

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE TENSO ESTRUCTURA COMO
PROPUESTA DE CUBIERTA PARA EL PALCO DEL ESTADIO OLÍMPICO
ATAHUALPA**

AUTORA:

ADRIANA JIMENEZ

DIRECTOR: INGENIERO MARCELO GUERRA

QUITO, 2016

DEDICATORIA

*A mi padre Alfredo, por ser el pilar principal en mi vida nunca dejarme decaer ni rendirme, a mi mamita querida Elena por su inmenso amor, apoyo y confianza, a Luz Elena mi hermana menor por hacerme sentir siempre como su mayor ejemplo.
A mis abuelos que son mis ángeles en el cielo siempre sentí su compañía.*

AGRADECIMIENTO

Agradecer primero a Dios por haber escrito de esta manera mi vida.

A mis padres por este sacrificio de años, porque me dejaron volar fuera del nido y por toda su comprensión en el proceso de esta investigación.

A mis segundos padres: Antonio y Susy por el apoyo de estos años, sus ánimos y su cariño. Hicieron parte de mi formación y la madurez alcanzada.

A mi hermanita menor porque a pesar de estar tanto tiempo separadas siempre estuvo para alentarme desde lejos.

A mi amigo y compañero de carrera por su inmenso apoyo y ayuda en este proceso.

A mi Director de Disertación, Ing. Marcelo Guerra por sus enseñanzas, aporte técnico y humano; a los Ingenieros Patricio Castro y Oscar Jaramillo por sus útiles sugerencias en la investigación.

Quiero incluir en estos agradecimientos a las empresas:

- ❖ Ideal Alambrec, Ing. Pablo Argudo en calidad de representante por la información prestada a mi persona en favor de esta investigación.*
- ❖ Serge Ferrari, Señor Guillermo Delgado representante del grupo de Ventas de Sudamérica de esta empresa francesa, por toda su ayuda con la información del que es el material principal al usarse en esta disertación.*

Gracias Virgen del Cisne, por permitirme terminar este logro de esta manera porque contigo empecé y terminé; conversación que muchos años atrás tuvimos.

TABLA DE CONTENIDOS

Tabla de Contenidos	IV
Índice de Imágenes.....	IX
Índice de Tablas.....	XIV
RESUMEN.....	XV
CAPITULO I Historia e introducción	1
1.1 Edad moderna	3
1.2 Origen de las estructuras espaciales.....	4
1.2.1 Estructuras tridimensionales	7
1.3 Estructuras ligeras	10
1.3.1 Referentes históricos	11
1.3.2 Clasificación.....	13
1.3.2.1 Estructuras sinclásticas tensadas	14
1.3.2.2 Estructuras de red.....	15
1.3.2.3 Estructuras neumáticas.....	16
1.3.2.4 Estructuras anticlásticas tensadas.....	17
1.3.2.4.1 Hiperboloide parabólico	17
1.3.2.4.2 Paraboloides Hiperbólicos.....	17
1.3.2.4.3 Conoides	18
1.3.2.4.4 Bóveda de Arcos.....	18
1.3.2.4.5 Mixtas	18
1.4 Uso y Aplicación.....	19
CAPITULO II ESTRUCTURACIÓN DE LAS TENSO	
ESTRUCTURAS	27
2.1. Estructuras tensadas	27
2.2. Clasificación.....	28
2.2.1 Estructura	29
2.2.1.1 De membrana tensada	29
2.2.1.2. De red.....	30
2.2.1.3 Neumáticas.....	31
2.2.2 Función	31
2.2.2.1 Construcciones textiles	32
2.2.2.1.1 Exteriores.....	32
2.2.2.1.2 Interiores	32
2.2.2.2. Cubierta.....	33
2.2.2.3 Fachada	33
2.3. Características	34
2.3.1. Ligereza.....	34

2.3.2.	Luminosidad.....	34
2.3.3.	Sustentabilidad	35
2.4.	Comportamiento.....	35
2.4.1.1.	Propiedades mecánicas	37
2.4.1.1.1.	Resistencia a la tracción.....	37
2.4.1.1.2.	Resistencia al rasgado.....	38
2.4.1.1.3.	Humedad y temperatura.....	38
2.4.1.2.	Propiedades físicas	39
2.4.1.2.1.	Dureza.....	39
2.4.1.2.2.	Aislamiento térmico	39
2.4.1.2.3.	Aislamiento acústico.....	40
2.5.	Elementos y materiales	41
2.5.1.	Elementos flexibles	42
2.5.1.1.	Cables y tensores.....	42
2.5.1.1.1.	Construcción.....	43
2.5.1.1.1.1.	Pre-tensión.....	47
2.5.1.1.1.2.	Protección corrosiva.....	48
2.5.1.1.2.	Tipo y sentido del cableado	49
2.5.1.1.3.	Longitud y ángulo del cableado.....	51
2.5.1.1.4.	Tipo de cable	52
2.5.1.1.5.	Conexión de cables.....	53
2.5.1.1.5.1.	Empalme de cables.....	53
2.5.1.1.5.2.	Conexiones de extremo	55
2.5.1.1.6.	Accesorios para cables.....	56
2.5.1.2.	Membrana textil	57
2.5.1.2.1.	Composición de la Tela	59
2.5.1.2.2.	Comportamiento	61
2.5.2.	Elementos rígidos.....	64
2.5.2.1.	Bordes rígidos	65
2.5.2.2.	Anclajes y cimentaciones.....	67
2.5.2.2.1.	Anclajes	67
2.5.2.2.2.	Cimentaciones	69
2.5.2.2.2.1.	Mástiles	69
2.5.2.2.2.2.	Anclajes al suelo.....	70
2.6.	Cargas.....	71
2.7.	Formas en su funcionalidad	72
2.7.1.	Definición de su forma.....	72
2.7.2.	Modelos.....	72
2.7.3.	Construcción y montaje.....	74
2.7.4.	Forma a analizarse.....	76
cAPITULO III Desarrollo propuesta de cubierta		77
3.1	Estructura en los estadios.....	77
3.1.1.	Criterios en el diseño.....	78

3.2.	Descripción del área de estudio	79
3.2.1.	Localización geográfica	79
3.2.2.	Antecedentes	81
3.2.3.	Objetivo de la propuesta.....	83
3.2.4.	Descripción	83
3.3.	Criterios generales en el diseño	84
3.3.1.	Códigos y Normas a Utilizarse	84
3.3.2.	Métodos de Diseño.....	84
3.3.3.	Requisitos de resistencia	84
3.3.4.	Requisitos de rigidez	85
3.4.	Especificación del cable a usar en el diseño	85
3.4.1.	Características del cable	86
3.4.2.	Características de su construcción	86
3.4.3.	Propiedades mecánicas.....	87
3.5.	Especificación de membrana a usarse.....	88
3.5.1.	Características de la membrana.....	88
3.5.2.	Propiedades mecánicas.....	90
3.5.3	Membranas usadas en estadios	91
3.6.	Tipos de Cargas.....	93
3.6.1.	Carga Muerta (D)	93
3.6.1.1.	TENSO ESTRUCTURA.....	93
3.6.1.2.	ESTRUCTURA METÁLICA.....	93
3.6.2.	Carga Viva (L)	94
3.6.3.	Carga de Viento (W)	95
3.6.4.	Carga de Lluvia (R).....	102
3.6.5.	Carga de Granizo (S).....	103
3.6.5.1.	Estructura metálica.....	103
3.6.5.2.	Tenso estructura	105
3.6.6.	Carga Sísmica (E)	106
3.6.6.1.	ASCE 7 -10	108
3.6.6.2.	NEC-15	112
3.7.	Detalle de cargas a aplicarse en las cubiertas	117
3.8.	Combinaciones de Carga	117
3.8.1.	Simbología	118
3.8.2.	Combinaciones de carga para diseño por última Resistencia	118
CAPITULO IV Modelo en sap 2000		120
4.1.	Diseño Cubierta Metálica.....	120
4.1.1.	Diseño elementos	121
4.1.1.1.	Diseño de Concreto.....	121
4.1.1.1.1.	Columnas	121
4.1.1.1.1.1.	Columnas Pórticos	122

