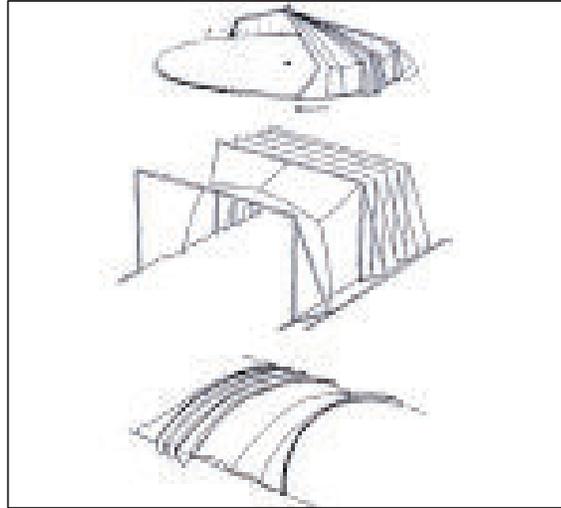
La desventaja de esta estructura en el presente diseño es que sería necesario construir una estructura fija y únicamente el techo de la misma tendría la capacidad de apertura o cierre según el evento impidiendo así la entrada de artículos demasiado grandes, sin embargo, podría construirse únicamente la parte móvil de la misma, formando así una estructura tipo sombrilla que cumple con las condiciones de diseño.



**Figura 3. 23: Cubierta de cerramiento móvil sin soporte fijo (tipo sombrilla).**  
**FUENTE:** Estructuras transformables.

### **3.2.1.3. Cubierta de membrana o placa móvil con estructura de soporte móvil**

Este tipo de cubierta es ideal para las necesidades del Centro de Exposiciones Quito ya que tanto las membranas o placas y el soporte de las mismas se mueven, permitiendo disponer del terreno sin ningún tipo de obstrucción pues toda la estructura quedará plegada en un pequeño espacio.

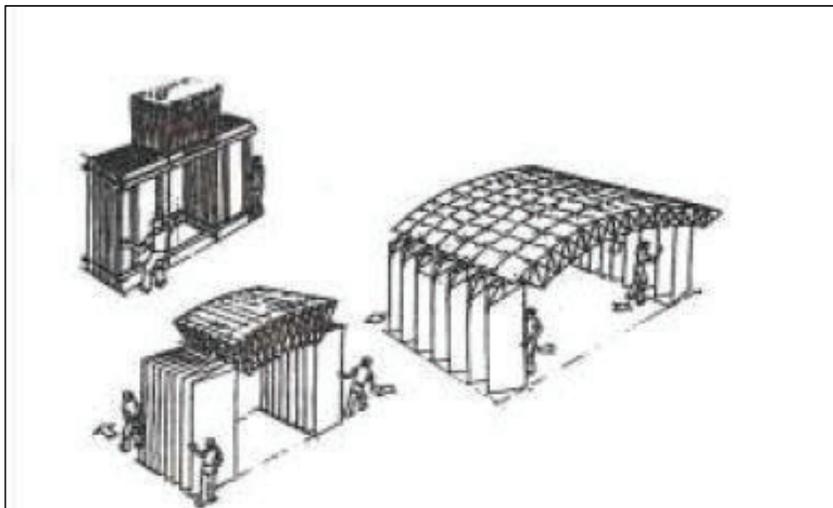


**Figura 3. 24: Membrana móvil con soporte móvil.**

**FUENTE:** [http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL\\_Movilidad\\_grandes\\_estructuras.pdf](http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL_Movilidad_grandes_estructuras.pdf)

Existen dos clases de elementos que pueden usarse en estas estructuras, las membranas y las placas; una cubierta de membrana móvil con soporte móvil se conoce como estructura retráctil, mientras una cubierta de placa móvil con soporte móvil se conoce como estructura telescópica.

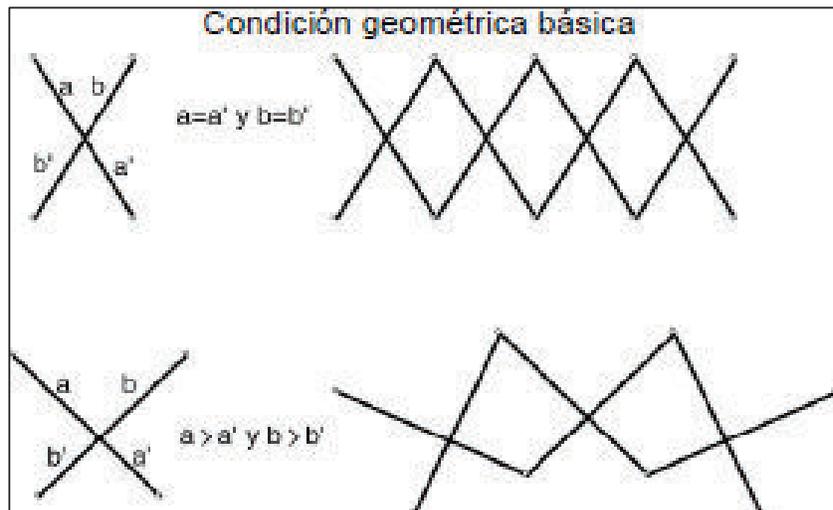
#### 3.2.1.3.1. Estructura retráctil



**Figura 3. 25: Estructura retráctil.**

**FUENTE:** [http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL\\_Movilidad\\_grandes\\_estructuras.pdf](http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL_Movilidad_grandes_estructuras.pdf)

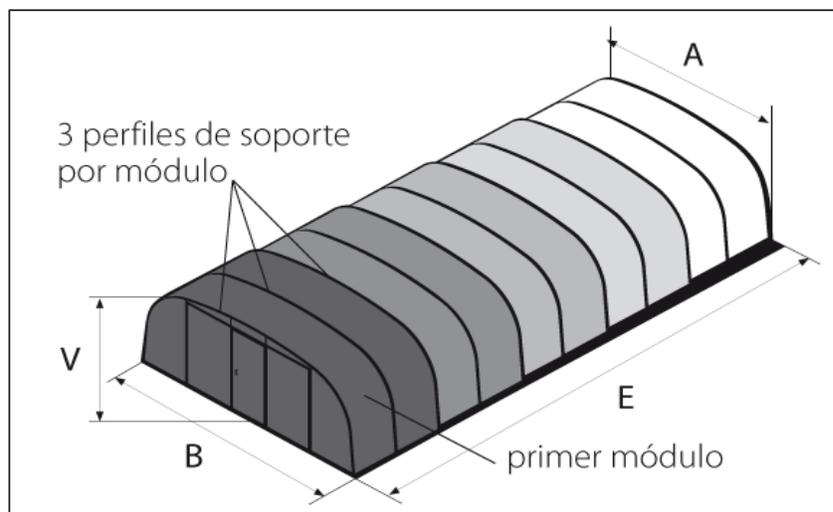
El funcionamiento de una estructura retráctil se basa en el principio del pantógrafo, también conocido como sistema de tijeras, donde dos barras pivotan en un nudo intermedio que permite la apertura o cierre de las barras y consecuentemente el pliegue o despliegue de la estructura.



**Figura 3. 26: Sistema tijera.**

**FUENTE:** [http://www.perezpintero.org/PDF/VALCARCEL\\_Movilidad\\_grandes\\_estructuras.pdf](http://www.perezpintero.org/PDF/VALCARCEL_Movilidad_grandes_estructuras.pdf)

### 3.2.1.3.2. Estructura telescópica



**Figura 3. 27: Estructura telescópica.**

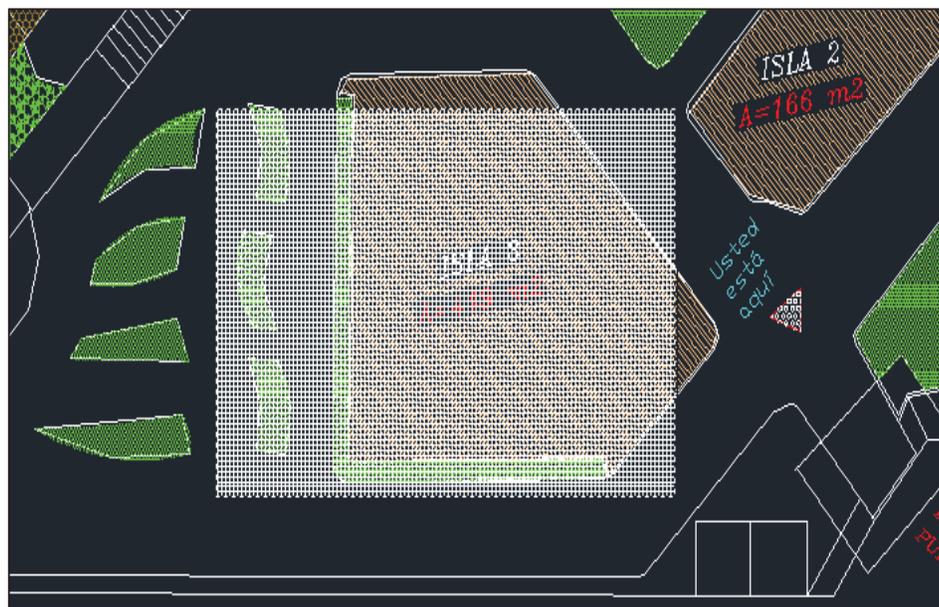
**FUENTE:** <http://www.outlet-piscinas.com/cubierta-dallas>

En el caso de las cubiertas telescópicas, el anclaje se realiza directamente con el terreno, es decir que se coloca un perfil de corredera en el suelo para que la estructura deslice a través de ésta.<sup>14</sup>

La facilidad de apertura y cierre de la estructura es independiente del elemento que se utilice como cobertura, es decir que una estructura telescópica o retráctil tiene la misma facilidad de moverse dependiendo de la geometría de las mismas, las estructuras tipo túnel tienen menos impedimentos de moverse ya que necesitan únicamente deslizarse a través de guías.

### 3.2.2. TAMAÑO Y FORMA DE LA ESTRUCTURA

El tamaño de la estructura debe ser el más grande posible para que la capacidad de albergar gente a los eventos sea la mayor. Debido a que el terreno es de forma irregular se ha determinado la mayor área regular que pueda cubrir la estructura (634.28 m<sup>2</sup>).



**Figura 3. 28: Área regular disponible.**  
FUENTE: Elaboración propia.

<sup>14</sup> [http://pipor.com/wp-content/uploads/2011/02/PIPOR\\_caracteristicas\\_cubiertas.pdf](http://pipor.com/wp-content/uploads/2011/02/PIPOR_caracteristicas_cubiertas.pdf)

### **3.2.3. RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA (CARGAS)**

Las cargas muertas que debe soportar la cubierta son principalmente las cargas debidas al peso de la estructura (acero o aluminio), el peso de las placas o el peso de la membrana, siendo el peso de la membrana menor al peso de cualquier placa; adicionalmente cualquier tipo de estructura debe soportar las cargas vivas que van a depender exclusivamente del tamaño de la cubierta, las cargas dinámicas van a estar presentes en cualquier estructura independientemente de su geometría, tamaño, o materiales usados como cubierta, las investigaciones revelan que este tipo de cubiertas pueden resistir vientos de hasta 100 km/h, por lo cual la única carga que será representativa en una estructura retráctil será la carga muerta para lo cual se debe escoger un factor de seguridad adecuado al tipo de estructura que se construirá.

Los miembros usados para los entramados estructurales pueden ser perfiles de aluminio o acero estructural laminados en caliente, tubos rectangulares o redondos o una combinación de ellos.

La resistencia de la estructura va a ser mejor en cubiertas más pequeñas porque van a estar sometidas a menos cargas dinámicas y cargas vivas.

### **3.2.4. SEGURIDAD**

La seguridad de una estructura es el factor más importante del diseño ya que se pone en riesgo la integridad de las personas por lo que es indispensable que la cubierta no se rompa con facilidad, es decir, que resista deformaciones aceptables para que dure, en estructuras ligeras el riesgo de colapsar ante cargas horizontales como las sísmicas es mucho menor que en una estructura convencional porque su masa es muy pequeña comparada con otros tipos de estructuras, la armadura de la estructura sea ésta retráctil o telescópica resistirá mejor las cargas dinámicas, mientras las membranas o placas podrían derrumbarse teniendo que reemplazar únicamente este elemento.

### **3.2.5. COSTOS DE FABRICACIÓN**

El costo de fabricación depende del tamaño de la cubierta ya que la estructura de acero o aluminio requieren de más material y por supuesto los elementos tipo placa o membrana están ligados al tamaño de esta estructura, el costo de las membranas depende del diseño, forma y material escogido. En Ecuador el precio de una membrana estructural es de alrededor de 60 dólares por metro cuadrado pero ya que la estructura requerida debe abrirse y cerrarse con sistemas de tijeras se estima que el costo será de 75 dólares por metro cuadrado.<sup>15</sup>

### **3.2.6. COSTOS DE MANTENIMIENTO**

El costo de mantenimiento es incierto, por regla general toda estructura requiere una inspección visual por lo menos una vez al año o en caso de que existieran condiciones climatológicas adversas, el hecho de que la estructura se abra y cierre implica que se debe dar un mantenimiento a la parte móvil o al menos lubricar estos dispositivos cada 6 meses, sean rieles en caso de estructuras telescópicas, los brazos de paraguas en caso de la estructura de sombrilla o el entramado reticular en caso de una estructura retráctil.

### **3.2.7. ESTÉTICA**

La belleza de la estructura es otro factor de importancia en el presente diseño, ya que se ha planteado que la cubierta debe ser innovadora, uno de los aspectos que se analizan en este punto es la forma de la estructura, las estructuras telescópicas son de gran belleza por la variedad de materiales para placas con los que se cuenta, sin embargo la adaptabilidad de las membranas a estructuras retráctiles / tipo sombrilla permiten que la tela adopte la forma deseada, siendo esculturas de construcción, la luminosidad es distinta en estructuras telescópicas que en estructuras retráctiles porque las placas de las estructuras telescópicas no tienen

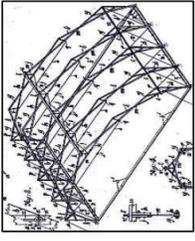
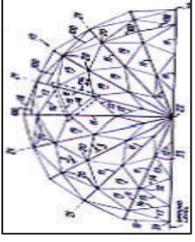
---

<sup>15</sup> <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/R/r120membranas/r120membranas.asp>

el índice de transparencia de las membranas, esto quiere decir que una membrana aporta gran luminosidad a la estructura, sea en el día la luminosidad del sol hacia el interior de la estructura o en la noche las luces artificiales alumbrando la estructura por fuera, en estructuras telescópicas es necesario incorporar luz.

### **3.2.8. PESO DE LA ESTRUCTURA**

El peso de la estructura es uno de los parámetros más importantes, ya que de éste depende el movimiento que se le puede proporcionar a la estructura, es decir, una estructura ligera tendrá más facilidad de movimiento comparado con una estructura de mayor peso; por lo que una estructura telescópica será más ligera que una retráctil al estar conformada únicamente por policarbonato; de igual manera una estructura tipo sombrilla al tener pocos elementos de acero y una membrana ligera tiene facilidad de abrirse o cerrarse; mientras que la estructura retráctil al tener la armadura de acero con múltiples elementos resulta más difícil su movimiento. Así que una buena opción en este caso para aligerar la estructura es poner arriostramientos entre las columnas y las vigas.

TIPO DE ESTRUCTURA	ESTRUCTURA RETRÁCTIL		ESTRUCTURA TELESCÓPICA		ESTRUCTURA TIPO SOMBRILLA
	 Tipo túnel	 Tipo cúpula	 Tipo túnel	 Tipo cónica	
FUNCIONALIDAD	9.5	8.5	9.5	9	9.5
FORMA Y TAMAÑO	10	8	10	8	8
RESISTENCIA	9	9	8	8	8
SEGURIDAD	9	8	9	8	9
COSTOS DE FABRICACIÓN	9.5	10	8.5	9	9.5
COSTOS DE MANTENIMIENTO	9	9	10	10	9
ESTÉTICA	9.5	10	9	10	9
PESO	10	10	9	9	9.5
<b>TOTAL</b>	<b>75.5</b>	<b>72.5</b>	<b>73</b>	<b>71</b>	<b>71.5</b>

Cuadro 3. 1: Selección de alternativas.

FUENTE: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla, las estructuras que presentan mayor puntaje, son las estructuras tipo túnel retráctil y telescópica, debido a los valores que toman en cuanto a sus factores de diseño.

**Funcionalidad:** la estructura debe estar en la capacidad de abrirse y cerrarse, cumpliendo con los factores de seguridad y sobre todo que sea flexible y ligera, capaz de resistir las cargas. Es por eso que el puntaje más alto se le da a las estructuras que se apegan más con esta exigencia y son las estructuras retráctiles (tipo túnel), las estructuras telescópicas (tipo túnel) y las estructuras tipo sombrilla.

**Forma y Tamaño:** en cuanto a la forma y tamaño, se requiere el mayor espacio posible, por lo que las estructuras que más se apegan a lo requerido son las tipo túnel que pueden ser retráctiles y telescópicas.

**Resistencia:** la estructura al cumplir con la función de abrirse y cerrarse, debe ser capaz de soportar las cargas que se presenten, es por esto que las estructuras que brindan mayor resistencia debido al diseño son las estructuras retráctiles, que en este caso se tiene las tipo túnel y tipo cúpula.

**Seguridad:** la seguridad es uno de los factores primordiales en una estructura, es por eso que dependiendo a la funcionalidad de la estructura se ha elegido tres opciones con el más alto puntaje, las estructuras retráctiles (tipo túnel), las estructuras telescópicas (tipo túnel) y las estructuras tipo sombrilla.

**Costos de Fabricación:** el costo depende en su mayoría del tamaño de la estructura y del material a usar, como se ha explicado la cubierta será una membrana. Es por eso que debido al diseño de las estructuras, la tipo cúpula será la más costosa.

**Costos de Mantenimiento:** el costo de mantenimiento se refiere a todo el proceso de inspección y mantenimiento que se dé a una estructura, el cual depende del tipo, frecuencia de uso, materiales a usar, entre otros. Es por eso que las estructuras telescópicas son las de más alto puntaje.

**Estética:** la estética es muy importante en la estructura a diseñar, debido a que como se va a usar para eventos, exposiciones, etc.; se debe considerar que la estructura se adapte a las exigencias visuales de las personas asistentes, es decir, que posea un diseño innovador y moderno. Considerando estos factores las estructuras de mayor puntaje son las tipo cúpula y tipo cónica, debido a su diseño novedoso.

**Peso:** uno de los factores de diseño más relevantes, es el peso de la misma. Como se dijo anteriormente la estructura debe ser móvil, porque el movimiento dependerá del peso de las columnas, vigas, entre otros elementos estructurales. Tomando en cuenta esto, se puede observar en la tabla anterior que la estructura retráctil tipo túnel será la de mayor puntaje, debido a que se estima que es la de menor peso.

Al considerar todos los factores de diseño, la estructura de mayor puntaje es la ESTRUCTURA RETRÁCTIL TIPO TÚNEL.

### **3.3. ESTRUCTURA RETRÁCTIL TIPO PÓRTICO**

Como se observó en el estudio anterior se diseñara una estructura tipo reticular o retráctil, la misma que estará conformada por pórticos que estarán arriostrados, para esto se usará las celosías.

#### **3.3.1. CELOSÍA**

Una celosía es un sistema triangulado compuesto por elementos estructurales (normalmente) rectos interconectados. Cada elemento individual se interconectan en los nudos; que se suelen considerar uniones nominalmente articuladas. Las fuerzas externas aplicadas al sistema y las reacciones en los soportes se aplican por regla general en los nudos. Cuando todos los elementos y fuerzas aplicadas se encuentren en el mismo plano, se trata de una celosía en 2D.

Las celosías se usan para que cumplan dos funciones principales:

**1. Para soportar la carga de la cubierta:**

- Cargas gravitatorias (peso propio, cubierta y equipamiento, bien sobre la cubierta, bien suspendido de la estructura, cargas de nieve).
- Acciones ocasionadas por el viento (incluida la succión).

**2. Para aportar estabilidad horizontal:**

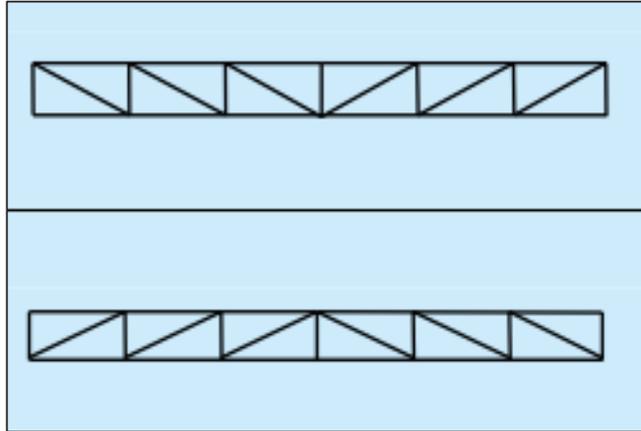
- Vigas contraviento a nivel de cubierta, o a niveles intermedios si fuera necesario.
- Arriostramiento vertical en los muros laterales.

### **3.3.2. TIPOS DE CELOSÍA**

Las celosías o arriostramientos permiten aligerar el peso de la estructura por lo cual se hace un estudio de los tipos de celosía para analizar el más adecuado para la estructura.

#### **3.3.2.1. Celosía tipo Pratt**

En este tipo de celosía, las diagonales están sometidas a tracción bajo cargas gravitatorias. En la celosía de la figura, las diagonales están sometidas a tracción bajo cargas de levantamiento.

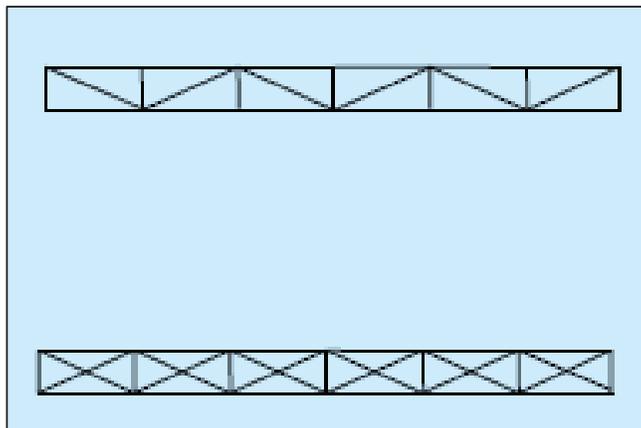


**Figura 3. 29: Celosía tipo Pratt.**

**FUENTE:** [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05\\_Disen0\\_detallado\\_de\\_celosias.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05_Disen0_detallado_de_celosias.pdf).

### 3.3.2.2. Celosía tipo Warren

En este tipo de celosía, las diagonales se encuentran de modo alternativo a tracción y a compresión. Se suelen utilizar como vigas horizontales en puentes grúa.

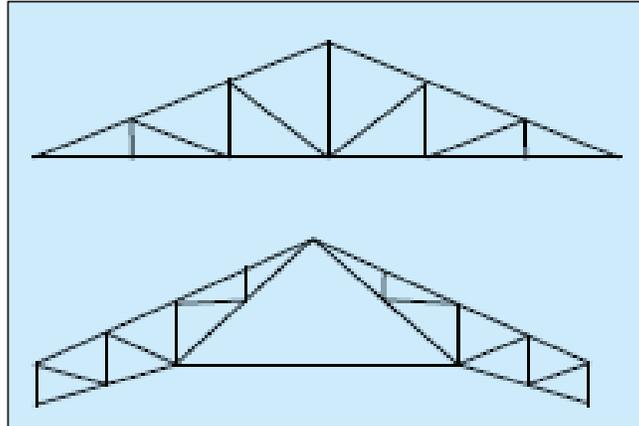


**Figura 3. 30: Celosía tipo Warren.**

**FUENTE:** [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05\\_Disen0\\_detallado\\_de\\_celosias.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05_Disen0_detallado_de_celosias.pdf)

### 3.3.2.3. Celosía tipo Fink

Este tipo de celosía se utiliza más comúnmente en las cubiertas de viviendas.



**Figura 3. 291: Celosía tipo Pratt.**

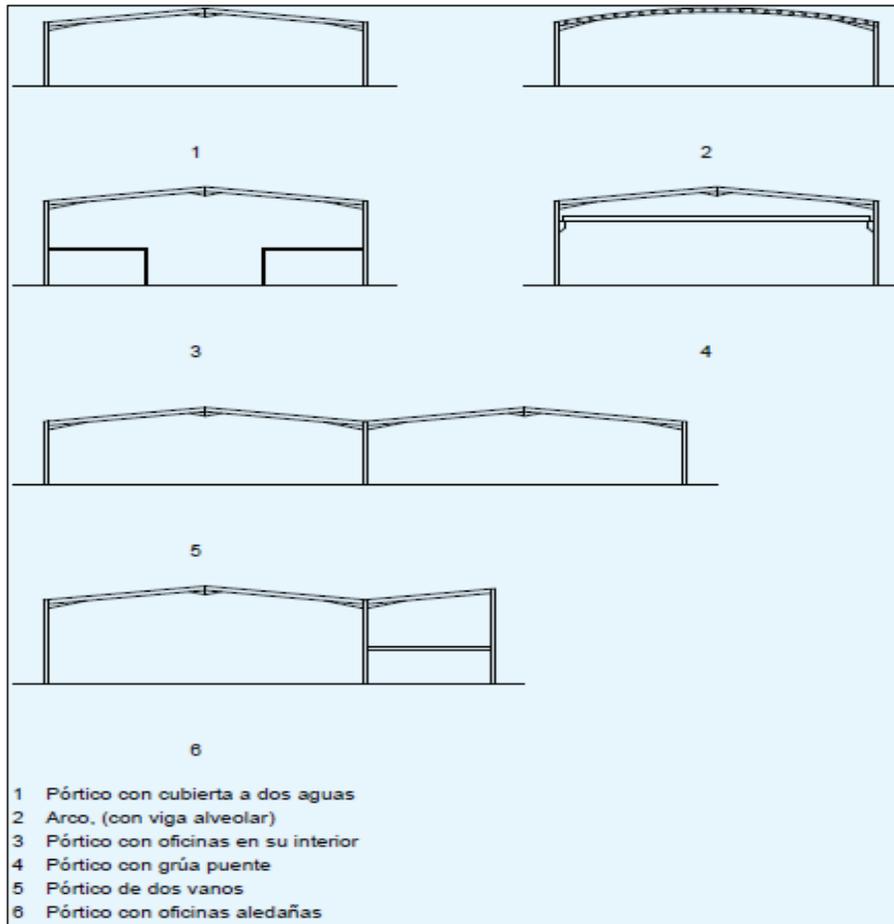
**FUENTE:** [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05\\_Disenio\\_detallado\\_de\\_celosias.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05_Disenio_detallado_de_celosias.pdf)

### 3.3.3. TIPOS DE UNIONES

En todos los tipos de secciones de elementos es posible diseñar uniones atornilladas o uniones soldadas. En términos generales, son preferibles las uniones atornilladas, pero también resultan más costosas y para el diseño de la estructura influiría en el peso de la misma.

### 3.3.4. DISEÑO CONCEPTUAL DE PÓRTICOS

Los pórticos en acero son un recurso muy extendido ya que combinan eficiencia y funcionalidad, tanto estructuralmente, como en la forma. Se pueden diseñar varias geometrías de pórticos siguiendo el mismo tipo estructural.

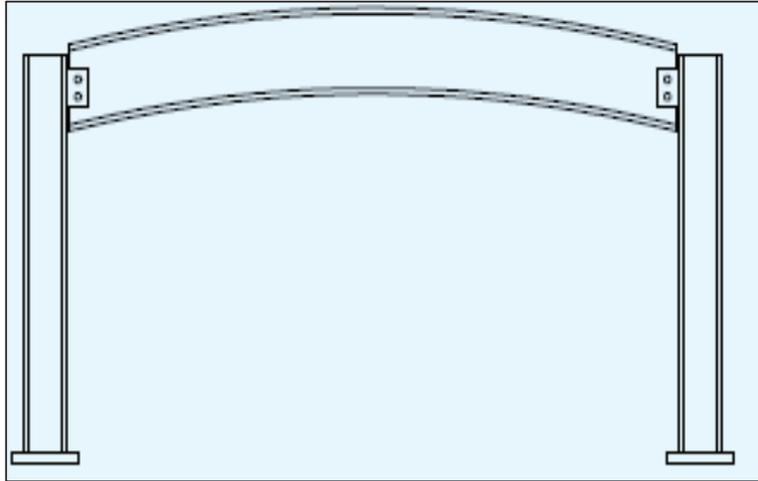


**Figura 3. 32: Pórticos.**

**FUENTE:** [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05\\_Disenio\\_detallado\\_de\\_celosas.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05_Disenio_detallado_de_celosas.pdf).

### 3.3.5. ESTRUCTURA DE PÓRTICOS SIMPLES

En el caso de vanos con luces de hasta aproximadamente 20 m, una solución estructural de pórticos simples (viga simplemente apoyada sobre pilares) puede ser adecuada. El dintel estará constituido por un único perfil laminado en caliente, unido a los pilares mediante nudos articulados. Dicho dintel puede ser horizontal, curvo, disponer de contraflecha o ser una sección aligerada. La cubierta puede ser horizontal, o cómo es más habitual, con una ligera inclinación que favorezca el drenaje. La acumulación de agua en la cubierta debe evitarse, ya sea disponiendo una pendiente en cubierta, o con dinteles ligeramente curvos.



**Figura 3. 33: Pórtico simple.**

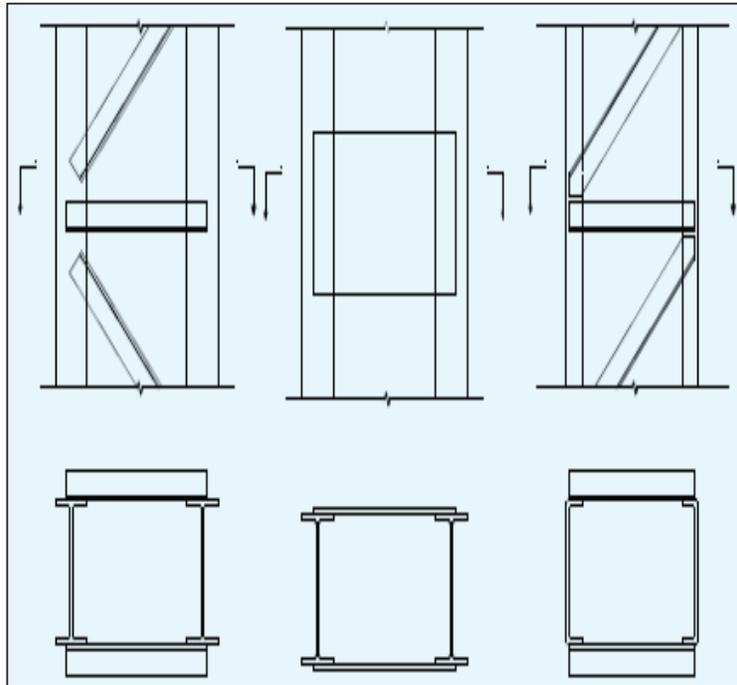
**FUENTE:** [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05\\_Diseno\\_detallado\\_de\\_celosias.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05_Diseno_detallado_de_celosias.pdf).

La estabilidad estructural de este tipo de pórticos viene dada por el arriostramiento en ambas direcciones ortogonales. La viga se diseña como simplemente apoyada y los pilares como elementos comprimidos únicamente, con un momento nominal aplicado en la unión con el dintel.

### 3.3.6. PILARES COMPUESTOS

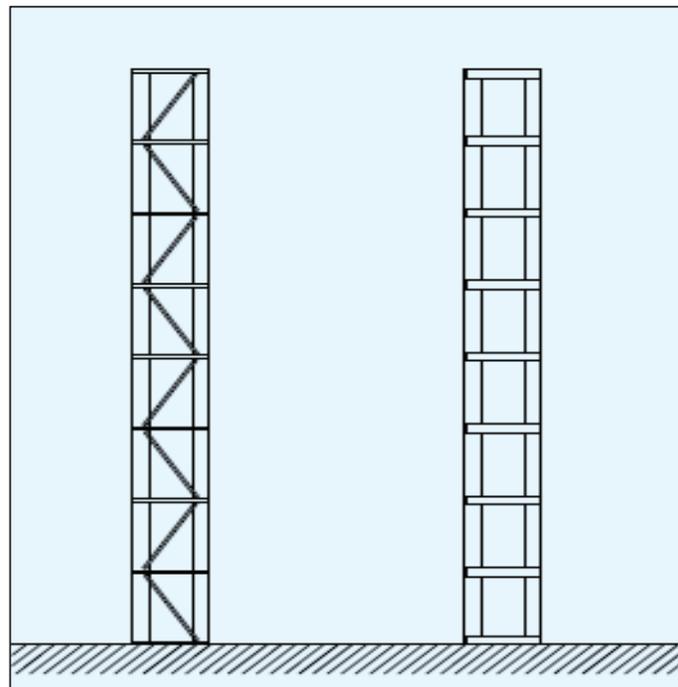
Los pilares sometidos a pesados estados de carga, o pilares situados en elevadas naves industriales, suelen ser pilares compuestos. Estos, generalmente, están compuestos por dos perfiles C o U, entre los cuales se sueldan presillas (chapas o angulares) uniendo sus respectivas alas.

Los pilares compuestos, normalmente, no se utilizan en estructuras porticadas, pero se utilizan habitualmente para sustentar grúas. En estos casos, la cubierta puede estar sostenida por vigas dobles o, más habitualmente, por celosías.



**Figura 3. 34: Pilares compuestos.**

**FUENTE:** [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05\\_Disen0\\_detallado\\_de\\_celosias.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05_Disen0_detallado_de_celosias.pdf).



**Figura 3. 35: Pilares compuestos.**

**FUENTE:** [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05\\_Disen0\\_detallado\\_de\\_celosias.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05_Disen0_detallado_de_celosias.pdf).

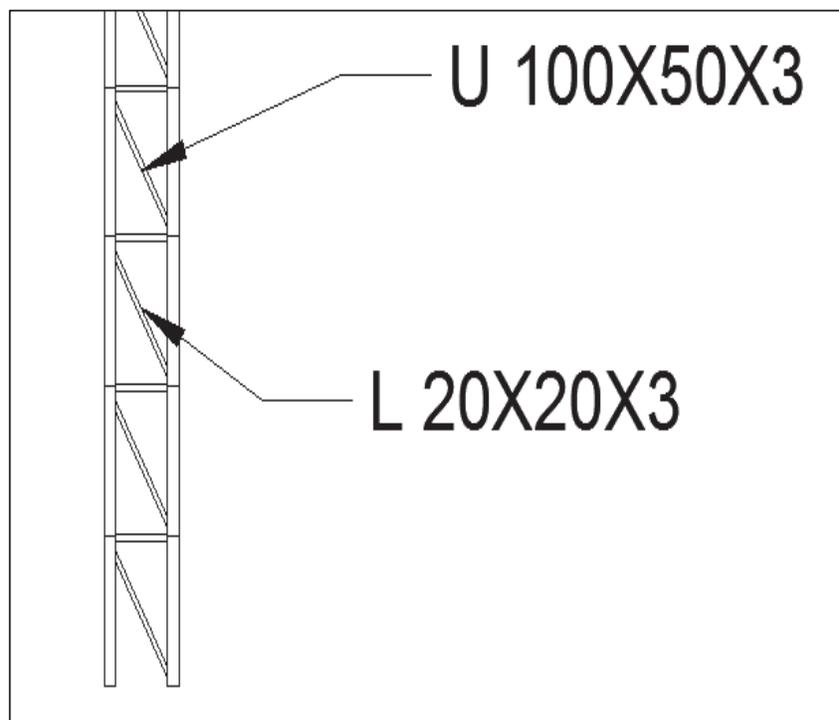
### 3.3.7. GEOMETRÍA DE LAS CELOSÍAS

Para conseguir un buen rendimiento estructural, habrá que optar por una relación entre la luz y el canto de la celosía de 10 a 15.

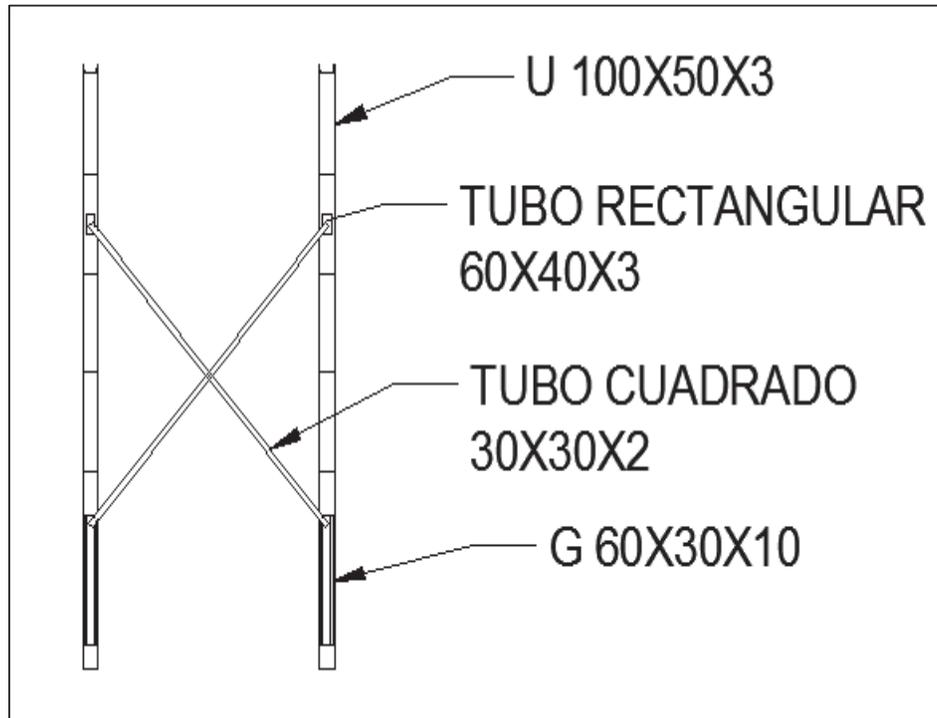
Para conseguir una disposición eficiente de los elementos de la celosía entre los cordones, se recomienda lo siguiente:

- La inclinación de los elementos diagonales, en relación a los cordones, deberá ser de entre  $35^\circ$  y  $55^\circ$ .
- Sólo se aplicarán cargas puntuales en los nudos.
- La orientación de los elementos diagonales deberá ser tal que los elementos más largos estén sometidos a tracción (estando los más cortos sometidos a compresión).

### 3.3.8. SECCIÓN DE LOS ELEMENTOS



**Figura 3. 36: Secciones para las columnas del pórtico.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.



**Figura 3. 37: Secciones para la unión entre pórticos.**  
FUENTE: Elaboración propia.

Los criterios principales son:

- Las secciones deberían ser simétricas para la flexión fuera del plano vertical de la celosía.
- En los elementos sometidos a compresión, la resistencia al pandeo en el plano vertical de la celosía deberá ser similar a la resistencia al pandeo fuera del plano.

Una solución muy utilizada, en particular para edificios industriales, consiste en utilizar secciones compuestas por dos angulares atornillados a cartelas verticales, reforzadas con presillas.

Para elementos sometidos a grandes fuerzas una buena solución sería:

- Cordones con secciones IPE, HEA o HEB, o con una sección compuesta de dos perfiles en U (UPE).
- Elementos diagonales formados por dos angulares empresillados.

El alma de los cordones con sección IPE / HEA / HEB está orientada vertical u horizontalmente. Puesto que resulta más fácil aumentar la resistencia al pandeo en el plano de los cordones (añadiendo elementos diagonales secundarios) que aumentar su resistencia fuera del plano, para los cordones sometidos a compresión resulta más eficiente que el alma esté dispuesta en horizontal. Por otro lado, resulta más fácil conectar las correas al cordón superior si el alma del mismo está posicionada en vertical.

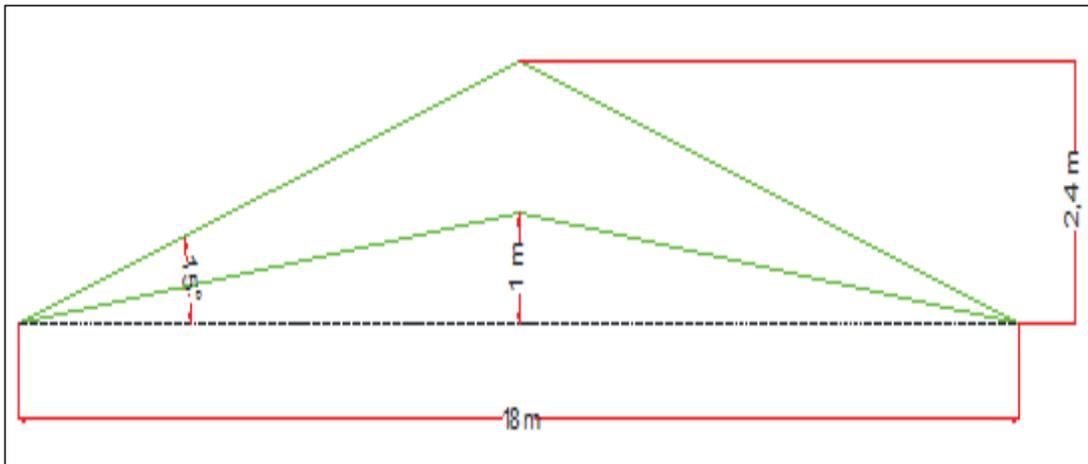
Podría ser una buena solución colocar el cordón superior con el alma en vertical, y el cordón inferior con el alma en horizontal. Otras soluciones posibles vienen dadas por el uso de perfiles tubulares para los cordones y/o para los elementos diagonales.

## CAPÍTULO IV: CÁLCULO Y DISEÑO

### 4.1. PARÁMETROS FUNCIONALES Y DE DISEÑO

Algunos parámetros estéticos que debe cumplir la estructura fueron definidos en el capítulo anterior, sin embargo existen parámetros funcionales que hay que tomar en cuenta antes de diseñar la estructura.

- La estructura ubicada en el Centro de Exposiciones Quito tiene como fin cubrir el área expuesta para realizar eventos, como ferias; que podrían requerir de una tarima para la organización del mismo, por lo cual es necesario que las columnas que conforman la estructura tengan una altura mínima de 3 m.
- Las columnas deben permitir que las tijeras deslicen a través de las mismas, por lo cual se ha considerado utilizar perfiles tipo “U” para las columnas y una pequeña guía de perfil tipo “G” unido a ellas con un tope en la parte inferior del mismo que limita el desplazamiento de las tijeras.
- Las vigas que van a utilizarse para cubrir el techo de la estructura van a soportar únicamente un peso ligero de cubierta, ya que ésta cubierta será una membrana que pueda plegarse con facilidad cuando la estructura se cierre, pero debido a que la luz que debe cubrir es relativamente grande se ha considerado realizar una celosía en el techo utilizando perfiles tipo “U” y ángulos “L” para las diagonales del mismo; además se pondrá arriostramiento en las columnas para evitar el pandeo lateral sin hacer una estructura muy pesada.
- La celosía que forma el techo de la cubierta tendrá una altura de 2.4 m ya que el ángulo óptimo para evitar el empozamiento de agua, granizo o ceniza es de 15° como se muestra en la figura 4.1.



**Figura 4. 1: Esquema del techo de la estructura.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

Únicamente el primer pórtico va a estar fijo, mientras los demás tienen libertad de desplazarse para abrir o cerrar la estructura, pero no de girar.

El primer pórtico por estar fijo debe tener una altura de 40 cm más que el resto de pórticos ya que bajo los pórticos móviles se colocará el mecanismo (de la misma altura) con sus respectivas ruedas.

Las tijeras serán diseñadas por los estudiantes encargados del movimiento de la estructura, por lo que se trabajará en conjunto para definir los perfiles adecuados que transmitan la fuerza del motor a los pórticos y permitan el desplazamiento de estos.

## 4.2. ANÁLISIS DE CASOS DE CARGAS

Se debe analizar los tipos de cargas que actúan sobre la estructura para asegurar el correcto funcionamiento de la misma, bajo todas las acciones que producen las cargas.

El Código Ecuatoriano de la Construcción CEC establecido por el Instituto Ecuatoriano de Normas INEN, permite seleccionar los tipos de carga y combinaciones que requiere una estructura para funcionar correctamente y resistir los esfuerzos y deflexiones producidos, para cumplir las exigencias

básicas, tanto de seguridad como de calidad, sin exceder la resistencia de diseño en los elementos que conforman la estructura; esta norma está basada en códigos y normas extranjeras que han sido establecidas a nivel internacional para que los diseñadores y calculistas adopten reglas y procedimientos adecuados que permitirán el análisis de las estructuras.

#### 4.2.1. COMBINACIONES DE CARGA

Una estructura debe diseñarse para resistir las combinaciones de: cargas permanentes, cargas variables y cargas accidentales, ya que producen un efecto global diferente que cuando se las analiza por separado y siempre existen al menos dos cargas que actúan de manera simultánea generando momentos, esfuerzos y deflexiones que indican la estabilidad de la estructura.

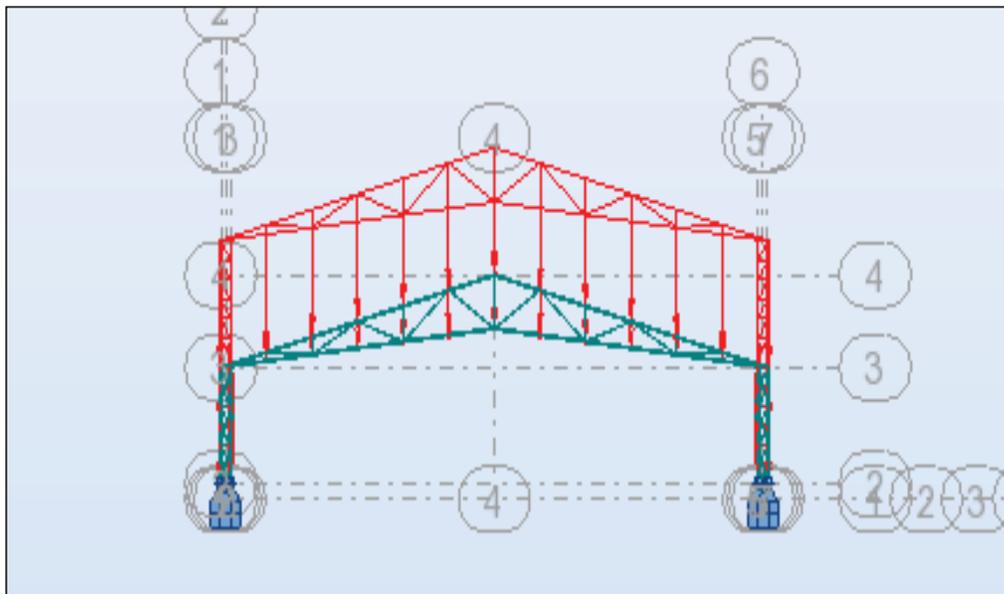
El método de diseño por resistencia última que se especifica en el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC permite establecer el comportamiento que podría causar inestabilidad en la estructura o parte de ella y es el adoptado para este proyecto; las combinaciones de carga que deben tomarse en cuenta son:

- a)  $1.4D$
- b)  $1.2D+1.6L+0.5(L_r;S;R)$
- c)  $1.2D+1.6(L_r;S;R)+(L;0.5W)$
- d)  $1.2D+1.0W+L+0.5(L_r;S;R)$
- e)  $1.2D+1.0E+L+0.2S$
- f)  $0.9D+1.0W$
- g)  $0.9D+1.0E$

Si,  $L_o \leq 4.8 \text{ kN/m}^2$  se puede considerar  $L = 0.5 \text{ kN/m}^2$  para las combinaciones c, d y e, excepto para estacionamientos y espacios de reuniones públicas.

Donde:

Carga permanente:	D
Carga de sismo:	E
Sobrecarga (carga viva):	L
Sobrecarga de cubierta (carga viva):	L <sub>r</sub>
Carga de granizo:	S
Carga de viento:	W



**Figura 4. 2: Cargas en la estructura**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

Las cargas muertas, cargas y sobrecargas de cubierta actúan como cargas verticales en la estructura; mientras las cargas de viento son cargas horizontales a la estructura que dependiendo de la dirección del viento producirán presión positiva (barlovento) o negativa (sotavento).

Debe tomarse en cuenta que para el correcto análisis de algunas estructuras es necesario considerar el efecto de cargas concentradas según requiera la estructura.

#### 4.2.2. CARGAS UTILIZADAS EN LA ESTRUCTURA

Existen tres tipos de cargas adoptadas por el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC, dentro de las cuales las cargas permanentes (carga muerta o peso de la estructura) estarán siempre presentes; dentro de las cargas variables se tiene la carga viva y carga viva de cubierta que hacen referencia al peso de personas, accesorios, muebles, entre otros; la carga estática del viento y carga de granizo son también cargas variables que deben considerarse en este análisis, y la carga sísmica es la carga accidental.

##### 4.2.2.1. Carga muerta

La carga muerta se refiere al peso total de la estructura, es decir, el peso de todos los perfiles que conforman la estructura y la membrana que actúa como cubierta de la misma.

El programa ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL realiza el cálculo de esta carga automáticamente.

##### 4.2.2.2. Carga viva

De acuerdo a la tabla proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, la carga viva que se debe considerar para la construcción de una estructura ligera (pórtico) cuya cubierta es una membrana ligera (lona) es de 0.24 kN/ m<sup>2</sup>.

OCUPACIÓN/USO	CARGA UNIFORME (kN/m <sup>2</sup> )	CARGA CONCENTRADA (kN)
<b>Almacenes de venta al por menor:</b>		
- Primer piso.	4.8	4.5
- Pisos superiores.	3.6	4.5
<b>Cubiertas planas, inclinadas y curvas:</b>		
- Cubiertas para áreas de paseo.	0.7	
- Cubiertas para jardinería o patios de reunión.	3.0	
- Cubiertas para propósitos especiales.	4.8	

<b>Toldos y carpas:</b> - Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera. - Todas las demás.	0.24 (no reduc)  1.0	
<b>Elementos principales expuestos a áreas de trabajo:</b> - Carga puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubiertas sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular. - Todos los otros usos. - Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores.		8.9  1.4 1.4

**Cuadro 4. 1: Extracto de cargas vivas uniformemente distribuidas y concentradas.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.2.2.3. Carga Viva de Techo

El Código Ecuatoriano de la Construcción CEC, proporciona valores más detallados que permiten determinar las cargas vivas en cubiertas de acuerdo a la inclinación con que se diseña el techo y dependiendo del área que ésta va a ocupar.

Ya que el ángulo óptimo de la cubierta es de 15°, es decir, con una pendiente de 0.27 y con flecha de 2.4 m, la carga viva de techo debe ser de 60 kg/m<sup>2</sup> como se muestra en el cuadro 4.1.

INCLINACIÓN DE LA CUBIERTA	ÁREA TRIBUTARIA DE CARGA EN METROS CUADRADOS PARA CUALQUIER ELEMENTO ESTRUCTURAL		
	0 a 20	21 a 60	Sobre 60
Plana o con pendiente menor que 1:3. Arco o bóveda con flecha menor de 1/8 de luz	100	80	60
Pendiente de 1:3 a menos de 1:1. Arco o bóveda con flecha de 1/8 de luz a menos de 3/8 de luz.	80	70	60

Pendiente de 1:1 y mayor. Arco o bóveda con flecha de 3/8 de luz o mayor.	60	60	60
Marquesinas, excepto cubiertas con tela.	25	25	25
Invernaderos y edificios agrícolas.	50	50	50

**Cuadro 4. 2: Cargas vivas para cubiertas en kg/m<sup>2</sup>.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.2.2.4. Carga de viento

Para la determinación de las cargas de viento se ha utilizado el Código Modelo de Construcción para Cargas de Viento de la Asociación de Estados del Caribe, que proporciona información más detallada de las cargas de viento que ocurren en una estructura del tipo pórtico, se ha recurrido a este código porque se requiere un análisis más detallado de la carga de viento, puesto que la estructura va a estar en constante movimiento y ésta carga variable siempre va a estar presente en la estructura.

El objetivo de éste código es reducir riesgos o pérdidas causadas por desastres naturales ya que el Caribe se encuentra constantemente sometido a desastres naturales, con lo que se pretende construir edificaciones seguras mediante la mejora de los códigos internacionales actuales.

##### 4.2.2.4.1. Cálculo de presión de la velocidad del viento

$$q_z = 0.613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I \quad N/m^2$$

$$q_h = 0.613 * K_h * K_{ht} * K_d * V^2 * I \quad N/m^2$$

Donde:

$q_z$  = Evaluada a una altura z.

$q_h$  = Evaluada a una altura h.

#### 4.2.2.4.2. Cálculo del coeficiente de presión dinámica

Considerando la categoría de exposición c:

$$K_z = 2.01 * \left( \frac{z_i}{z_g} \right)^{2/\alpha} ; \quad K_{z\text{mín}} \leq K_z \leq 2.01$$

Donde:

$z_i$  = Altura sobre el nivel del terreno en la base de la estructura.

$z_g, K_{z\text{mín}}, \alpha$  = Están tabulados en la tabla 4.2.

$$z_i = 5.4 \text{ m}$$

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	$z_g$ (m)	A	$K_{z\text{mín}}$	$K_e$
B	366	7	0.7	0.9
C	274	9.5	0.85	1
D	213	11.5	1.03	1.1

Tabla 4. 1: Coeficientes según la categoría de exposición.

FUENTE: ANSI.

$$K_z = 2.01 * \left( \frac{z_i}{z_g} \right)^{2/\alpha}$$

$$K_z = 2.01 * \left( \frac{5.4}{274} \right)^{2/9.5}$$

$$K_z = 0.879$$

$$K_{z\text{mín}} \leq K_z \leq 2.01$$

$$0.85 \leq 0.879 \leq 2.01$$

#### 4.2.2.4.3. Cálculo del factor topográfico

Considerando la categoría topográfica 1:

$$K_{zt} = 1 + \left( \frac{K_e * K_t}{K_h} \right)^{2/\alpha}$$

$$K_h = e^{f*z/H}$$

$K_h$  = Factor de reducción dependiente de la altura.

$K_e$  = Constante del terreno indicada en la tabla 4.2.

$K_t$  = Constante del terreno indicada en la tabla 4.3.

$e$  = Base de los logaritmos naturales 2.718.

$f$  = Factor de atenuación dependiente de la altura indicado en la tabla 4.3.

$z$  = Altura sobre el nivel del terreno en la basa de la estructura.

$H$  = Altura de la cresta sobre el terreno circundante.

$K_{zt}$  = Su valor es 1 para la categoría topográfica 1.

CATEGORÍA TOPOGRÁFICA	$K_t$	$f$
2	0.43	1.25
3	0.53	2
4	0.72	1.5

Tabla 4. 2: Coeficientes de categoría topográfica.

FUENTE: ANSI.

Donde por ser categoría topográfica 1:

$$K_{zt} = 1$$

#### 4.2.2.4.4. Determinación de la presión dinámica

$$q_z = 0,613 * K_z * K_{zt} * K_d * V_d^2 * I \quad N/m^2$$

$q_z$  = Evaluada a una altura  $z$ .

$K_z$  = Coeficiente de presión dinámica.

$K_{zt}$  = Factor topográfico.

$K_d$  = Factor de probabilidad de la dirección del viento.

$V_d$  = Velocidad básica del viento para la condición de carga investigada, m/s.

$I$  = Factor de importancia de acuerdo con la tabla 4.5 y 4.6.

TIPO DE ESTRUCTURA	FACTOR DE PROBABILIDAD DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO, $K_d$
Estructuras de celosía con secciones transversales, triangulares, cuadradas o rectangulares, incluyendo accesorios.	0.85
Estructuras tubulares tipo monoposte; estructuras de celosía con secciones transversales que no sean triangulares, cuadradas ni rectangulares; diseño por resistencia de los accesorios.	0.95

**Tabla 4. 3: Factor de probabilidad de la dirección del viento.**  
FUENTE: ANSI.

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	CLASE
Estructura que, debido a su altura, uso o ubicación en caso de falla representan un riesgo bajo en términos de seguridad de las personas y/o estructuras utilizadas para servicios opcionales y/o en las cuales una demora en el restablecimiento de servicios sería aceptable.	I
Estructura que, debido a su altura, uso o ubicación en caso de falla representan un riesgo considerable en términos de seguridad de las personas y/o daños a la propiedad, y/o estructuras que se utilizan para servicios que se pueden presentar por otros medios.	II
Estructura que, debido a su altura, uso o ubicación en caso de falla representan un riesgo elevado en términos de seguridad de las personas y/o daños a la propiedad, y/o estructuras que se utilizan principalmente para comunicaciones esenciales.	III

**Cuadro 4. 3: Clasificación de las estructuras.**  
FUENTE: ANSI.

CLASE DE LA ESTRUCTURA	CARGA DE VIENTO SIN HIELO	CARGA DE VIENTO CON HIELO	ESPESOR DE HIELO	SISMO
I	0.87	N/A	N/A	N/A
II	1	1	1	1
III	1.15	1	1.25	1.5

**Nota: las cargas de hielo y las cargas sísmicas no se aplican a las estructuras de clase I.**

**Tabla 4. 4: Factores de importancia.**  
FUENTE: ANSI.

$$q_z = 0.613 * K_z * K_{zt} * K_d * V_d^2 * I$$

$$q_z = (0.613)(0.879)(1)(0.85)(13.89)^2(0.87)$$

$$q_z = 75.88 \text{ N/m}^2$$

#### 4.2.2.4.5. Determinación del período de vibración

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

$h_n$  = Altura máxima de la edificación, medida desde la base de la estructura en metros.

Para estructuras de acero sin arriostramientos:  $C_t = 0.072$  y  $\alpha = 0.8$

Para estructuras de acero con arriostramientos:  $C_t = 0.073$  y  $\alpha = 0.75$

Se toma el valor de estructuras con arriostramientos.

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

$$T = (0.073)(5.5)^{0.75}$$

$$T = 0.26 \text{ s}$$

#### 4.2.2.4.6. Cargas de viento de diseño sobre edificaciones abiertas y otras estructuras

$$F = q_z * G * C_f * A_f$$

$A_{og}$  = Área total de aberturas en la envoltura de la edificación en  $m^2$  (pies<sup>2</sup>).

$A_o$  = Área total de aberturas en un muro que recibe presión externa positiva en  $m^2$  (pies<sup>2</sup>).

$A_{oi}$  = La suma de las áreas de aberturas en la envoltura de la edificación (muros y techo) no incluyendo  $A_o$ , en  $m^2$  (pies<sup>2</sup>).

$A_{gi}$  = La suma de las áreas de superficie brutas de la envoltura de la edificación (muros y techo) no incluyendo  $A_g$ , en  $m^2$  (pies<sup>2</sup>).

$A_g$  = El área bruta del muro en el cual  $A_o$  está identificado, en  $m^2$  (pies<sup>2</sup>).

$$A_{og} = A_o$$

$$A_{oi} = 0$$

$$A_g = (3)(18) + \left( \frac{(18)(2.4)}{2} \right) = 75.6 \text{ m}^2$$

$$A_o = (3)(18) = 54 \text{ m}^2$$

$$A_{gi} = (3)(25.94)(2) + (75.6) + (25.94)(9.31)(2) = 714.24 \text{ m}^2$$

Para que sea una edificación abierta se debe cumplir:

$$A_o \geq 0.8 * A_g$$

$$A_o \geq 0.8 * A_g$$

$$54 \geq (0.8)(75.6)$$

$$54 \geq 60.48 \text{ falso}$$

**Por lo tanto no es una edificación abierta.**

Para que sea una edificación parcialmente cerrada se debe cumplir:

$$A_o \geq 1.1 * A_{oi}$$

$$A_o \geq 0.37$$

$$A_o \geq 0.01 * A_g$$

$$\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.2$$

$$A_o \geq 1.1 * A_{oi}$$

$$54 \geq (1.1)(0)$$

$$54 \geq 0 \text{ verdadero}$$

$$A_o \geq 0.37$$

$$54 \geq 0.37$$

$$54 \geq 0.37 \text{ verdadero}$$

$$A_o \geq 0.01 * A_g$$

$$54 \geq (0.01)(75.6)$$

$$54 \geq 0.756 \text{ verdadero}$$

$$\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.2$$

$$\frac{0}{714.24} \leq 0.2$$

$$0 \leq 0.2 \quad \text{verdadero}$$

**Por lo tanto es una edificación parcialmente cerrada y baja (< 18 m).**

#### **4.2.2.4.7. Cargas de viento de diseño sobre edificaciones cerradas y parcialmente cerradas**

##### **Convenio de signos**

La presión positiva actúa hacia la superficie y la presión negativa actúa alejándose de la superficie.

##### **Condición de carga crítica**

Los valores de las presiones externas e internas serán combinados algebraicamente para determinar la carga más crítica.

##### **Áreas tributarias mayores que 65 m<sup>2</sup>**

Se permitirá el diseño de elementos, componente y revestimiento con áreas tributarias mayores que 65 m<sup>2</sup> (700 pies<sup>2</sup>), utilizando las provisiones para sistemas principales resistentes a fuerza de viento.

##### **Edificaciones bajas**

Alternativamente las presiones del viento de diseño para el sistema principal resistente a fuerza de viento de edificaciones bajas serán determinadas por la siguiente ecuación:

$$q = q_h [(G * C_{pf}) - (G * C_{pi})] N/m^2$$

CLASIFICACIÓN DE ENCERRAMIENTO	G*C <sub>pi</sub>
Edificaciones abiertas	0
Edificaciones parcialmente cerradas	+0.05 -0.55
Edificaciones cerradas	+0.18 -0.18

**Tabla 4. 5: Factores de importancia.**  
**FUENTE:** ANSI.

ÁNGULO	SUPERFICIE DE LA EDIFICACIÓN									
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E
5	0.4	-0.69	-0.37	-0.29	-0.45	-0.45	0.61	-1.07	-0.53	-0.43
15	0.49	-0.69	-0.44	-0.38	-0.45	-0.45	0.74	-1.07	-0.64	-0.57
20	0.53	-0.69	-0.48	-0.43	-0.45	-0.45	0.8	-1.07	-0.69	-0.64

**Tabla 4. 6: Cargas de viento en los diferentes ángulos de la estructura.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

$$q = q_h [(G * C_{pf}) - (G * C_{pi})]$$

$$q = q_h [(G * C_{pf}) - (G * C_{pi})]$$

$$q = q_h [(G * C_{pf}) - (G * C_{pi})]$$

$$q_1 = (75.88)[(0.49) - (0.05)] = 33.39 N/m^2$$

$$q_1 = (75.88)[(0.49) + (0.55)] = 78.92 N/m^2$$

$$q_2 = (75.88)[(-0.69) - (0.05)] = -56.15 N/m^2$$

$$q_2 = (75.88)[(-0.69) + (0.55)] = -10.62 N/m^2$$

$$q_3 = (75.88)[(-0.44) - (0.05)] = -37.18 N/m^2$$

$$q_3 = (75.88)[(-0.44) + (0.55)] = 8.35 N/m^2$$

$$q_4 = (75.88)[(-0.38) - (0.05)] = -32.63 N/m^2$$

$$q_4 = (75.88)[(-0.38) + (0.55)] = 12.9 N/m^2$$

Donde  $q_1 = 78.92 N/m^2$  es la carga máxima a Barlovento y  $q_2 = -56.15 N/m^2$  es la carga máxima a sotavento.

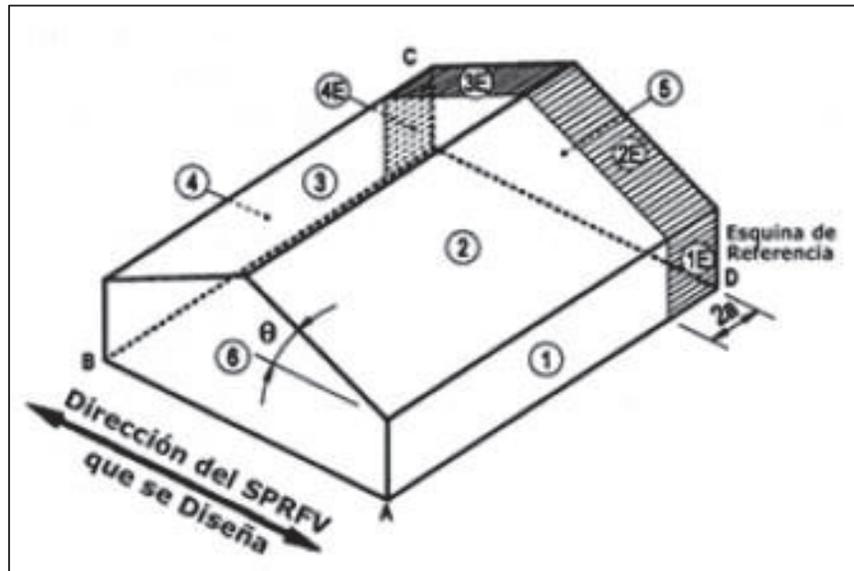


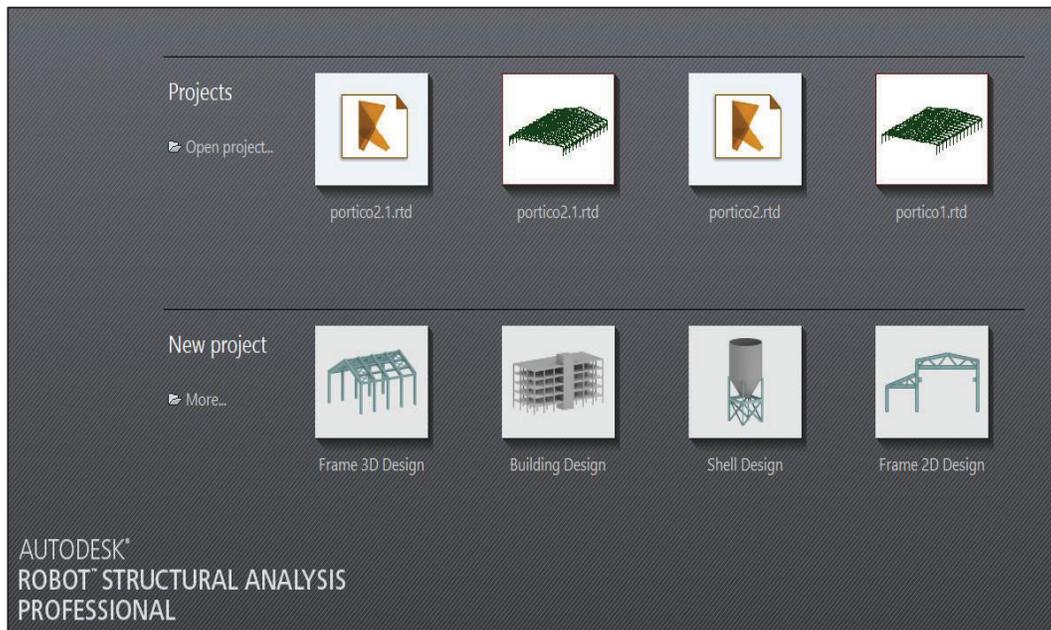
Figura 4. 3: Cargas de viento en diferentes ángulos de la estructura.  
FUENTE: AISC.

### 4.3. APLICACIÓN DEL PAQUETE COMPUTACIONAL ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL

Este paquete proporciona herramientas avanzadas para el cálculo y simulación de estructuras ya sean grandes o complejas al ofrecer la generación automática de mallas para el desarrollo de estructuras y permitiendo simular cargas y combinaciones de cargas según el método de análisis escogido, además cuenta con el soporte de códigos y materiales estructurales que hacen más efectivo el análisis.

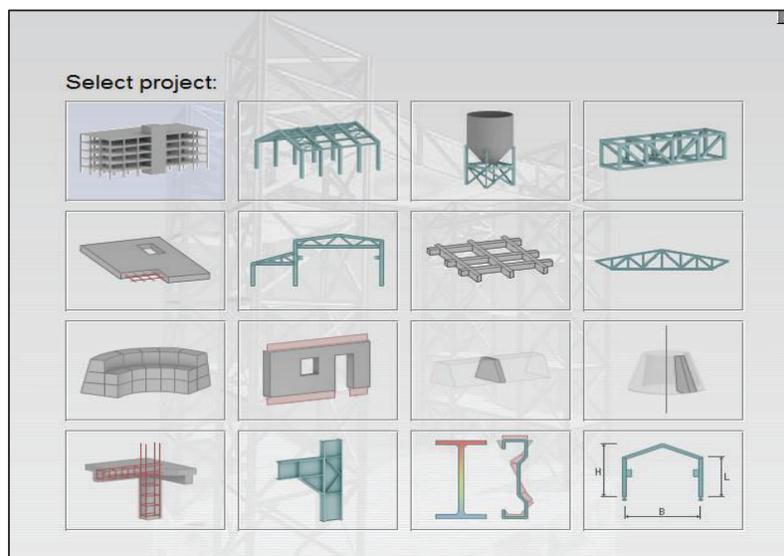
#### 4.3.1. CREACIÓN DE UN NUEVO MODELO

El programa da la opción de escoger proyectos que ya han sido creados anteriormente para trabajar en ellos, o crear un nuevo modelo de acuerdo a las características que requiere la estructura como se indica en la figura 4.4.



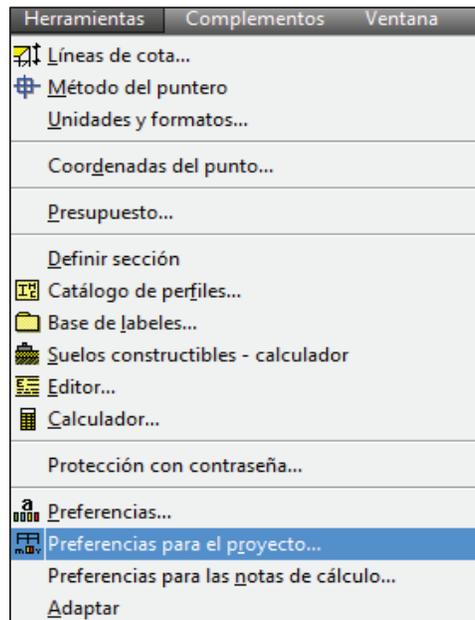
**Figura 4. 4: Robot Structural Analysis Professional.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

Los proyectos que pueden crearse son varios, desde pórticos en 2D, pórticos en 3D, creación de estructuras volumétricas, torres, definición de perfiles, hasta el diseño de edificios. Para diseñar la estructura tipo pórtico que es objeto de estudio se procederá a elegir el pórtico en 3D.



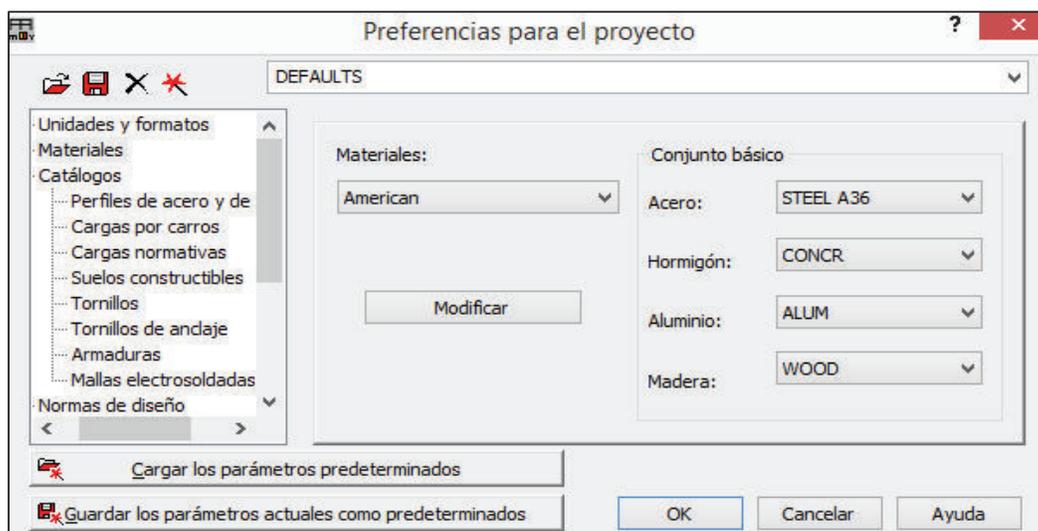
**Figura 4. 5: Selección del proyecto.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

Primeramente, deben definirse las preferencias para el proyecto, es decir, las unidades en que se va a trabajar, los materiales de los perfiles, los catálogos adecuados para perfiles, cargas, tornillos y elementos de la estructura, el tipo de análisis de la estructura y parámetros de trabajo; esta selección se la realiza en la barra de “herramientas”.



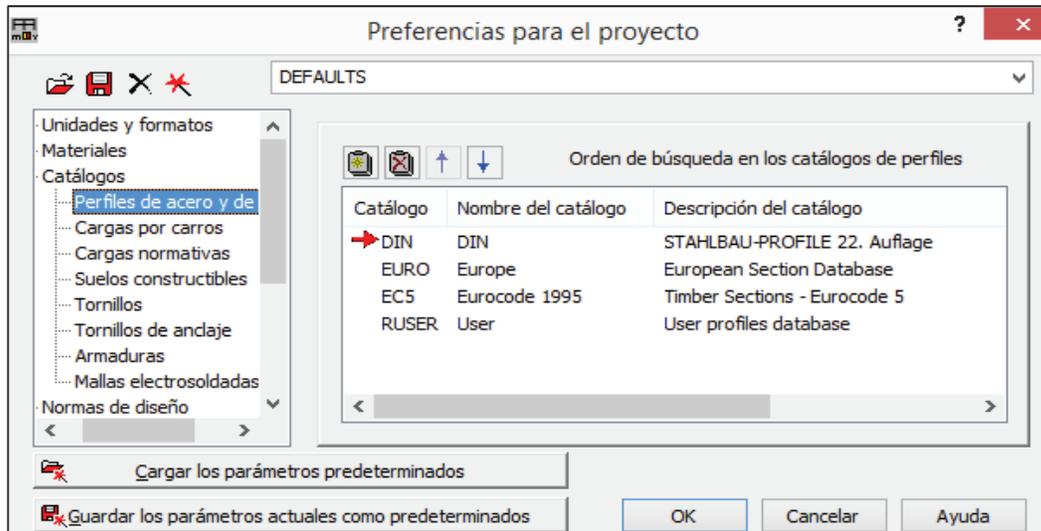
**Figura 4. 6: Barra de herramientas.**  
FUENTE: Elaboración propia.

El material de los perfiles es el acero A-36, para esta estructura no se utilizará concreto, ni aluminio, ni madera.