4.1.1.1.1.2. Columnas de la cubierta.....	122
4.1.1.1.2. Vigas.....	123
4.1.1.2. Elementos metálicos.....	123
4.2. Diseño Tenso Estructura.....	125
4.2.1. Diseño de la Membrana.....	125
4.2.2 Diseño en SAP 2000.....	136
4.2.2.1 Diseño Elementos.....	136
4.2.2.1.1. Diseño de Concreto.....	136
4.2.2.1.1.1 Columnas.....	136
4.2.2.1.1.1.1. Columnas Pórticos.....	136
4.2.2.1.1.1.2. Columnas de la cubierta.....	137
4.2.2.1.1.2. Vigas.....	138
4.2.2.1.2. Elementos metálicos.....	138
4.2.2.1.2.1. Vigas Metálicas.....	138
4.2.2.1.2.2. CABLES.....	139
4.3 Vista en planta y perspectiva de las cubiertas propuestas.....	140
4.4 Eficiencia de los diseños.....	141
4.4.1 Elementos metálicos de la Cubierta metálica, vista en planta.....	141
4.4.2 Elementos metálicos de la Tenso Estructura, vista en planta.....	142
4.4.3 Comparación de las eficiencias de los elementos metálicos de ambas cubiertas:.....	143
capitulo v análisis de los resultados.....	145
5.1. Esfuerzos de la membrana.....	145
5.1.1. En ixForten 4000.....	145
5.1.1.1. Esfuerzos de la membrana por peso propio.....	145
5.1.1.1. Esfuerzos de tensión de la membrana: carga de granizo.....	146
5.1.2. En sap 2000.....	148
5.1.2.1. Por Peso propio.....	148
5.1.2.1.1. S11.....	148
5.1.2.1.1.1 S22.....	148
5.1.2.2. Por carga de Granizo.....	149
5.1.2.2.1 S11.....	149
5.1.2.2.2. S22.....	149
5.2 Comparación de los resultados de esfuerzos obtenidos en ambos programas.....	150
5.3 Deformación de la cubierta.....	154
5.4 Comparación Esfuerzos.....	154
5.4 Comparación Técnica de ambas propuestas.....	155
5.5 Comparación Económica de ambas propuestas.....	156
CAPÍTULO VI Conclusiones y recomendaciones.....	157
6.1. Conclusiones.....	157

6.2 Recomendación:	163
Bibliografía	164

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.1 Esquema de las tiendas usadas por los Nómadas.....	2
Imagen 1.2 Primeras tiendas de circo ambulantes	4
Imagen 1.3 Construcción de la Torre Eiffel 1888-1889	6
Imagen 1.4 Ilustración de los planos del puente Forth.....	8
Imagen 1.5 Vista lateral del puente Forth	10
Imagen 1.6 Arena de Raleigh.....	11
Imagen 1.7 Pista de Hockey, Yale	12
Imagen 1.8 Gimnasio Nacional de Yoyogi en Tokio.....	12
Imagen 1.9 Formas Gaussianas Negativas.....	13
Imagen 1.10 Formas Anticlásticas y Sinclásticas	14
Imagen 1.11 Forma de cúpula.....	15
Imagen 1.12 Forma de estructura neumática inflada	16
Imagen 1.13 Estructura neumática con apoyos.....	16
Imagen. 1.14 Forma hiperboloide parabólico.	17
Imagen. 1.15 Forma parabolide hiperbólico.	17
Imagen.1.16 Forma de arcos de bóvedas.	18
Imagen. 1.17 Formas de diseño mixto.	19
Imagen 1.18 Foto del pabellón alemán	20
Imagen 1.19 Foto del Parque Olímpico	20
Imagen 1.20 Terminal Haj en Arabia Saudita.....	21
Imagen 1.21 Estadio de Riyadh	22
Imagen 1.22 Terminal aeroportuaria en Colorado, Estados Unidos	22
Imagen 1.23 Cubierta de un la UPC en Chile	22
Imagen 1.24 Cubierta del Estadio de Lima.....	23
Imagen 1.25 Cubierta externa en Hotel NOW AMBER Puerto Vallarta, México	23
Imagen 1.26 Cubierta de la Estación de Buses EL SOL en Chile	24
Imagen 1.27 Cubierta de una plaza en Colombia	24
Imagen 1.28 Cubierta del Mercado las Cuadras, Sur de Quito.....	25
Imagen 1.29 Cubierta de Museo en la Florida, Quito.....	25
Imagen 1.30 Cubierta en Plaza Bocatti, Cuenca, Ecuador.....	25
Imagen 1.31 Cubierta de la Plaza deportiva, Norte de Quito.....	26
Imagen 2.1 Cubierta Centro Comercial Oasis y Feria Artesanal Pucón, México.....	29
Imagen 2.2 Ilustración de Estructuras de Red.....	30
Imagen 2.3 Cubierta de Red en madera del Colegio Juan Pablo II, Chile.....	30
Imagen 2.4 Ilustración de Estructuras Neumáticas inflables	31
Imagen 2.5 Cubierta interna para el Colegio Leonardo da Vinci, Chile.....	32
Imagen 2.6 Terraza del Edificio Arrau, cubierta interna en Santiago de Chile	33
Imagen 2.7 Cubierta del Estadio Calvo y Bascuñan, Arquitectos: Vale y Cornejo, Chile; año 2012 con una superficie de 8000 m ²	33

Imagen 2.8 Fachada del Allianz Arena de Munich y en el Hotel DUBAI en Emiratos Árabes	34
Imagen 2.9 Tejido de la membrana.....	36
Imagen 2.10 Configuración de un cable	43
Imagen 2.11 Tipos de hebras	44
Imagen 2.12 Tipos de cordones	44
Imagen 2.13 Cordones helicoidales bridon.....	45
Imagen 2.14 Bobina de transferencia, cableadora planetaria y modelo del mecanismo de trenzado	45
Imagen 2.15 Tipos de cableado.....	46
Imagen 2.16 Hebras compactadas.....	47
Imagen 2.17 Tipo y direcciones de cableado	50
Imagen 2.18 Ilustración del ángulo de tendido del cable.....	51
Imagen 2.19 Secciones de Entramado del cable	53
Imagen 2.20 Cables BRIDON para tenso estructuras.....	53
Imagen 2.21 Ilustración del empalmado	54
Imagen 2.22 Conexiones de extremo	55
Imagen 2.23 Ilustración de conexión en montaje.	55
Imagen 2.24 Socket Nemag	56
Imagen 2.24 Tipos de sockets	56
Imagen 2.25 Accesorios	56
Imagen 2.26 Ilustración del recubrimiento PTFE.....	58
Imagen 2.27 Entramado de la tela.....	60
Imagen 2.28 Ilustración del entramado más detallado de la tela.....	60
Imagen 2.29 Hilado en máquina de la membrana.....	61
Imagen 2.30 Representación de los esfuerzos en el plano y en el círculo de Mohr..	64
Imagen 2.31 Ilustración de los bordes.	65
Imagen 2.32 Keder.....	66
Imagen 2.33 Formas de realizar un Keder	66
Imagen 2.34 Formas de realizar un Keder	66
Imagen 2.35 Conexiones de borde	67
Imagen 2.36 Conexión de membrana esquinera, diseñada para el Pabellón de BMW, Feria de Frankfurt, W. Sobek.....	68
Imagen 2.37 Tipos de anclajes en los bordes	68
Imagen 2.38 Detalles de rigidez de las placas.....	69
Imagen 2.39 Tipos de anclajes a cimentación.....	70
Imagen 2.40 Detalle de anclaje	71
Imagen 2.41 Modelamientos en ixForten4000.....	74
Imagen 2.42 Formas estructurales de arco	76
Imagen 3.1, Estadio Olímpico Atahualpa	81
Imagen 3.2, Logo de BEKAERT	85

Imagen 3.3, cable	86
Imagen 3.4-Logotipo de la Empresa Francesa.....	88
Imagen 3.5 membrana 702-1746 T2 de Serge Ferrari	89
Imagen 3.6 comportamiento del material de las membranas Serge Ferrari.....	89
Imagen 3.7 diseño de cubierta Estadio Reims-Francia, catálogo Serge Ferrari.....	91
Imagen 3.8 Diseño de cubierta con membrana Estadio Temuco-Chile, catálogo Serge Ferrari.....	91
Imagen 3.9 Diseño de cubierta dentro de un estadio, catálogo Serge Ferrari.....	92
Imagen 3.10 conectores al cable exterior con tensores regulables en el “Grande Bigo” de Génova, Italia.	92
Imagen 3.11 Tabla de Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas y concentradas.....	94
I	105
Imagen 3.25 Gráfico de Techos inclinados con factor $C_t = 1.0$	105
Imagen 3.28 Tabla ASCE 7-10. Coeficiente de suelo, F_a	109
Imagen 3.29 Tabla ASCE 7-05. Coeficiente de suelo, F_v	109
Imagen 3.38 Tabla tipo de suelo y factores de sitio F_a	112
Imagen 3.39 Tabla tipo de suelo y factores de sitio F_d	113
Imagen 3.40 Tabla tipo de suelo y factores de comportamiento inelástico.	113
Imagen 3.41 Figura 2.3. Determinación del espectro sísmico.	113
Imagen 3.45 Comparación de los Espectros de diseño ASCE 7 y NEC-15.	116
Imagen 4.1 Propuesta de Cubierta Metálica.	120
Imagen 4.2 Diseño en sap2000	121
Autor: Adriana Jiménez	121
Imagen 4.3 Ilustración de la sección rectangular para el modelamiento de columnas	122
Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez.....	122
Imagen 4.4 Ilustración de la sección pipe (tubular) para el modelamiento de cordones, montantes y diagonales.....	123
Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez.....	123
Imagen 4.5 Ilustración de la sección cajón para el modelamiento de correas	124
Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez.....	124
Imagen 4.6 Propuesta de Tenso Estructura	125
Imagen 4.7 Modelación en ixForten4000, cuadro de inicialización	126
Imagen 4.8 Modelación en ixForten4000, menú File	126
Imagen 4.9 Modelación en ixForten4000, cuadro de selección archivo DWG.	127
Imagen 4.10 Modelación en ixForten4000, cuadro de importación	127
Imagen 4.11 Modelación en ixForten4000 a partir del plano realizado en autocad.	128
Imagen 4.12 Pretensión de diseño para la membrana.	129
Imagen 4.13 modelación membrana.	130
Imagen 4.15 Definiendo materiales y perfiles en el programa ixForten4000.....	131