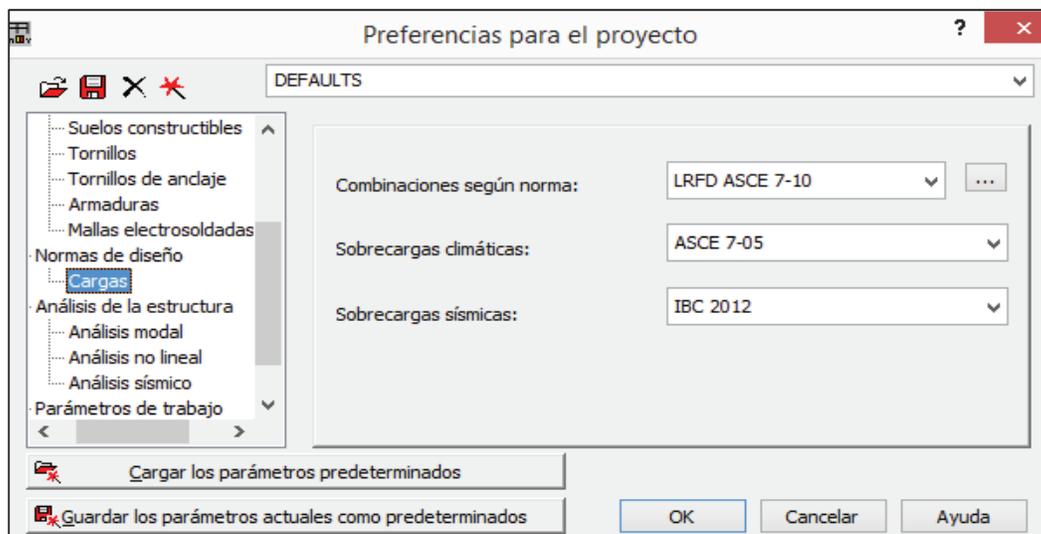
**Figura 4. 7: Preferencias.**  
FUENTE: Elaboración propia.

Los catálogos para perfiles de acero se han definido bajo la Norma DIN, ya que en Ecuador los perfiles están normalizados bajo esta norma.



**Figura 4. 8: Preferencias.**  
FUENTE: Elaboración propia.

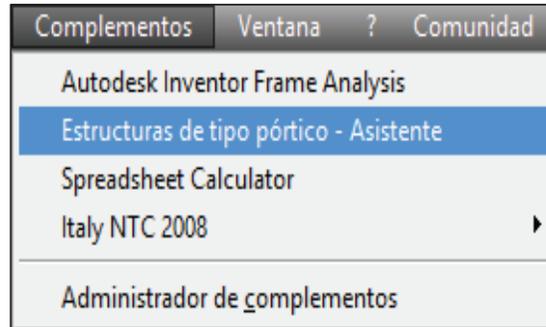
Las combinaciones de carga, como ya se definió, serán realizadas por el método de la resistencia última LRFD, además el programa cuenta con varias normas para cargas climáticas y sobrecargas de sismo, de las cuales se ha escogido la ASCE e IBC respectivamente.



**Figura 4. 9: Preferencias.**  
FUENTE: Elaboración propia.

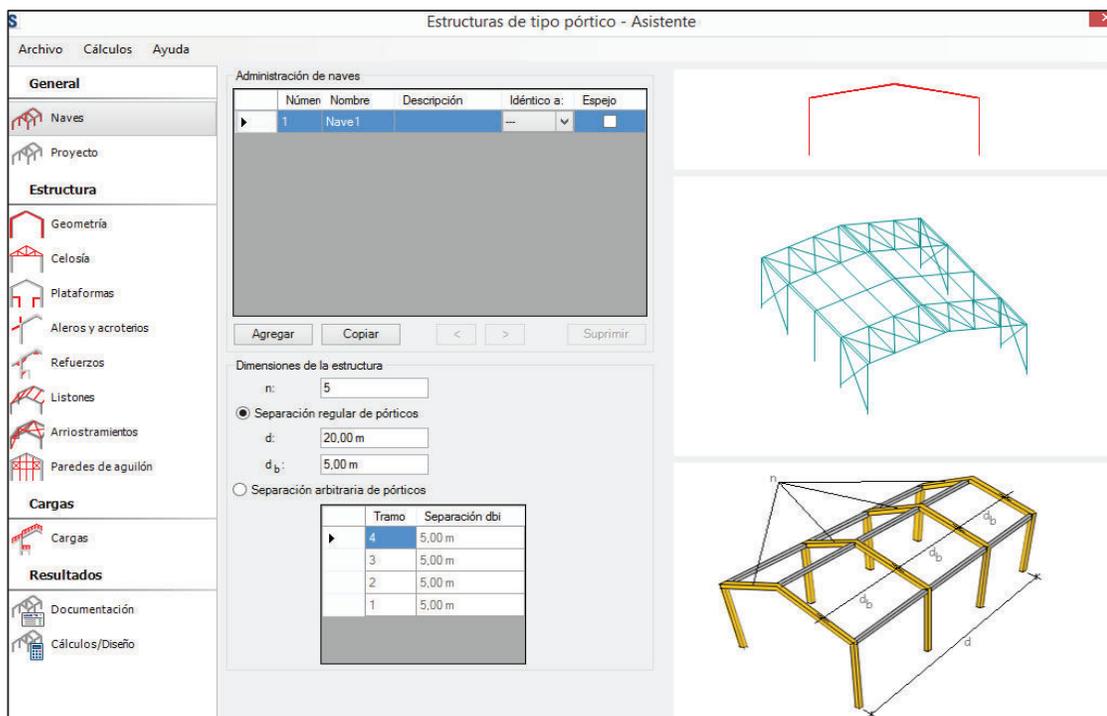
### 4.3.2. GENERACIÓN DE LA ESTRUCTURA TIPO PÓRTICO RETRÁCTIL

Se puede definir las características del pórtico en la barra Complementos y eligiendo la opción Estructuras de tipo pórtico – Asistente.



**Figura 4. 10: Complementos.**  
FUENTE: Elaboración propia.

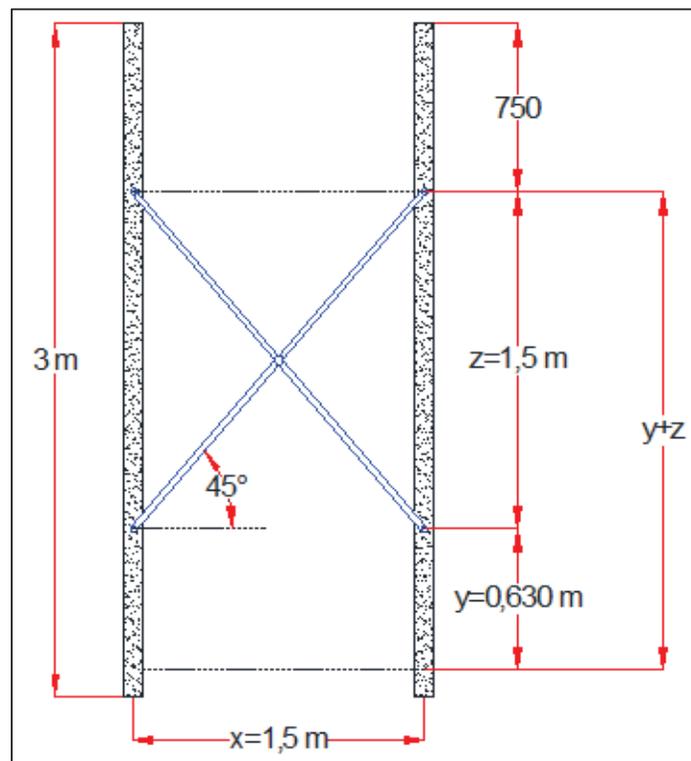
La primera opción, naves, permite introducir los primeros datos para darle forma a la estructura, donde “n” será el número de pórticos que conforman la estructura, “d” es la distancia que va a cubrir dicha estructura, y “d<sub>b</sub>” es la distancia de separación de los pórticos que en este caso se tomará el mismo espaciamiento entre todos los pórticos.



**Figura 4. 11: Estructuras tipo pórtico.**  
FUENTE: Elaboración propia.

Antes de ingresar estos datos es necesario tener en cuenta que la estructura no puede tener una altura excesiva, ya que es de uso exclusivo para eventos, por lo que se considera que las columnas tengan un alto de 3 m, suficiente para armar una tarima si fuese necesario y no tener inconvenientes de desplazamiento a través de la misma como se definió anteriormente en los parámetros funcionales y de diseño.

Las tijeras que van a ayudar al desplazamiento de los pórticos fueron un dato proporcionado por los estudiantes encargados del movimiento automático de la estructura, para lo cual se sugirió colocar el apoyo fijo de las tijeras a 0.75 m del extremo superior y un tope a 0.12 m del extremo inferior; el ángulo para la máxima apertura de las tijeras es de  $45^\circ$  pretendiendo que se abran 1.5 m como se muestra en la figura 4.12.



**Figura 4. 12: Separación de las tijeras máxima.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

Donde:

$\mu_{\min}$  = Ángulo mínimo de apertura para la apertura máxima de las tijeras.

$x$  = Distancia máxima de apertura entre pórticos.

$z$  = Desplazamiento de las tijeras a lo largo de las columnas.

$L$  = Longitud de las tijeras.

$x'$  = Distancia mínima de apertura entre pórticos.

$$z = \tan \mu * x$$

$$z = \tan 45^\circ * 1500 \text{ mm}$$

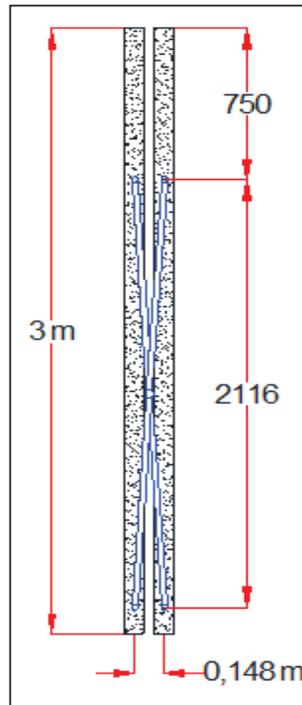
$$z = 1500 \text{ mm} = 1.5 \text{ m}$$

$$L = \frac{1500 \text{ mm}}{\text{sen } 45^\circ}$$

$$L = 2121 \text{ mm} = 2.121 \text{ m}$$

Ya que la distancia máxima de separación de los pórticos es de 1.5 m se obtiene la longitud de los perfiles de tijera  $L = 1.12 \text{ m}$  y en dicha posición la separación entre apoyos de la tijera será  $z = 1.5 \text{ m}$ .

Para determinar la posición que van a ocupar los pórticos cuando la estructura se cierre al máximo se calcula la distancia mínima de separación para un ángulo de  $86^\circ$  y teniendo en cuenta que la máxima distancia entre apoyos de la tijera es de  $z = 2.116 \text{ m}$  como se indica en la figura 4.13.



**Figura 4. 13: Separación de las tijeras mínima.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

$$z + y = \sin 86^\circ * L$$

$$z + y = \sin 86^\circ * 2121$$

$$z + y = 2116 \text{ mm} = 2.116 \text{ m}$$

$$y = 617 \text{ mm} = 0.616 \text{ m}$$

$$x' = \frac{y + z}{\tan 86^\circ}$$

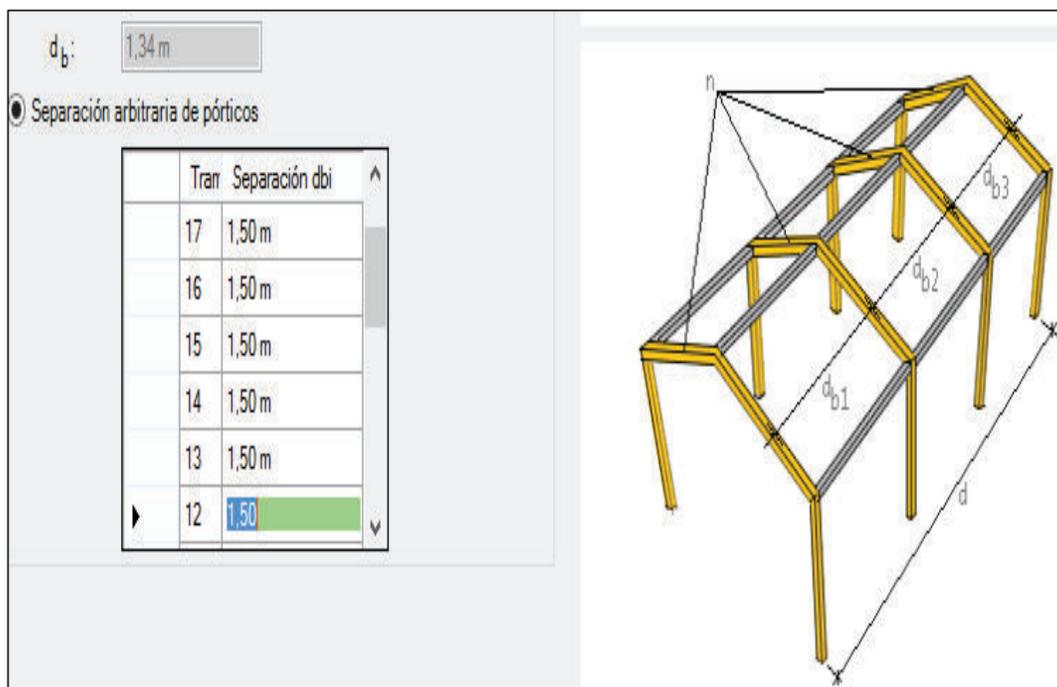
$$x' = \frac{2116}{\tan 86^\circ}$$

$$x' = 148.03 \text{ mm} = 0.148 \text{ m}$$

Las tijeras van a sujetarse a 0.75 m del extremo superior de la columna, donde se colocará una placa del mismo espesor de los perfiles tipo “G” que se ubican a 0.72 m del extremo inferior ya que el desplazamiento que van a tener las tijeras es de 0.617 m dejando 0.12 m en la parte inferior libres de perfil “G”; se colocará un tope en el borde inferior del perfil “G” para evitar que las tijeras se descarrilen del mismo; entonces se dispone de 2.116 m para que las tijeras se cierren al

máximo, quedando los pórticos separados a 0.15 m cuando la estructura está cerrada.

Como ya se definió en el capítulo 2, las dimensiones aproximadas del terreno donde se construirá la estructura son 30 m x 20 m, se tomará una luz de 18 m y el largo que se pretende cubrir es de 26 m aproximadamente, entonces son necesarios 17 pórticos distanciados a 1.5 m de los cuales se ubicarán 3 pórticos dobles, situados uno al principio de la estructura ya que éste recibe directamente la fuerza del motor que impulsa el movimiento, el segundo en la mitad de la estructura para brindarle estabilidad cuando deba abrirse o cerrarse y el tercero al final de la estructura que debe recibir a todos los pórticos que se trasladan, los 14 pórticos restantes son pórticos simples que se unen entre sí mediante las tijeras, con esto se logrará cubrir un largo de 25.5 m figura 4.14.

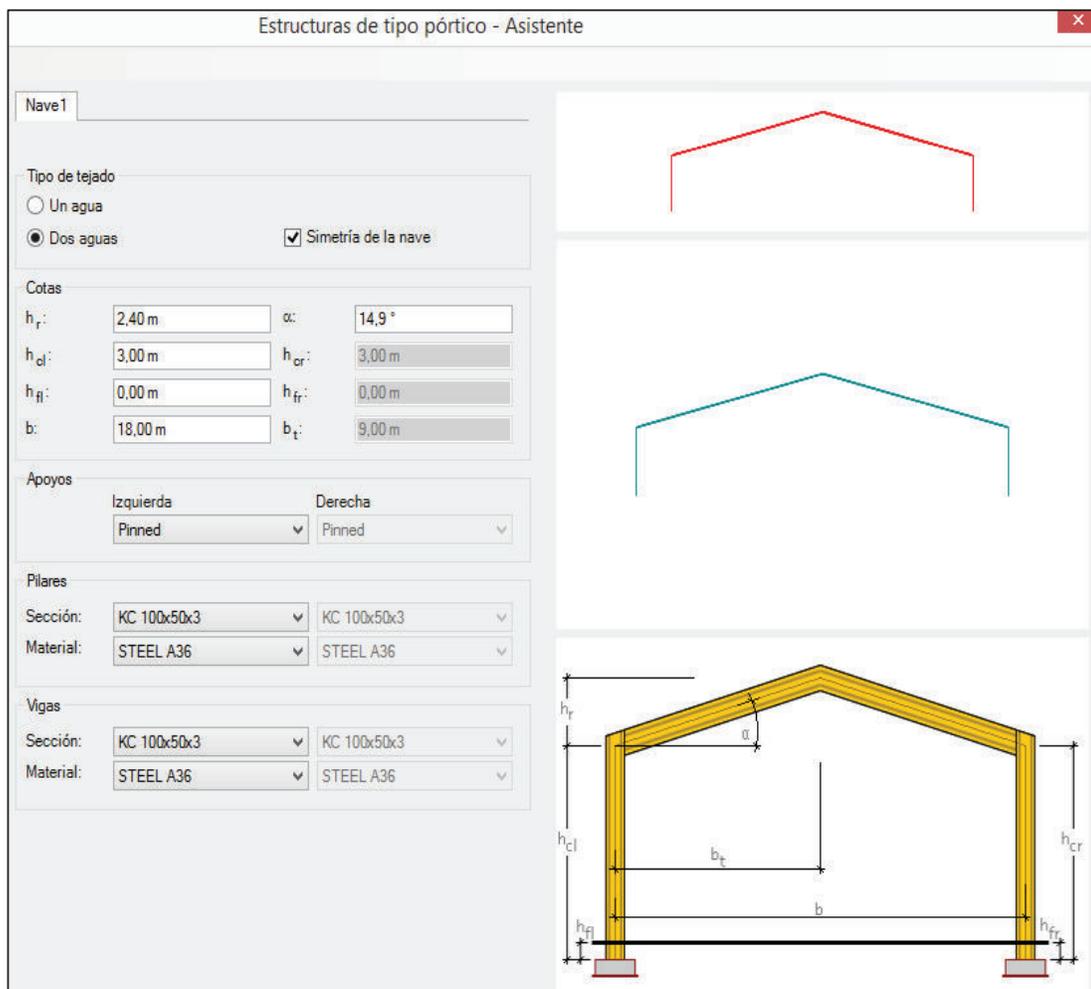


**Figura 4. 14: Pórticos y separación.**  
FUENTE: Elaboración propia.

Para la forma de la estructura se elige la opción tipo de tejado a dos aguas y también simetría de la nave ya que la estructura debe guardar simetría para facilitar su movimiento.

Como ya se definió previamente, la luz que se va a cubrir es  $b = 18 \text{ m}$ , el ángulo óptimo en el techo es de  $15^\circ$  y por lo tanto la altura  $h_r$  del techo es de  $2.4 \text{ m}$ . Además se define la altura de la columna  $h_{cl} = 3 \text{ m}$  y  $h_{fi} = 0 \text{ m}$  a la cual se coloca el entramado lateral (cruces de San Andrés) en los pórticos dobles ya que soportan cargas horizontales es decir las cargas de viento.

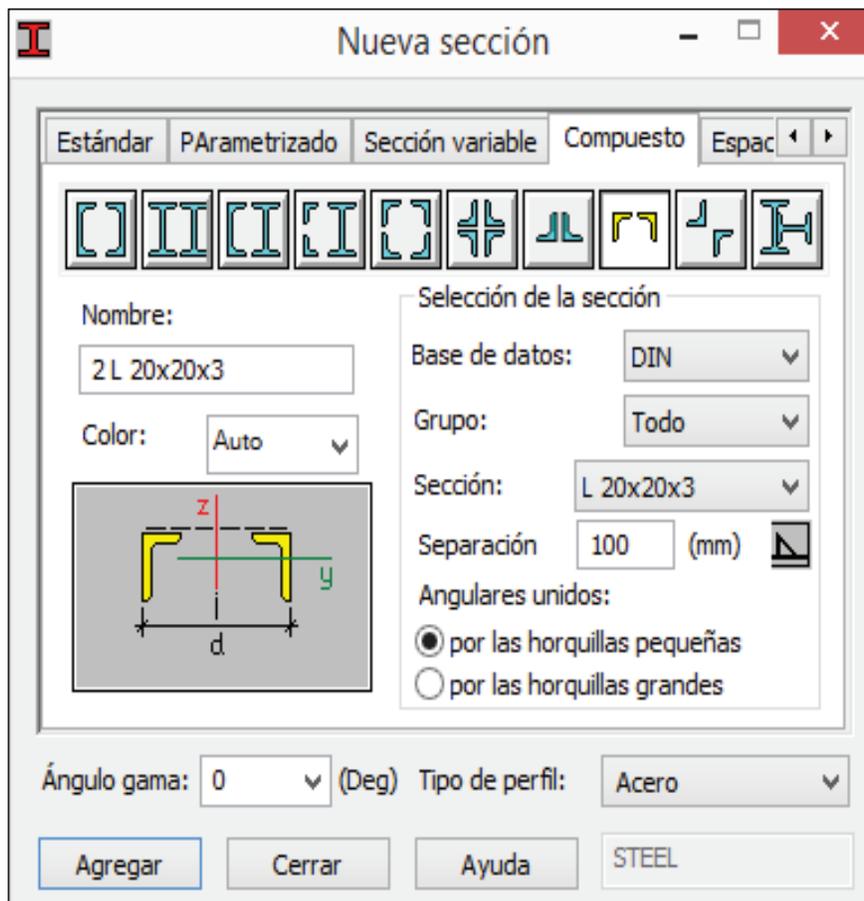
Todos los pórticos van a considerarse como clavados (pinned) para el cálculo de la estructura, excepto el último que estará fijo, los perfiles que van a utilizarse para columnas (columns) y vigas (beams) pueden seleccionarse de acuerdo a la norma con la que se está diseñando y los materiales que se desea utilizar como se muestra en la figura 4.15.



**Figura 4. 15: Pórticos dimensiones.**  
FUENTE: Elaboración propia.

Ya que los perfiles que se requiere para el diseño deben ser comerciales en el mercado nacional, es necesario consultar previamente con los catálogos de empresas nacionales, se recurrió a IPAC para obtener las dimensiones de los perfiles tipo “G”, tipo “U”, tipo “L” y los tubos cuadrados y rectangulares como se muestra en el ANEXO A.

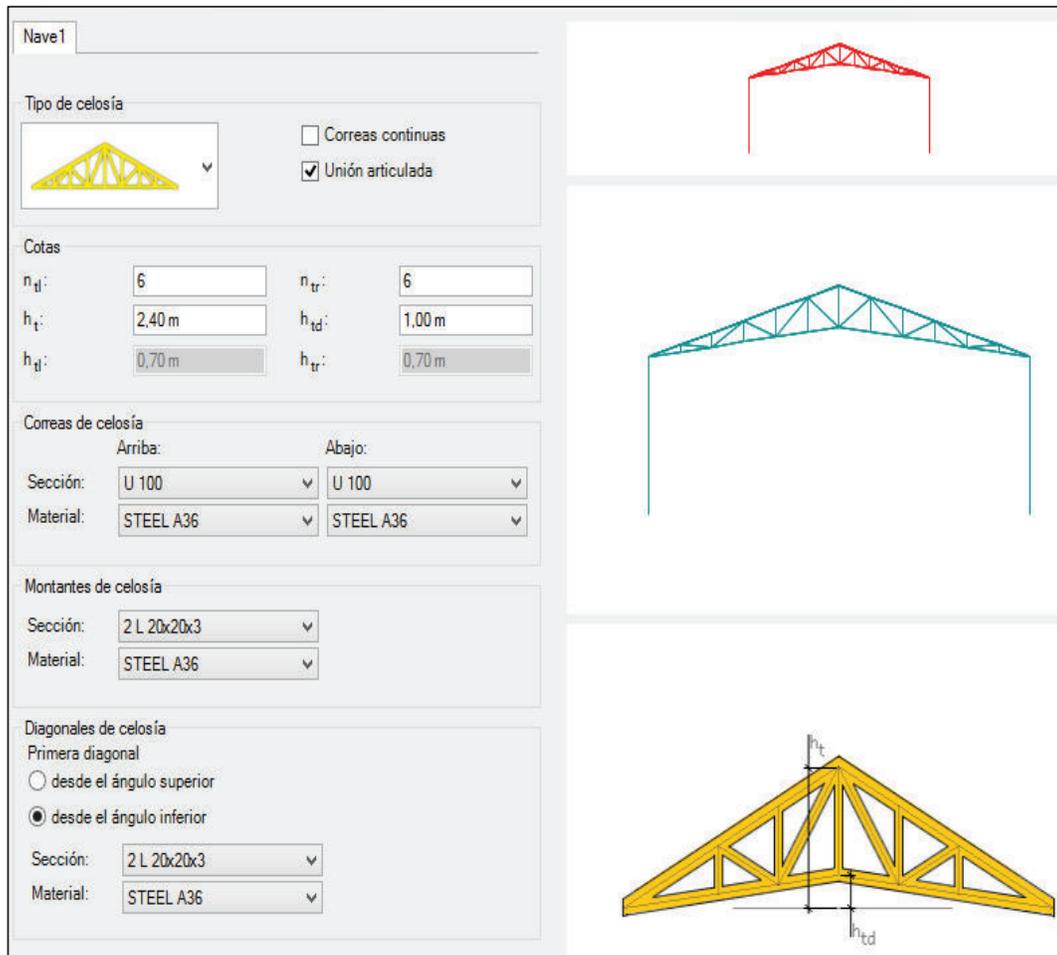
Para ingresar un nuevo perfil se elige en la base de datos (database) el código o norma con el que se va a trabajar, para esta estructura se trabajará con la Norma DIN, luego se selecciona la familia del perfil que se desea ingresar donde se puede escoger las dimensiones del perfil dentro de una lista predefinida, o crear un perfil de dimensiones específicas, e incluso crear perfiles compuestos.



**Figura 4. 16: Selección de los perfiles.**  
FUENTE: Elaboración propia.

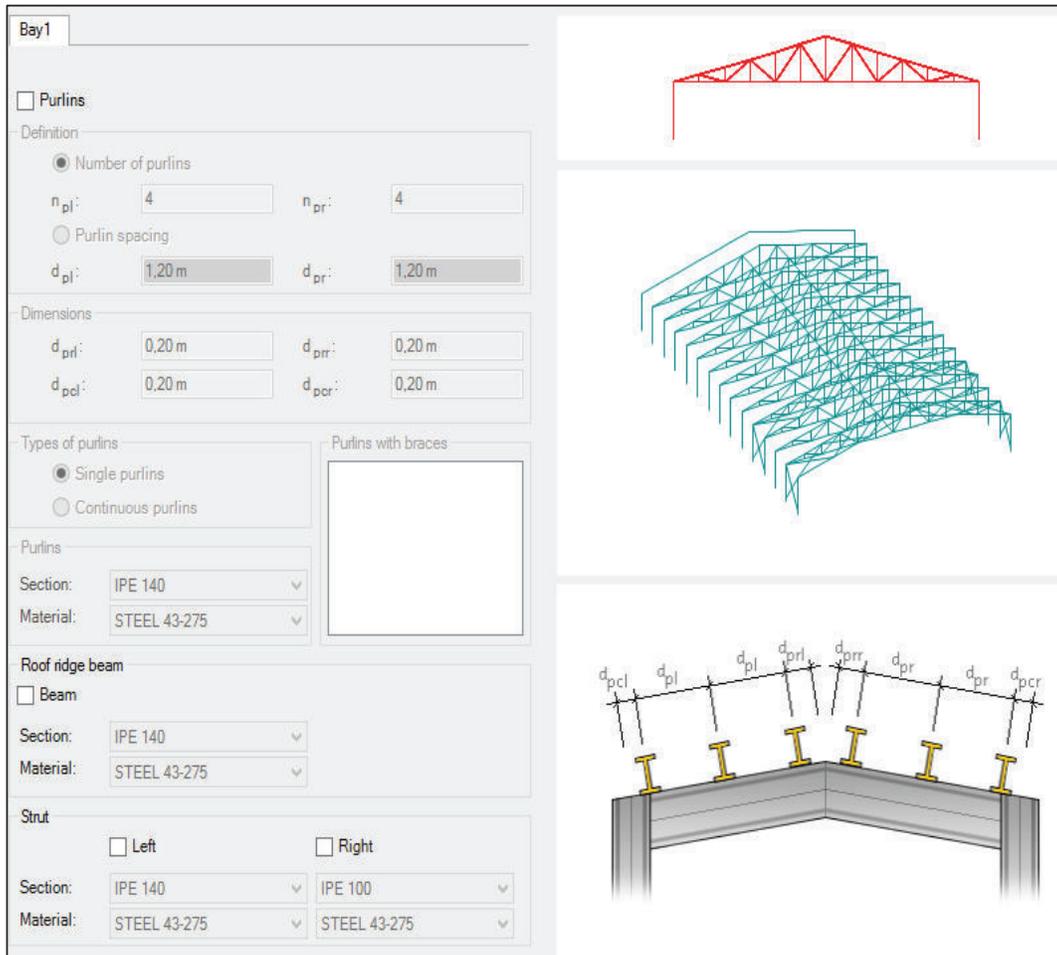
Para generar la celosía del techo se define la cantidad de diagonales y montantes que van a conformar la celosía, para lograr que la celosía resista las

fuerzas o pesos requeridos, es indispensable que las diagonales que van a ubicarse formen un ángulo entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$  como se definió en el capítulo 3, en este caso se colocarán 6 montantes y 6 diagonales en la celosía las cuales forman un ángulo aproximado de  $35^\circ$ , el perfil con que se va a trabajar es “L 20X20X3”, mientras las correas superior e inferior de la celosía serán de perfil “U 100”, éste techo tiene un alto  $h = 2.4$  m y una elevación  $h_{tl} = 1$  m.



**Figura 4. 17: Celosía del techo.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

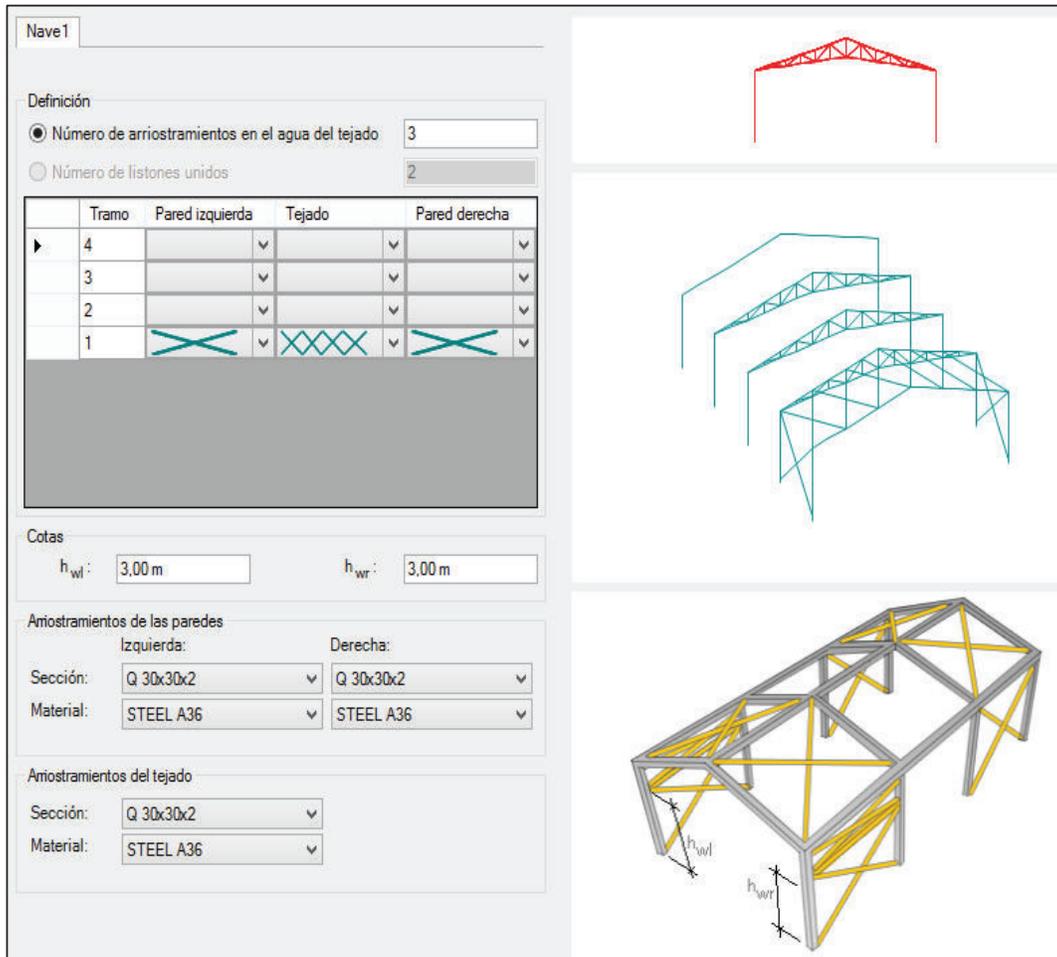
Los listones no son necesarios en esta estructura puesto que la estructura no es fija y este elemento impediría su desplazamiento, por tanto se debe asegurar de desactivar esta opción.



**Figura 4. 18: Celosía del techo.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

La opción de arriostramientos se utilizará únicamente para los pórticos dobles tanto en el techo como en las paredes laterales para disminuir el efecto de la carga de viento sobre los pórticos, para lo cual se selecciona la cantidad de cruces de San Andrés que se ubicarán en cada agua del techo.

Los perfiles utilizados para todos los arriostramientos colocados son perfiles cuadrados "Q 30x30x2".



**Figura 4. 19: Arriostros.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

Se define también el tipo de arriostro de techo y paredes en el tramo correspondiente a los pórticos dobles, donde  $h_{wt}$  y  $h_{wl}$  es la distancia en que se ubicarán estas cruces de pared (3 m para la presente estructura).

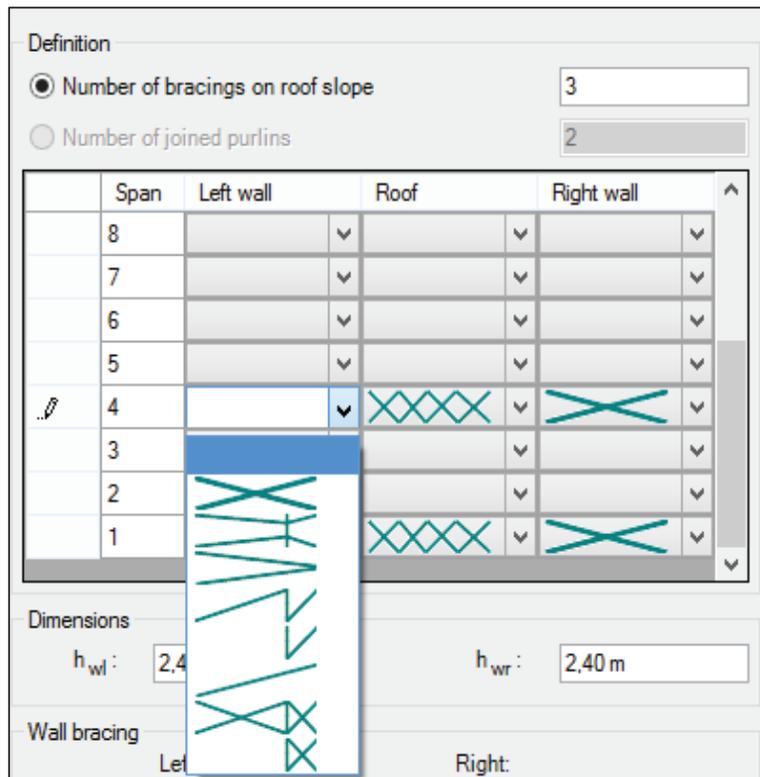


Figura 4. 20: Detalle de los tipos de arriostamiento que ofrece el programa.

FUENTE: Elaboración propia.

Luego se envía la estructura a calcular los pórticos creados, donde se anunciará que la estructura está disyunta porque no se han colocado aún las tijeras y perfiles “G” para su desplazamiento.

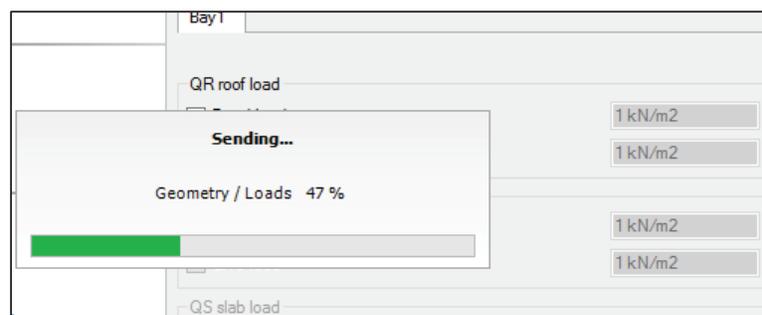


Figura 4. 21: Comprobación.

FUENTE: Elaboración propia.

Ya que las columnas deben soportar un gran peso y transmitir fuerza hasta cerrarse o abrirse completamente, se van a utilizar dos perfiles en U arriostrados.