Imagen 4.16 Definiendo el tipo de viga en el programa ixForte4000	132
Imagen 4.17 Definiendo el tipo de cable en el programa ixForte4000	132
Imagen 4.18 botón de creación de cargas Forten	132
Imagen 4.19 botón de aplicación de cargas Forten	133
Imagen 4.20 Ilustración de la selección del Mesh para aplicar la carga	133
Imagen 4.21 Aplicación de la carga de granizo en cada vano de la membrana.....	133
Imagen 4.22 Ingreso de los casos de carga para la membrana.....	134
Imagen 4.23 Ingreso de los casos de carga para la membrana.....	134
Imagen 4.24 Ingreso de los casos de carga para la membrana.....	135
Imagen 4.25 Ilustración para la obtención de esfuerzos	135
Imagen4.26 Diseño de la propuesta de Tenso estructura.....	136
Imagen 4.27 Ilustración de la sección rectangular para el modelamiento de columnas	137
Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez.....	137
Imagen 4.28 sección I/Wide Flange para el modelamiento de la viga se sección variable.....	139
Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez.....	139
Imagen 4.29 Sección pipe para el modelamiento del cable	139
Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez.....	139
Imagen 4.30 Vista en el plano xz del diseño de la Tenso estructura y la Cercha. ...	140
Imagen 4.31 Vista en 3D del diseño de la Tenso estructura y la Cercha.	140
.....	141
Imagen 4.32 Eficiencia de los elementos de metálicos al correr el diseño de Acero	141
Imagen 4.33 Vista en planta de la eficiencia de los elementos de metálicos al correr el diseño de Acero.....	142
Imagen 4.34 Vista 3D de la Eficiencia del diseño acero.....	143
Imagen 4.35 Vista 3D de la Eficiencia del diseño acero.....	144
Imagen 5.1 Esfuerzos sI de la membrana.....	145
Imagen 5.2 Esfuerzos sII de la membrana	146
Imagen 5.3 Esfuerzos sI de la membrana.....	146
Imagen 5.4 Esfuerzos sII de la membrana	147
Imagen 5.5 Ilustración de los esfuerzos de la membrana con el mayor estado de carga	147
Imagen 5.6 Esfuerzos s11 de la membrana	148
Imagen 5.7 Esfuerzos s22 de la membrana.....	148
Imagen 5.8 Esfuerzos s11 de la membrana.....	149
Imagen 5.9 Esfuerzos s22 de la membrana.....	149
Imagen 5.10 Esfuerzos s11 de la membrana.....	150
Imagen 5.11 Esfuerzos s11 de la membrana.....	150
Imagen 5.12 Esfuerzos s11 de la membrana.....	150

Imagen 5.14 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	151
Imagen 5.13 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	150
Imagen 5.15 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	151
Imagen 5.16 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	151
Imagen 5.17 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	151
Imagen 5.18 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	152
Imagen 5.19 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	152
Imagen 5.20 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	152
Imagen 5.21 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	152
Imagen 5.22 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	153
Imagen 5.23 Esfuerzos s_{11} de la membrana.....	153
Imagen 5.24 Deformaciones de la membrana, por carga de granizo.....	154
Imagen 5.25 Gráfico de comparación de esfuerzos.....	154
Imagen 5.27 Ilustración económica de las propuestas.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 - Propiedades ópticas de materiales textiles para uso estructural.	35
Tabla 2.2 -Propiedades mecánicas de cables de acero.....	37
Tabla 3.1 Propiedades mecánicas realizadas en laboratorio, Ideal Alambrec.	87
Tabla 3.2 Características Técnicas Precontraint 702 Fluotop T2, Serge Ferrari	90
Tabla 3.3 Parámetros de Análisis de viento mediante la norma ASCE 7-10.....	97
Tabla 3.4 Cálculo de la presión de viento mediante la NEC-15 para la Cubierta metálica.	99
Tabla 3.5 Cálculo de la presión de viento mediante la NEC-15 para la Tenso-estructura.....	100
Tabla 3.6 Cálculo de la carga de Lluvia para ambas estructuras mediante la norma ASCE 7-10.	102
Tabla 3.7 Cálculo de la carga de granizo para ambas cubiertas.....	103
Tabla 3.8 Cálculo de la carga de Nieve según la Norma ASCE 7-10.....	104
Tabla 3.9 Cálculo de la carga de Granizo para la tenso estructura mediante ASCE 7-10.....	105
.....	105
Tabla 3.10 Coeficientes sísmicos para estructuras diferentes a edificaciones.	107
Tabla 3.11 Determinación del tipo de suelo.....	108
Tabla 3.12 Calculo de Coeficiente R. ASCE 7-10.....	109
Tabla 3.13 Determinación de la categoría de Diseño Sísmico.....	110
Tabla 3.14 Calculo del coeficiente de respuesta sísmica.	111
Tabla 3.15 Cálculo de la Carga de Sismo mediante la Norma ASCE 7-10.	112
Tabla 3.16 Cálculo de la carga de Sismo con la NEC-15	112
Tabla 3.17 Determinación del Factor de Importancia usando la NEC-15.	114
Tabla 3.18 Determinación del coeficiente de reducción-R, usando la NEC-15	114
Tabla 3.19 Cálculo del coeficiente Sa, usando la NEC-15	114
Tabla 3.20 Cálculo de los coeficientes de Irregularidad usando la NEC-15.	115
Tabla 3.21 Cálculo de los coeficientes de Irregularidad usando la NEC-15	116
Tabla 3. 22 Determinación de las cargas a aplicarse en las correas.....	117
Tabla 3.23 Determinación de las cargas a aplicarse en la membrana.....	117
Tabla 4.1 Listado de las secciones empleadas en el pórtico externo parte del sistema estructural.....	122
Tabla 4.2 Detalle de las columnas de la cubierta empleadas	122
Tabla 4.4 Detalle de las vigas empleadas en la modelación del sistema estructural del estadio	123
Tabla 4.5 Detalle de las secciones tubulares empleadas en la cercha.....	123
Tabla 4.6 Detalle de las secciones tipo cajón empleadas en la cercha.....	124
Tabla 4.7 Detalle de las columnas externas empleadas en el pórtico del modelo estructural.....	137

Tabla 4.8 Detalle de las columnas de la cubierta	137
Tabla 4.9 Listado de las secciones de vigas empleadas para modelar el sistema estructural del estadio.....	138
Tabla 4.10 Listado de las vigas I de la cubierta	138
Tabla 4.11 Listado de las frames empleados como cables.....	139
Tabla 5.1 Comparación de los esfuerzos por cada vano	150
Tabla 5.2 Comparación técnica.....	155
Tabla 5.3 Comparación económica de las propuestas	156

RESUMEN

Parte de la vanguardia o de los diseños futuristas de la época tecnológica en la que vivimos encontramos las llamadas TENSO ESTRUCTURAS que para finalidad de esta disertación se detallará el nacimiento, desarrollo y evolución de todas las estructuras para finalmente caracterizar toda la versatilidad de este tipo de estructuras y el comportamiento que éstas brinda a sus diseñadores y desarrolladores de los materiales que hacen parte de las estructuras tensadas.

Desde 1960 han sido muchos los diseñadores e ingenieros que las han promovido; como Ove Arup, Buro Happold, Walter Ave del Birdair, Inc., Frei Otto, Eero Saarinen, Horst Berger, Matthew Nowicki, Jorg Schlaich, el dúo de Nicolás Goldsmith y Todd Dalland al FTL Design y Engineering Studio y David Geige.

Cambiando sus modelos y formas con la novedad de la época ya sean cables tensores, elementos de madera o metálicos, simples marcos, etc.