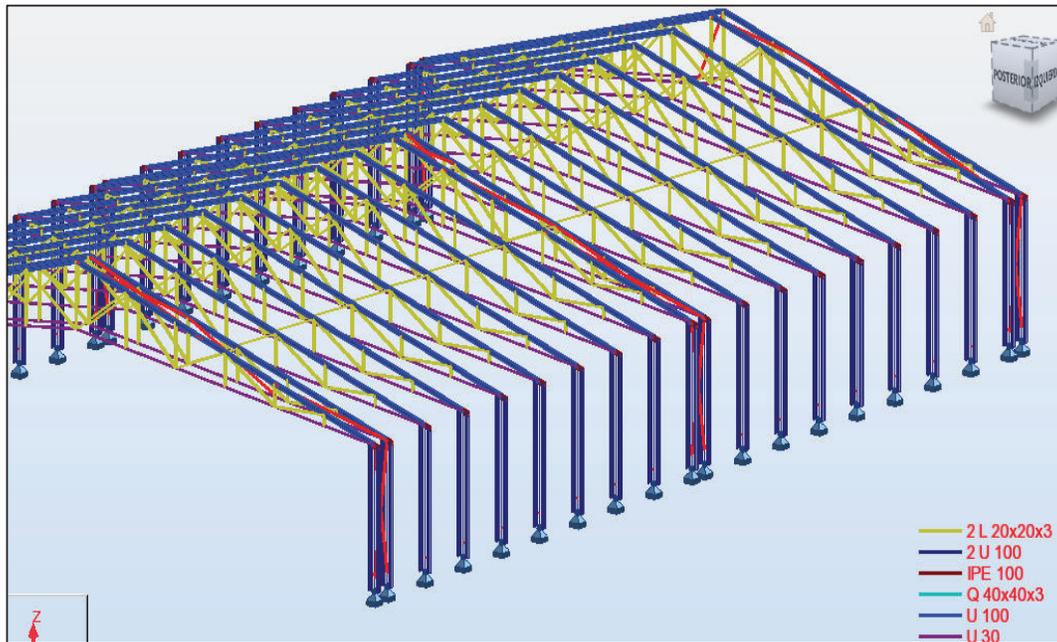
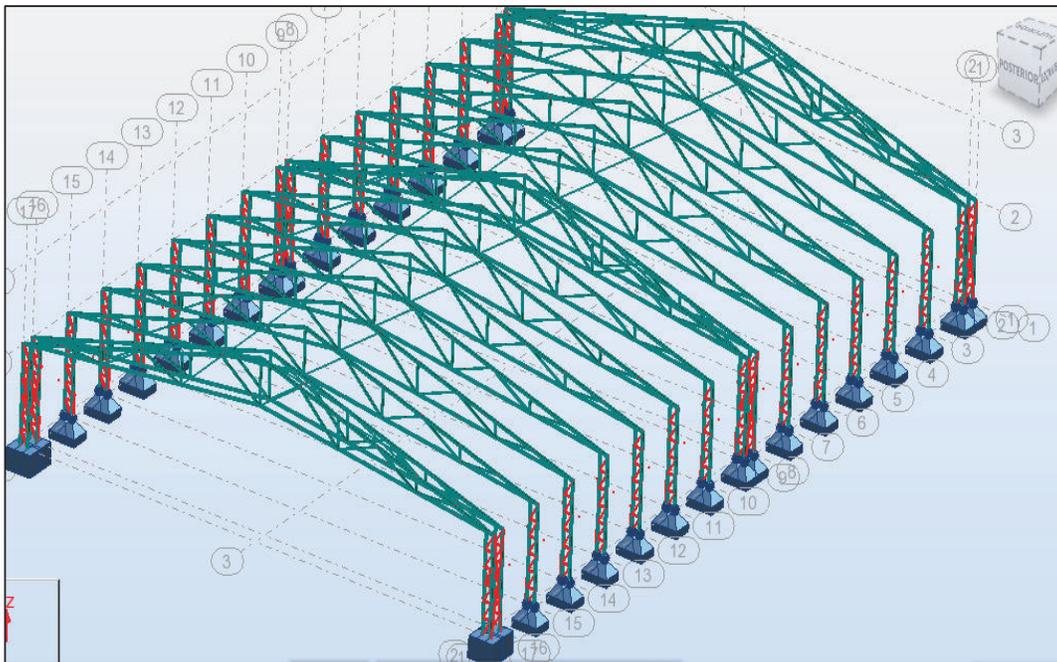


Figura 4. 22: Estructura disyunta con pórticos dobles arriostrados en el techo, paredes y perfiles 2 U en todas las columnas sin arriostramiento.  
FUENTE: Elaboración propia.

Para crear los arriostramientos de las columnas se coloca un nuevo perfil en la base de datos, el perfil seleccionado es un ángulo doble “L de 20x20x3”, donde se indican las posiciones inicial y final de las barras creadas que han sido ubicadas con el mismo criterio del arriostramiento de la celosía, es decir, que el ángulo que forman debe estar entre 30° y 60°.

Figura 4. 23: Creación de un nuevo perfil con coordenadas.  
FUENTE: Elaboración propia.

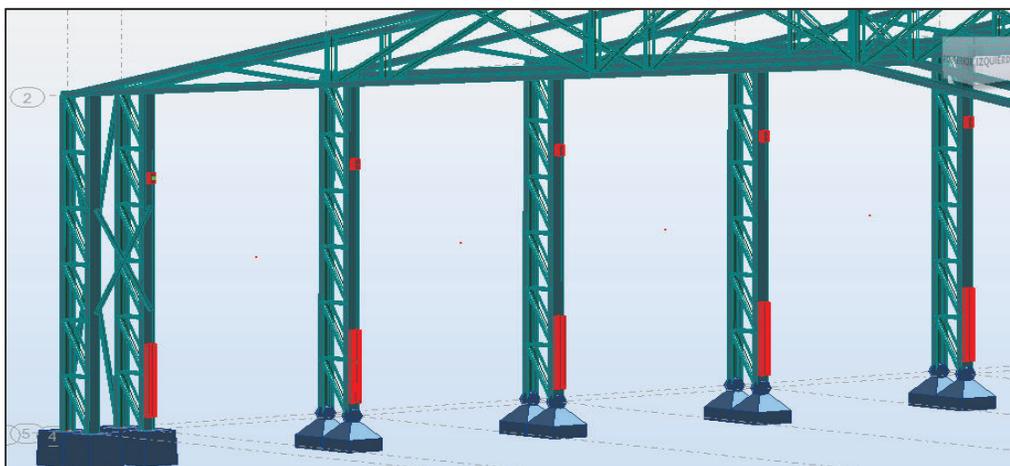
Una vez creado el arriostramiento en todas las columnas de la estructura, se coloca los apoyos correspondientes en cada pórtico.



**Figura 4. 24: Columnas arriostradas de los pórticos dobles y simples.**

**FUENTE:** Elaboraci3n propia.

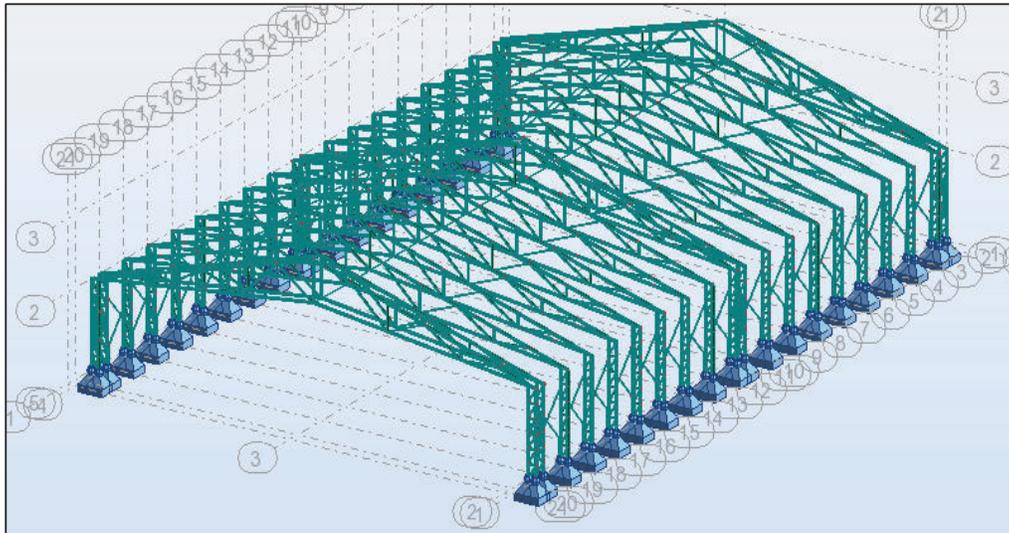
De la misma forma que se coloc3 el arriostramiento, se define un nuevo perfil "R 60X40X3" para que se apoye la parte superior de las tijeras, y un perfil "G 60x30x2" en la parte inferior para el desplazamiento de las tijeras; estos perfiles se ubican dando las coordenadas respectivas en cada pórtico.



**Figura 4. 25: Perfil rectangular y correa para el desplazamiento de las tijeras.**

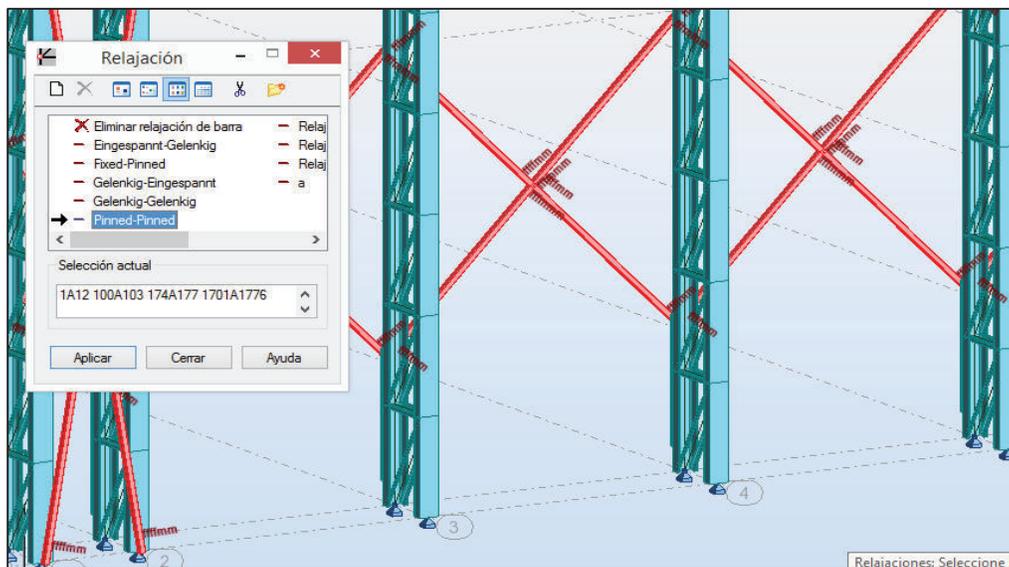
**FUENTE:** Elaboraci3n propia.

Las tijeras se ubicarán apoyadas en los perfiles rectangulares y en las “G”, de manera que puedan desplazarse a través de las correas para dar la apertura o cierre de la estructura; el perfil seleccionado para las tijeras es el tubo cuadrado “Q 30X30X2”.



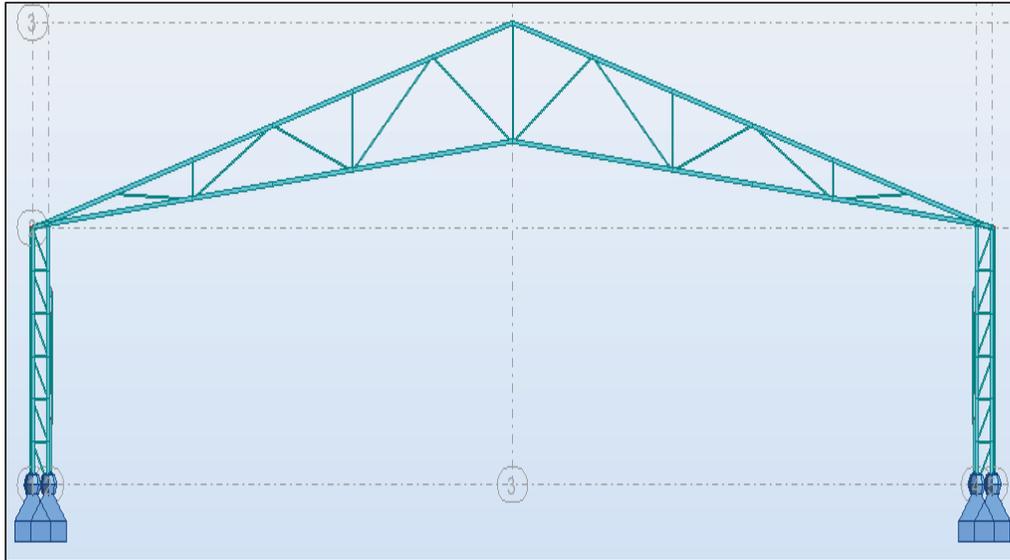
**Figura 4. 26: Tijeras ubicadas en los perfiles de apoyo de la estructura.**  
FUENTE: Elaboración propia.

Es necesario colocar “relajaciones” en las tijeras de la estructura para que el programa calcule estos perfiles únicamente como clavados y no fijos ya que estos van a estar en movimiento.



**Figura 4. 27: Relajaciones en las tijeras.**  
FUENTE: Elaboración propia.

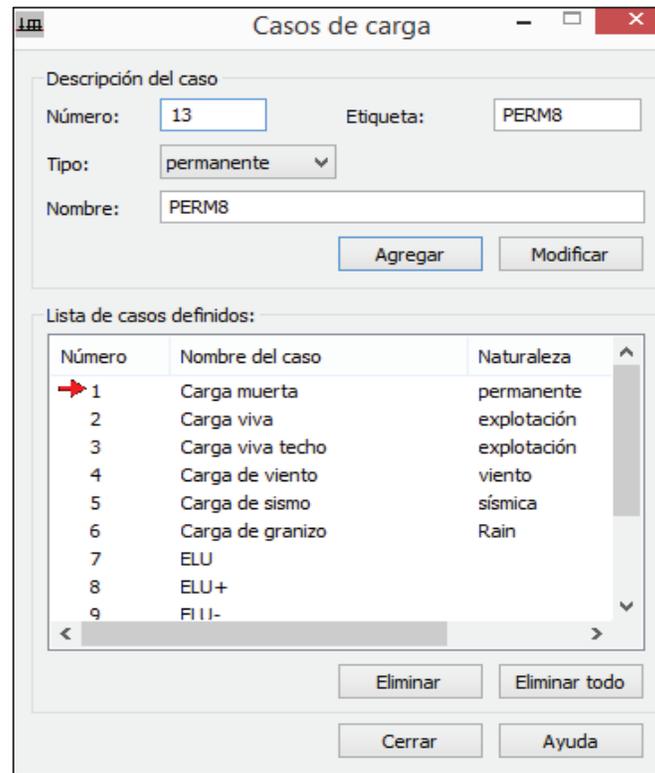
La estructura final que se diseñó es como se muestra a continuación un pórtico reticular arriostrado.



**Figura 4. 28: Vista frontal de la estructura.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

#### **4.3.3. DEFINICIÓN DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA**

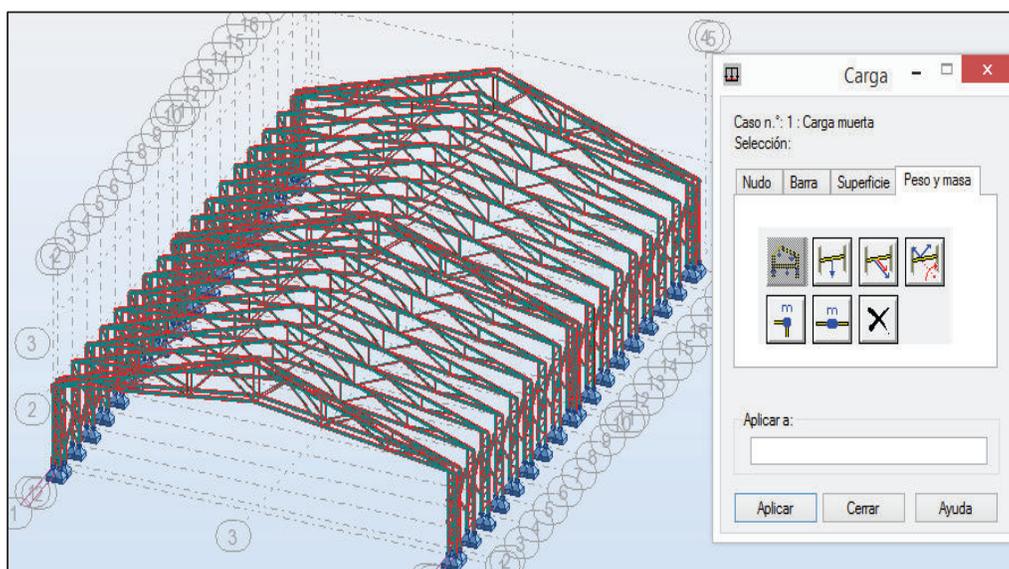
Las cargas que fueron definidas anteriormente para el pórtico deben ingresarse en el programa determinando la naturaleza de las mismas.



**Figura 4. 29: Definición de cargas.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

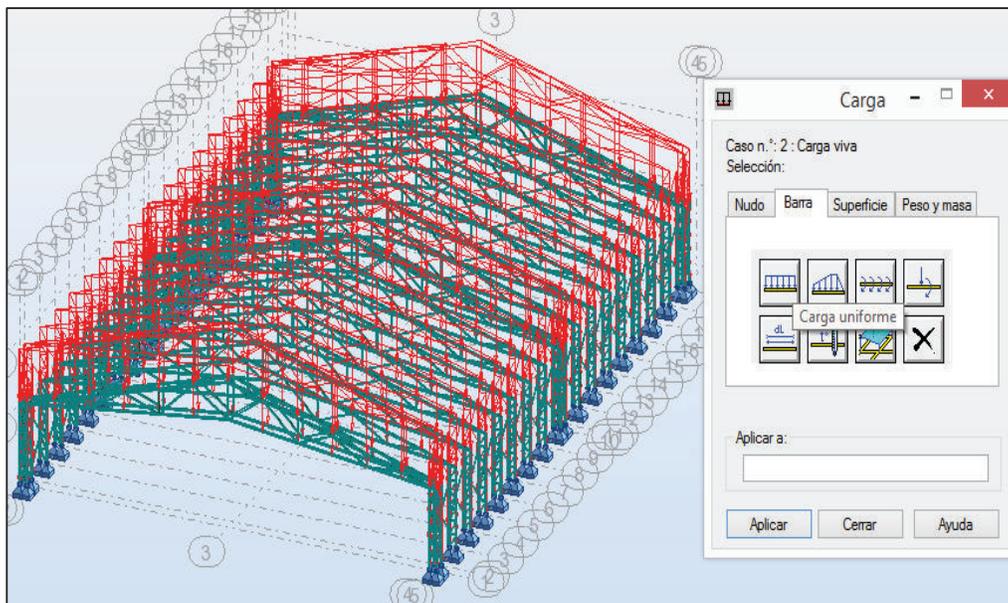
#### 4.3.3.1. Aplicación de los casos de cargas en la estructura

La carga muerta, definida como el peso propio de todos los perfiles debe seleccionarse como “peso y masa” sobre la estructura entera.



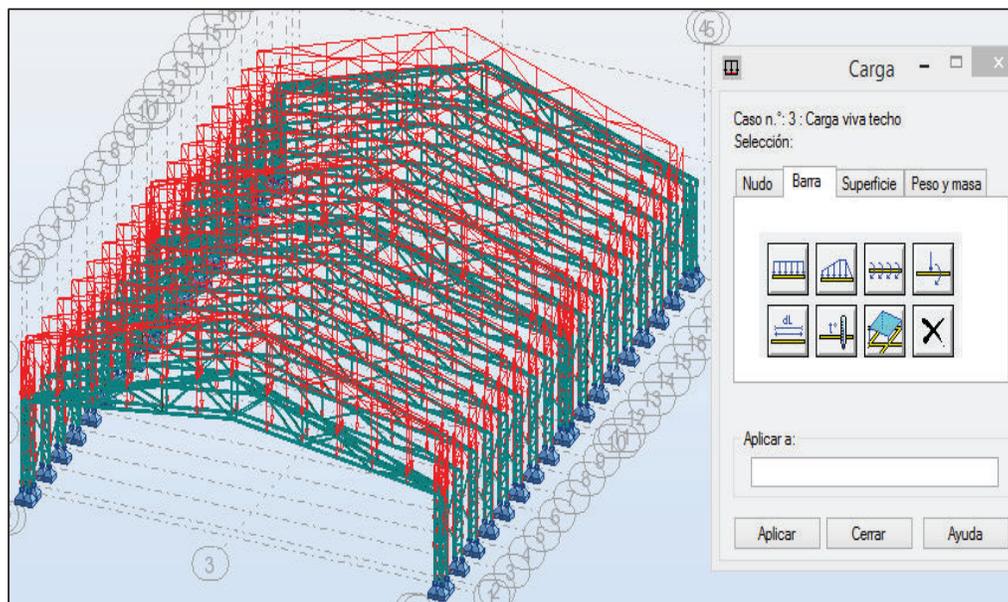
**Figura 4. 30: Aplicación de carga muerta.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

La carga viva se aplica sobre las barras de la estructura como una carga uniformemente distribuida, cuyo valor es  $0.24 \text{ kN/m}^2$ .



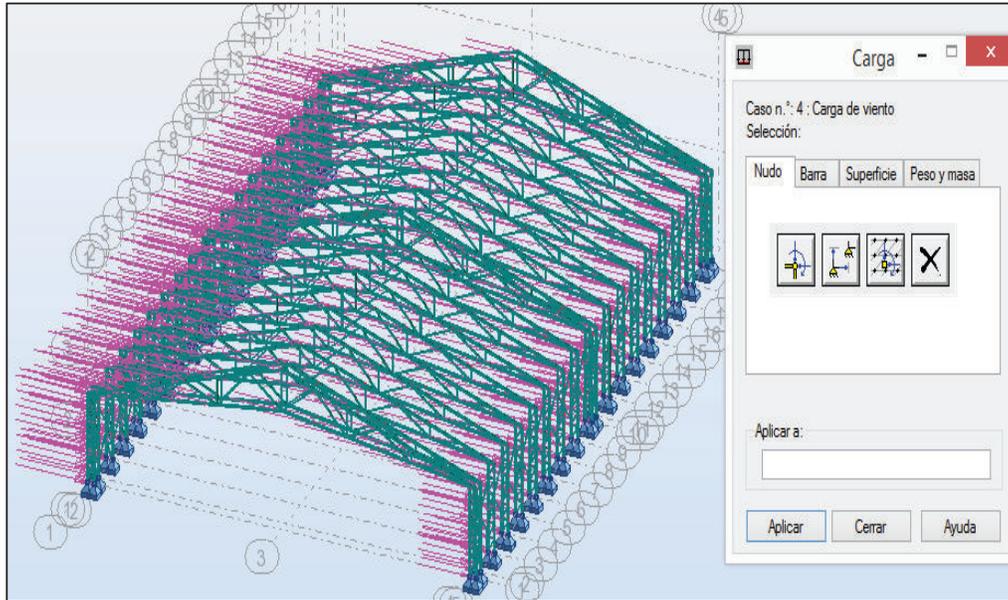
**Figura 4. 31: Aplicación de carga viva.**  
FUENTE: Elaboración propia.

La carga viva de techo se aplica también uniformemente sobre las barras de la estructura, con un valor de  $60 \text{ kg/m}^2$ .



**Figura 4. 32: Aplicación de carga viva de techo.**  
FUENTE: Elaboración propia.

Las cargas de viento, a barlovento ( $0.46 \text{ kN/m}^2$ ), y a sotavento ( $-0.19 \text{ kN/m}^2$ ) se aplican en los nudos de la estructura en la dirección indicada.

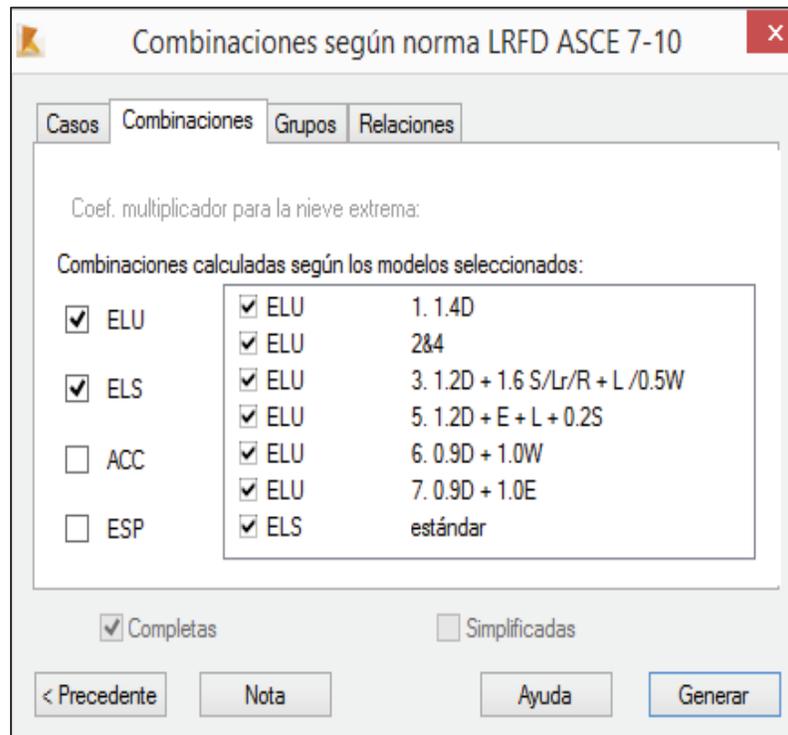


**Figura 4. 33: Aplicación de carga de viento.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

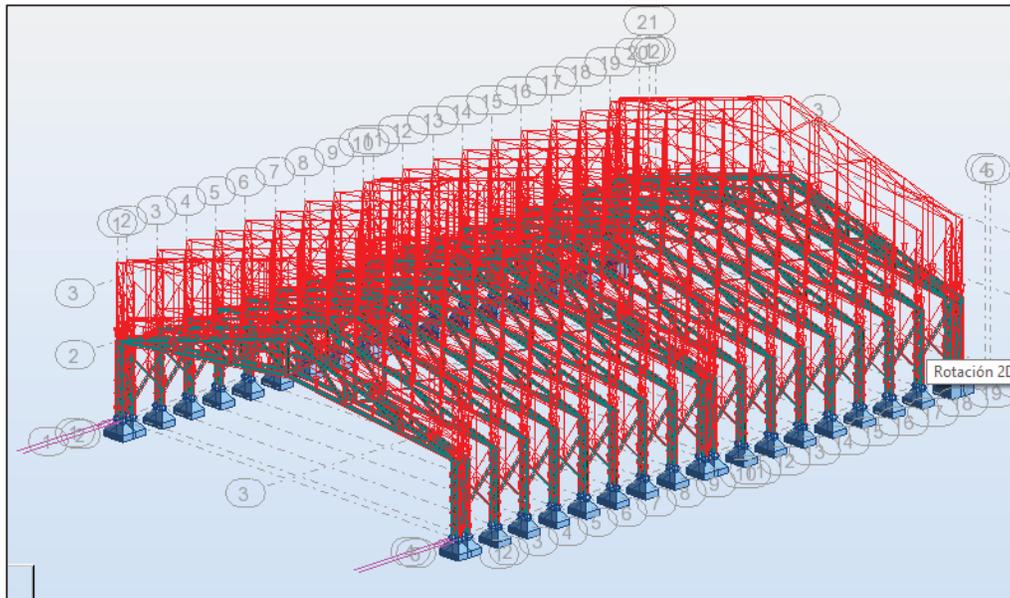
#### 4.3.3.2. Combinaciones de carga

El programa permite analizar las combinaciones de carga de manera automática de acuerdo a la norma seleccionada (LRFD), o realizar una combinación manual de los tipos de carga existentes.

Ya que la norma escogida en el programa es la misma que la definida por el Código Ecuatoriano de la Construcción (método de la resistencia última - LRFD) se ha seleccionado una combinación de cargas automática.



**Figura 4. 34: Combinaciones automáticas según norma LRFD.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.



**Figura 4. 35: Combinaciones de carga sobre la estructura.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.3.4. ANÁLISIS DEL PÓRTICO RETRÁCTIL

Una vez que se ha diseñado la estructura con los perfiles tentativos, apoyos y características que requiere para su movimiento, se debe analizar si los perfiles escogidos son los adecuados para lo cual se procede a la verificación de las barras en la opción dimensionamiento de acero, barras de acero/aluminio (dim.).

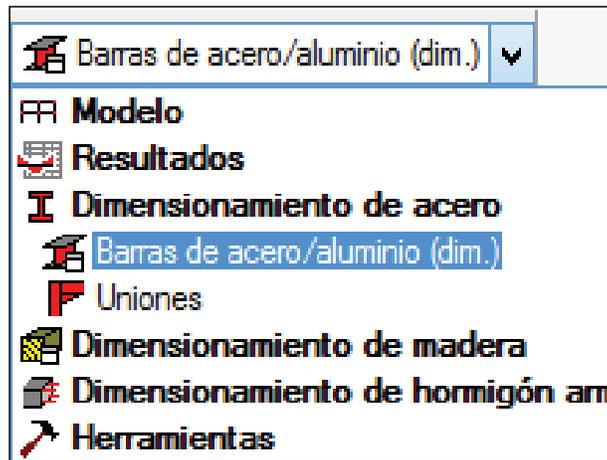


Figura 4. 36: Dimensionamiento de perfiles de acero.  
FUENTE: Elaboración propia.

Se selecciona toda la estructura para observar el comportamiento de todos los perfiles bajo la combinación de cargas según la norma LRFD.

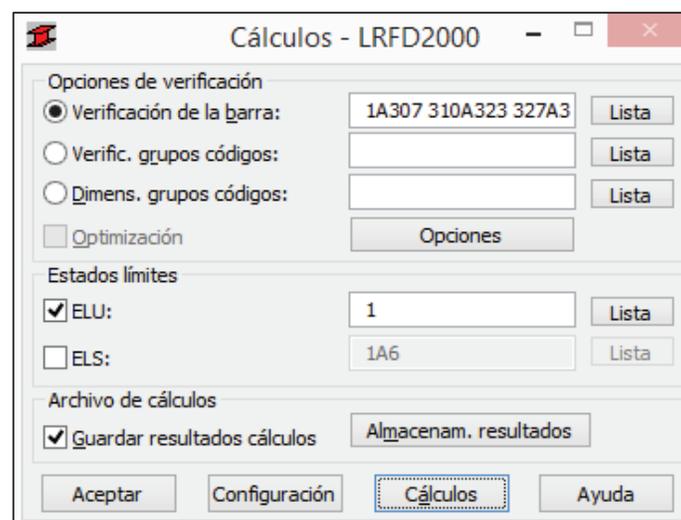
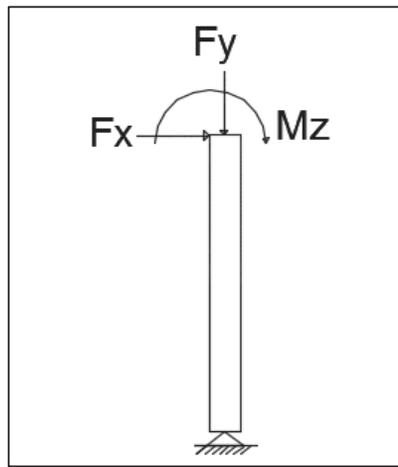


Figura 4. 37: Selección de los perfiles que se van a analizar.  
FUENTE: Elaboración propia.

Se puede observar resultados específicos para cada tipo de perfil, es decir si en el perfil seleccionado existe pandeo lateral, pandeo en Y, pandeo en Z, y además se realiza un control de dicha sección, para lo cual se hace un ejemplo de cálculo de uno de los elementos.

**Ejemplo de cálculo para verificación de una columna (elemento 2204):**



**Figura 4. 38: Fuerzas sobre una columna.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

En el Anexo A se observan las propiedades necesarias para la verificación de la columna con perfil U 100x50x3.

Del manual de la AISC, se toman los factores de diseño para compresión y corte del diseño en base a factores de carga y resistencia.

$\phi_c * P_n$  = Resistencia de diseño en compresión.

$$\phi_c = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

$\phi_v * V_n$  = Resistencia de diseño en corte.

$$\phi_v = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

Ya que el elemento está sometido a compresión debido a la flexión que se produce en el miembro, se recurre al ANEXO D donde se encuentra la Tabla B 4.1b de la AISC para determinar los valores ancho-espesor límite tanto del ala como del alma del elemento.

- Relación ancho/espesor del ala:

$$\frac{b}{t} = \frac{50 \text{ mm}}{8.5 \text{ mm}}$$

$$\frac{b}{t} = 5.88$$

- Esbeltez límite del ala:

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{199948.02 \text{ MPa}}{248.21 \text{ MPa}}}$$

$$\lambda_p = 10.78$$

$$\lambda_r = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 1 \sqrt{\frac{199948.02 \text{ MPa}}{248.21 \text{ MPa}}}$$

$$\lambda_r = 28.38$$

Ya que:

$$\frac{b}{t} < \lambda_r$$

$$5.88 < 28.38$$

Se concluye que esta sección es de ala compacta.

- Relación ancho/espesor del alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{64 \text{ mm}}{6 \text{ mm}}$$

$$\frac{h}{t_w} = 10.67$$

- Esbeltez límite del alma:

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{199948.02 \text{ MPa}}{248.21 \text{ MPa}}}$$

$$\lambda_p = 106.71$$

$$\lambda_r = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 5.7 \sqrt{\frac{199948.02 \text{ MPa}}{248.21 \text{ MPa}}}$$

$$\lambda_r = 161.77$$

Ya que:

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_r$$

$$10.67 < 161.77$$

Se concluye que esta sección es de alma compacta.

Para el cálculo de la esbeltez de la columna:

$$K * \frac{L}{r} < 200$$

Donde:

$K$  = Factor de longitud efectiva.

$L$  = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro, mm.

$r$  = Radio de giro, mm.

$$\frac{b}{t} < \lambda_p$$

Si

$$\lambda_p < \frac{b}{t} < \lambda_r$$

#### 4.3.5. DISEÑO A COMPRESIÓN

Para compresión de miembros en flexión, la resistencia de compresión nominal será:

$$P_n = F_{cr} * A_g$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia de compresión nominal.

$F_{cr}$  = Tensión de pandeo crítica.

$A_g$  = Área bruta del miembro, mm<sup>2</sup>.

$F_e$  = Tensión de pandeo elástico.

Si:

$$\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] * F_y$$

Si:

$$\frac{F_y}{F_e} > 2.25$$

$$F_{cr} = 0.877 * F_e$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2}$$

**Respecto al eje “y”:**

$$\left(\frac{K * L_y}{r_y}\right)$$

$$\left(\frac{1 * 530}{39}\right)$$

**13.59**

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 * 199948.02}{(13.59)^2}$$

$$F_{ey} = \mathbf{10685.49 MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_{ey}} = \frac{248.21 MPa}{10685.49 MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_{ey}} = 0,023 \leq 2,25$$

$$F_{cr} = [0.658^{0.023}] * 248.21 MPa$$

$$F_{cr} = \mathbf{245.81 MPa}$$

$$P_{ny} = 245.81 MPa * 1.35x10^{-3} m^2$$

$$P_{ny} = \mathbf{331.84 kN}$$

**Respecto al eje “z”:**

$$\left(\frac{K * L_z}{r_z}\right)$$

$$\left(\frac{1 * 530}{15}\right)$$

**35.33**

$$F_{ez} = \frac{\pi^2 * 199948.02}{(35.33)^2}$$

$$F_{ez} = \mathbf{1580.69 MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_{ez}} = \frac{248.21 MPa}{1580.69 MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_{ez}} = 0.16 \leq 2.25$$

$$F_{cr} = [0.658^{0.16}] * 248.21 MPa$$

$$F_{cr} = \mathbf{232.42 MPa}$$

$$P_{ny} = 232.42 MPa * 1.35x10^{-3}m^2$$

$$P_{ny} = \mathbf{313.77 kN}$$

**Para pandeo torsional y flexo-torsional:**

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 * E * C_w}{(K_z * L)^2} + G * J \right] * \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 * 199948.02 * 6.034x10^{-10}}{(1 * 0.53)^2} + 77200 * 2.91x10^{-8} \right] * \frac{1}{2.91x10^{-8} + 2.06x10^{-6}}$$

$$F_e = \mathbf{3106.15 MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{248.21 MPa}{3106.15 MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = 0.079 \leq 2.25$$

$$F_{cr} = [0.658^{0.079}] * 248.21 MPa$$

$$F_{cr} = \mathbf{240.05 MPa}$$

$$P_n = 240.05 MPa * 1.35x10^{-3}m^2$$

$$P_n = \mathbf{324.06 kN}$$

$$\phi_c P_n = 0.9 * 313.67$$

$$\phi_c P_n = 282.3 \text{ kN}$$

La figura 4.39 muestra los valores de los esfuerzos internos que se producen en esta barra los cuales se utilizarán para el diseño.

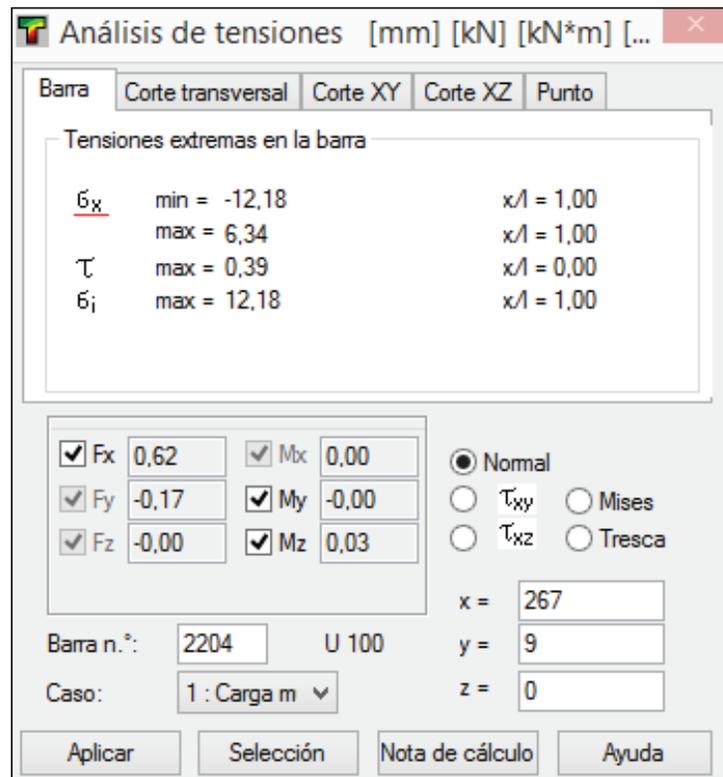


Figura 4. 39: Esfuerzos internos producidos en la columna 2204.  
FUENTE: Elaboración propia.