Pero ha sido en esta era tecnológica que el proceso de utilización de programas de modelamiento ha aumentado la popularidad de las estructuras con techos de tela. El bajo peso de los materiales de la construcción hace que sea más fácil y más barato que los diseños estándar, especialmente cuando grandes espacios abiertos tienen que ser cubiertas.

Para finalizar haremos un modelamiento de una TENSO ESTRUCTURA como propuesta de cubierta nueva para el estadio Olímpico Atahualpa de la Ciudad de

Quito con programas de modelamiento para la estructura y también para la membrana a proponer como cubierta. Las conclusiones se las realizará mediante un análisis comparativo de manera técnica y económica.

CAPITULO I HISTORIA E INTRODUCCIÓN

La historia de cubiertas livianas se origina desde el hombre primitivo. Los Neandertales aprendieron a vivir en cavernas y a medida que algunos emigraban o salían de cacería se vieron en la necesidad de albergarse rústicamente, creando tiendas provisionales armadas con ramas y pieles de animales que usaban como viviendas. Desde esa época la tienda fue una opción de vivienda para el hombre, la cual como esencia básica era una piel estirada sujeta a un armazón ligero de formas curvas en función de la dirección de los vientos fuertes y con una abertura en la parte superior para la salida del humo de la fogata que en la noche los alumbraba y calentaba. Originalmente usaban pieles de animales para tapar la estructura de ramales y hojas.

Con el desarrollo del hombre primitivo nacieron las civilizaciones que para protegerse de la noche usaban estas mismas tiendas como viviendas para acobijar a sus familias nómadas; posteriormente se utilizaron tejidos de fibras naturales para emplearlas en sus tiendas, las cuales amarraban de sus puntas al piso para lograr una estabilidad.

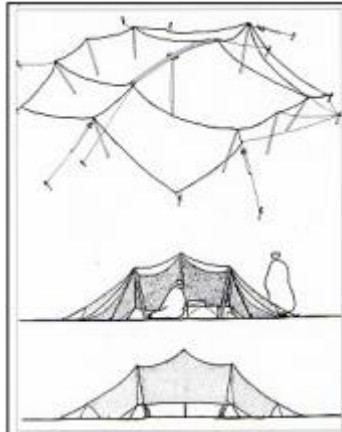


Imagen 0.1 Esquema de las tiendas usadas por los Nómadas

Fuente: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6113/04PARTE2_3.pdf

Fueron las culturas de la Antigüedad Clásica del Siglo VII a. C. las griegas y romanas las que iniciaron el uso de estas tiendas en sus largos viajes. Los romanos quienes para asentarse en tierras lejanas armaban tiendas para preparar estrategias de guerra y que sus tripulaciones descansaran.

Cubrían con toldos de tela sus anfiteatros; las velas de los grandes barcos de batalla eran de tela posteriormente fueron de lino apoyada en un entramado de cuerdas se accionaba mediante poleas.

Los Árabes se asentaban en tiendas de campaña en la Era Moderna del siglo X, estas albergaban a una o más personas por la necesidad de sus largas travesías por el desierto.

En Europa los únicos que usaban las tiendas eran los oficiales de ejército mientras los soldados descansaban bajo las copas de los árboles.

Y los nativos americanos desde los siglos XVI-XVIII, crearon sus propias tiendas con huesos o estructuras de troncos largos para imitar un techo o vivienda de campo.

1.1 Edad moderna

Con el paso de los años y la tecnología, dichas estructuras fueron evolucionando y fue en el siglo XIX donde vio su origen la tecnología constructiva con el uso de textiles apareciendo a finales de dicho siglo las carpas de Circos Ambulantes.

La primera tienda ambulante de Circo fue desarrollada en 1825 por Joshuah Brown quien fuera el primero en cambiar la construcción de madera como estructura fija en una ciudad a una tienda de Lona, creando un Circo móvil que se convirtió en común a mediados de la década.

Estas estructuras sostenida por mástiles y amarradas a postes atirantados; dos de las características principales que se usaron pudo constatarse en ellas como son: la doble curvatura de su forma superficial y el pretensado de estas.

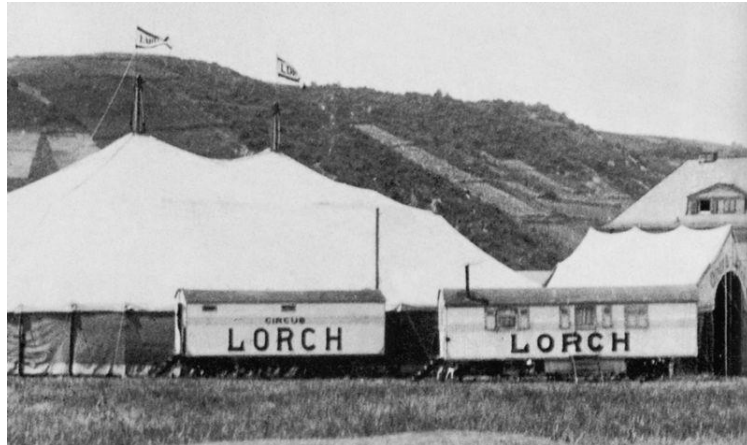


Imagen 0.2 Primeras tiendas de circo ambulantes

Fuente: http://www.circopedia.org/File:Circus_Lorch_Big_Top.jpeg

Los Circos ambulantes se convirtieron en la forma más popular del entretenimiento de los Estados Unidos, lo que llevó a los empresarios a incorporar plataformas para los espectáculos y obviamente crear estructuras más amplias para concentrar a más audiencia.

1.2 Origen de las estructuras espaciales

Ya los diseños y construcciones en el plano quedaron muchos siglos atrás donde la necesidad llevó a muchos profesionales a crear marcos o formas que garanticen la estabilidad de sus cubiertas por lo que adquieren mayor fuerza en nuestro medio el termino de ESTRUCTURAS ESPACIALES.

“Una estructura espacial es un sistema de forma tri-dimensional de elementos ensamblados capaces de resistir cargas que pueden ser aplicadas en cualquier punto; inclinadas a cualquier ángulo a la superficie de la estructura y actuando en cualquier

dirección. Los elementos individuales puede ser tubulares o de secciones fabricadas. Las características tridimensionales incluyen superficies planas con cargas perpendiculares al plano así como superficies curvas.” [Space Structures, Subramanian]

Con el apareamiento de las estructuras espaciales surgen muchos otros diseños de estructuras y con el uso de muchos otros materiales de los que se puede tener una clasificación básica.

1. Marcos Esqueléticas arriostrados
2. Sistemas de estructuras tensadas
3. Estructuras Suspendidas

De estas las más populares son las ESTRUCTURAS DE CELOSÍA o MARCOS ESQUELÉTICOS, la forma ovalada de su superficie y el patrón de los miembros individuales afectada su apariencia estética.

Las primeras estructuras de celosía por ejemplo fueron los techos triangulares que construyeron los romanos en el primer siglo antes de Cristo, para eliminar empujes laterales de los apoyos presentes en los techos o cubiertas de sus aposentos o templos.

Están también los puentes de madera como el Trajano sobre el Danubio, tenía una luz de 30m de vano y 19m de alto formado por arcos y celosías de madera con pilares de mampostería.

Si bien la Edad Moderna adquiere mayor fuerza con el realce de la Iglesia, las estructuras espaciales son el diseño más representativo que vio aparecer el mundo como en cúpulas de madera, presas de bóvedas y arcos, estructuras de carácter piramidal.

Estas estructuras ligeras tomaron protagonismo en la época, en la que muchos de los profesionales iban presentando al mundo diversas formas y diseños tal como lo hizo Gustave Eiffel quien aprovechando la “teoría de sistemas Enrejados” publicada por August Foppl construye la Torre de Observación la que todos conoceríamos después como “LA TORRE EIFFEL”. Esta fue la primera estructura espacial de acero diseñada con conocimientos de geometría tridimensional.



Imagen 0.3 Construcción de la Torre Eiffel 1888-1889
Fuente: <http://www.urbanity.es/2005/torre-eiffel-la-francesa>

1.2.1 Estructuras tridimensionales

Las estructuras espaciales más empleadas en las grandes construcciones son las Estructuras tridimensionales de las que la historia ha ido mostrándonos sus innovaciones. Se clasifican en rígidas o articuladas dependiendo su sollicitación.

El desarrollo de los ferrocarriles en Europa dio un gran impulso a la construcción metálica sobre todo en el campo constructivo de los puentes contribuyendo a un crecimiento económico para los países industrializados

Una representativa fue el puente ferroviario Firth of Forth cerca de Edimburgo, por el que transitaba el famoso Queen Ferry; fue erguido en 1852-1890 dejando atrás los diseños en el plano. Este representa actualmente una de las grandes maravillas del mundo.

“Aunque la mayoría de los logros de ingeniería en relación con los ferrocarriles británicos que fueron considerados maravillas brillantes en su día se han puesto triviales en otras partes del mundo, hay una pieza de trabajo que sigue en pie supremo. Este es el puente de Forth, que abarca la tormenta que barrió muesca en la costa escocesa oriental conocido como el Firth of Forth.”
(<http://www.railwaywondersoftheworld.com/the-forth-bridge.html>)

Un puente muy costoso de casi 50.000 toneladas de acero; en el que Sir John Fowler y Sir Benjamin; Ingenieros civiles abalados y certificados por la sociedad constructiva de la época, elaboraron un diseño de puente con voladizos.

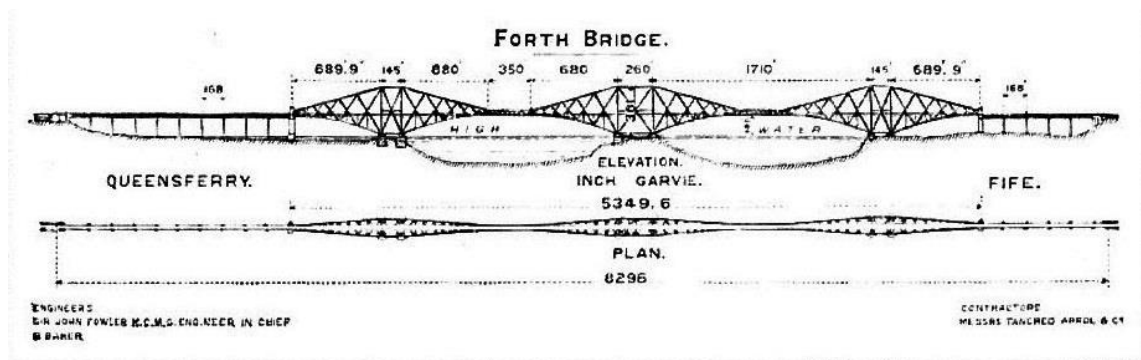


Imagen 0.4 Ilustración de los planos del puente Forth

Fuente: <http://www.railwaywondersoftheworld.com/the-forth-bridge.html>

Un diseño compuesto por dos tramos de 689 pies y 9 pulgadas cada 1710 pies de largo, y viaductos de acceso que contienen quince tramos de 108 pies, descansando sobre pilares de granito de 57 pies cada uno y tres de 25 pies son casi 1 ½ millas en total. Su longitud es de 4800 pies.

La construcción a cargo de varias empresas y Sir Benjamin Baker. La primera fase contempló la construcción de los viaductos y los muelles para los voladizos. Desde el centro de cada muelle se levanta un tubo de acero gigante de 343 pies elevándose verticalmente pero con inclinación hacia el interior. Sus miembros principales son dos pares de vigas de celosía de 12 metros cuadradas en el muelle, a 22 pies y 3 pulgadas de los extremos. La brecha principal se cierra con una viga de 346 pies y 6 pulgadas de largo, 41 metros de profundidad en el extremo y 51 metros de profundidad en el centro, con un peso de 872 toneladas; construido a partir de cualquiera de los extremos de los brazos opuestos y finalmente conectados entre sí 150 pies sobre la marea alta. El voladizo se asegura a los muelles con la ayuda de placas que se ajustan con 48 pernos de acero de 2 ½ pulgadas de diámetro, hundidos en la mampostería hasta los 26 pies.

Sir Benjamin Baker, estableció algunos indicadores de viento, que fueron observados cuidadosamente y con frecuencia sus registros. Esto sirvió para demostrar que hay una tendencia a que el viento actúa a manera de un chorro de agua, llevándolos a ingeniárselas nuevas formas de encofrado ya que con andamios era imposible. Para la construcción del voladizo se lo trabajó desde la base hasta la parte superior por medio de un eje vertical. El conectar hasta los brazos de mitades opuestas de la estructura requirió de un diseño muy detallado y maquinistas especializados realizando el término de la estructura con total éxito. Las vías férreas se colocaron finalmente sobre un viaducto que atraviesa los voladizos. Se sometió a pruebas exigentes dicho puente de las que salió triunfante, al día siguiente un vendaval furioso hizo vibrar al Firth of Forth pero este lo resistió como una roca. El 4 de marzo de 1890 el rey Eduardo VII como príncipe de Gales condujo la inauguración. El costo total de la Obra con todos sus contratiempos fue de £ 3.000.000.

Esta maravilla de la ingeniería ha resistido por veinte dos años la corrosión, cargas de viento muy fuertes, tormentas y hasta la presión de un tráfico intenso sin mostrar ninguna señal de debilidad aunque la protección del mismo a la corrosión se planificó anualmente desde su inauguración usando 40000 kilos de pintura anticorrosiva.



Imagen 0.5 Vista lateral del puente Forth

Fuente: <http://www.railwaywondersoftheworld.com/the-forth-bridge.html>

1.3 Estructuras ligeras

<<Toda construcción optimizada tiene dos componentes: ligereza y economía. (<http://tdd.elisava.net/coleccion/10/hennicke-jUrgen-ca>)>>

Son un sistema de estructuras con características de bajo peso en relación a su volumen y área. Se las utiliza para grandes luces y poseen propiedades de esbeltez; su principio de estabilidad se da porque los esfuerzos de flexión no se transmiten en estas estructuras únicamente los de tracción y compresión.

Dichas estructuras han experimentado notables desarrollos lo que las han convertido en la vanguardia de la arquitectura contemporánea del mundo. Son un abanico de formas y diseños nuevos que ha permitido emplearlas para diversos fines y utilidades. Sus superficies son de formas diversas ya sean curvas, en forma de cúpula o planas, son de escasa altura, cerradas o de malla abierta. Según el tipo de construcción la cubierta portante mantiene su forma gracias al tensado, rigidez del material y hasta por su propio peso.

1.3.1 Referentes históricos

Los pioneros en desarrollo y diseño de estas estructuras fueron el Ingeniero Vladimir Shújov, Ruso y Antonio Gaudí en el siglo XX.

“Ingeniero ruso Vladimir Shújov fue uno de los primeros en desarrollar cálculos prácticos de tensiones y deformaciones de estructuras tensadas, cáscaras y membranas. Shújov diseñó ocho estructuras tensadas y estructuras delgadas conchas pabellones expositivos para la Feria de Novgorod Nizhny 1896, que cubre el área de 27.000 metros cuadrados. Un uso a gran escala más reciente de una estructura a la tracción cubierto de membranas es el Sidney Myer Music Bowl, construido en 1958.

Antonio Gaudí utiliza el concepto a la inversa para crear una estructura de sólo-compresión para la Colonia Güell Iglesia. Él creó un modelo de tracción colgando de la iglesia para el cálculo de las fuerzas de compresión y determinar experimentalmente las columnas y la bóveda geometrías.”
(<http://campodocs.com/articulos-noticias-consejos/article>)

Pero es en los años 50s-70s donde aparecieron las estructuras arquitectónicas tensadas con gran fuerza revelando el desarrollo y aplicaciones que estas tendrían.

🏗️ 1953 se construyó El Arena de Raleigh en Carolina del Norte diseñado por Matthew Movicki.



Imagen 0.6 Arena de Raleigh

Fuente: <http://culturanipton.blogspot.com>

- 1958 Eero Saarinen construyó la Pista de Hockey de la Universidad de Yale, con el diseño de un arco que sostiene la cubierta de cables recubierta de tablones de madera.

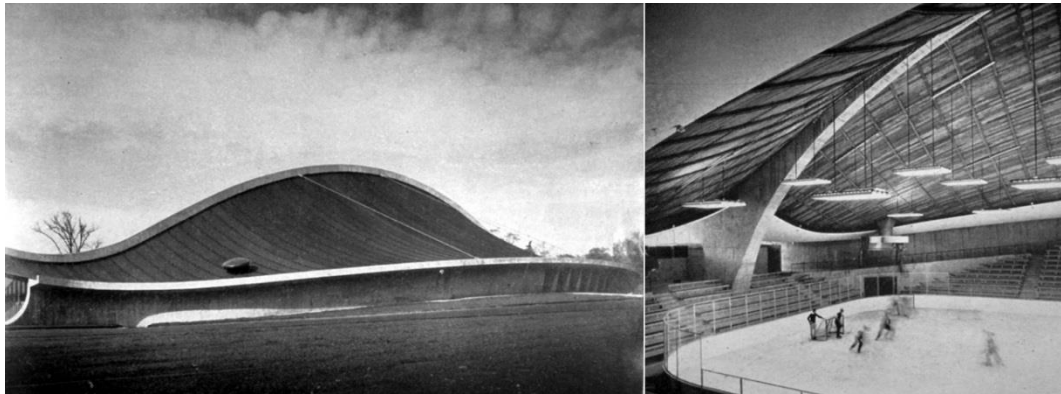


Imagen 0.7 Pista de Hockey, Yale

Fuente: <https://dearquitecturayafecciones.wordpress.com>

- 1964 Kenzo Tange realiza un grandioso diseño del Gimnasio Nacional de Yoyogi para las Palacio de las Olimpiadas de Tokio con cubiertas metálicas tensadas sobre cables.