**Para canales flectados en torno a su eje menor:**

$$M_n = M_p = F_y * Z_y \leq 1.6 * F_y * S_y$$

Donde:

$Z_y$  = Módulo de flexión plástica respecto al eje Z (16100 mm<sup>3</sup>).

$$M_n = 248.21 * 1.61 \times 10^{-5}$$

$$M_n = 3.9 \text{ kN.m}$$

$$\phi_c M_n = 0.9 * 3.9$$

$$\phi_c M_n = 3.51 \text{ kN.m}$$

$$\frac{P_r}{2 * \phi_c P_n} + \frac{M_{rz}}{\phi_c M_{nz}} \leq 1$$

$$\frac{0.62}{2 * 282.3} + \frac{0.03}{3.51} \leq 1$$

$$0.096 \leq 1$$

#### 4.3.6. DISEÑO A CORTANTE

Para canales solicitados a corte en el plano del alma la resistencia nominal de corte será:

$$V_n = 0.6 * F_y * A_w * C_v$$

Donde:

$V_n$  = Resistencia nominal de corte.

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia (248.21 MPa).

$A_w$  = Área del alma (13.5 cm<sup>2</sup>).

$C_v$  = Coeficiente para cálculo de tensiones críticas en corte.

Para determinar el factor  $C_v$ , la relación ancho-espesor debe cumplir una de las siguientes condiciones:

Si:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}$$

$$C_v = 1$$

Si:

$$1.1 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}$$

$$C_v = \frac{1.1 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}}$$

Si:

$$\frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}$$

$$C_v = \frac{1.51 * E * k_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 * F_y}$$

Donde:

$h$  = Distancia libre entre alas menos el filete o radio de esquina, cm.

$t_w$  = Espesor del alma, cm.

$k_v$  = Coeficiente de pandeo por corte del alma.

Ya que en este tramo del miembro diseñado no existen atiesadores transversales y la relación ancho-espesor  $\frac{h}{t_w} \leq 260$ .

$$k_v = 5$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{64}{6} \leq 1.1 \sqrt{5 * \frac{199948.02 \text{ MPa}}{248.21 \text{ MPa}}}$$

$$10.67 \leq 69.81$$

Entonces:

$$C_v = 1$$

#### 4.3.6.1. Verificación a corte respecto al eje “Z”

$$V_{nz} = 0,6 * F_y * A_{wz} * C_{vz}$$

$$A_{wz} = 100 \text{ mm} * 6 \text{ mm}$$

$$A_{wz} = 600 \text{ mm}^2$$

$$V_{nz} = 0,6 * 248,21 \text{ MPa} * 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * 1$$

$$V_{nz} = 89,35 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_{nz} = 0,9 * 89,35 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_{nz} = 80,42 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{rz}}{V_{nz}} \leq 1$$

$$\frac{0,16 \text{ kN}}{80,42 \text{ kN}} \approx 0$$

Por lo cual el diseño a corte en el eje “Z” es correcto.

#### 4.3.6.2. Verificación a corte respecto al eje “Y”

$$V_{ny} = 0,6 F_y * A_{wy} * C_{vy}$$

$$A_{wy} = 100 \text{ mm} * 8,5 \text{ mm}$$

$$A_{wy} = 850 \text{ mm}^2$$

$$V_{ny} = 0,6 * 248,21 \text{ MPa} * 8,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * 1$$

$$V_{ny} = 126,54 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_{ny} = 0,9 * 126,54 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_{ny} = 113.89 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ry}}{V_{ny}} \leq 1$$

$$\frac{-0.05 \text{ kN}}{113.85 \text{ kN}} \approx 0$$

Por lo cual el diseño a corte en el eje “Y” es correcto.

En la figura 4.40 se muestra el análisis simplificado de este perfil y en las figuras 4.41, 4.42, 4.43 se observa el mismo análisis simplificado para los otros tipos de perfiles donde se comprueba que estos perfiles son correctos para esta estructura.

RESULTADOS - norma - ANSI/AISC 360-05

Barra: 2204  
Punto / Coordenada: 3 / x = 1.00 L = 0.53 m  
Caso de carga: 1 Carga muerta

U 100

Perfil correcto

OK

Cambiar

Fuerzas

Nota de cálc.

Ayuda

Resultados simplificados Resultados detallados

PARÁMETROS DE LA BARRA

Ly = 0.53 m Ky = 1.00 KLy/rY = 13.65 Lz = 0.53 m Kz = 1.00 KLz/rz = 36.20

ESFUERZOS INTERNOS:

Pr = 0.59 kN Vry = -0.17 kN Mrz = 0.08 kN\*m Vrz = -0.00 kN

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO

Fic\*Pn = 281.47 kN Fiv\*Vny = 113.93 kN Fib\*Mnz = 3.04 kN\*m Fiv\*Vnz = 80.42 kN

PARÁMETRO DE SEGURIDAD

Fic = 0.90 Fib = 0.90 Fiv = 0.90

ELEMENTOS DE LA SECCION

ala = compacto alma = compacto

RESULTADOS

Pr/(2\*Fic\*Pn) + Mrz/(Fib\*Mnz) = 0.03 < 1.00 LRFD (H1-1b)  
Vry/(Fiv\*Vny) = 0.00 < 1.00 Vrz/(Fiv\*Vnz) = 0.00 < 1.00 LRFD (G2-1)  
Ky\*Ly/rY = 13.65 < (K\*Ly/r),max = 200.00 Kz\*Lz/rz = 36.20 < (K\*Lz/r),max = 200.00 ESTABLE

**Figura 4. 40: Verificación del canal “U 100x50x3”.**  
FUENTE: Elaboración propia.

RESULTADOS - norma - SE-A:2006

Barra: 413 Barra\_413  
Punto / Coordenada: 1 / x = 0.00 L = 0.00 m  
Caso de carga: 1 Carga muerta

2 L 20x20x3

Perfil correcto

OK

Cambiar

Resultados simplificados Resultados detallados

FUERZAS

N.Ed = -1.08 kN	My.Ed = -0.00 kN*m	Mz.Ed = -0.05 kN*m	Vy.Ed = 0.00 kN
Nt.Rd = 52.95 kN	My.pl.Rd = 0.25 kN*m	Mz.pl.Rd = 2.07 kN*m	Vy.pl.T.Rd = 16.38 kN
	My.c.Rd = 0.25 kN*m	Mz.c.Rd = 2.07 kN*m	Vz.Ed = 0.00 kN
			Vz.pl.T.Rd = 16.38 kN
			Tt.Ed = 0.00 kN*m

CLASE DE LA SECCION = 1

PANDEO LATERAL

XLT = 1.00

PANDEO EN Y

PANDEO EN Z

CONTROL DE LA SECCIÓN

$N.Ed/Nt.Rd + My.Ed/My.c.Rd + Mz.Ed/Mz.c.Rd = 0.05 < 1.00$  (6.2.8.(1))  
 $Vz.Ed/Vz.pl.Rd = 0.00 < 1.00$  (6.2.4.(1))

CONTROL DE LA ESTABILIDAD DE LA BARRA

No se necesita el análisis

Fuerzas

Nota de cál.

Ayuda

Figura 4. 41: Verificación de un ángulo “L 20x20x3”.  
FUENTE: Elaboración propia.

RESULTADOS - norma - ANSI/AISC 360-05

Barra: 439 Barra\_439  
Punto / Coordenada: 3 / x = 1.00 L = 0.10 m  
Caso de carga: 1 Carga muerta

R 60x40x3

Perfil correcto

OK

Cambiar

Resultados simplificados Resultados detallados

PARÁMETROS DE LA BARRA

<input checked="" type="checkbox"/> Ly = 0.10 m	<input checked="" type="checkbox"/> Lz = 0.10 m	<input type="checkbox"/> Cb = 1.00
<input checked="" type="checkbox"/> Ky = 1.00	<input checked="" type="checkbox"/> Kz = 1.00	Lb = 0.10 m
KLy/ry = 4.62	KLz/rz = 6.35	Cb = 1.00

ESFUERZOS INTERNOS:

Pr = -0.00 kN

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO

Fity\*Pnty = 120.85 kN

PARÁMETRO DE SEGURIDAD

Fity = 0.90

ELEMENTOS DE LA SECCION

ala = compacto alma = compacto

RESULTADOS

$Pr/(Fity*Pnty) = 0.00 < 1.00$  LRFD (H1-1a)

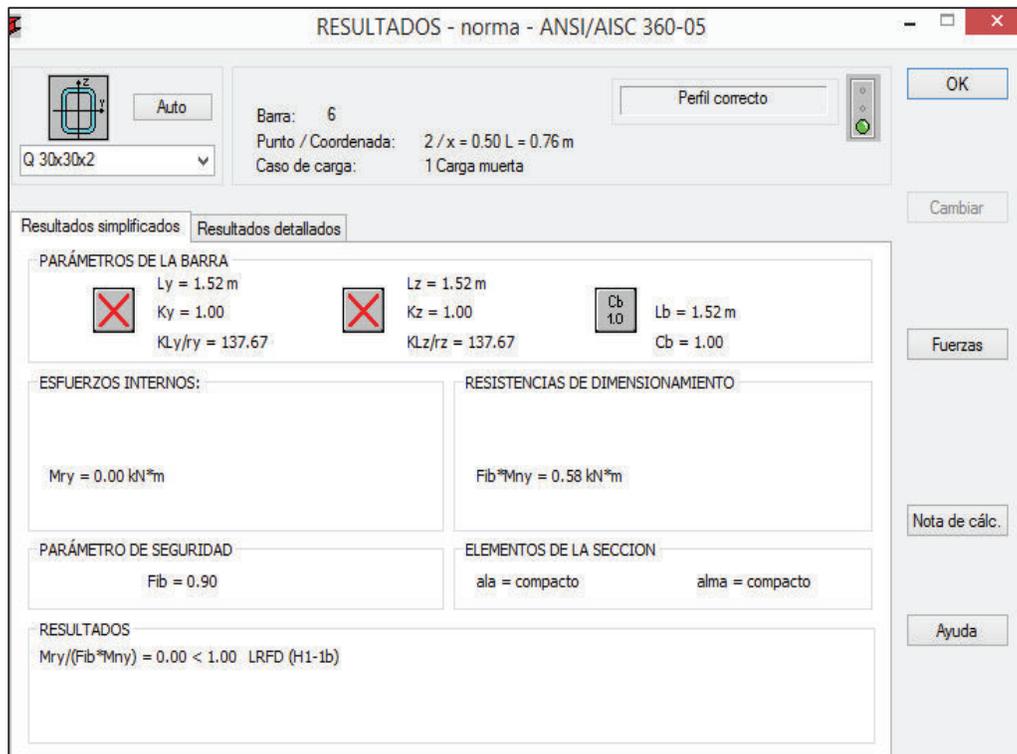
$Ky*Ly/ry = 4.62 < (K*Ly/r),max = 300.00$      $Kz*Lz/rz = 6.35 < (K*Ly/r),max = 300.00$  ESTABLE

Fuerzas

Nota de cál.

Ayuda

Figura 4. 42: Verificación del tubo rectangular “R 60x40x3”.  
FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 4. 43: Verificación del tubo cuadrado “Q 30x30x2”.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

Los perfiles escogidos para la creación de la estructura son correctos, y se muestran en color verde ya que todos cumplen los requerimientos.

SE-A:2006 - Verificación de las barras ( ELU ) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
1	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.00	1 Carga muerta
2	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.01	1 Carga muerta
3	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.00	1 Carga muerta
4	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.00	1 Carga muerta
5	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.00	1 Carga muerta
6	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.00	1 Carga muerta
7	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.00	1 Carga muerta
8	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.01	1 Carga muerta
9	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.01	1 Carga muerta
10	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.00	1 Carga muerta
11	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.00	1 Carga muerta
12	OK Q 30x30x2	STEEL A36	137.67	137.67	0.01	1 Carga muerta
13	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.05	1 Carga muerta
14	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.04	1 Carga muerta
15	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
16	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
17	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
18	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
19	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
20	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
21	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
22	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.09	1 Carga muerta
23	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.09	1 Carga muerta
24	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.07	1 Carga muerta
25	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
26	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
27	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
28	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
29	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
30	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
31	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
32	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
33	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
34	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.06	1 Carga muerta
35	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.13	1 Carga muerta

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras (ELU) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
36	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.08	1 Carga muerta
37	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
38	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
39	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
40	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
41	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
42	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
43	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
44	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
45	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
46	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.04	1 Carga muerta
47	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
48	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
49	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
50	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
51	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
52	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
53	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
54	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
55	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
56	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
57	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
58	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.34	1 Carga muerta
59	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.26	1 Carga muerta
60	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.23	1 Carga muerta
61	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.20	1 Carga muerta
62	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.18	1 Carga muerta
63	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.07	1 Carga muerta
64	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
65	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
66	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
67	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
68	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
69	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
70	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras ( ELU ) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
63	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.07	1 Carga muerta
64	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
65	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
66	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
67	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
68	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
69	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
70	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
71	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
72	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
73	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
74	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
75	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
76	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.08	1 Carga muerta
77	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.15	1 Carga muerta
78	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.10	1 Carga muerta
79	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.16	1 Carga muerta
80	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.30	1 Carga muerta
81	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.23	1 Carga muerta
82	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
83	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
84	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
85	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
86	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
87	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
88	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
89	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras (ELU) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
90	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
91	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
92	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
93	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
94	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
95	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
96	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
97	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
98	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
99	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
100	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.01	1 Carga muerta
101	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.01	1 Carga muerta
102	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.00	1 Carga muerta
103	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.00	1 Carga muerta
104	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
105	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
106	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
107	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
108	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
109	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
110	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
111	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
112	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
113	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
114	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
115	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
116	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras (ELU) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
117	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
118	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
119	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
120	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
121	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
122	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.06	1 Carga muerta
123	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.05	1 Carga muerta
124	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.04	1 Carga muerta
125	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
126	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
127	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
128	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
129	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
130	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
131	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
132	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
133	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
134	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
135	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
136	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
137	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
138	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
139	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
140	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.07	1 Carga muerta
141	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.14	1 Carga muerta
142	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.08	1 Carga muerta
143	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta

Nota de cál.: Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras ( ELU ) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

Barra	OK	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
143	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
144	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
145	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
146	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
147	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
148	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
149	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
150	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
151	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
152	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
153	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
154	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
155	OK	U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
156	OK	U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
157	OK	U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
158	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
159	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
160	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
161	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
162	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
163	OK	U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
164	OK	Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.15	1 Carga muerta
165	OK	Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.15	1 Carga muerta
166	OK	U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.08	1 Carga muerta
167	OK	U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.14	1 Carga muerta
168	OK	U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.10	1 Carga muerta
169	OK	Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.01	1 Carga muerta

SE-A:2006 - Verificación de las barras ( ELU ) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
170	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.01	1 Carga muerta
171	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
172	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
173	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
174	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.01	1 Carga muerta
175	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.01	1 Carga muerta
176	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.00	1 Carga muerta
177	OK Q 30x30x2	STEEL A36	142.36	142.36	0.00	1 Carga muerta
178	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
179	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
180	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
181	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
182	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
183	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
184	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
185	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
186	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
187	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
188	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
189	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
190	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
191	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
192	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
193	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
194	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
195	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
196	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.12	1 Carga muerta

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras ( ELU ) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
197	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.10	1 Carga muerta
198	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.08	1 Carga muerta
199	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.06	1 Carga muerta
200	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.04	1 Carga muerta
201	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
202	OK U 100	STEEL A36	38.64	102.44	0.04	1 Carga muerta
203	OK U 100	STEEL A36	30.91	81.96	0.08	1 Carga muerta
204	OK U 100	STEEL A36	7.73	20.49	0.06	1 Carga muerta
205	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
206	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
207	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
208	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
209	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
210	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.04	1 Carga muerta
211	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
212	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
213	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
214	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
215	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
216	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
217	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
218	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
219	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
220	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
221	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
222	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
223	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta

Nota de cál. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras ( ELU ) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
224	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
225	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
226	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
227	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
228	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
229	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
230	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
231	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
232	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
233	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
234	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.05	1 Carga muerta
235	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.16	1 Carga muerta
236	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.20	1 Carga muerta
237	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.19	1 Carga muerta
238	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.18	1 Carga muerta
239	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.18	1 Carga muerta
240	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.24	1 Carga muerta
241	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.11	1 Carga muerta
242	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.09	1 Carga muerta
243	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.07	1 Carga muerta
244	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.05	1 Carga muerta
245	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
246	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.03	1 Carga muerta
247	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
248	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
249	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
250	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo

división: n = 3

extremos: ninguno

adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras ( ELU ) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos : ninguno  
 adicionales : ninguno

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
251	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
252	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
253	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
254	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
255	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
256	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
257	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
258	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
259	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
260	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
261	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
262	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
263	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
264	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
265	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
266	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
267	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
268	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
269	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
270	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
271	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
272	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
273	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
274	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
275	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
276	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
277	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta

SE-A:2006 - Verificación de las barras (ELU) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
278	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.03	1 Carga muerta
279	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
280	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
281	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
282	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.05	1 Carga muerta
283	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
284	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
285	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
286	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
287	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
288	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
289	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
290	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
291	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
292	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
293	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
294	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
295	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
296	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
297	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
298	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
299	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.00	1 Carga muerta
300	OK U 100	STEEL A36	13.65	36.20	0.02	1 Carga muerta
301	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.02	1 Carga muerta
302	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
303	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta
304	OK U 100	STEEL A36	12.80	33.94	0.01	1 Carga muerta

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo

división: n = 3

extremos: ninguno

adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras (ELU) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
369	OK U 100	STEEL A36	39.74	105.38	0.07	1 Carga muerta
370	OK U 100	STEEL A36	39.74	105.38	0.08	1 Carga muerta
371	OK U 100	STEEL A36	39.74	105.38	0.09	1 Carga muerta
372	OK U 100	STEEL A36	39.74	105.38	0.10	1 Carga muerta
373	OK U 100	STEEL A36	39.74	105.38	0.10	1 Carga muerta
374	OK U 100	STEEL A36	39.74	105.38	0.11	1 Carga muerta
394 Barra_394	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.08	1 Carga muerta
395 Barra_395	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.06	1 Carga muerta
396 Barra_396	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.07	1 Carga muerta
397 Barra_397	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.05	1 Carga muerta
398 Barra_398	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.07	1 Carga muerta
399 Barra_399	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.05	1 Carga muerta
400 Barra_400	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.07	1 Carga muerta
401 Barra_401	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.05	1 Carga muerta
402 Barra_402	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.07	1 Carga muerta
403 Barra_403	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.06	1 Carga muerta
404 Barra_404	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.09	1 Carga muerta
405 Barra_405	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.06	1 Carga muerta
406 Barra_406	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.05	1 Carga muerta
407 Barra_407	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.05	1 Carga muerta
408 Barra_408	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.03	1 Carga muerta
409 Barra_409	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.05	1 Carga muerta
410 Barra_410	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.03	1 Carga muerta
411 Barra_411	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.05	1 Carga muerta
412 Barra_412	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.03	1 Carga muerta
413 Barra_413	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.05	1 Carga muerta
414 Barra_414	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.04	1 Carga muerta

Nota de cál. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

SE-A:2006 - Verificación de las barras ( ELU ) 1A307 310A323 327A339 345A358 362A374 39...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
413 Barra_413	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.05	1 Carga muerta
414 Barra_414	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.04	1 Carga muerta
415 Barra_415	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.07	1 Carga muerta
416 Barra_416	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.01	1 Carga muerta
417 Barra_417	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.01	1 Carga muerta
418 Barra_418	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.01	1 Carga muerta
419 Barra_419	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.01	1 Carga muerta
420 Barra_420	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.01	1 Carga muerta
421 Barra_421	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.01	1 Carga muerta
422 Barra_422	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.01	1 Carga muerta
423 Barra_423	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.01	1 Carga muerta
424 Barra_424	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.01	1 Carga muerta
425 Barra_425	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.01	1 Carga muerta
426 Barra_426	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.01	1 Carga muerta
427 Barra_427	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.04	1 Carga muerta
428 Barra_428	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.04	1 Carga muerta
429 Barra_429	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.04	1 Carga muerta
430 Barra_430	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.04	1 Carga muerta
431 Barra_431	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.04	1 Carga muerta
432 Barra_432	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.04	1 Carga muerta
433 Barra_433	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.04	1 Carga muerta
434 Barra_434	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.04	1 Carga muerta
435 Barra_435	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.04	1 Carga muerta
436 Barra_436	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	50.71	7.60	0.04	1 Carga muerta
437 Barra_437	OK 2 L 20x20x3	STEEL A36	98.56	14.77	0.05	1 Carga muerta
438 Barra_438	OK R 60x40x3	STEEL A36	4.62	6.35	0.00	1 Carga muerta
439 Barra_439	OK R 60x40x3	STEEL A36	4.62	6.35	0.00	1 Carga muerta

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo  
 división: n = 3  
 extremos: ninguno  
 adicionales: ninguno

Figura 4. 44: Resultados de verificación de perfiles.

FUENTE: Elaboración propia.

Una vez verificadas las secciones de los perfiles se procede a analizar las reacciones en todos los perfiles y apoyos de la estructura, así como las deformaciones y momentos que se producen.

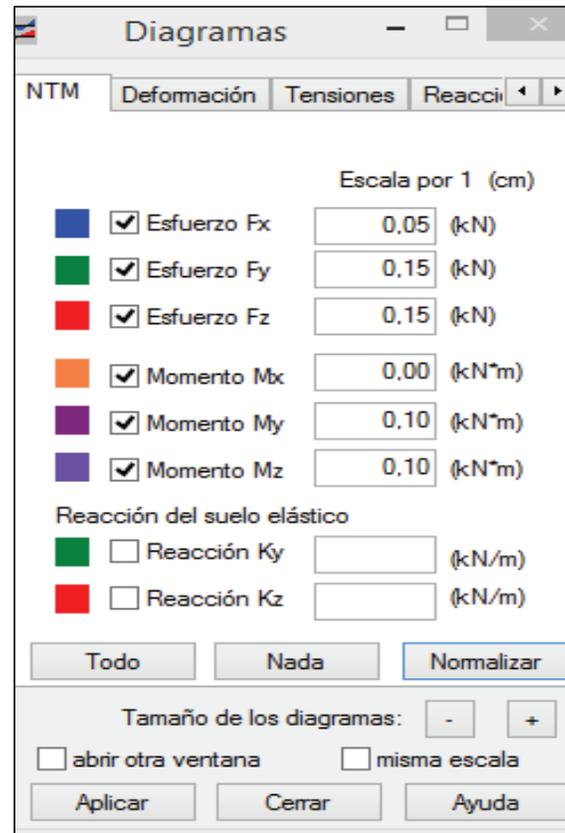
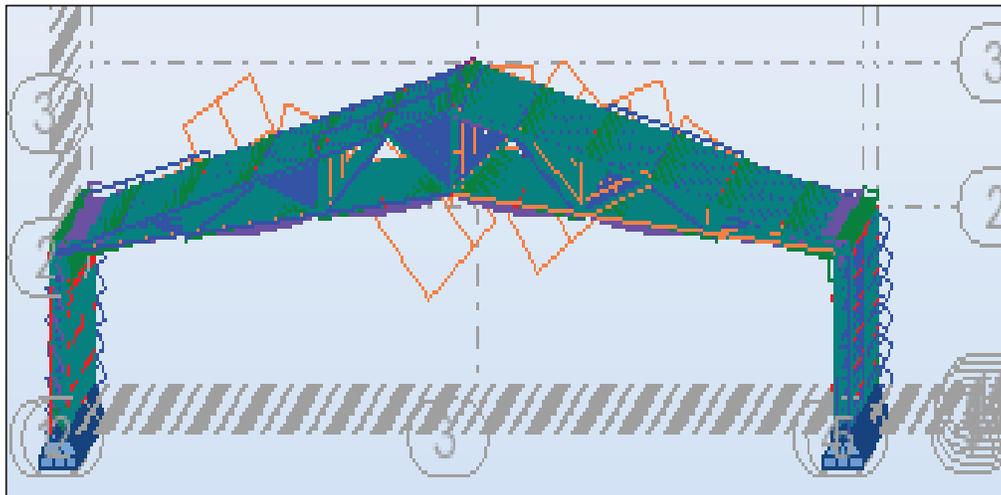


Figura 4. 45: Selección de esfuerzos y momentos de la estructura.  
FUENTE: Elaboración propia.

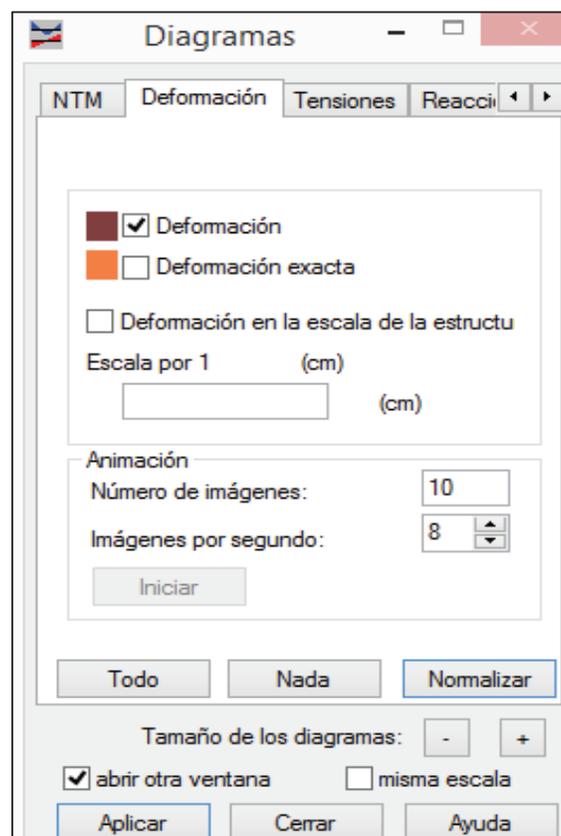
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Tipo (color) de línea						
Escala : (cm) =	0.1	0.1	0.1	0.00	0.10	0.10
MAX	293,81	4,46	4,02	2,23	3,14	2,51
Barra	2259	547	36	1952	1700	487
Punto	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000
Caso	8	8	8	8	8	8
MIN	-208,11	-4,32	-5,16	-1,58	-3,66	-2,54
Barra	2133	546	122	348	2138	536
Punto	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000
Caso	8	8	8	8	8	8

Figura 4. 46: Valores máximos y mínimos de fuerzas y momentos.  
FUENTE: Elaboración propia.



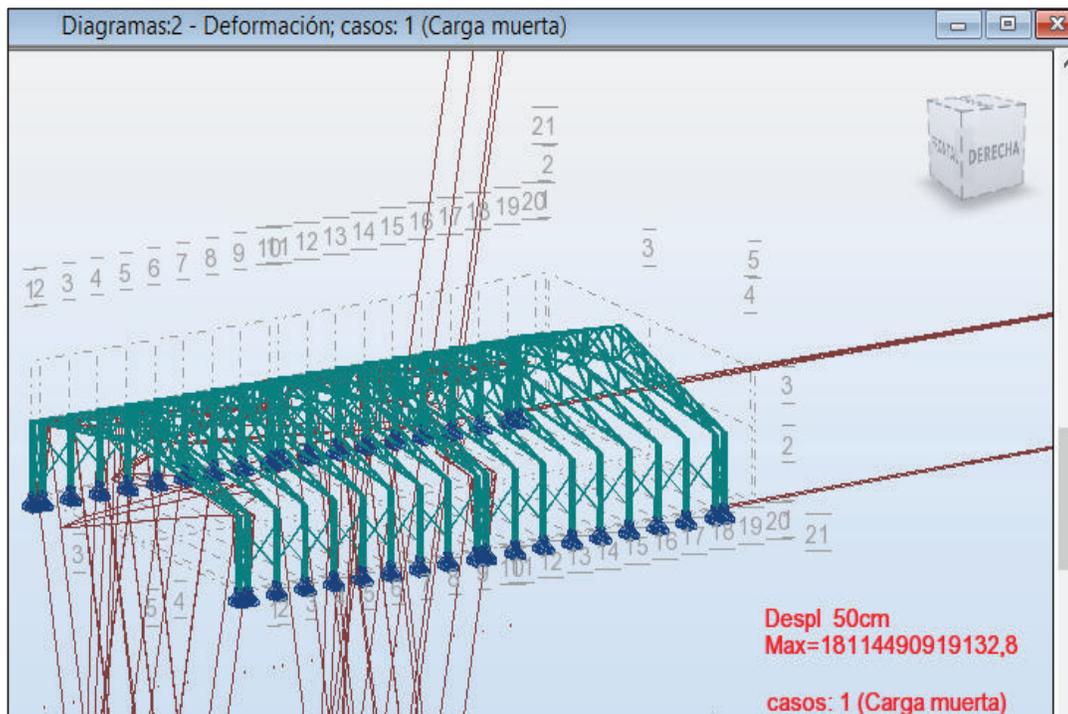
**Figura 4. 47: Visualización de fuerzas y momentos en los perfiles de la estructura.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

Para observar la deformación que va a sufrir la estructura, se selecciona deformación y se aplica a toda la estructura.



**Figura 4. 48: Selección de deformación de la estructura.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

La figura 4.49 muestra los desplazamientos que se producen en la estructura, donde el desplazamiento es de 50 cm (0.5 m), y el valor máximo de desplazamiento que se observa es la suma de todos los desplazamientos que va a tener la estructura.



**Figura 4. 49: Desplazamientos de la estructura.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

También es posible observar los valores de los esfuerzos normales y cortantes al elegir la opción “Tensiones”, los valores que se muestran son los máximos y mínimos en la estructura.

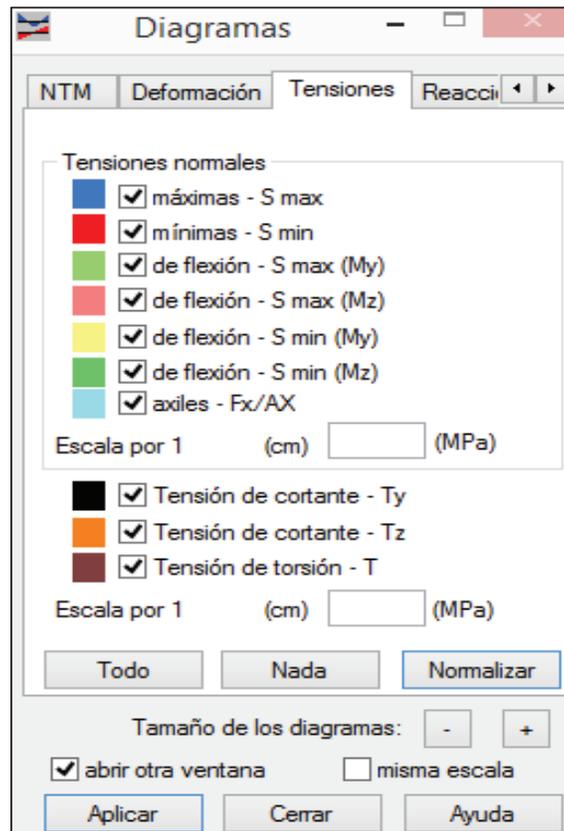


Figura 4. 50: Selección de esfuerzos normales y cortantes.  
FUENTE: Elaboración propia.

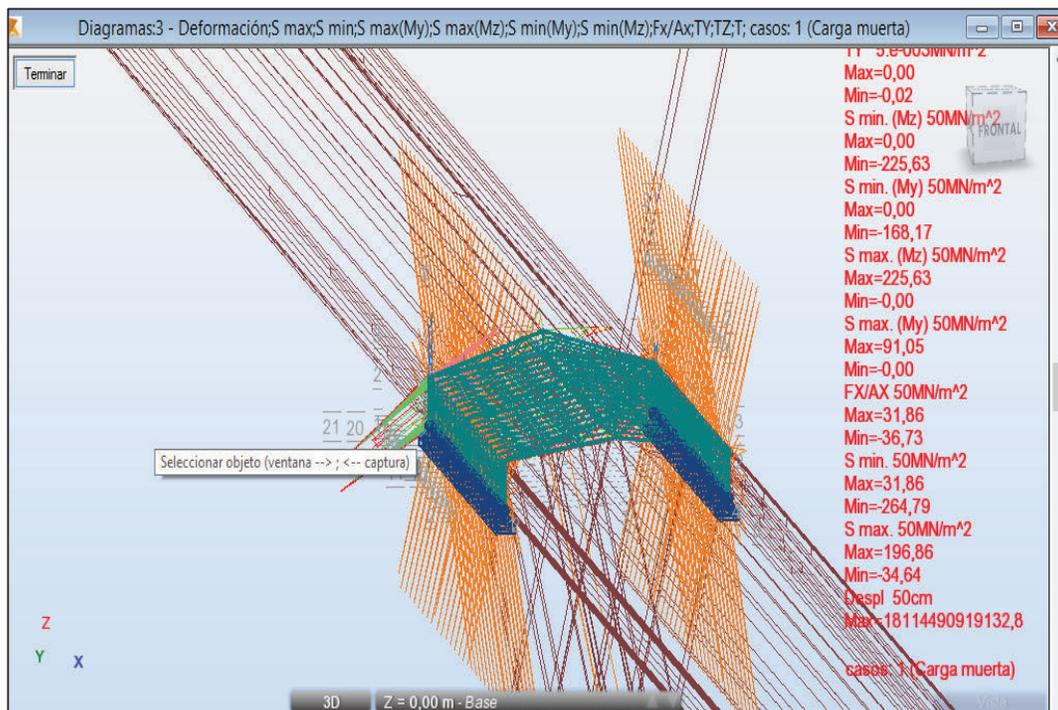


Figura 4. 51: Visualización de los esfuerzos normales y cortantes.  
FUENTE: Elaboración propia.

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)	S max (MPa)	S min (MPa)	S max(MY) (MPa)	S max(MZ) (MPa)	S min(My) (MPa)	S min(Mz) (MPa)
Tipo (color) de línea												
Escala : (cm) =	0.1	0.1	0.1	0.00	0.10	0.10	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
MAX	293,81	4,46	4,02	2,23	3,14	2,51	1195,35	510,40	1297,34	327,42	0,00	0,00
Barra	2259	547	36	1952	1700	487	594	1852	594	536	24	122
Punto	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 1.0000	x = 0.0000
Caso	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
MIN	-208,11	-4,32	-5,16	-1,58	-3,66	-2,54	-237,34	-2801,86	-0,00	-0,00	-2631,32	-327,42
Barra	2133	546	122	348	2138	536	579	594	81	122	594	536
Punto	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.9608	x = 1.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 1.0000
Caso	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

	MY (kNm)	MZ (kNm)	S max (MPa)	S min (MPa)	S max(MY) (MPa)	S max(MZ) (MPa)	S min(My) (MPa)	S min(Mz) (MPa)	Fx/Ax (MPa)	Ty (MPa)	Tz (MPa)	T (MPa)
Tipo (color) de línea												
Escala : (cm) =	0.10	0.10	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	0.02	0.02	0.02
MAX	3,14	2,51	1195,35	510,40	1297,34	327,42	0,00	0,00	510,40	1,92	1,51	650,51
Barra	1700	487	594	1852	594	536	24	122	1852	1528	1714	1952
Punto	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000
Caso	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
MIN	-3,66	-2,54	-2801,86	-237,34	-0,00	-0,00	-2631,32	-327,42	-245,80	-3,20	-7,74	-230,32
Barra	2138	536	594	579	81	122	594	536	579	580	2385	166
Punto	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.9608	x = 1.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.0000
Caso	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Figura 4. 52: Tablas de esfuerzos normales y cortantes máximos y mínimos.  
FUENTE: Elaboración propia.

Para observar las reacciones, se procede de la misma manera eligiendo “Reacciones” y además escogiendo la opción de anotaciones para que se muestren en la misma estructura los valores pudiendo analizar en la misma estructura los perfiles cuyas reacciones son más críticas, pero a la vez resulta difícil identificar dichos perfiles ya que la estructura cuenta con bastantes uniones en un mismo punto, por lo que esta herramienta resulta ideal en estructuras más simples.

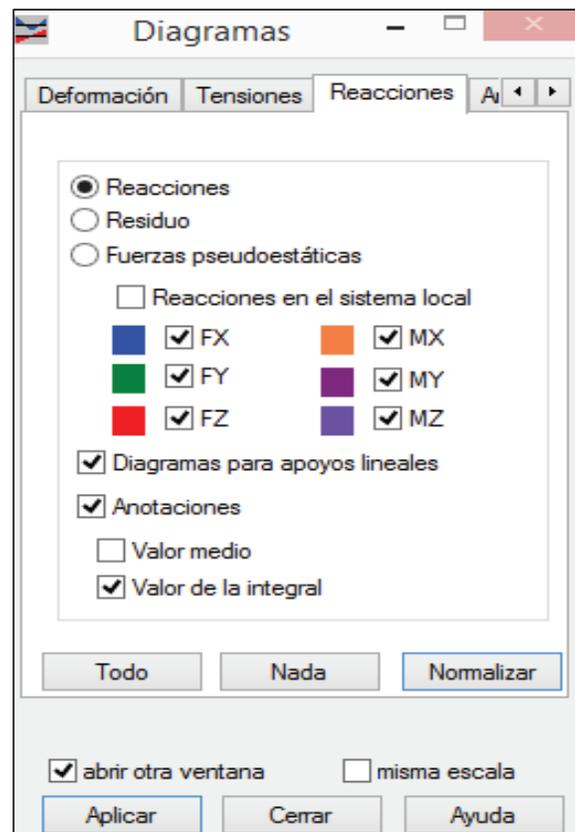


Figura 4. 53: Selección de las reacciones en la estructura.  
FUENTE: Elaboración propia.