Imagen 0.8 Gimnasio Nacional de Yoyogi en Tokio

Fuente: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com>

1.3.2 Clasificación

Su clasificación dependería del análisis del investigador pero para entendimiento completamente técnico se realiza una división en función de la forma de su superficie por lo que recordaremos la clasificación básica de las superficies.

El matemático y físico alemán Gauss contribuyó significativamente con sus análisis e investigaciones matemáticas y su famosa teoría de números pero para nuestra investigación ahondaremos en las que actualmente conocemos como Superficies Gaussianas.

Existen 2 tipos principales:

Superficies Gaussianas positivas

Son también llamadas sinclásticas o con doble curvatura en el mismo sentido; son las que ahora conocemos como cúpulas.

Superficies Gaussianas negativas

Se conforman por dos arcos cada uno en diferentes sentidos y se les conoce como superficie anticlástica con curvaturas inversas; las que constatamos en las velarias.

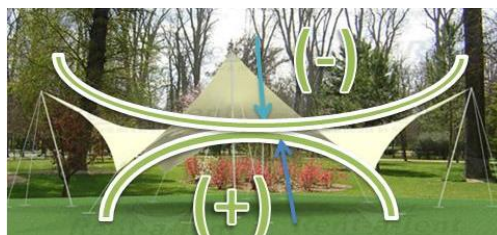


Imagen 0.9 Formas Gaussianas Negativas
Fuente: <https://loboniebla.files.wordpress.com/2010/02/dibujo.jpg>

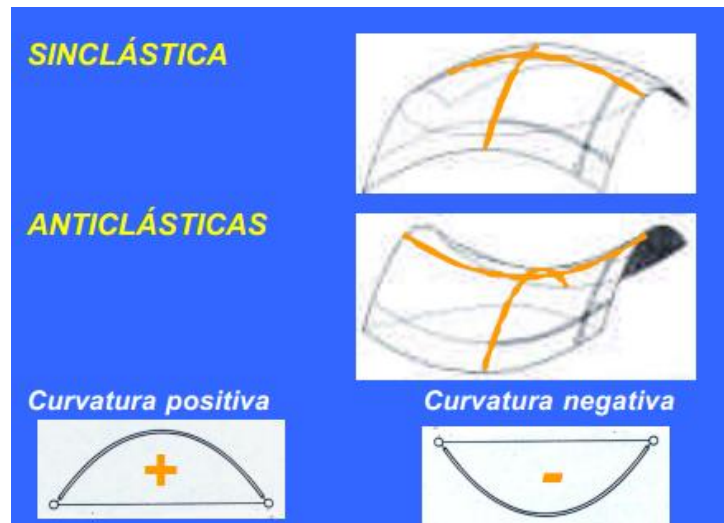


Imagen 0.10 Formas Anticlásticas y Sinclásticas
 Fuente: Documento “Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela

1.3.2.1 Estructuras sinclásticas tensadas

Sinclástica significa una superficie con curvaturas similares en un punto dado; es decir que todos los puntos poseen la misma curvatura, la intersección de un plano perpendicular a dicha superficie produce una línea de intersección con la concavidad hacia el mismo lado.

Paraboloides Elípticos.- La transmisión de las cargas a los bordes es por mecanismo de arco.

Cúpulas de Borde Abierto.- Estructura de 4 arcos perimetrales que se apoyados en 4 puntos.

Cúpulas de Borde cerrado.- Su forma se da por una malla ortogonal.

Razón por la que clasificaremos a estas estructuras por su superficie en:

1.3.2.2 Estructuras de red

Constituyen un conjunto de malla de cables en lugar de una membrana textil, se los usa para cubrir espacios amplios con mayores solicitaciones de carga.

Pueden ser en formas parabólicas o de cúpulas donde los esfuerzos son transmitidos en dirección de los meridianos y los paralelos, dándole un estado de equilibrio al material con el que este cubierto la estructura; los esfuerzos cortantes son nulos en todas las secciones.

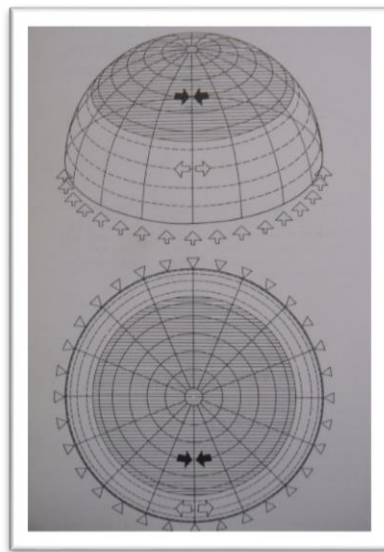


Imagen 0.11 Forma de cúpula

Fuente: Documento "Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela

Se pueden diseñar en metal, madera con cubiertas de policarbonato, fibra de vidrio o las tan conocidas membranas textiles

1.3.2.3 Estructuras neumáticas

Su invención y diseño esta en base a los cables y la superficie esférica, la envolvente debe estabilizarse para una perfecta funcionalidad. No poseen apoyos intermedios haciendo de su transporte, montaje y desmontaje una tarea muy fácil.

Este sistema permite cubrir claros aún más extensos

La cubierta para este tipo de estructuras son membranas que se tensionan y para estabilizarlas se las infla con aire comprimido creando así una sobrepresión interior.

Existen dos tipos:

- Soportadas por aire: única membrana con una presión interna pequeña que puede dar formas.



Imagen 0.12 Forma de estructura neumática inflada

Fuente: Documento "Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela

- Con aire a presión: es una estructura básica de tubos sometidos a presión superior formando pilares, vigas, pórticos, etc.



Imagen 0.13 Estructura neumática con apoyos

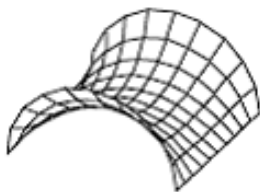
Fuente: Documento "Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela

1.3.2.4 Estructuras anticlásticas tensadas

Anticlásticas son las que tienen en todos sus puntos doble curvatura, la intersección de cada plano con la superficie produce una línea que interseca con las concavidades contrarias a cada lado.

Es decir sus centros de curvatura en direcciones ortogonales a las membranas se encuentran en los lados opuestos de la superficie. Existen de diversas formas:

1.3.2.4.1 Hiperboloide parabólico

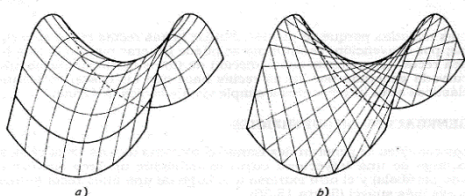


Son las formas más comunes aunque su diseño no es el más simple, para ello a partir de cuatro puntos se trazan las catenarias pero al menos uno de aquellos puntos no debe estar en el mismo plano.

Imagen. 1.14 Forma hiperboloide parabólico.

Fuente: www.monografias.com/trabajos72/estructuras-especiales/estructuras-especiales.shtml

1.3.2.4.2 Paraboloides Hiperbólicos



Se los diseña moviendo una parábola convexa a través de una cóncava de la misma curvatura.

Imagen. 1.15 Forma parabolide hiperbólico.

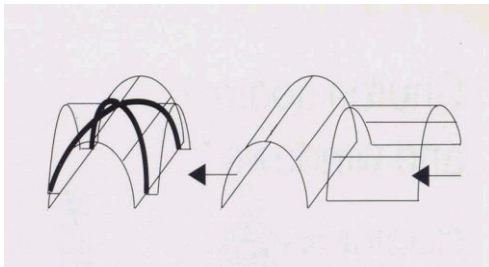
Fuente: www.monografias.com/trabajos72/estructuras-especiales/estructuras-especiales.shtml

1.3.2.4.3 Conoides



Pueden diseñarse en conjuntos o simples, en el sentido geométrico que su diseño lo demande pueden variar en su altura de los picos. Su membrana se fija en el borde cerca de la base del cono donde sus ejes suben hasta el vértice. Los elementos de soporte pueden diseñarse bajo, a nivel o por encima de la membrana estructural.

1.3.2.4.4 Bóveda de Arcos



Estas poseen una estructura perimetral y los arcos rígidos son los diseñados para crear la forma de membrana, ellos pueden ubicarse paralelos entre sí, cruzados o en función de la geometría deseada.

Imagen.1.16 Forma de arcos de bóvedas.

Fuente: Documento “Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela

1.3.2.4.5 Mixtas

Son el conjunto de las formas anteriores descritas que crean estas estructuras tensionadas. Mediante una membrana textil se cubre esta superficie anticlástica de diseño moderno.

Sus materiales pueden ser: poliéster plastificado con Cloruro de Poli Vinilo (PVC) ó Fibra de Vidrio plastificada.



Imagen. 1.17 Formas de diseño mixto.

Fuente: Documento “Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela

1.4 Uso y Aplicación

El concepto de las construcciones de estructuras ligeras fueron defendidas Alemán FREI OTTO (<http://www.infomadera.net>).

Arquitecto e Ingeniero Alemán graduado de la Universidad de Berlín, su reconocimiento se centra en el diseño de las estructuras ligeras, de entre sus numerables investigaciones se destaca una sobre biología y construcción; la cual se basó en el análisis de sistemas naturales de superficies mínimas como telarañas y pompas de jabón, esta última represento gran importancia en su investigación en cuanto a limitaciones de tracción en las superficies mínimas de las membranas. Con esto empieza a crear nuevas formas de cubiertas; siendo de gran aporte su desarrollo teórico y tecnológico que realizó sobre los sistemas estructurales tensionados. Y es a partir de estas investigaciones, que desarrolla los sistemas de izados de membranas; constituidas por membranas sujetas a poleas y cables.

La casa-estudio también diseñada por él, realizó varias investigaciones de insolación y control climático así como las experiencias adquiridas mediante los modelos de casas y estudios experimentales construidos en los años 1950 le confiaron de mucha experiencia para desarrollar las que actualmente serían sus obras más emblemáticas como son: El pabellón de la Expo en Montreal y las cubiertas olímpicas en Múnich dándole fama mundial a las estructuras ligeras de su autoría. En 1967 Frei Otto diseña el edificio del Instituto de Stuttgart el cual recibe grandes elogios como edificio de investigación posteriormente.

PABELLÓN ALEMÁN



1967, diseño de red de cables con membranas tensadas introduciendo la arquitectura de tracción y las estructuras orgánicas

Imagen 0.18 Foto del pabellón alemán
Fuente: Documento pdf, 80 años de Frei Otto

PARQUE OLÍMPICO DE MUNICH



1972, estructura de red con paneles de acrílicos cubriendo 40000 pies cuadrados.

Imagen 0.19 Foto del Parque Olímpico
Fuente: Documento pdf, 80 años de Frei Otto

Es el precursor de las tenso estructuras al plasmar las figuras de las naturaleza en sus obras; marcando una etapa nueva en el desarrollo de nuevos sistemas constructivos y nuevos materiales. Funda en 1964 el Instituto de Estructuras Ligeras (ILEK) en la Universidad de Stuttgart en Alemania acogiendo a un grupo de expertos para desarrollar sistemas constructivos y estructurales nuevos. Su influencia marco una generación de Arquitectos e Ingenieros enfatizando una línea de desarrollo tecnológico de construcciones ligeras.

La primera estructura textil aparece en 1973 en el Centro de Actividades del La Verne Collegue de California.

Luego vendrían las creaciones de Occidente Medio

🏗️ 1981 Terminal Haj del Aeropuerto Internacional de Jeddah en Arabia Saudita



Imagen 0.20 Terminal Haj en Arabia Saudita
Fuente: www.grupoestran.com/simposio/horst.html

🏗️ 1984 Estadio Internacional de Riyadh en Arabia por los Arquitectos Fraser y Robest.



Imagen 0.21 Estadio de Riyadh

Fuente: www.grupoestran.com/simposio/horst.html

 1994 Terminal Jepesson. Aeropuerto Internacional de Denver, Colorado, USA.



Imagen 0.22 Terminal aeroportuaria en Colorado, Estados Unidos

Fuente: www.grupoestran.com/simposio/horst.html

En Latinoamérica son muchísimas las empresas que han diseñado y construido este tipo de estructuras de las más importantes se detallan a continuación:


 Perú, Cidelsa monta y diseña una tenso estructura en 2005 para el Centro de Eventos-Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas UPC de 375m²



Imagen 0.23 Cubierta de un la UPC en Chile

Fuente: Catálogo de estructuras de Cidelsa, empresa Chilena

Perú, Cidelsa realiza también la construcción para la cubierta del Estadio Nacional de Lima de 28000m²



Imagen 0.24 Cubierta del Estadio de Lima
Fuente: Catálogo de estructuras de Cidelsa, empresa Chilena

🇲🇽 Hotel Now Amber – Puerto Vallarta, México construcción a cargo de INGESTRUCTURAS



Imagen 0.25 Cubierta externa en Hotel NOW AMBER Puerto Vallarta, México
Fuente: Portafolio INGESTRUCTURAS

🇨🇱 Chile, CIDELSA construye y diseña la Estación de Buses Intermodal del Sol
3224m² en Santiago.



Imagen 0.26 Cubierta de la Estación de Buses EL SOL en Chile
Fuente: Catálogo de estructuras de Cidelsa, empresa Chilena

🇨🇴 Colombia, la empresa CYLEX lleva a cabo el diseño y montaje de la tenso estructura

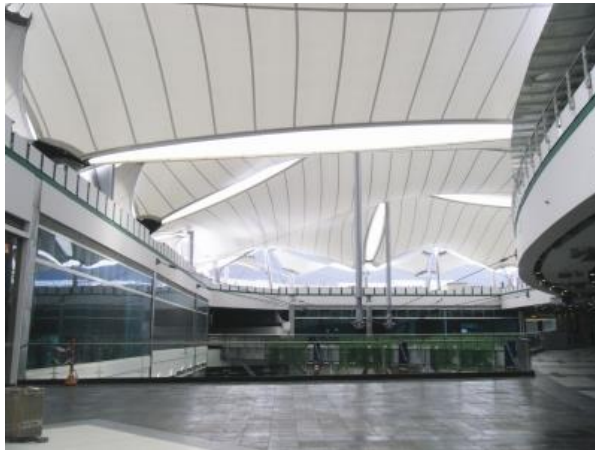


Imagen 0.27 Cubierta de una plaza en Colombia
Fuente: Portafolio CYLEX

En Ecuador la Empresa PREYSI ha diseñado y construido muchas de estructuras ligeras sobre todo las mixtas o Tenso estructuras.

🇪🇨 Quito, 2011 diseño y montaje de la tenso estructura del Mercado las cuabras de
1357m² de cobertura



Imagen 0.28 Cubierta del Mercado las Cuadras, Sur de Quito
Fuente: Portafolio PREYSI

- 2009, montaje de una tenso estructura del Museo en Sitio La Florida con 405m².
Quito.



Imagen 0.29 Cubierta de Museo en la Florida, Quito
Fuente: Portafolio PREYSI

- 2008, se realiza en Plaza Bocatti de la Ciudad de Cuenca el montaje de una Tenso Estructura como cubierta para mesas al aire libre de 380m².



Imagen 0.30 Cubierta en Plaza Bocatti, Cuenca, Ecuador
Fuente: Portafolio PREYSI

- 2008 en Quito, se realiza una cubierta para la Plaza deportiva de la ciudad, fue una tenso estructura de 4850m² de cobertura.

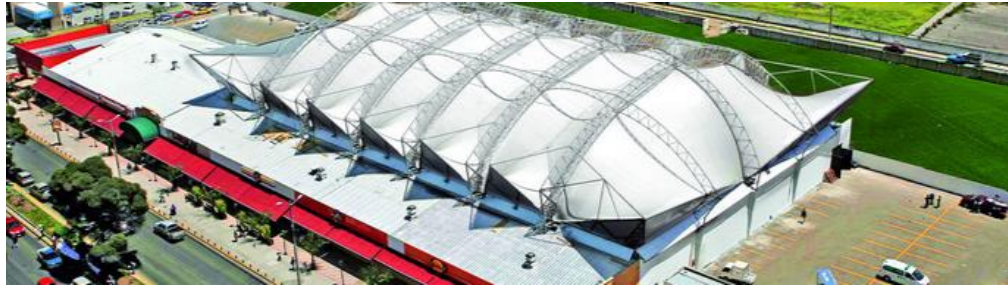


Imagen 0.31 Cubierta de la Plaza deportiva, Norte de Quito
Fuente: Portafolio PREYSI

Pueden ser aeropuertos, estadios, centros deportivos, centros de exposiciones, cubiertas de jardines, cubiertas de piscinas o una cubierta decorativa en los edificios; lo cierto es que estas estructuras poseen características únicas que incentivan a crear diseños nuevos, formas nuevas de aplicación o invenciones de otro tipo de recubrimientos. De la mano de la tecnología y nuevos implementos constructivos se ha permitido plasmar las ideas más impresionantes en el diseño y montaje de estas totalmente grandiosas estructuras.