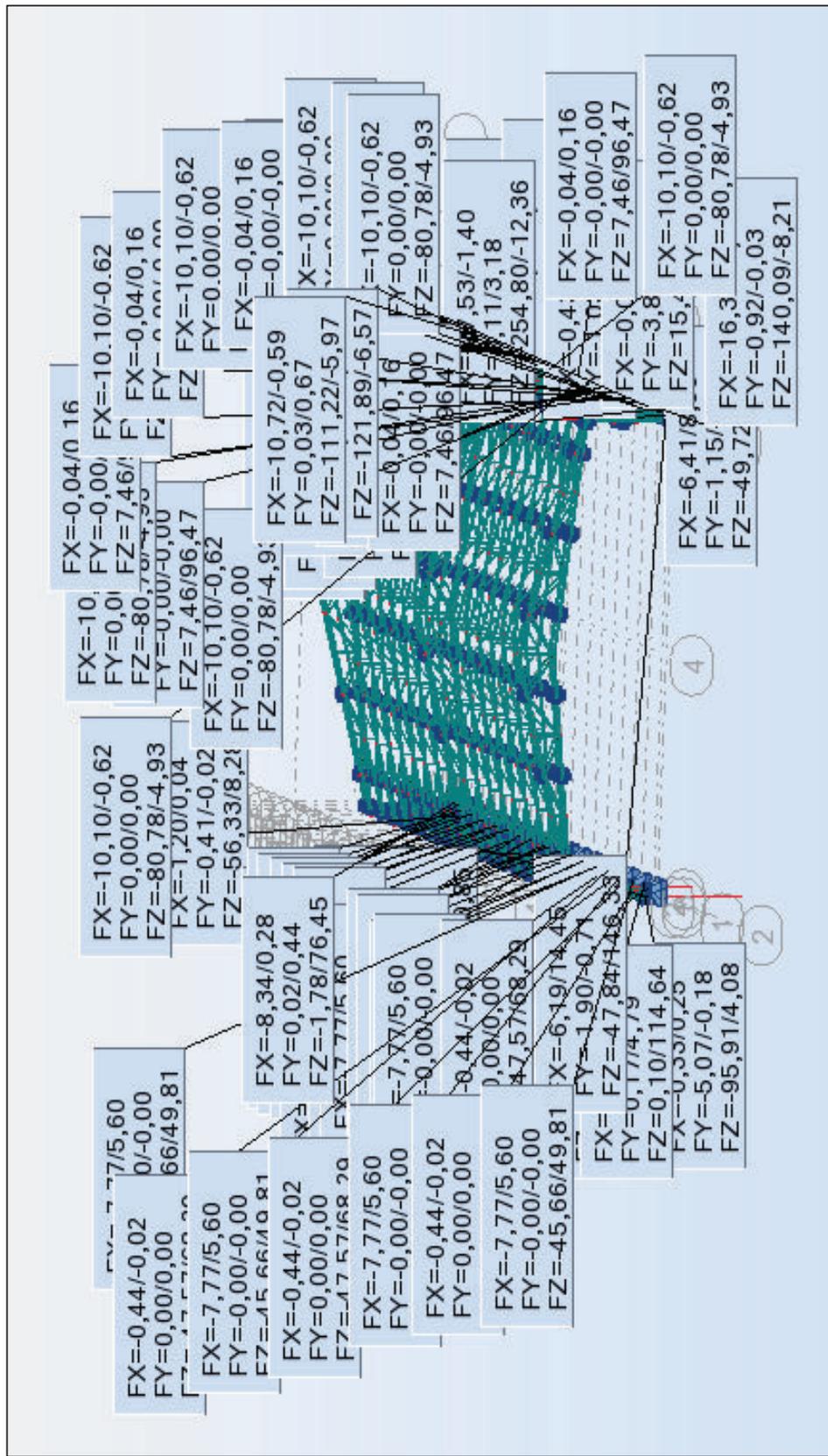


Figura 4. 54: Visualización de los valores de reacciones en cada punto de la estructura.  
FUENTE: Elaboración propia.

Reacciones:1 sistema de coordenadas global - Casos: 1A6 8 9 11 12						
Nudo/Caso	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
229/ 1	-0,03	-0,20	11,82	0,00	-0,00	0,0
229/ 2	-0,20	-2,43	71,68	0,00	0,00	0,0
229/ 3	-0,05	-0,61	17,92	0,00	0,00	0,0
229/ 4	-0,45	0,00	-101,81	0,00	-0,00	0,0
229/ 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
229/ 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
229/ ELU+	-0,03	-0,18	157,54	0,00	0,00	0,0
229/ ELU-	-0,73	-5,11	-91,17	0,00	-0,00	0,0
229/ ELS+	-0,03	-0,20	101,42	0,00	0,00	0,0
229/ ELS-	-0,72	-3,24	-89,99	0,00	-0,00	0,0
231/ 1	0,00	0,02	2,45	0,00	0,00	0,0
231/ 2	-0,14	0,20	-41,08	0,00	0,00	0,0
231/ 3	-0,03	0,05	-10,27	0,00	0,00	0,0
231/ 4	-0,24	0,00	98,15	-0,00	-0,00	0,0
231/ 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
231/ 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
231/ ELU+	0,00	0,41	101,08	0,00	0,00	0,0
231/ ELU-	-0,41	0,02	-79,23	0,00	0,00	0,0
231/ ELS+	0,00	0,26	100,60	0,00	0,00	0,0
231/ ELS-	-0,41	0,02	-48,91	0,00	0,00	0,0
255/ 1	-0,02	-0,19	7,68	0,00	0,00	0,0
255/ 2	-0,04	-2,31	21,82	0,00	-0,00	0,0
255/ 3	-0,01	-0,58	5,45	0,00	-0,00	0,0
255/ 4	-0,45	0,00	-101,87	0,0	0,0	0,0
255/ 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
255/ 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
255/ ELU+	-0,02	-0,17	52,85	0,00	0,00	0,0
255/ ELU-	-0,52	-4,84	-94,95	0,00	-0,00	0,0
255/ ELS+	-0,02	-0,19	34,95	0,00	0,00	0,0
255/ ELS-	-0,51	-3,07	-94,19	0,00	-0,00	0,0

Figura 4. 55: Extracto de valores de las reacciones en la estructura.

FUENTE: Elaboración propia.

El programa realiza un análisis de cada barra y nudo de la estructura para los diferentes casos de cargas y combinaciones de carga por el método de la resistencia última, a continuación se muestra la tabla de esfuerzos y momentos de donde se extraerán los valores más críticos para asegurar el correcto funcionamiento de la estructura.

Barra	Nudo	Caso	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1	1511	ELU+	1.28	0	0.05	0	0	0
1	1	ELU+	1.89	0	0	0	0	0
2	1	ELU+	0.1	0	0.05	0	0	0
2	1512	ELU+	0.41	0	0	0	0	0
3	1509	ELU+	2.97	0	0.05	0	0	0
3	1	ELU+	3.58	0	0	0	0	0
4	1	ELU+	-0.01	0	0.05	0	0	0
4	1510	ELU+	0.31	0	0	0	0	0
5	337	ELU+	3.72	0	0.06	0	0	0
5	2	ELU+	4.47	0	0	0	0	0
6	2	ELU+	-0.01	0	0.06	0	0	0
6	338	ELU+	0.38	0	0	0	0	0
7	339	ELU+	1.62	0	0.06	0	0	0
7	2	ELU+	2.38	0	0	0	0	0
8	2	ELU+	0.1	0	0.06	0	0	0
8	340	ELU+	0.48	0	0	0	0	0
9	461	ELU+	3.72	0	0.06	0	0	0
9	3	ELU+	4.47	0	0	0	0	0
10	3	ELU+	-0.01	0	0.06	0	0	0
10	462	ELU+	0.38	0	0	0	0	0
11	463	ELU+	1.62	0	0.06	0	0	0
11	3	ELU+	2.38	0	0	0	0	0
12	3	ELU+	0.1	0	0.06	0	0	0
12	464	ELU+	0.48	0	0	0	0	0
13	229	ELU+	157.54	0.1	-0.18	0	0	0
13	298	ELU+	157.24	0.1	-0.18	0	-0.09	0.22
14	298	ELU+	130.9	0.39	-0.07	0.07	-0.02	0.29
14	296	ELU+	130.59	0.39	-0.07	0.07	-0.05	0.09
15	296	ELU+	106.61	0.19	-0.08	0.06	-0.01	0.16
15	294	ELU+	106.3	0.19	-0.08	0.06	-0.05	0.07
16	294	ELU+	81.85	0.19	-0.08	0.06	0	0.14
16	292	ELU+	81.55	0.19	-0.08	0.06	-0.04	0.05
17	292	ELU+	57.21	0.31	-0.08	0.07	0.02	0.12
17	290	ELU+	56.91	0.31	-0.08	0.07	-0.04	0.02
18	290	ELU+	32.27	0.11	-0.02	0.04	0.32	0.04
18	230	ELU+	31.96	0.11	-0.02	0.04	0.09	0
19	844	ELU+	-9.3	0.34	0	0	0	0
19	845	ELU+	-9.28	-0.02	0	0	0	0.17
20	845	ELU+	-9.28	-0.07	0	0	0	0.17
20	862	ELU+	-9.27	-0.18	0	0	0	1.29
21	862	ELU+	-9.48	2.53	0	0	0	0.74

21	836	ELU+	-9.48	2.35	0	0	0	0
22	1412	ELU+	-11.21	0.26	0.01	0	0	0
22	1413	ELU+	-11.19	-0.01	0.01	0	0	0.2
23	1413	ELU+	-11.19	-0.06	0.01	0	0	0.2
23	1456	ELU+	-11.18	-0.17	0.01	0	0.01	1.19
24	1456	ELU+	-11.38	2.76	0	0	0.01	0.81
24	1404	ELU+	-11.37	2.61	0	0	0	0
25	661	ELU+	68.29	0.11	0	0	0	0
25	700	ELU+	67.99	0.11	0	0	0	0.08
26	700	ELU+	58.01	0.16	0	0	0	0.11

**Tabla 4. 7: Tabla de resultados de esfuerzos y momentos exportada del programa ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS (extracto).**

**FUENTE:** Elaboración propia.

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
<b>MAX</b>	293,81	4,46	4,02	2,23	3,14	2,51
<b>Barra</b>	2259	547	36	1952	1700	487
<b>Nudo</b>	381	380	230	371	423	384
<b>Caso</b>	ELU/2	ELU/2	ELU/2	ELU/2	ELU/2	ELU/2
<b>MIN</b>	-208,11	-4,32	-5,16	-1,58	-3,66	-2,54
<b>Barra</b>	2133	546	122	348	2138	536
<b>Nudo</b>	451	422	353	262	443	413
<b>Caso</b>	ELU/2	ELU/2	ELU/2	ELU/2	ELU/2	ELU/2

**Figura 4. 56: Valores de esfuerzos y momentos máximos y mínimos en la estructura.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

Cada barra que conforma la estructura va a tener un comportamiento diferente de acuerdo a las cargas que actúen en la misma, por lo que el programa da la opción de observar los diagramas de fuerzas y momentos en un elemento específico.

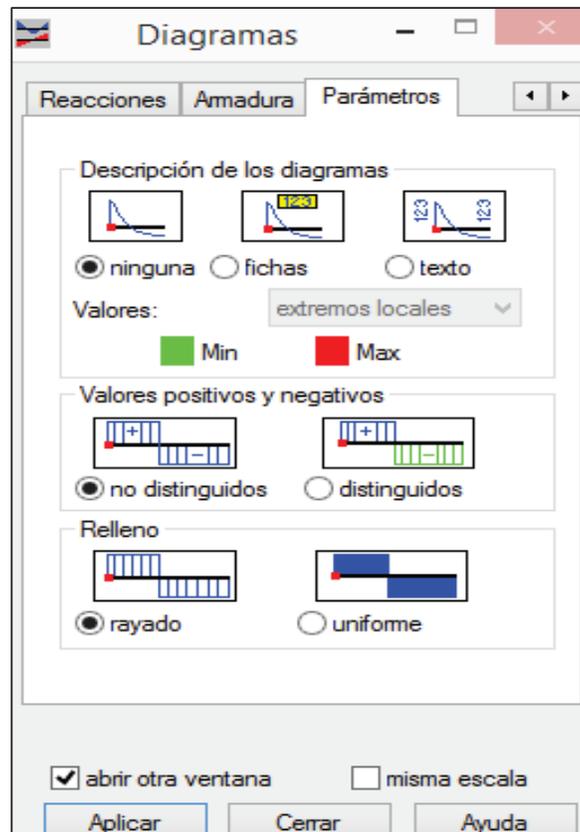


Figura 4. 57: Selección de los diagramas de barras.  
FUENTE: Elaboración propia.

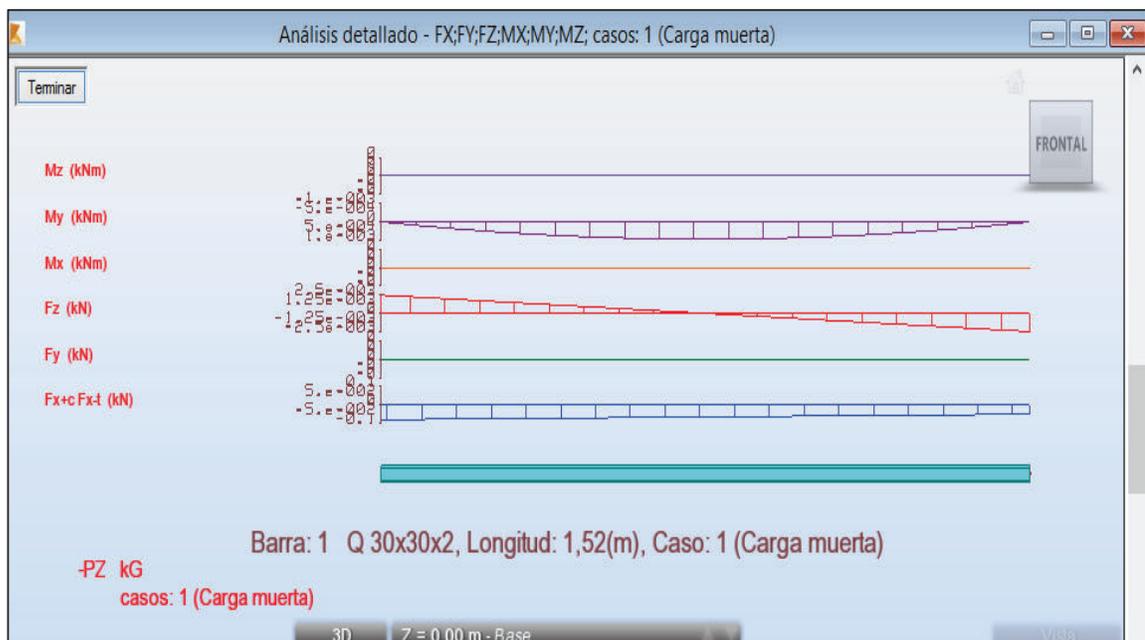


Figura 4. 58: Análisis detallado de diagramas del perfil "Q 30x30x2".  
FUENTE: Elaboración propia.

En la figura 4.59 se observa una tabla donde se detallan los valores de esfuerzos y momentos máximos y mínimos con los cuales se va a comprobar el diseño del elemento más crítico.

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
Tipo (color) de línea						
Escala : (cm) =	0.1	0.1	0.1	0.00	0.10	0.10
MAX	293,81	4,46	4,02	2,23	3,14	2,51
Barra	2259	547	36	1952	1700	487
Punto	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000
Caso	8	8	8	8	8	8
MIN	-208,11	-4,32	-5,16	-1,58	-3,66	-2,54
Barra	2133	546	122	348	2138	536
Punto	x = 1.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 0.0000	x = 1.0000
Caso	8	8	8	8	8	8

**Figura 4. 59: Selección de las barras más críticas.**  
FUENTE: Elaboración propia.

Barra/Nudo/Caso	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
36/ 282/ ELU+	-8,22	1,93	4,02	-0,00	-0,04	0,56
36/ 230/ ELU+	-8,21	1,75	4,02	-0,00	0,00	-0,00
547/ 380/ ELU+	17,58	4,46	0,06	-0,00	0,00	0,06
547/ 423/ ELU+	17,83	4,46	-0,00	-0,00	0,00	-0,09
2259/ 381/ ELU+	293,81	-0,04	3,87	0,0	0,00	0,00
2259/ 452/ ELU+	293,51	-0,04	3,87	0,0	1,94	0,41
Barra/Nudo/Caso	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
122/ 353/ ELU-	-42,12	-0,62	-5,16	0,0	0,00	-0,00
122/ 422/ ELU-	-42,17	-0,62	-5,16	0,0	-2,58	-0,05
546/ 422/ ELU-	-42,78	-4,32	-0,01	-0,00	-0,03	-2,45
546/ 405/ ELU-	-42,53	-4,32	-0,03	-0,00	-0,00	0,00
2133/ 411/ ELU-	-207,81	0,03	0,00	-0,03	0,00	-0,01
2133/ 451/ ELU-	-208,11	0,03	0,00	-0,03	0,00	-0,35

**Figura 4. 60: Combinación de cargas más desfavorables actuando sobre las barras más críticas.**

FUENTE: Elaboración propia.

Mediante las tablas de la figura 4.60 se obtienen los valores más críticos en los tres ejes, para determinar la barra más cargada se calcula la resultante de esfuerzos,

donde el valor más grande indicará el elemento para el cual se debe comprobar su estabilidad.

#### 4.3.6.3. Cálculo de la resultante de las barras más críticas en la estructura

Ejemplo de cálculo de la resultante para la barra 36:

$$F_{36} = \sqrt{(F_X)^2 + (F_Y)^2 + (F_Z)^2}$$

$$F_{36} = \sqrt{(-8,22)^2 + (1,93)^2 + (4,02)^2}$$

$$F_{36} = 9.35 \text{ kN}$$

$$F_{122} = 42.49 \text{ kN}$$

$$F_{546} = 42.99 \text{ kN}$$

$$F_{547} = 18.35 \text{ kN}$$

$$F_{2133} = 208.11 \text{ kN}$$

$$F_{2259} = 293.84 \text{ kN}$$

La barra más crítica es la 2259 como se muestra en la figura 4.61, la barra está ubicada en el primer pórtico móvil que es un pórtico doble el cual debe soportar la carga de la fuerza del motor así como la fuerza que ejercen las tijeras para transmitir el movimiento a los siguientes pórticos.

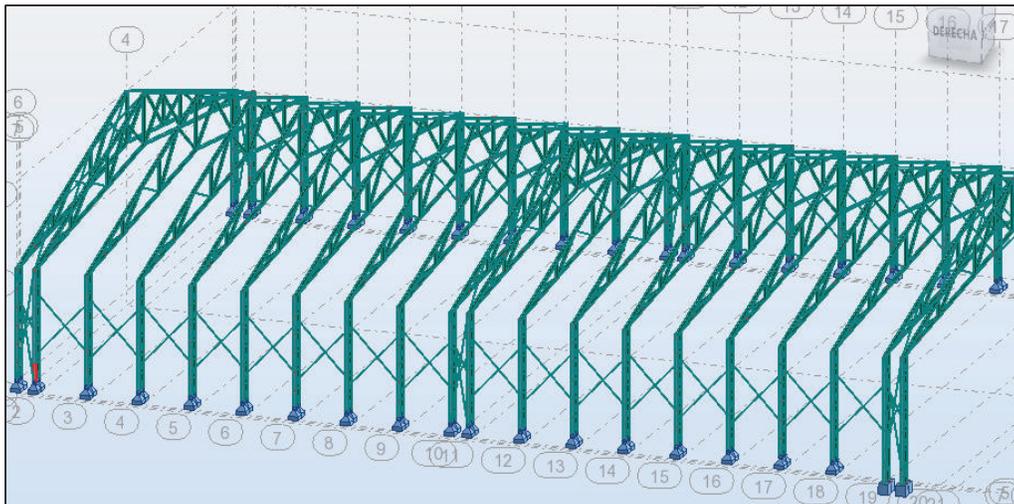


Figura 4. 61: Barra 2259 resaltada en color rojo.  
FUENTE: Elaboración propia.

Los esfuerzos internos que se producen en el elemento más crítico se muestran a continuación en la figura 4.62

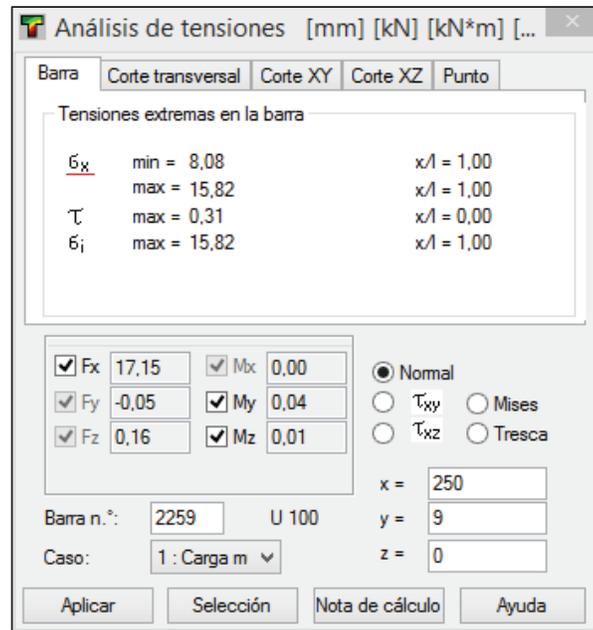


Figura 4. 62: Esfuerzos internos del elemento 2259.

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.4. VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD Y FUNCIONALIDAD DE LA BARRA MÁS CRÍTICA DE LA ESTRUCTURA (BARRA 2259)

Para la verificación del diseño de este elemento, se verifica que la resistencia de diseño de este miembro es mayor o igual a la resistencia determinada de acuerdo a las combinaciones de carga en base a factores de carga y resistencia LRFD, es decir:

$$R_U \leq \phi * R_n$$

Donde:

$R_U$  = Resistencia requerida (LRFD).

$R_n$  = Resistencia nominal.

$\phi$  = Factor de resistencia.

$\phi R_n$  = Resistencia de diseño.

Del Anexo E se toma las características y dimensiones necesarias para la verificación del miembro a compresión, corte y pandeo.

En compresión las secciones se clasifican como esbeltas o no esbeltas.

En flexión las secciones se clasifican como compactas o no compactas y esbeltas, para considerar la sección como compacta las alas deben estar continuamente conectadas al alma y debe cumplirse que:

Cálculo de la esbeltez de la columna:

$$K * \frac{L}{r} < 200$$

Donde:

$K$  = Factor de longitud efectiva.

$L$  = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro, mm.

$r$  = Radio de giro, mm

$$\frac{b}{t} < \lambda_p$$

Si

$$\lambda_p < \frac{b}{t} < \lambda_r$$

$\phi_c P_n$  = Resistencia de diseño en compresión.

$$\phi_c = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

Diseño de miembros a corte:

$\phi_V V_n$  = Resistencia de diseño en corte.

$$\phi_V = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

- Relación ancho/espesor del ala:

$$\frac{b}{t} = \frac{50 \text{ mm}}{8.5 \text{ mm}}$$

$$\frac{b}{t} = 5.88$$

- Relación ancho/espesor del alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{64 \text{ mm}}{6 \text{ mm}}$$

$$\frac{h}{t_w} = 10.67$$

- Esbeltez límite del ala:

$$\lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{199948.02 \text{ MPa}}{248.21 \text{ MPa}}}$$

$$\lambda_r = 15.89$$

#### 4.4.1. DISEÑO A COMPRESIÓN

Para compresión de miembros en flexión, la resistencia de compresión nominal será:

$$P_n = F_{cr} * A_g$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia de compresión nominal.

$F_{cr}$  = Tensión de pandeo crítica.

$A_g$  = Área bruta del miembro, mm<sup>2</sup>.

$F_e$  = Tensión de pandeo elástico.

Si:

$$\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{F_y/F_e} \right] * F_y$$

Si:

$$\frac{F_y}{F_e} > 2.25$$

$$F_{cr} = 0.877 * F_e$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left( \frac{K * L}{r} \right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 199948.02}{(12.82)^2}$$

$$F_e = \mathbf{12007.17 MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{248.21 MPa}{12007.17 MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = 0.021 \leq 2.25$$

$$F_{cr} = [0.658^{0.021}] * 248.21 MPa$$

$$F_{cr} = \mathbf{246.04 MPa}$$

$$P_n = 246.04 \text{ MPa} * 1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$P_n = 332.15 \text{ kN}$$

En la figura 4.62 se observa los esfuerzos internos producidos en la barra 2259, donde se obtiene el valor de la resistencia de compresión  $P_r = 17.18 \text{ kN}$ .

$$\frac{P_r}{P_n} \leq 1$$

$$\frac{P_r}{P_n} = 0.057 \leq 1$$

Por lo tanto el diseño a compresión es correcto.

#### 4.4.2. DISEÑO A CORTANTE

Para canales solicitados a corte en el plano del alma la resistencia nominal de corte será:

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v$$

Donde:

$V_n$  = Resistencia nominal de corte.

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia (248.21 MPa).

$A_w$  = Área del alma (13.5 cm<sup>2</sup>).

$C_v$  = Coeficiente para cálculo de tensiones críticas en corte.

Para determinar el factor  $C_v$ , la relación ancho-espesor debe cumplir una de las siguientes condiciones:

Si:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}$$

$$C_v = 1$$

Si:

$$1.1 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}$$

$$C_v = \frac{1.1 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}}$$

Si:

$$\frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}$$

$$C_v = \frac{1.51 * E * k_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 * F_y}$$

Donde:

$h$  = Distancia libre entre alas menos el filete o radio de esquina, cm.

$t_w$  = Espesor del alma, cm.

$k_v$  = Coeficiente de pandeo por corte del alma.

Ya que en este tramo del miembro diseñado no existen atiesadores transversales

y la relación ancho-espesor  $\frac{h}{t_w} \leq 260$ .

$$k_v = 5$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{k_v * \frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{64}{6} \leq 1.1 \sqrt{5 * \frac{199948.02 \text{ MPa}}{248.21 \text{ MPa}}}$$

$$10.67 \leq 69.81$$

Entonces:

$$C_v = 1$$

Para la verificación a corte se debe tener presente que éste esfuerzo va a producir corte respecto al eje principal o fuerte “Z” y también respecto al eje débil “Y” ya que sobre éste actúa una carga puntual (fuerza del motor).

#### 4.4.2.1. Verificación a corte respecto al eje “Z”

$$V_{nz} = 0.6 * F_y * A_{wz} * C_{vz}$$

$$A_{wz} = 100 \text{ mm} * 6 \text{ mm}$$

$$A_{wz} = 600 \text{ mm}^2$$

$$V_{nz} = 0.6 * 248.21 \text{ MPa} * 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * 1$$

$$V_{nz} = 89.35 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_{nz} = 0.9 * 89.35 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_{nz} = 80.42 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{rz}}{V_{nz}} \leq 1$$

$$\frac{0.16 \text{ kN}}{80.42 \text{ kN}} \approx 0$$

Por lo cual el diseño a corte en el eje “Z” es correcto.

#### 4.4.2.2. Verificación a corte respecto al eje “Y”

$$V_{ny} = 0.6 * F_y * A_{wy} * C_{vy}$$

$$A_{wy} = 100 \text{ mm} * 8.5 \text{ mm}$$

$$A_{wy} = 850 \text{ mm}^2$$

$$V_{ny} = 0.6 * 248.21 \text{ MPa} * 8.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * 1$$

$$V_{ny} = 126,54 \text{ KN}$$

$$\phi_v V_{ny} = 0,9 * 126.54 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_{ny} = 113.89 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ry}}{V_{ny}} \leq 1$$

$$\frac{-0.05 \text{ kN}}{113.85 \text{ kN}} \approx 0$$

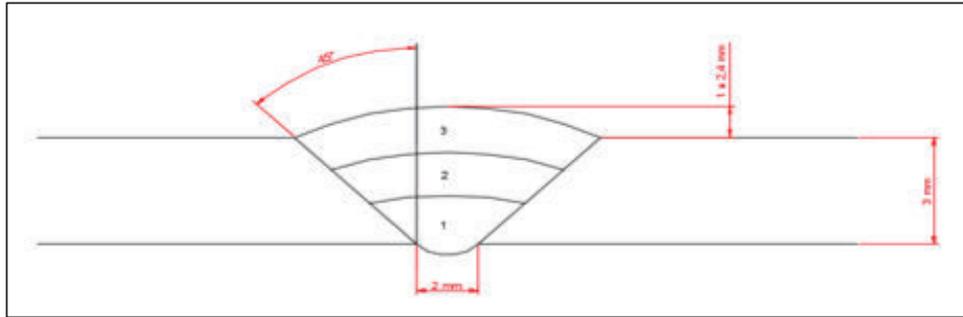
Por lo cual el diseño a corte en el eje “Y” es correcto.

## 4.5. DISEÑO DE SOLDADURA

La soldadura es el proceso de unión de materiales, generalmente de origen metálico, pero no se limita a estos. Desde la antigüedad se ha realizado ciertos procesos de soldadura, iniciando con la forja, pero con el avance del tiempo este proceso ha evolucionado relacionándose con la física, la química la electrónica, la metalurgia, entre otros.

## 4.5.1. CÁLCULO DE SOLDADURA

### 4.5.1.1. Perfil U-U



**Figura 4. 63: Perfil U-U.**  
FUENTE: Elaboración propia.

	NOMENCLATURA	Barra 1	Barra 3	UNIDADES
<b>Barra N.º:</b>		1915	1916	
<b>Perfil:</b>		U 100	U 100	
	h	100	100	mm
	$b_f$	50	50	mm
	$t_w$	6	6	Mm
	$t_f$	9	9	Mm
	r	9	9	Mm
	A	1350	1350	mm <sup>2</sup>
<b>Material:</b>		STEEL A36	STEEL A36	
	$f_y$	248.21	248,21	MPa
	$f_u$	399.9	399.9	MPa
<b>Ángulo</b>	$\alpha$	6.3	6.3	Deg
<b>Longitud</b>	l	0	0	M

**Tabla 4. 8: Parámetros.**  
FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.5.1.1.1. Soldadura de las barras

<b>Barra 1</b>		
$l_1$	100 mm	Longitud 1 de soldadura longitudinal
$l_2$	100 mm	Longitud 2 de soldadura longitudinal
<b>a</b>	3 mm	Espesor de las soldaduras de ángulo longitudinales
<b>b</b>	3 mm	Espesor de la soldadura de ángulo transversal
<b>Barra 3</b>		
$l_1$	100 mm	Longitud 1 de soldadura longitudinal

$l_2$	100 mm	Longitud 2 de soldadura longitudinal
$a$	3 mm	Espesor de las soldaduras de ángulo longitudinales
$b$	3 mm	Espesor de la soldadura de ángulo transversal

**Cuadro 4. 4: Soldadura de barras.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.5.1.1.2. Cartela

$l_p$	500 mm	Longitud de la pletina
$h_p$	100 mm	Altura de la pletina
$t_p$	10 mm	Espesor de la pletina

**Cuadro 4. 5: Parámetros de la cartela.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

$e_v$	250 mm	Distancia vertical entre el borde de la pletina y el punto de intersección de los ejes de las barras
$e_H$	250 mm	Distancia horizontal entre el borde de la pletina y el punto de intersección de los ejes de las barras

**Cuadro 4. 6: Distancias.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

<b>Material</b>	<b>STEEL A36</b>	
$f_y$	248.21 mm	Resistencia

**Cuadro 4. 7: Material de la estructura.**

**FUENTE:** Elaboración propia

#### 4.5.1.1.3. Coeficientes del material

$\gamma_{M0}$	1	Coficiente de seguridad parcial
$\gamma_{M2}$	1.25	Coficiente de seguridad parcial

**Cuadro 4. 8: Coeficientes de seguridad.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.5.1.1.4. Cargas

$N_{b1,Ed}$	10 kN	Esfuerzo axil
$N_{b3,Ed}$	10 kN	Esfuerzo axil

**Cuadro 4. 9: Esfuerzo axil.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.5.1.1.5. Verificación de las soldaduras

$E$	mm	Excentricidad de la fuerza axial respecto al centro de gravedad del grupo de soldaduras
$M_0$	kN.m	Momento flector real
$A_w$	mm <sup>2</sup>	Área de las soldaduras
$I_0$	mm <sup>4</sup>	Momento de inercia polar de las soldaduras
$\tau_N$	MPa	Tensión resultante debida al impacto de la fuerza longitudinal
$\tau_{Mx}$	MPa	Tensión componente debida al impacto del momento respecto a la dirección x
$\tau_{Mz}$	MPa	Tensión resultante debida al impacto del momento respecto a la dirección z
$\tau$	MPa	Tensión resultante
$\beta_w$		Coficiente de correlación
$f_{vw,d}$	MPa	

**Cuadro 4. 10: Verificación de las soldaduras.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### Barra 1:

$$e = 0 \text{ mm}$$

$$M_0 = N_{b1,Ed} \cdot e$$

$$M_0 = (10 \text{ kN})(0 \text{ m})$$

$$M_0 = 0 \text{ kN.m}$$

$$A_s = 900 \text{ mm}^2$$

$$I_0 = 287247 \text{ mm}^4$$

$$\tau_N = \frac{N_{b1,Ed}}{A_s} = \frac{(10000 \text{ N})}{(9 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_N = 11,11 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mx} = \frac{M_0 \cdot z}{I_0} = \frac{(0 \text{ kN.m})}{(287247 \text{ mm}^4)}$$

$$\tau_{Mx} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M_0 \cdot x}{I_o} = \frac{(0 \text{ kN} \cdot \text{m})}{(287247 \text{ mm}^4)}$$

$$\tau_{Mz} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau = \sqrt{(\tau_N + \tau_{Mx})^2 + (\tau_{Mz})^2}$$

$$\tau = \sqrt{(11.11 + 0)^2 + (0)^2}$$

$$\tau = 11.11 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0.85 \text{ [Tabla 4.1]}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3 \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{399.9 \text{ MPa}}{\sqrt{(3)(0.85)(1.25)}}$$

$$f_{vw,d} = 223.54 \text{ [MPa]}$$

$$\tau \leq f_{vRd}$$

$$11.11 \leq 223.54 \quad (0.05)$$

Resistencia de la sección:

$$N_{plRd} = \frac{A \cdot f_{y1}}{\gamma_{Mo}} = \frac{(1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2)(248.21 \times 10^6)}{(1)}$$

$$N_{plRd} = 335.08 \text{ [MPa]}$$

$$|N_{b1,Ed}| \leq N_{plRd}$$

$$|10| \leq 335.08 \quad (0.03)$$

**Barra 3:**

$$e = 0 \text{ mm}$$

$$M_0 = N_{b1,Ed} \cdot e$$

$$M_0 = (10 \text{ kN})(0 \text{ m})$$

$$M_0 = 0 \text{ kN.m}$$

$$A_s = 900 \text{ mm}^2$$

$$I_o = 287247 \text{ mm}^4$$

$$\tau_N = \frac{N_{b1,Ed}}{A_s} = \frac{(10000 \text{ N})}{(9 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_N = 11.11 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mx} = \frac{M_0 \cdot z}{I_o} = \frac{(0 \text{ kN.m})}{(287247 \text{ mm}^4)}$$

$$\tau_{Mx} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M_0 \cdot x}{I_o} = \frac{(0 \text{ kN.m})}{(287247 \text{ mm}^4)}$$

$$\tau_{Mz} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau = \sqrt{(\tau_N + \tau_{Mx})^2 + (\tau_{Mz})^2}$$

$$\tau = \sqrt{(11.11 + 0)^2 + (0)^2}$$

$$\tau = 11.11 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0.85 \text{ [Tabla 4.1]}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3 \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{399.9 \text{ MPa}}{\sqrt{(3)(0.85)(1.25)}}$$

$$f_{vw,d} = 223.54 \text{ MPa}$$

$$\tau \leq f_{vRd}$$

$$11.11 \leq 223.54 \quad (0.05)$$

Resistencia de la sección:

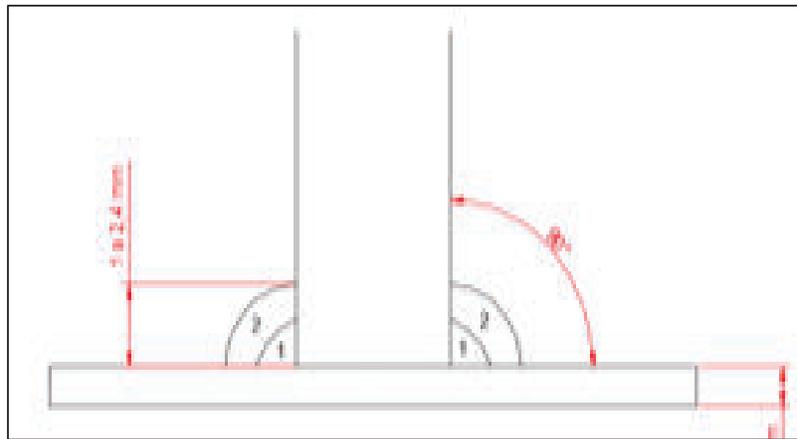
$$N_{plRd} = \frac{A \cdot f_{y1}}{\gamma_{Mo}} = \frac{(1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2)(248.21 \times 10^6)}{(1)}$$

$$N_{plRd} = 335.08 \text{ [MPa]}$$

$$|N_{b1,Ed}| \leq N_{plRd}$$

$$|10| \leq 335.08 \quad (0.03)$$

#### 4.5.1.2. Unión con cartela



**Figura 4. 64: Unión de la cartela.**  
FUENTE: Elaboración propia.

	NOMENCLATURA	Barra 1	Barra 3	UNIDADES
<b>Barra N.º:</b>		1915	1916	
<b>Perfil:</b>		U 100	U 100	
	h	100	100	mm
	b <sub>f</sub>	50	50	mm
	t <sub>w</sub>	6	6	mm
	t <sub>f</sub>	9	9	mm
	r	9	9	mm
	A	1350	1350	mm <sup>2</sup>
<b>Material:</b>		STEEL A36	STEEL A36	
	f <sub>y</sub>	248.21	248.21	MPa
	f <sub>u</sub>	399.90	399.90	MPa
<b>Ángulo</b>	α	6.3	6.3	Deg
<b>Longitud</b>	l	0	0	m

**Cuadro 4. 11: Parámetros.**  
FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.5.1.2.1. Soldadura de las barras

<b>Barra 1</b>		
$l_1$	100 mm	Longitud 1 de soldadura longitudinal
$l_2$	100 mm	Longitud 2 de soldadura longitudinal
$a$	3 mm	Espesor de las soldaduras de ángulo longitudinales
$b$	3 mm	Espesor de la soldadura de ángulo transversal
<b>Barra 3</b>		
$l_1$	100 mm	Longitud 1 de soldadura longitudinal
$l_2$	100 mm	Longitud 2 de soldadura longitudinal
$a$	3 mm	Espesor de las soldaduras de ángulo longitudinales
$b$	3 mm	Espesor de la soldadura de ángulo transversal

**Cuadro 4. 12: Dimensiones.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.5.1.2.2. Cartela

$l_p$	500 mm	Longitud de la pletina
$h_p$	100 mm	Altura de la pletina
$t_p$	10 mm	Espesor de la pletina

**Cuadro 4. 13: Datos de la placa.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

$e_v$	250 mm	Distancia vertical entre el borde de la pletina y el punto de intersección de los ejes de las barras
$e_H$	250 mm	Distancia horizontal entre el borde de la pletina y el punto de intersección de los ejes de las barras

**Cuadro 4. 14: Distancias.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

<b>Material</b>	<b>STEEL A36</b>	
$f_y$	248.21 mm	Resistencia

**Cuadro 4. 15: Material.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.5.1.2.3. Coeficientes del material

$\gamma_{M0}$	1	Coeficiente de seguridad parcial
$\gamma_{M2}$	1.25	Coeficiente de seguridad parcial

**Cuadro 4. 16: Coeficiente de seguridad.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.5.1.2.4. Cargas

$N_{b1,Ed}$	10 kN	Esfuerzo axial
$N_{b3,Ed}$	10 kN	Esfuerzo axial

**Cuadro 4. 17: Esfuerzo axial.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.5.1.2.5. Verificación de las soldaduras

$E$	mm	Excentricidad de la fuerza axial respecto al centro de gravedad del grupo de soldaduras
$M_0$	kN.m	Momento flector real
$A_w$	mm <sup>2</sup>	Área de las soldaduras
$I_0$	mm <sup>4</sup>	Momento de inercia polar de las soldaduras
$\tau_N$	MPa	Tensión resultante debida al impacto de la fuerza longitudinal
$\tau_{Mx}$	MPa	Tensión componente debida al impacto del momento respecto a la dirección x
$\tau_{Mz}$	MPa	Tensión resultante debida al impacto del momento respecto a la dirección z
$\tau$	MPa	Tensión resultante
$\beta_w$		Coficiente de correlación
$f_{vw,d}$	MPa	

**Cuadro 4. 18: Dimensiones.**  
**FUENTE:** Elaboración propia.

#### Barra 1:

$$e = 0 \text{ mm}$$

$$M_0 = N_{b1,Ed} \cdot e$$

$$M_0 = (10 \text{ kN})(0 \text{ m})$$

$$M_0 = 0 \text{ kN.m}$$

$$A_s = 900 \text{ mm}^2$$

$$I_0 = 287247 \text{ mm}^4$$

$$\tau_N = \frac{N_{b1,Ed}}{A_s} = \frac{(10000 \text{ N})}{(9 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_N = 11.11 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mx} = \frac{M_0 \cdot z}{I_o} = \frac{(0 \text{ kN}\cdot\text{m})}{(287247 \text{ mm}^4)}$$

$$\tau_{Mx} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M_0 \cdot x}{I_o} = \frac{(0 \text{ kN}\cdot\text{m})}{(287247 \text{ mm}^4)}$$

$$\tau_{Mz} = 0 \text{ [MPa]}$$

$$\tau = \sqrt{(\tau_N + \tau_{Mx})^2 + (\tau_{Mz})^2}$$

$$\tau = \sqrt{(11.11 + 0)^2 + (0)^2}$$

$$\tau = 11.11 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0.85 \text{ [Tabla 4.1]}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3 \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{399.9 \text{ MPa}}{\sqrt{(3)(0.85)(1.25)}}$$

$$f_{vw,d} = 223.54 \text{ MPa}$$

$$\tau \leq f_{vRd}$$

$$11.11 \leq 223.54 \quad (0.05)$$

Resistencia de la sección:

$$N_{plRd} = \frac{A \cdot f_{y1}}{\gamma_{Mo}} = \frac{(1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2)(248.21 \times 10^6)}{(1)}$$

$$N_{plRd} = 335.08 \text{ MPa}$$

$$|N_{b1,Ed}| \leq N_{plRd}$$

$$|10| \leq 335.08 \quad (0.03)$$

**Barra 3:**

$$e = 0 \text{ mm}$$

$$M_0 = N_{b1,Ed} \cdot e$$

$$M_0 = (10 \text{ kN})(0 \text{ m})$$

$$M_0 = 0 \text{ kN.m}$$

$$A_s = 900 \text{ mm}^2$$

$$I_o = 287247 \text{ mm}^4$$

$$\tau_N = \frac{N_{b1,Ed}}{A_s} = \frac{(10000 \text{ N})}{(9 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_N = 11,11 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mx} = \frac{M_0 \cdot z}{I_o} = \frac{(0 \text{ kN.m})}{(287247 \text{ mm}^4)}$$

$$\tau_{Mx} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M_0 \cdot x}{I_o} = \frac{(0 \text{ kN.m})}{(287247 \text{ mm}^4)}$$

$$\tau_{Mz} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau = \sqrt{(\tau_N + \tau_{Mx})^2 + (\tau_{Mz})^2}$$

$$\tau = \sqrt{(11.11 + 0)^2 + (0)^2}$$

$$\tau = 11.11 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0.85 [\text{Tabla 4.1}]$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3 \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{399.9 \text{ MPa}}{\sqrt{(3)(0.85)(1.25)}}$$

$$f_{vw,d} = 223.54 \text{ MPa}$$

$$\tau \leq f_{vRd}$$

$$11.11 \leq 223.54 \quad (0.05)$$

Resistencia de la sección:

$$N_{plRd} = \frac{A \cdot f_{y1}}{\gamma_{Mo}} = \frac{(1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2)(248.21 \times 10^6)}{(1)}$$

$$N_{plRd} = 335.08 \text{ MPa}$$

$$|N_{b1,Ed}| \leq N_{plRd}$$

$$|10| \leq 335.08 \quad (0.03)$$

#### 4.6. DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE

$$My = \sum M$$

$$My = P * do/2 + P * do/2 + P * do/2 + P * do/2$$

$$P = \frac{My}{2 * do} = \frac{0.97 \text{ Kip.in}}{2 * 700 \text{ mm}} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 0,018 \text{ Kip}$$

##### 4.6.1. PERNO DE ANCLAJE

Se usara un perno de anclaje de 1 in de diámetro.

$f_t$  = Esfuerzo a tracción del perno de anclaje.

$F_t$  = Esfuerzo permisible de tracción para el acero.

$S_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero.

$FS$  = Factor de seguridad (1.66 se considera el factor de seguridad mínimo para el análisis de tensión).

$$f_t \leq F_t$$

$$F_t = 4954.28 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Catálogo}$$

$$F_t = \frac{S_y}{FS} = \frac{S_y}{1.66}$$

$$F_t = 0.6 * S_y = 0.6 * 4954.28 \text{ kg/cm}^2 * \frac{1.422 \times 10^{-2}}{1 \text{ kg/cm}^2}$$

$$F_t = 42.26 \text{ ksi}$$

Para los pernos de anclaje se usará varilla corrugada según la norma INEN 102 grado A 42.

$$f_t = \frac{P}{A_t}$$

$P$  = Esfuerzo a tracción del perno de anclaje.

$A_t$  = Esfuerzo permisible de tracción para el acero.

$$f_t = \frac{P}{\pi * \phi_p^2 / 4} = \frac{4P}{\pi * \phi_p^2} = \frac{4 * 0.018 \text{ kip}}{\pi * 1^2 \text{ in}}$$

$$f_t = 0.023 \text{ ksi}$$

Dónde:

$$f_t \leq F_t$$

$$0.023 \leq 42.26 \quad \text{Si se cumple}$$

#### 4.6.2. LONGITUD EFECTIVA DEL PERNO DE ANCLAJE

$$\sum F_L = F_1 + F_2$$

$\sum F_L$  = Sumatoria de las fuerzas longitudinales actuantes en el perno.

$F_1$  = Fuerza de compresión en el ala del perno.

$F_2$  = Fuerza de adherencia entre la superficie del perno con la longitud  $L$  y el hormigón.

$$\frac{M}{d_o} = f_a * a * \phi_p + \theta_h * \pi * \phi_p * L$$

Dónde:

$$f_a \leq F^*C$$

$$f_h \leq F^*H$$

$F^*C$  = Esfuerzo admisible del hormigón.

$F^*H$  = Esfuerzo de adherencia del hormigón

$a$  = Ala del perno

$d$ (mm)	$\leq 6$	8	10	12-16	20-40
$f_R$	$\geq 0.039$	$\geq 0.045$	$\geq 0.052$	$\geq 0.056$	$\geq 0.056$

Figura 4. 65: Adherencia del hormigón en función del diámetro del perno.

FUENTE: Instrucción del hormigón estructural.

$$F^*H = f_r * F^*C$$

$$F^*C = \frac{f^*c}{FS}$$

Dónde:

$$f^*c = 210 \text{ kg/cm}^2 = 2.987 \text{ ksi}$$

$$FS \geq 4 \text{ recomendación}$$

$$P = F^*C * a * \phi_p + F^*H * \pi * \phi_p * L$$

Dónde:

$$a = 5\% L_e$$

$$P = \frac{f^*c}{4} * 0.05 * L * \phi_p + f_r * \frac{f^*c}{4} * \pi * \phi_p * L$$

$$L = \frac{4P}{f_c * \phi_p * 0.05 + \pi * f_r}$$

$$L = \frac{4 * 0,018 \text{ kip}}{2.987 \text{ ksi} * 1 \text{ in} * 0.05 + \pi * 0.056}$$

$$L = 0.22 \text{ in}$$

El ala del perno de anclaje es de:

$$a = 0.05 * l = 0.05 * 0.22$$

$$a = 0.011 \text{ in}$$

#### 4.7. PLACA BASE

$B$  y  $C$  = Dimensiones de la placa base.

$d$  = Espaciamiento del perfil columna.

$n$  = Longitud del ala.

$p$  = Presión.

$I$  = Inercia.

$$p = \frac{P}{B * C}$$

$$I = \frac{C * t^3}{12}$$

Si  $C = 1$ :

$$I = \frac{t^3}{12}$$

$$C' = \frac{t}{2}$$

$f_b$  = Esfuerzo real de flexión.

$F_b$  = Esfuerzo admisible a flexión.

$M$  = Momento que genera la flexión de las alas.

$$f_b = \frac{M * C'}{I} \leq F_b$$

$$M = \frac{p * n * n}{2} = \frac{p * n^2}{2}$$

$$f_b = \frac{\frac{p * n^2}{2} * \frac{t}{2}}{\frac{t^3}{12}} = \frac{3 * p * n^2}{t^2} \leq F_b$$

$$F_b = \frac{S_y}{FS} = \frac{S_y}{1.66} = 0.6 * S_y$$

$$t = \sqrt{\frac{3 * p * n^2}{F_b}} = \sqrt{\frac{3 * p * n^2}{0.6 * S_y}}$$

Dónde:

$$p = F'C$$

$$t = \sqrt{\frac{3 * F'C * n^2}{0.6 * S_y}} = \sqrt{\frac{3/4 * f'c * n^2}{0.6 * S_y}} = \sqrt{\frac{1.25 * 2.987 \text{ ksi} * 100 \text{ mm}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$t = 32 \text{ mm} = 0,032 \text{ m}$$

#### 4.8. LONGITUD TOTAL DEL PERNO DE ANCLAJE

$$L = L_{efectiva} + e_{placa \text{ base}} + L_{rosca}$$

$$L = 0.22 + 1.26 + 1.96$$

$$L = 3.44 \text{ in} = 8.74 \text{ cm} = 0,0874 \text{ m}$$

## **CAPITULO 5: ANÁLISIS DE COSTOS**

### **5.1. MATERIA PRIMA**

La estructura a diseñar es de acero A-36, tanto las columnas como las vigas se con este material y estará unida a través de soldaduras. También se debe tomar en cuenta el uso de platinas, las cuales servirán como soportes de cimentación, ménsulas, refuerzos, etc.

A pesar de que la estructura es soldada, se considera el uso de pernos, arandelas, tuercas, etc., accesorios que se unirán al sistema de movilidad y cimentación.

### **5.2. PROCESO DE FABRICACIÓN**

En el proceso de fabricación de la estructura tipo pórtico se debe tomar en cuenta los procesos a realizar los mismos que se detallan a continuación:

- Selección de la materia prima.
- Corte de los perfiles.
- Conformación de la estructura.
- Acabado.

#### **5.2.1. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

La selección de los materiales es primordial, sobre todo de los perfiles a usar. Lo que se debe tomar en cuenta es que los perfiles estén presentes en el mercado local y cumplan con los estándares de calidad; así se tiene varios proveedores que se dedican a la venta, entre ellos están:

- Kubiec.
- DIPAC.
- IPAC.

### 5.2.2. CORTE DE LOS PERFILES

Para el corte de los materiales existen dos procesos:

- Corte mecánico.
- Corte térmico.

En el caso de la estructura a fabricar se usará el corte térmico, el mismo que puedo ser por oxigas o plasma. Para esto se debe tener en cuenta:<sup>16</sup>

- Seleccionar las partes y accesorios del equipo de corte térmico, según las especificaciones de seguridad y aplicación.
- Seleccionar los gases consumibles y manipulación de los cilindros de los gases a presión.
- Regular los parámetros del equipo de corte térmico, en función del espesor, del tipo de material y capacidad del equipo empleado.
- Limpieza del material a cortar, para evitar imperfecciones.
- Selección y ubicación del equipo de sujeción.
- Selección de las temperaturas de precalentamiento y post-calentamiento.
- Corte de los materiales tomando en cuenta la seguridad.
- Verificar la calidad del corte.
- Manejo de los desperdicios.

### 5.2.3. CONFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA

En este proceso se realiza la preparación de las juntas a soldar, para el armado de las estructura, tomando en cuenta los parámetros de soldadura, los mismos que se

---

<sup>16</sup> <http://es.slideshare.net/maodgsanty/trazado-corte-conformado-y-armado>

detallan en la respectiva documentación (WPS, PQR). También se debe considerar los pernos de sujeción u la unión de las ménsulas y placas de cimentación.

#### **5.2.4. ACABADO**

El acabado es fundamental en la terminación de la estructura, tanto por factores ambientales como estéticos; es decir, se realizará un tratamiento superficial a la estructura con el empleo de pintura anticorrosiva, para evitar el desgaste y oxidación de los perfiles y dar un aspecto estético.

### **5.3. EQUIPO A USAR**

#### **5.3.1. EQUIPO**

- Cizalla guillotina eléctrica capacidad de corte 16 mm.
- Sopletes oxipropano para cortar y calentar.
- Sopletes oxiacetino para soldar hasta 9 mm y cortar hasta 50 mm.
- Equipo para corte por plasma hasta 25 mm.
- Máquinas de soldar de 40 a 350 A (MIG).
- Máquinas de soldar 250 A (SMAW)
- Taladro eléctrico portátil con capacidad de broca 13 mm.
- Taladro de columna, capacidad de broca 25 mm.
- Electro-esmeriladora fija, capacidad de muela 200 mm de diámetro.
- Sierra alternativa para cortar metales de 14”.
- Compresor 5 HP.
- Compresor 2.5 HP.

### **5.3.2. HERRAMIENTAS**

- Alicates.
- Brocas.
- Calibrador.
- Cepillos de púas de acero.
- Cinta métrica.
- Flexómetros.
- Limas.
- Juego de llaves.
- Destornilladores.
- Reglas.
- Puntas de trazar.
- Granetes.

### **5.3.3. EQUIPO DE SEGURIDAD**

- Acetileno.
- Anhídrido carbónico.
- Argón.
- Chapas de acero.
- Discos de esmeril.
- Electrodo revestidos.
- Hilo de soldar continuo.
- Hojas de sierra.

- Oxígeno.
- Perfiles.
- Platinas.
- Tubos.
- Tornillería.
- Compresor 2,5 HP.

#### **5.3.4. EQUIPO DE SEGURIDAD**

- Botas de protección.
- Ropa de trabajo.
- Casco.
- Gafas protectoras de cristal oscuro.
- Gafas protectoras de cristal claro.
- Caretas de protección para soldar.
- Guantes de protección.
- Mandil.
- Tapones auditivos.
- Capuchas jean para soldar.
- Capuchas de cuero para soldar.
- Mosquetones.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup>

<http://www.empleo.jcyl.es/web/jcyl/binarios/942/768/FMEL40.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue>

### 5.3.5. ESTRUCTURA

NOMBRE	ÍTEM	PROCESO	UNIDAD DE COMPRA	CANTIDAD UTILIZADA
Columnas y vigas	Acero A 36	Corte, soldadura, pintura	kg	6371.3
Placas de anclaje y accesorios	Platinas de acero A 36	Corte, taladrado, pintura	kg	1370
	Equipos y elementos de soldadura		ml	

**Tabla 5. 1: Materiales de la estructura**

**FUENTE:** Elaboración propia.

### 5.3.6. COSTO DE LA MATERIA PRIMA

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	PESO UNITARIO	PESO TOTAL kg	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	U 100x50x3	161	26.88	4327.68	19.92	<b>3207.12</b>
2	TUBO CUADRADO 30x30x2	50	11.12	556	10.09	<b>504.5</b>
3	G 60x30x10x1,95	4	11.68	46.72	8.76	<b>35.04</b>
4	ANGULO 25x25x3	210	6.74	1415.4	7.74	<b>1625.4</b>
5	TUBO RECTANGULAR 60x40x3	1	25.47	25.47	24.6	<b>24.6</b>
					SUMA \$:	<b>5396.66</b>
					12% IVA \$:	<b>647.60</b>
					6371.3	<b>TOTAL \$: 6044.26</b>

**Cuadro 5. 1: Materia prima.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

### 5.3.7. COSTO DE MONTAJE DE LA ESTRUCTURA

ITEM	CANT.	DÓLARES / SEMANA	SEMANAS	SUB TOTAL (\$)
Soldadores	3	200	5	3000
Armadores	4	175	5	3500
Ayudantes	5	135	5	3375
Ingeniero de obra	1	250	5	1250
<b>Total (\$)</b>				<b>11125</b>

**Cuadro 5. 2: Montaje de la estructura.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

### 5.3.8. COSTO DE MANO DE OBRA CIVIL

ITEM	CANTIDAD	DÓLARES/SEMANA	SEMANAS	SUB TOTAL (\$)
Maestro mayor	1	200	12	2400
Maestro albañil	3	150	12	5400
Ayudantes	3	110	12	3960
<b>Total (\$)</b>				<b>11760</b>

**Cuadro 5. 3: Mano de obra civil.**

FUENTE: Elaboración propia.

### 5.3.9. COSTO DE OBRA CIVIL

PREPARACIÓN DEL SUELO	ÍTEM	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	SUB TOTAL (\$)
	Piedra bola	m <sup>3</sup>	50	5.6	280
	Hormigón	m <sup>3</sup>	46.34	90	4170.6
	Malla electro soldada	malla	31	83,72	2595.32
	<b>Total (\$)</b>				<b>7045.92</b>

**Cuadro 5. 4: Obra civil.**

FUENTE: Elaboración propia.

### 5.3.10. COSTO DE ALQUILER DE LOS EQUIPOS

ITEM	CANTIDAD	DÓLARES/DÍA	DÍAS	SUB TOTAL (\$)
Soldadoras	3	33.2	30	2988
Cortadora de plasma	1	49.8	30	1494
Oxicorte	1	33.2	30	996
Amoladoras	5	3.32	30	498
Taladro electromagnético	1	49.8	2	984
Teodolito	1	33.2	5	166

**Tabla 5. 2: Alquiler de los equipos.**

FUENTE: Elaboración propia.

ITEM	CANTIDAD	DÓLARES/DÍA	DÍAS	SUB TOTAL (\$)
Grúa	1	1200	3	3600
ITEM	CANTIDAD (PARES)	(DÓLARES/MES)(PAR)	MESES	SUB TOTAL(\$)
Andamios	6	40	1	240

**Tabla 5. 3: Grúa y andamios.**

FUENTE: Elaboración propia.

### 5.3.11. COSTO DEL EQUIPO DE SEGURIDAD

ÍTEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Casco de polietileno	25	95.55	2388.75
Ropa de trabajo	25	282.24	7056
Zapatos de seguridad	25	59.51	1487.75
Cinturón de seguridad con arnés	15	216.38	3245.7
Tapones auditivos de caja	30	2.23	66.9
Par guantes API	25	6.7	167.5
Delantal de cuero para soldador	5	4.46	22.3
Mangas de cuero	5	4.46	22.3
Capuchas jean para soldador	5	4.46	22.3
Capuchas de cuero para soldador	5	6.25	31.25
Gafas protectoras cristal claro	25	3.5	87.5
Gafas protectoras cristal oscuro	25	4	100
Caretas de protección para soldar	5	145	725
Guaipes	500	0.15	75
<b>TOTAL</b>			<b>15475.95</b>

**Cuadro 5. 5: Equipo de seguridad.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

### 5.3.12. RESUMEN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

COSTOS	DÓLARES
Materia prima	6044.26
Mano de obra	11125
Mano de obra civil	11760
Alquiler de equipos	10080.4
Consumibles	302.21
Otros gastos y obra civil	7045.92
<b>TOTAL</b>	<b>46357.79</b>

**Tabla 5. 4: Construcción de la estructura.**

**FUENTE:** Elaboración propia.

## 5.4. ANÁLISIS DE COSTOS

### 5.4.1. COSTOS DIRECTOS

ITEM	UNIDAD DE COMPRA	COSTO DE COMPRA	CANTIDAD UTILIZADA	COSTO TOTAL
Acero A 36	kg	-	6371.3	<b>6.044.26</b>

Platinas de acero A 36	kg	1.06		
Pinturas y recubrimientos	kits	100	30	3.000
Tanques para oxicorte	tanques	490	20	9.800
Electrodos	kg	9.43	100	943
Discos de corte y pulido, brocas	unidad	11.77	350	2.354
<b>TOTAL</b>				<b>16.097</b>

Cuadro 5. 6: Costos directos.

FUENTE: Elaboración propia.

#### 5.4.2. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

ESTRUCTURA PARA LA CÁMARA DE LA PEQUEÑA INDUSTRIA						
<b>RUBRO</b>	<b>SUMINISTRO DE ACERO ESTRUCTURAL</b>					
<b>CÓDIGO</b>	RJ-1					
<b>UNIDAD</b>	kg					
<b>CANTIDAD</b>	6371.27		R (kg/h)		63.71	
<b>TIEMPO</b>	100		K		0.02	
<b>EQUIPO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO/HORA</b>	<b>UNITARIO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
RJ-1.1	Herramienta menor	2.00	0.50	1.00	0.01569546	5%
RJ-1.2	Herramienta de medición	1.00	2.00	2.00	0.03139092	9%
RJ-1.3	Monta carga	1.00	18.75	18.75	0.29428984	85%
RJ-1.4	Pórtico de izaje	1.00	0.19	0.19	0.00298214	1%
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0.34435835</b>	<b>100%</b>
<b>PERSONAL</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO/HORA</b>	<b>UNITARIO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
RJ-1.5	Operador del montacarga	1.00	3.00	3.00	0.04708637	38%
RJ-1.6	Ayudante	2.00	2.50	5.00	0.07847729	63%
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0.12556366</b>	<b>100%</b>
<b>MATERIALES</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
RJ-1.7	Acero A-36	kg	1.03	1.3	1.339	100%
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>1.339</b>	<b>100%</b>
<b>TRANSPORTE</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD/COSTO</b>	<b>COSTO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
RJ-1.8						
<b>SUBTOTAL P</b>						
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>1.81</b>	
<b>COSTOS INDIRECTOS (8 %)</b>					0.14	
<b>IMPUESTOS (1 %)</b>					0.02	
<b>COSTOS FINANCIEROS (1 %)</b>					0.02	
<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>					<b>0.18</b>	
<b>TOTAL</b>					<b>1.99</b>	

Cuadro 5. 7: Suministro de acero estructural.

FUENTE: Elaboración propia.

ESTRUCTURA PARA LA CÁMARA DE LA PEQUEÑA INDUSTRIA						
RUBRO	FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA					
CÓDIGO	RJ-2					
UNIDAD	kg					
CANTIDAD	6371.27	R (kg/h)	39.82			
TIEMPO	160	K	0.03			
EQUIPO						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-2.1	Oxicorte	1.00	0.83	0.83	0.02084357	7%
RJ-2.2	Plasma	1.00	0.83	0.83	0.02084357	7%
RJ-2.3	Soldadura SMAW	1.00	3.20	3.20	0.08036074	25%
RJ-2.4	Amoladora	2.00	3.20	6.40	0.16072149	51%
RJ-2.5	Compresor	1.00	1.35	1.35	0.03390219	11%
SUBTOTAL M					<b>0.31667156</b>	<b>100%</b>
PERSONAL						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-2.6	Soldadores	2.00	4.25	8.50	0.21345823	26%
RJ-2.7	Armador	1.00	4.00	4.00	0.10045093	12%
RJ-2.8	Ayudante	5.00	3.40	17.00	0.42691645	52%
RJ-2.9	Pintor	1.00	2.98	2.98	0.07483594	9%
SUBTOTAL N					<b>0.81566156</b>	<b>100%</b>
MATERIALES						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	PORCENTAJE
RJ-2.10	Gas oxígeno	m³	0.04	3.65	0.146	14%
RJ-2.11	Gas acetileno	m³	0.04	16.24	0.6496	62%
RJ-2.12	Electrodos 60XX	kg	0.018	2.34	0.04212	4%
RJ-2.13	Electrodos 70XX	kg	0.012	2.34	0.02808	3%
RJ-2.14	Discos de corte	Unidad	0.02	4	0.08	8%
RJ-2.15	Discos de desbaste	Unidad	0.02	5	0.1	9%
RJ-2.16	Pintura y recubrimiento	Galones	0.01	1	0.01	1%
SUBTOTAL O					<b>1.0558</b>	<b>100%</b>
TRANSPORTE						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD/COSTO	COSTO	PORCENTAJE
RJ-2.17						
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					<b>2.19</b>	
COSTOS INDIRECTOS (8 %)					0.18	
IMPUESTOS (1 %)					0.02	
COSTOS FINANCIEROS (1 %)					0.02	
TOTAL COSTO INDIRECTO					<b>0.22</b>	
<b>TOTAL</b>					<b>2.41</b>	

Cuadro 5. 8: Fabricación de la estructura.  
FUENTE: Elaboración propia.

ESTRUCTURA PARA LA CÁMARA DE LA PEQUEÑA INDUSTRIA						
RUBRO	MONTAJE DE LA ESTRUCTURA					
CÓDIGO	RJ-3					
UNIDAD	kg					
CANTIDAD	6371.27		R (kg/h)		79.64	
TIEMPO	80		K		0.01	
EQUIPO						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-3.1	Grúa	1.00	0.83	0.83	0.01042178	17%
RJ-3.2	Soldadora 250 Amp.	2.00	1.80	3.60	0.04520292	73%
RJ-3.3	Herramienta menor	1.00	0.50	0.50	0.00627818	10%
SUBTOTAL M					0.06190289	100%
PERSONAL						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-3.4	Soldador calificado	2.00	2.42	4.84	0.06077281	29%
RJ-3.5	Armador	2.00	2.00	4.00	0.05022547	24%
RJ-3.6	Ayudante	6.00	1.33	7.98	0.1001998	47%
SUBTOTAL N					0.21119808	100%
MATERIALES						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	PORCENTAJE
RJ-3.7	Electrodo E60XX	kg	0.018	3.65	0.0657	15%
RJ-3.8	Electrodo E70XX	kg	0.012	16.24	0.19488	45%
RJ-3.9	Disco de corte	Unidad	0.02	4	0.072	17%
RJ-3.10	Disco de desbaste	Unidad	0.02	5	0.1	23%
SUBTOTAL O					0.43258	100%
TRANSPORTE						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD/COSTO	COSTO	PORCENTAJE
RJ-3.11						
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0.71	
COSTOS INDIRECTOS (8 %)					0.06	
IMPUESTOS (1 %)					0.01	
COSTOS FINANCIEROS (1 %)					0.01	
TOTAL COSTO INDIRECTO					0.07	
<b>TOTAL</b>					<b>0.78</b>	

Cuadro 5. 9: Montaje de la estructura.  
FUENTE: Elaboración propia.

ESTRUCTURA PARA LA CÁMARA DE LA PEQUEÑA INDUSTRIA						
RUBRO	PLACAS DE CIMENTACIÓN					
CÓDIGO	RJ-4					
UNIDAD	kg					
CANTIDAD	3045.80	R (kg/h)	152.29			
TIEMPO	20	K	0.01			
EQUIPO						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-4.1	Herramienta menor	1.00	0.50	0.50	0.00328321	14%
RJ-4.2	Taladro de pedestal	1.00	1.25	1.25	0.00820802	34%
RJ-4.3	Compresor 2 HP	1.00	0.63	0.63	0.00413684	17%
RJ-4.4	Oxicorte	1.00	0.63	0.63	0.00413684	17%
RJ-4.5	Amoladora	1.00	0.63	0.63	0.00413684	17%
SUBTOTAL M					0.02390177	100%
PERSONAL						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-4.6	Técnico oxicorte	1.00	4.67	4.67	0.03066518	59%
RJ-4.7	Ayudante	1.00	3.22	3.22	0.02114387	41%
SUBTOTAL N					0.05180905	100%
MATERIALES						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	PORCENTAJE
RJ-4.8	Anticorrosivo	Galones	0.005	10.25	0.05125	34%
RJ-4.9	Disco de desbaste	Unidad	0.02	5	0.1	66%
SUBTOTAL O					0.15125	34%
TRANSPORTE						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD/COSTO	COSTO	PORCENTAJE
RJ-4.10						
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0.23	
COSTOS INDIRECTOS (8 %)					0.02	
IMPUESTOS (1 %)					0.00	
COSTOS FINANCIEROS (1 %)					0.00	
TOTAL COSTO INDIRECTO					0.02	
<b>TOTAL</b>					<b>0.25</b>	

Cuadro 5. 10: Placas de cimentación.

FUENTE: Elaboración propia.

ESTRUCTURA PARA LA CÁMARA DE LA PEQUEÑA INDUSTRIA						
RUBRO	PERNOS DE ANCLAJE					
CÓDIGO	RJ-5					
UNIDAD	kg					
CANTIDAD	160.00	R (kg/h)	6.67			
TIEMPO	24	K	0.15			
EQUIPO						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-5.1	Herramienta menor	1.00	0.50	0.50	0.075	17%
RJ-5.2	Torno	2.00	0.63	1.26	0.189	42%
RJ-5.3	Equipo de corte	1.00	0.63	0.63	0.0945	21%
RJ-5.4	Amoladora	1.00	0.63	0.63	0.0945	21%
SUBTOTAL M					<b>0.453</b>	<b>100%</b>
PERSONAL						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-5.5	Ayudante mecánico	3.00	3.22	9.66	1.449	60%
RJ-5.6	Tornero	2.00	3.22	6.44	0.966	40%
SUBTOTAL N					<b>2.415</b>	<b>100%</b>
MATERIALES						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	PORCENTAJE
RJ-5.7	Varilla 1"	kg	1.03	1	1.03	93%
RJ-5.8	Disco de corte	Unidad	0.02	4	0.08	7%
SUBTOTAL O					<b>1.11</b>	<b>100%</b>
TRANSPORTE						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD/COSTO	COSTO	PORCENTAJE
RJ-4.10						
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					<b>3.98</b>	
COSTOS INDIRECTOS (8 %)					0.32	
IMPUESTOS (1 %)					0.04	
COSTOS FINANCIEROS (1 %)					0.04	
TOTAL COSTO INDIRECTO					<b>0.40</b>	
<b>TOTAL</b>					<b>4.38</b>	

Cuadro 5. 11: Pernos de anclaje.

FUENTE: Elaboración propia.

ESTRUCTURA PARA LA CÁMARA DE LA PEQUEÑA INDUSTRIA						
RUBRO	CUBIERTA					
CÓDIGO	RJ-6					
UNIDAD	kg					
CANTIDAD	551.93	R (kg/h)	27.60			
TIEMPO	20	K	0.04			
EQUIPO						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-6.1	Herramienta menor	1.00	0.50	0.50	0.01811824	42%
RJ-6.2	Equipo de corte	1.00	0.70	0.70	0.02536554	58%
SUBTOTAL M					<b>0.04348378</b>	<b>100%</b>
PERSONAL						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	UNITARIO	PORCENTAJE
RJ-6.3	Instalador	2.00	2.50	5.00	0.1811824	38%
RJ-6.4	Ayudante	4.00	2.00	8.00	0.28989183	62%
SUBTOTAL N					<b>0.47107423</b>	<b>100%</b>
MATERIALES						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	PORCENTAJE
RJ-6.5	Tela Ferrari	kg/m <sup>2</sup>	0.75	70.05	52.5375	100%
SUBTOTAL O					<b>52.5375</b>	<b>100%</b>
TRANSPORTE						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD/COSTO	COSTO	PORCENTAJE
RJ-6.7						
SUBTOTAL P						
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					<b>53.05</b>	
COSTOS INDIRECTOS (8 %)					4.24	
IMPUESTOS (1 %)					0.53	
COSTOS FINANCIEROS (1 %)					0.53	
TOTAL COSTO INDIRECTO					<b>5.31</b>	
<b>TOTAL</b>					<b>58.36</b>	

Cuadro 5. 12: Cubierta.  
FUENTE: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

1. Con el estudio realizado, se logró diseñar la estructura tipo pórtico retráctil, la cual es capaz de soportar una carga viva de  $0.24 \text{ kN/m}^2$  y una carga viva de techo prevista para mantenimiento de  $60 \text{ kg/m}^2$  con sus respectivas combinaciones, garantizando la seguridad de las personas que asistan a los respectivos eventos a realizar en el Centro de Exposiciones Quito.
2. El uso de este tipo de estructuras retractiles presentan diseños novedosos en la actualidad y permiten un ahorro de espacio y dinero; la estructura es de acero, se eligió este material, ya que en nuestro país esta industria es la que más predomina, el aluminio y la madera también fueron considerados, pero no ofrecían los parámetros adecuados para el diseño.
3. El uso de estructuras retractiles permite la optimización de espacios, ya que al momento de retraerse se obtiene un espacio libre, donde pueden ingresar maquinarias u otros equipos.
4. De los resultados obtenidos se observa que la barra más crítica está ubicada en el primer pórtico lo cual se había previsto desde un inicio ya que éste pórtico debe soportar la carga puntual que ejerce el motor además de empujar o halar el resto de pórticos para la apertura o cierre.
5. Usar arriostramientos en la estructura permitió la disminución del peso de la misma, así como también su costo.
6. El uso de software, en este caso ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL, permitió acelerar y facilitar el trabajo debido a la gran cantidad de perfiles usados y uniones entre ellos, proporcionando datos exactos. Sin embargo se debe tener en cuenta el criterio ingenieril tanto para seleccionar los parámetros adecuados, obtener resultados coherentes y darle un buen uso al software.
7. En el país existen empresas que ofrecen una amplia gama de perfiles estructurales; en el presente proyecto de titulación se eligieron perfiles delgados

los cuales fueron arriostrados tanto en las columnas como en el techo (tipo celosía), brindando una mayor rigidez y estabilidad.

8. En el estudio de cargas que se realizó en el presente proyecto, se usó una velocidad de viento sobredimensionada de 150 km/h con el fin de obtener datos que nos permitan brindar un factor de seguridad adecuado en casos extremos de viento.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda el uso de materiales similares a las membranas estructurales, más no materiales rígidos y pesados, ya que impedirían el desplazamiento de los pórticos. La estructura está diseñada exclusivamente para una lona (membrana estructura), con el fin de facilitar el movimiento y aligerar la misma, no se consideró el uso de otro tipo de cubierta como planchas de poliuretano u otro material.
2. La estructura está diseñada para soportar cargas y combinaciones de carga brindando estabilidad al momento de apertura o cierre de la misma, sin embargo para mayor seguridad se recomienda la instalación de un cable tensor en el techo de la estructura.
3. Es recomendable el uso de pórticos retractiles con arriostramientos, ya que gracias a ellos se puede dar estabilidad y aligerar la estructura.
4. Es importante que la estructura se desplace a una velocidad baja y constante, debido a que las dimensiones de la misma son grandes y puede ocurrir el descarrilamiento de las ruedas de la guía que se ubicará en el piso.
5. La instalación de la lona debe ser realizada por personal capacitado, en este caso se recomienda que el trabajo sea hecho por la empresa Preysi, quienes son especialistas en instalación de dichas membranas estructurales.
6. El suelo tiene que estar nivelado para facilitar el desplazamiento de las ruedas.
7. Se recomienda realizar una inspección periódica tanto de la estructura como de la cubierta, para así realizar el mantenimiento adecuado.

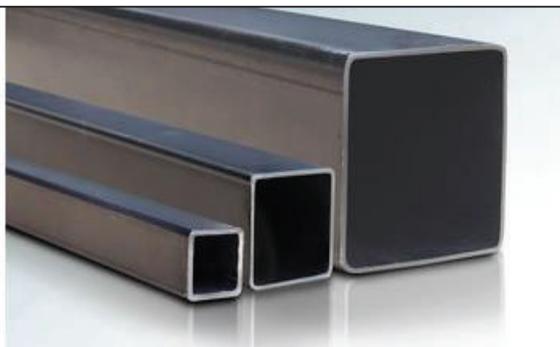
## BIBLIOGRAFÍA

- Salvat, J. (1980). Cómo funciona. Estella: Editorial Marshall Cavendish.
- <http://www.arqhys.com/fotos-de-la-torre-eiffel.html>
- <http://isostaticas.zxq.net/reticulados.pdf>
- <https://www.google.com.ec/search?q=estructuras+aporticadas>
- <http://www.scribd.com/doc/50129773/SISTEMA-TRADICIONAL-APORTICADO>
- <http://udocivil678.files.wordpress.com/2010/07/fundaciones-elaborado-por-prof-jose-velasquez.pdf>
- 
- <http://fresharquitectos.blogspot.com/2010/02/felix-candela-la-conquista-de-la.html>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn49.html>
- AISC. (18 de MARZO de 2005). Code of Standard Practice for Steel Buildings and Chicago: American Institute of Steel Construction, Inc.
- Norma AWS D1.1.
- <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.cpe.5.1.2001.pdf>
- Barlovento y sotavento, PDF.
- <http://www.laminasescolares.com/2012/08/mapa-zonas-sismicas-ecuador.html>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), Código de Práctica Ecuatoriano CPE-INEN 5”, Parte 1, Capítulo 4, Tabla 4.
- [http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente\\_de\\_seguridad.htm](http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_seguridad.htm)
- [http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/10673/mod\\_resource/content/1/html/elasticidad/node60.html](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/10673/mod_resource/content/1/html/elasticidad/node60.html)

- Guía teórica y práctica del curso tipología estructural, PDF.
- [http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL\\_Movilidad\\_grandes\\_estructuras.pdf](http://www.perezpinero.org/PDF/VALCARCEL_Movilidad_grandes_estructuras.pdf)
- ESTRUCTURAS TRANSFORMABLES.
- <http://www.outlet-piscinas.com/cubierta-dallas>
- [http://pipor.com/wp-content/uploads/2011/02/PIPOR\\_caracteristicas\\_cubiertas.pdf](http://pipor.com/wp-content/uploads/2011/02/PIPOR_caracteristicas_cubiertas.pdf)
- <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/R/r120membranas/r120membranas.asp>
- [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05\\_Disenos\\_detallado\\_de\\_celosias.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/4-SBE/ES/SSB05_Disenos_detallado_de_celosias.pdf).
- ANSI.
- Instrucción del hormigón estructural.
- <http://es.slideshare.net/maodgsanty/trazado-corte-conformado-y-armado>
- <http://www.empleo.jcyl.es/web/jcyl/binarios/942/768/FMEL40.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue>

## **ANEXOS**

**ANEXO A: CATÁLOGO DE PERFILES  
PROPORCIONADOS POR DIPAC PARA EL DISEÑO DE LA  
ESTRUCTURA TIPO PÓRTICO RETRÁCTIL.**



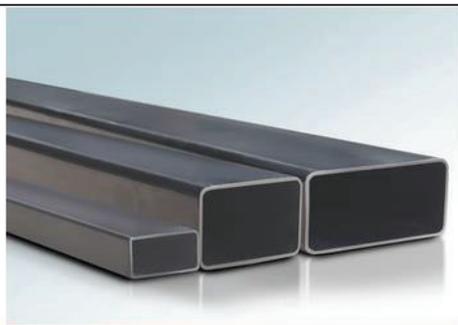
ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

#### Especificaciones:

Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado
Norma de calidad:	ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:	NTE INEN 2415
Espesores:	Desde 1,50 a 6,00 mm Otras dimensiones,
Observaciones:	espesores y largos previa consulta

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
B	e			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
		A	P	I	W	i
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,74
	2,00	1,34	1,05	0,69	0,69	0,72
25	1,50	1,35	1,06	1,41	1,11	0,97
	2,00	1,74	1,36	1,48	1,18	0,92
30	1,50	1,65	1,30	2,19	1,46	1,15
	2,00	2,14	1,68	2,71	1,81	1,12
	3,00	3,01	2,36	3,50	2,34	1,08
40	1,50	2,25	1,77	5,48	2,74	1,56
	2,00	2,94	2,31	6,92	3,46	1,53
	3,00	4,21	3,30	9,28	4,64	1,48
50	1,50	2,85	2,24	12,56	4,92	2,01
	2,00	3,74	2,93	14,13	5,65	1,94
	3,00	5,41	4,25	19,40	7,76	1,89
60	1,50	3,45	2,71	18,94	6,31	2,43
	2,00	4,54	3,56	25,12	8,37	2,35
	3,00	6,61	5,19	35,06	11,69	2,30
75	2,00	5,74	4,50	51,90	13,84	3,00
	3,00	8,41	6,60	76,13	19,99	2,97
	4,00	10,95	8,59	94,02	24,74	2,92
100	2,00	7,74	6,07	122,99	24,60	3,99
	3,00	11,41	8,96	190,94	37,53	4,04
	4,00	14,95	11,73	235,87	46,54	3,96
125	2,00	9,74	7,64	350,00	56,00	6,00
	3,00	14,41	11,31	355,00	56,80	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,00	73,12	4,91
	6,00	27,63	21,69	1193,92	105,20	31,46
135	4,00	20,55	16,13	581,38	86,13	5,32
	5,00	25,36	19,90	704,23	104,33	5,27
	6,00	30,03	23,58	818,50	121,26	5,22



**ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO**

**DESCARGAR ESPECIFICACIONES**

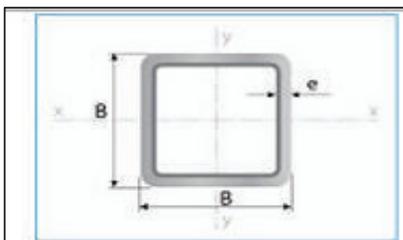
**Especificaciones:**

Largo Normal: 6 metros  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de calidad: ASTM A 500 Gr. A, B ó C  
 Norma de Fabricación: NTE INEN 2415  
 Espesores: Desde 1,50 a 6,00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones, espesores y largos previa consulta

**Certificados:**

## Tubería Estructural Rectangular

Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas							
			Eje x-x			Eje y-y				
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro		
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	40	1,50	1,65	1,30	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
		2,00	2,14	1,68	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,50	2,10	1,65	7,65	3,02	0,82	2,50	2,02	1,05
		2,00	2,74	2,15	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
		3,00	3,91	3,07	12,90	5,08	1,75	4,12	3,26	0,99
30	50	1,50	2,25	1,77	7,53	3,01	1,83	3,41	2,27	1,23
		2,00	2,94	2,31	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
		3,00	4,21	3,30	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
40	60	1,50	2,85	2,24	14,40	4,79	2,26	7,71	3,85	1,65
		2,00	3,74	2,93	18,39	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
		3,00	5,41	4,25	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,50	2,85	2,24	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
		2,00	3,74	2,93	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
		3,00	5,41	4,25	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	2,00	4,54	3,56	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
		3,00	6,61	5,19	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
		4,00	8,55	6,71	53,20	17,78	2,62	10,80	11,50	1,18
50	100	2,00	5,74	4,50	73,63	14,50	3,66	25,46	10,03	2,15
		3,00	8,41	6,60	113,57	22,29	3,61	38,40	15,08	2,10
		4,00	10,95	8,59	140,19	27,53	3,56	47,01	18,52	2,06
50	150	2,00	7,74	6,07	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
		3,00	11,41	8,96	317,82	41,79	5,21	56,16	22,12	2,18
		4,00	14,95	11,73	397,70	52,27	5,13	69,06	27,20	2,14
		5,00	18,36	14,41	455,54	60,74	4,98	77,40	30,96	2,05



**Aplicaciones**

- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.
- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Construcción en general.



[ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO](#)

[DESCARGAR ESPECIFICACIONES](#)

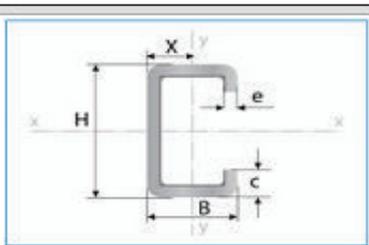
**Especificaciones:**

Largo Normal: 6 metros  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Calidad de acero: ASTM A36 / ASTM A572 Gr. 50  
 Norma de Fabricación: NTE INEN 1623  
 Espesores: Desde 1,50 a 4,00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta

**Certificados:**  
[com/producto\\_detalle.php?id=16](#)

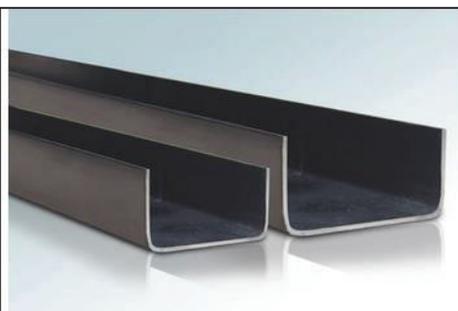
## Perfiles Estructurales Correas

Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas										
			Eje x-x			Eje y-y			Desviación lateral				
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro					
H	B	c	e	A	P	I	W	i	I	W	i	X	
mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	
60	30	10	1,50	1,95	9,19	11,16	3,72	1,82	3,96	2,06	1,08	1,07	
			2,00	2,54	11,95	14,88	4,96	2,42	5,28	2,74	1,44	1,07	
			3,00	3,61	16,99	20,90	6,96	2,40	7,26	3,77	1,41	1,08	
80	40	15	1,50	2,70	12,73	28,20	7,05	3,06	6,58	2,61	1,39	1,45	
			2,00	3,54	16,66	32,25	8,81	3,16	8,07	3,18	1,51	1,46	
			3,00	5,11	24,06	49,04	12,26	3,10	10,85	4,27	1,46	1,46	
100	50	15	1,50	3,30	15,55	54,70	10,94	3,84	12,07	3,70	1,80	1,71	
			2,00	4,34	20,43	69,24	13,85	4,00	14,98	4,57	1,86	1,71	
			3,00	6,31	29,71	97,78	19,56	3,94	20,51	6,25	1,80	1,72	
		25	4,00	8,95	42,14	122,00	24,50	3,88	24,90	7,55	1,75	1,71	
125	50	15	1,50	3,68	17,32	91,23	14,37	4,95	13,63	3,90	1,91	1,58	
			2,00	4,84	22,78	116,42	18,63	4,91	16,16	4,69	1,83	1,58	
			3,00	7,06	33,24	165,47	26,48	4,48	22,16	6,43	1,77	1,55	
		25	4,00	9,95	46,85	209,00	33,40	4,78	26,90	7,78	1,71	1,54	
150	50	15	1,50	4,05	19,09	140,47	18,43	5,85	14,49	3,98	1,88	1,41	
			2,00	5,34	25,14	178,71	23,83	5,79	17,13	4,78	1,79	1,42	



### Aplicaciones

- Conformado de elementos estructurales:
  - Vigas.
  - Viguetas.
  - Columnas.
- Estructura para cubiertas.
- Estructura para galpones.
- Estructuras en general.



ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

#### Especificaciones:

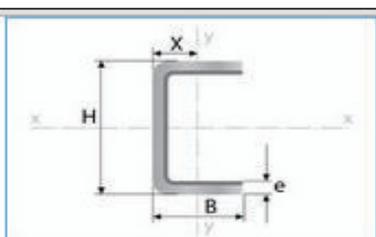
Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado
Calidad de acero:	ASTM A36 / ASTM A572 Gr. 50
Norma de Fabricación:	NTE INEN 1623
Espesores:	Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta

#### Certificados:

[ver productos detallados](#)

## Perfiles Estructurales Canales

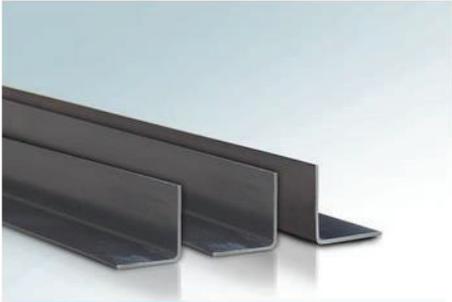
Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas								
			Eje x-x				Eje y-y				
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Área	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Área	
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i	X
mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
50	25	1,50	1,43	6,72	5,30	2,12	1,46	0,85	0,47	0,59	0,67
		2,00	1,87	8,80	7,06	2,83	1,94	1,13	0,63	0,78	0,72
		3,00	2,33	12,74	9,70	3,88	1,89	1,57	0,91	0,76	0,77
80	40	1,50	2,31	10,96	23,13	5,78	2,38	3,67	1,26	0,95	1,04
		2,00	3,07	14,45	30,84	7,71	3,17	4,89	1,68	1,26	1,09
		3,00	4,50	21,21	43,87	10,97	3,12	7,01	2,45	1,25	1,14
		4,00	5,87	27,67	55,41	13,85	3,07	8,92	3,17	1,23	1,19
		5,00	7,18	33,81	65,50	16,40	3,02	10,60	3,84	1,22	1,24
100	50	1,50	2,93	13,78	46,12	9,23	2,99	7,29	2,00	1,19	1,29
		2,00	3,87	18,22	61,49	12,30	3,99	9,72	2,66	1,59	1,34
		3,00	5,70	26,87	88,47	17,69	3,94	14,06	3,89	1,57	1,39
		4,00	7,47	35,20	113,04	22,61	3,89	18,08	5,07	1,56	1,44
		5,00	9,18	43,23	135,00	27,10	3,84	21,80	6,19	1,54	1,48
125	50	1,50	3,30	15,55	77,39	12,38	3,65	7,80	2,06	1,16	1,15
		2,00	4,37	20,58	103,19	16,51	4,86	10,40	2,74	1,54	1,20
		3,00	6,45	30,40	149,28	23,89	4,81	15,08	4,02	1,53	1,24
		4,00	8,47	39,91	191,85	30,70	4,76	19,43	5,24	1,51	1,29
		5,00	10,43	49,12	230,97	36,95	4,71	23,44	6,40	1,50	1,34
6,00	12,32	58,01	267,00	42,70	4,65	27,10	7,50	1,48	1,38		



#### Aplicaciones

- Conformado de elementos estructurales:
  - Vigas.
  - Viguetas.
  - Columnas.
- Muebles metálicos.
- Estructura para cubiertas.
- Estructuras para galpones y en general.

## Perfiles Estructurales Ángulos



ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

**Especificaciones:**

Largo Normal: 6 metros

Recubrimiento: Negro o Galvanizado

Calidad de acero: ASTM A36 / ASTM A572 Gr. 50

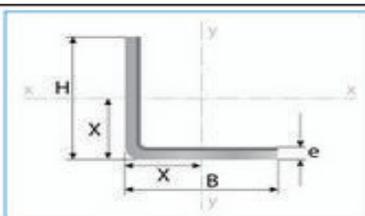
Norma de Fabricación: NTE INEN 1623

Espesores: Desde 1,50 a 6,00 mm

Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta

**Certificados:**

Designaciones	Peso	Propiedades Estáticas									
		Eje x-x			Eje y-y						
		Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Distancia de eje a borde			
H	B	e	P	I	W	i	I	W	i	X=Y	
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	
20	20	1,50	2,65	0,21	0,15	0,47	0,21	0,15	0,47	0,54	
		2,00	3,46	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,59	
		3,00	4,96	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,64	
25	25	1,50	3,36	0,42	0,24	0,59	0,42	0,24	0,59	0,67	
		2,00	4,40	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,72	
		3,00	6,37	0,79	0,45	0,76	0,79	0,45	0,76	0,77	
30	30	1,50	4,06	0,75	0,35	0,71	0,75	0,35	0,71	0,79	
		2,00	5,34	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	0,84	
		3,00	7,78	1,41	0,67	0,92	1,41	0,67	0,92	0,89	
40	40	1,50	5,48	1,83	0,63	0,95	1,83	0,63	0,95	1,04	
		2,00	7,23	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	1,09	
		3,00	10,61	3,50	1,22	1,25	3,50	1,22	1,25	1,14	
		4,00	13,83	4,46	1,58	1,23	4,46	1,58	1,23	1,19	
		5,00	16,90	5,31	1,92	1,22	5,31	1,92	1,22	1,24	
50	50	1,50	6,89	3,65	1,00	1,19	3,65	1,00	1,19	1,29	
		2,00	9,11	4,86	1,33	1,59	4,86	1,33	1,59	1,34	
		3,00	13,43	7,03	1,95	1,57	7,03	1,95	1,57	1,39	
		4,00	17,60	9,04	2,54	1,56	9,04	2,54	1,56	1,44	



### Aplicaciones

- Conformación de elementos estructurales (cerchas).
- Torres.
- Estanterías.
- Cerrajería en general (ventanas, puertas, camas).
- Vitrinas.
- Cerramientos.
- Vallas publicitarias.
- Chasis de camiones.
- Remolques.

**ANEXO B: CATÁLOGO DE LA MEMBRANA  
ESTRUCTURAL**



**ANEXO C: COTIZACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPO  
PARA LA FABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA  
ESTRUCTURA.**

							
Quito, 08 de mayo de 2015							
Atención:							
<b>SRES. BADILLO, MORILLO</b>							
De mi consideración: <b>RUC IPAC S.A.: 0991344004001</b>							
De acuerdo a su solicitud a continuación me permito indicar la siguiente cotización:							
Item	Descripción	Cantidad	Peso Unitario	Peso Total Kg	Valor Unitario	Valor Total	Fecha de entrega
1	U 100*50*3	161	26,88	4327,68	19,92	3207,12	Inmediata
2	TUBO CUADRADO 30*30*2	50	11,12	556	10,09	504,5	Inmediata
3	G 60*30*10*1,95	4	11,68	46,72	8,76	35,04	Inmediata
4	ANGULO 25*25*3	210	6,74	1415,4	7,74	1625,4	3 días laborables
5	TUBO RECTANGULAR 60*40*3	1	25,47	25,47	24,6	24,6	3 días laborables
					SUMA \$:	\$5.396,66	
					12% IVA \$:	\$647,60	
					<b>6.371,3</b>	<b>TOTAL \$:</b>	<b>\$6.044,26</b>
						<b>S.e.u.o</b>	
Tiempo de Entrega:		<b>Según lo Indicado</b>					
Forma de pago:		<b>Contado</b>					
Lugar de entrega:		<b>Quito</b>					
Validez de la oferta:		<b>Para decisión inmediata</b>					
Sin más por el momento y seguro de contar con futuras órdenes de pedidos, me despido.							
Atentamente,							
Lorena Cabezas							
Ventas IPAC							



Mario Vela A.  
Preysi Cia. Ltda.  
Cel 099 442017

*Las áreas que ustedes me dieron resulta en 718 m<sup>2</sup>, considerando un 5% adicional por traslapes, podemos tener 753.9 m<sup>2</sup>, con la tela Ferrari 702 S2, resulta un precio de US \$ 52,818.44, es decir un costo de \$ 70.05/m<sup>2</sup>.*

*Adjunto breve descripción y especificaciones técnicas de la tela.*

Las telas Ferrari son telas estructurales compuestas por una armadura de hilos de poliéster de alta tenacidad recubiertas con tratamientos especiales de PVDF que le brindan además de durabilidad, excelentes propiedades térmicas y acústicas. Presentan una estabilidad dimensional excepcional, casi idéntica en urdimbre y trama. Estas telas no son elásticas por lo que con el paso del tiempo no se estiran ni pierden la tensión ni la forma con que fueron confeccionadas.

Estas Membranas permiten el paso parcial de la luz, pero no del calor. Han sido concebidas como un material impermeable de alta tecnología, tratadas para el uso a la intemperie con temperaturas máximas de utilización desde -30° hasta 70°C. Su vida útil va de 30 a 50 años con un mantenimiento bastante bajo que requiere solamente de agua y detergente de ph neutro aplicados para limpiar la membrana con elementos de cerda suave.

Las telas Ferrari se fabrican conforme a las normas internacionales de reacción al fuego. En caso de incendios son auto extingüibles, al contacto con el fuego no gotean si no que se va formando un boquete que contribuye con la fuga del humo generado. Cumplen con las principales normas contra incendios.

Es un producto ecológico totalmente reciclable.

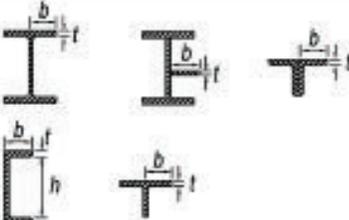
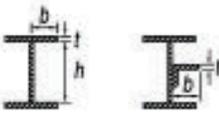
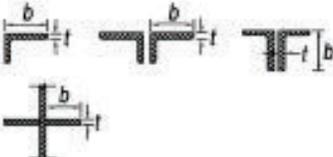
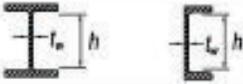
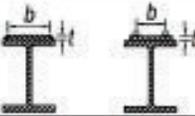
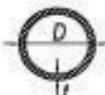
Las telas Ferrari tienen excelentes propiedades para la proyección de luces o imágenes comportándose como una pantalla gigante ideal para la proyección de películas, logotipos, secuencias de imágenes, etc. Esta cualidad también permite iluminar la membrana de manera que se torne de la tonalidad de la luz o luces con las que se ilumine, permitiendo variar el color de la membrana en un color fijo o secuencias de colores convirtiéndola en un elemento llamativo en las noches.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
	<b>Preconstraint 702s2</b>	Normas
Hilo	1100 dtex PES HT	
Peso	750 g/m <sup>2</sup>	
Ancho	250/267 cm	
Resistencia a la tracción	280/280 daN/5 cm	
Resistencia al desgarro	30/28 daN	
Adherencia	10/10 daN/5 cm	

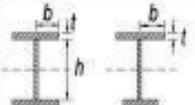
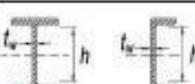
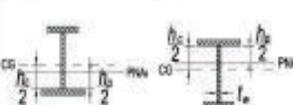
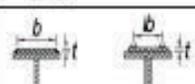
Acabado	Formula S2 barniz fluorado soldable	
Transmisión luminosa	13.5%	
Reacción al fuego	M2/NFP 92-507. TEST 1/ NFPA 701. CSFM T19. B1/DIN 4102-1. BS 7837. 1530.3/AS/NZS SITAC/SINTEF/SIS 650082. SCHWERBRENNBAR Q1- TR1/ONORM A 3800-1. M2/UNE 23.727-90. VKF 5.3/SN 198898. CLASSE 1/UNI9177. CAN ULCS 102. G1/GOST 30244.94	
Euroclase	B-s2,do/EN 13501-1	
Temperaturas extremas de uso	-30°C/+70°C	
Sistema de gestión de calidad	ISO 9001	

**ANEXO D: TABLAS DE RAZÓN ANCHO-ESPESOR Y  
ANCHO-ESPESOR LÍMITE DE MIEMBROS A  
COMPRESIÓN (AISC)**

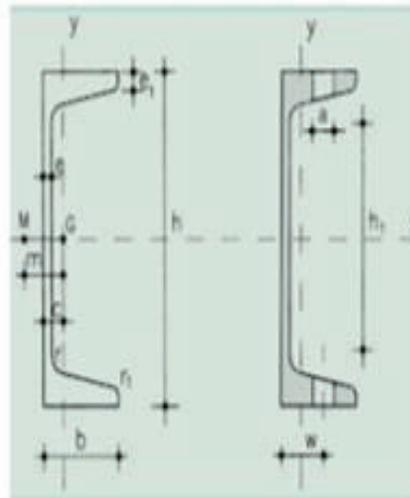
**TABLA B4.1a**  
**Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión.**  
**Miembros Sujetos a Compresión Axial**

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razón Límite Ancho-Espesor $\lambda_c$ (Esbelto-No Esbelto)	Ejemplos
Elementos No-Atiesados	1	$b/t$	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	$b/t$	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	$b/t$	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	$d/t$	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos Atiesados	5	$h/t_w$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	$b/t$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	$D/t$	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

**TABLA B4.1b**  
**Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión de miembros en flexión**

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razones Ancho-Espesor Limite		Ejemplos	
			$\lambda_p$ (compacto-no compacta)	$\lambda_r$ (esbelto-no esbelto)		
Elementos No-Alisados	10	Flexión en alas de perfiles I laminados, canales y tes.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Alas de secciones I soldadas con doble y simple simetría.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ <sup>(a) (b)</sup>	
	12	Alas de ángulos simples	$b/t$	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Alas de toda doble t y canal en torno a su eje más débil.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Alas de tes	$d/t$	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos Alisados	15	Alas de doble T simétricas y canales.	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Alas de secciones doble T con un solo eje de simetría.	$h/t_w$	$\frac{h_c \sqrt{E}}{t_w \sqrt{F_y}} \leq \lambda_p$ <sup>(c)</sup>	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Alas de secciones tubulares y secciones cajón de espesor uniforme.	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Alas de sobre planchas y planchas diafragma entre líneas de conectores y soldadura.	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Alas de tubos rectangulares y secciones cajón.	$h/t$	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
20	Tubos redondos.	$D/t$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$		

**ANEXO E: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA  
SECCIÓN U 100**



$A$  = Área de la sección

$S_x$  = Momento estático de media sección, respecto a X

$I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X

$W_x = 2I_x / h$ ; Módulo resistente de la sección, respecto a X

$i_x = \sqrt{I_x / A}$ ; Radio de giro de la sección, respecto a X

$I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y

$W_y = I_y / (b - c)$ ; Mínimo módulo resistente de la sección, respecto a Y

$i_y = \sqrt{I_y / A}$ ; Radio de giro de la sección, respecto a Y

$I_z$  = Módulo de torsión de la sección

$c$  = Posición del eje Y

$m$  = Distancia al centro de esfuerzos cortantes

$a$  = Diámetro del agujero del roblón normal

$w$  = Gramil, distancia entre ejes de agujeros

$h_1$  = Altura de la parte plana del alma

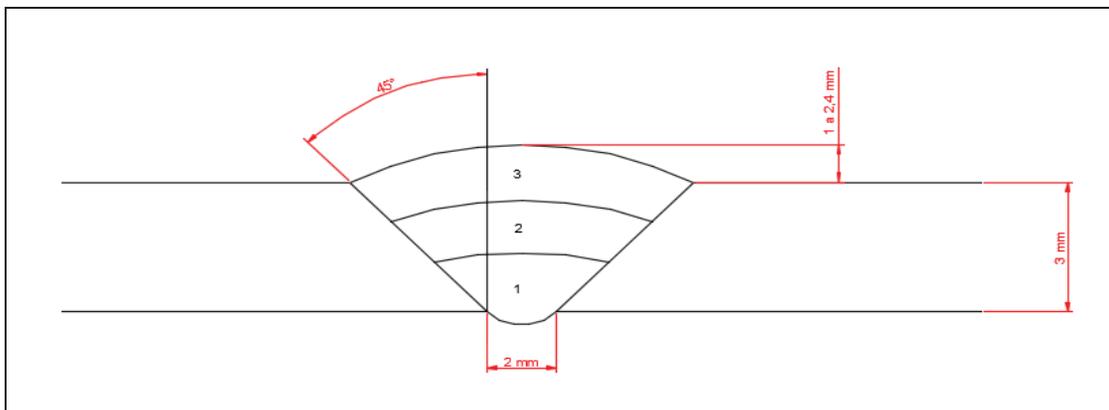
$p$  = Peso por m

$u$  = Perímetro

Perfil	Dimensiones							Terminos de sección										Agujero		Peso		
	$h$	$b$	$a$	$s_x$	$t_x$	$t_y$	$u$	$A$	$S_x$	$I_x$	$I_z$	$W_x$	$i_x$	$I_y$	$i_y$	$W_y$	$c$	$m$	$w$	$a$	$p$	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm	cm	mm	mm	kg/m	
UPN 80	80	45	6.0	8.0	4.0	46	312	11.0	15.9	106	26.5	3.10	19.4	6.36	1.33	2.24	1.45	2.67	25	13	8.64	C
UPN 100	100	50	8.0	8.5	4.5	64	372	13.5	24.5	206	41.2	3.91	29.3	8.49	1.47	2.96	1.55	2.93	30	13	10.80	P
UPN 120	120	55	7.0	9.0	4.5	82	434	17.0	36.3	364	60.7	4.62	43.2	11.10	1.59	4.30	1.60	3.03	30	17	13.40	P
UPN 140	140	60	7.0	10.0	5.0	98	489	20.4	51.4	605	86.4	5.45	62.7	14.80	1.75	6.02	1.75	3.37	35	17	16.00	P

**ANEXO F: WPS DE LAS SOLDADURAS MÁS  
RELEVANTES EN LA ESTRUCTURA.**

<b>WPS ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>																
Nombre de la Empresa: EPN Procesos de soldadura: <u>SMAW</u> TIPO: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático Automático Soldador:	Identificación N° 001 Soporte del PQR N° Revisión: Fecha: Por: Autorizado por:															
<b>DISEÑO DE UNIÓN</b> Tipo de unión: <u>A tope</u> Tipo de soldadura: <u>Ranura en V</u> simple <input checked="" type="checkbox"/> doble Abertura de raíz: <u>2 mm</u> Longitud de cara de raíz: <u>6.2 mm</u> Angulo de ranura: <u>45 °</u> Radio (J/U): Soporte: Si No <input checked="" type="checkbox"/> Material de soporte: Limpieza de raíz: Si <input checked="" type="checkbox"/> No Método: <u>Esmeril</u>	<b>TÉCNICA Y POSICIÓN DE SOLDADURA</b> Ranura: <u>3G</u> Filete: Plana <input checked="" type="checkbox"/> Vertical Horizontal Sobre cabeza Vertical: Ascendente Descendente Plancha: <input checked="" type="checkbox"/> Tubería:															
<b>METALES BASE</b> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MB1</td> <td style="text-align: center;">MB2</td> </tr> <tr> <td>Grupo:</td> <td style="text-align: center;"><u>1</u></td> <td style="text-align: center;"><u>1</u></td> </tr> <tr> <td>Especificación del acero:</td> <td style="text-align: center;"><u>A-36</u></td> <td style="text-align: center;"><u>A-36</u></td> </tr> <tr> <td>Grado:</td> <td style="text-align: center;"><u>50</u></td> <td style="text-align: center;"><u>50</u></td> </tr> <tr> <td>Espesor de la plancha:</td> <td style="text-align: center;"><u>3 mm</u></td> <td style="text-align: center;"><u>3 mm</u></td> </tr> </table>		MB1	MB2	Grupo:	<u>1</u>	<u>1</u>	Especificación del acero:	<u>A-36</u>	<u>A-36</u>	Grado:	<u>50</u>	<u>50</u>	Espesor de la plancha:	<u>3 mm</u>	<u>3 mm</u>	<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b> Modo de transferencia (GMAW) cortocircuito globular spray Corriente AC DC + <input checked="" type="checkbox"/> Pulso DC -
	MB1	MB2														
Grupo:	<u>1</u>	<u>1</u>														
Especificación del acero:	<u>A-36</u>	<u>A-36</u>														
Grado:	<u>50</u>	<u>50</u>														
Espesor de la plancha:	<u>3 mm</u>	<u>3 mm</u>														
<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <u>A5.18</u> Clasificación AWS: <u>E 6010; E 7018</u> Marca: <u>AGA</u> Tamaño del electrodo: <u>3.25 mm y ; 4 mm</u>	<b>TÉCNICA</b> Aportación: Recta Oscilante <input checked="" type="checkbox"/> Pase Simple Múltiple <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza entre pases: Si <input checked="" type="checkbox"/> No Método: <u>esmeril</u>															
<b>PROTECCIÓN</b> Fundente: revestimiento Gas Composición Velocidad de flujo Tamaño de la boquilla	<b>PRECALENTAMIENTO</b> Temperatura de precalentamiento Temperatura de interpase															
	<b>POSTCALENTAMIENTO</b> Temperatura Tiempo															
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>																
Detalles de la unión y secuencia de soldadura de vigas 400																



Pase	Proceso	Progresión	Metales de aporte		Corriente			Velocidad de avance (mm/min)
			clase	Diam. (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje (amp.)	Voltaje (Volt.)	
1	SMAW	Fondeo	E 6010	3,25	DC +	70 - 90	17 -19	84
2	SMAW	Pase caliente	E 6010	4	DC +	90 - 150	19 - 21	127
3	SMAW	Pase caliente	E 6010	4	DC +	90 - 150	19 - 21	127

ELABORADO POR:

FECHA:

APROBADO POR:

COMPAÑÍA:

### WPS ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Nombre de la Empresa: EPN Procesos de soldadura: <u>SMAW</u> TIPO: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático Automático Soldador:	Identificación N° 002 Soporte del PQR N° Revisión: Fecha: Por: Autorizado por:															
<b>DISEÑO DE UNIÓN</b> Tipo de unión: <u>A tope</u> Tipo de soldadura: <u>Filete</u> simple <input checked="" type="checkbox"/> doble Abertura de raíz: Longitud de cara de raíz: Angulo de ranura: Radio (J/U): Soporte: Si No <input checked="" type="checkbox"/> Material de soporte: Limpieza de raíz: Si <input checked="" type="checkbox"/> No Método: <u>Esmeril</u>	<b>TÉCNICA Y POSICIÓN DE SOLDADURA</b> Ranura: Filete: <u>2F</u> Plana Vertical Horizontal <input checked="" type="checkbox"/> Sobre cabeza Vertical: Ascendente Descendente Plancha: <input checked="" type="checkbox"/> Tubería:															
<b>METALES BASE</b> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MB1</td> <td style="text-align: center;">MB2</td> </tr> <tr> <td>Grupo:</td> <td style="text-align: center;"><u>1</u></td> <td style="text-align: center;"><u>2</u></td> </tr> <tr> <td>Especificación del acero:</td> <td style="text-align: center;"><u>A-36</u></td> <td style="text-align: center;"><u>A-36</u></td> </tr> <tr> <td>Grado:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Espesor de la plancha:</td> <td style="text-align: center;"><u>5 mm</u></td> <td style="text-align: center;"><u>3 mm</u></td> </tr> </table>		MB1	MB2	Grupo:	<u>1</u>	<u>2</u>	Especificación del acero:	<u>A-36</u>	<u>A-36</u>	Grado:			Espesor de la plancha:	<u>5 mm</u>	<u>3 mm</u>	<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b> Modo de transferencia (GMAW) cortocircuito globular spray Corriente AC DC + <input checked="" type="checkbox"/> Pulso DC -
	MB1	MB2														
Grupo:	<u>1</u>	<u>2</u>														
Especificación del acero:	<u>A-36</u>	<u>A-36</u>														
Grado:																
Espesor de la plancha:	<u>5 mm</u>	<u>3 mm</u>														
	<b>TÉCNICA</b>															

<b>METAL DE APORTE</b>				Aportación: Recta      Oscilante <input checked="" type="checkbox"/>				
Especificación AWS: <u>A5.18</u>				Pase Simple      Múltiple <input checked="" type="checkbox"/>				
Clasificación AWS: <u>E 6010</u>				Limpieza entre pases: Si <input checked="" type="checkbox"/> No      Método: <u>Esmeril</u>				
Marca: <u>AGA</u>				<b>PRECALENTAMIENTO</b>				
Tamaño del electrodo: <u>3.25 mm y 4 mm</u>				Temperatura de precalentamiento Temperatura de interpase				
<b>PROTECCIÓN</b>				<b>POSTCALENTAMIENTO</b>				
Fundente: revestimiento      Gas				Temperatura				
Composición				Tiempo				
Velocidad de flujo								
Tamaño de la boquilla								
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>								
Detalles de la unión y secuencia de soldadura de columna con placa								
Pase	Proceso	Progresión	Metales de aporte		Corriente			Velocidad de avance (mm/min)
			clase	Diam. (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje (amp.)	Voltaje (Volt.)	
1	SMAW	Fondeo	E 6010	3.25	DC +	70 - 90	23 - 27	84
2	SMAW	Pase caliente	E 6010	4	DC +	90 - 150	23 - 27	127
ELABORADO POR:				FECHA:				
APROBADO POR:				COMPAÑÍA:				
<b>PQR RESULTADOS DE LOS ENSAYOS</b>								

**ANEXO G: PLANOS DE LA ESTRUCTURA TIPO  
PÓRTICO.**