CAPITULO II ESTRUCTURACIÓN DE LAS TENSO ESTRUCTURAS

2.1. Estructuras tensadas

También llamadas TENSO ESTRUCTURAS, estas son estructuras ligeras de superficies flexibles que soportan cargas a través del desarrollo de esfuerzos de tracción.

Poseen las mayores capacidades para cubrir grandes espacios y una facilidad perfecta para contrastar con sistemas tradicionales, por lo que abarcan muchas categorías a la hora de emplear materiales como membranas textiles, redes de cables pretensados, cables en forma de celosías o vigas y algunas membranas de concreto armado.

Estas se diferencian básicamente del resto de estructuras por su comportamiento estructural en el que las fuerzas externas se transfieren a través de la tensión; describiéndolas como sistemas de forma activa. Los materiales que ellas emplean, la curvatura, la capacidad de la transferencia que poseen y su forma estructural forman la línea de fuerzas.

Su principal capacidad es la estabilidad que mediante una tela tensionada, estructura básica de metal o madera, gracias a dos curvaturas en direcciones opuestas, brinda estabilidad tridimensional.

La elección de los materiales debe ser guiada por la rigidez a tracción con capacidad interna de resistir esfuerzos por los pretensados iniciales. Para habilitar esta tracción conjunta se apoyan de elementos estructuras como mástiles, vigas y macizos que serán los que absorban los esfuerzos de compresión. Su cubierta compone de elementos totalmente flexibles entre ellos como la membrana textil y los cables pretensados.

La construcción de estas estructuras debemos guiarla a la buena elección de sus materiales, el diseño con la aplicación de programas de modelación, los equipos y accesorios ayudarán a tensar los cables y membranas, detalle que encontraremos a continuación.

2.2. Clasificación

Las TENSO ESTRUCTURAS son sistemas de construcciones básicamente de formas arquitectónicas ligeras usadas como cubiertas; se representan por la combinación de una estructura de acero, cables y una superficie de tejido el cual mediante la tensión define su estabilidad.

Luego de conocer la clasificación de las estructuras Ligeras detallada en el primer capítulo, las TENSO ESTRUCTURAS las clasificaremos por la forma y superficie, es decir, el tipo de estructura de su diseño

2.2.1 Estructura

2.2.1.1 De membrana tensada

Se conforman básicamente por una membrana pretensada la cual para mayor estabilidad debe tener formas curvas de direcciones opuestas lo que le permitirá balancear sus esfuerzos de tensión y dar una superficie elástica y tersa a la vez.

Son auto portante básicamente, es decir se mantienen en pie por su propio peso gracias al uso de cables y tensores que se anclan a una estructura metálica. La tecnología ha permitido diseños cada vez más complejos con el modelamiento en 3D de programas computacionales de análisis.

El material que usan estas estructuras depende de la forma y la sollicitación que el diseño lo exija; que más adelante detallaremos.

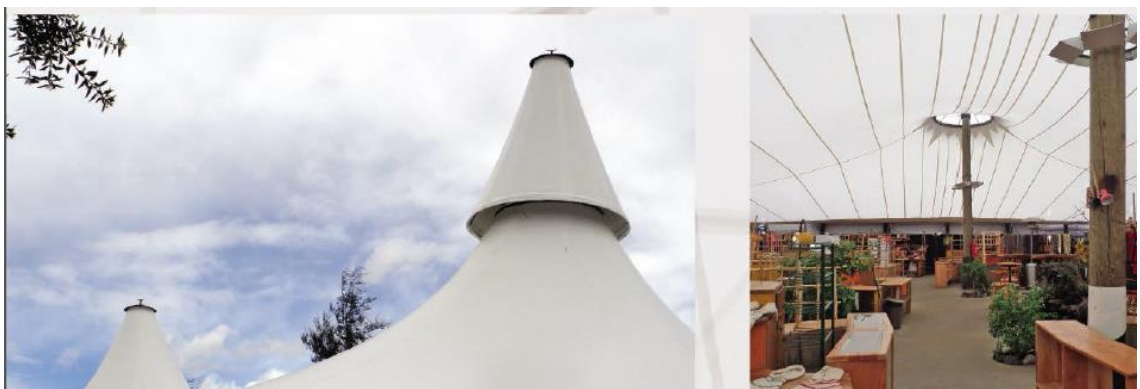


Imagen 0.1 Cubierta Centro Comercial Oasis y Feria Artesanal Pucón, México
Fuente: Espacio Cubierto, Tenso Estructuras [Santiago de Chile]

2.2.1.2. De red

Como su nombre lo indica son Estructuras de malla o elementos entrelazados estos pueden ser metálicos o de madera, en diseño se usan para conseguir formas de cúpulas o bóvedas que deben resistir cargas mayores.



Imagen 0.2 Ilustración de Estructuras de Red

Fuente: Tesis TENSO ESTRUCTURAS, Universidad Central de Venezuela



Imagen 0.3 Cubierta de Red en madera del Colegio Juan Pablo II, Chile

Fuente: Empresa: ESPACIO CUBIERTO, folleto Tenso Estructuras

2.2.1.3 Neumáticas

Este tipo de estructuras se asocian con las pompas de jabón por su forma esférica, al usar membranas flexibles pretensadas que usan aire de presión, algunas rigidizadas por cables. Son las más recientes; el diseño neumático data desde 1917 por Sir Frederic Lanchester pero en 1946 el primer prototipo de cúpula de radar se crea en Estados Unidos con Walter Bird.

La característica más importante de estas estructuras es que pueden cubrir luces muy grandes sin necesidad de apoyos intermedios por lo que el montaje, transporte y desmontaje es de mucha facilidad. La membrana debe mantenerse tensada bajo cualquier condición de carga gracias a la tensión inicial que esta posee y será suficiente para proporcionarle rigidez y que su deformación sea mínima.



Imagen 0.4 Ilustración de Estructuras Neumáticas inflables

Fuente: Estructuras Neumáticas, Basset Luisa, Universidad Politécnica de Valencia

2.2.2 Función

Por la función que estas desempeñan dentro del ámbito estructural

2.2.2.1 Construcciones textiles

Son construcciones formadas por los elementos de soporte y el textil ya sea lona, carpa, etc. Estas pueden ser:

2.2.2.1.1 Exteriores

Diseño en función de su utilidad externa puede ser para proteger un edificio o espacio cerrado.



Imagen 0.5 Cubierta interna para el Colegio Leonardo da Vinci, Chile
Fuente: Empresa ESPACIO CUBIERTO, portafolio de TENSO ESTRUCTURAS

2.2.2.1.2 Interiores

Estas estructuras se sitúan dentro de un espacio cerrado y su función simplemente ornamental.



Imagen 0.6 Terraza del Edificio Arrau, cubierta interna en Santiago de Chile
Fuente: Empresa ESPACIO CUBIERTO, portafolio de TENSO ESTRUCTURAS

2.2.2.2. Cubierta

Se han dado como soluciones para innovar el tipo de cubiertas de patios, zonas interiores de edificios, casas, locales o estadios.



***Imagen 0.7 Cubierta del Estadio Calvo y Bascañan, Arquitectos: Vale y Cornejo, Chile; año 2012
con una superficie de 8000 m²***

Fuente: Empresa ESPACIO CUBIERTO, portafolio de TENSO ESTRUCTURAS

2.2.2.3 Fachada

Actualmente hemos visto este tipo de diseños en donde la membrana forma una extensión del edificio dándole un tipo de fachada lujoso y diferente.

Son dos ejemplos con la que nos hemos visto maravillados



Imagen 0.8 Fachada del Allianz Arena de Munich y en el Hotel DUBAI en Emiratos Árabes
Fuente: Tenso estructuras a través del tiempo

2.3. Características

2.3.1. Ligereza

Las TENSO ESTRUCTURAS son un tipo de estructura ligera, sus sistemas son livianos y geoméricamente se adaptan a los diseños más convenientes.

Se crean para realizar un montaje y desmontaje rápido

2.3.2. Luminosidad

Esta característica es un rasgo de versatilidad del tipo de material de la membrana los cuales brindan al usuario una ventaja estética y muy económica al aprovechar la luz natural y ambientarla en su interior.

Un detalle importante es su apariencia luminosa nocturna desde el exterior haciendo posible un reflejo tenue de ambientación acogedora.

Tabla 2.1 - Propiedades ópticas de materiales textiles para uso estructural.

Materiales	Propiedades ópticas (%)					
	Espesor	Intensidad de Luz	Absorción Solar	Reflectancia solar	Transmisión solar	Emisividad radiación
Poliéster/PVC	0.6	12	15	75	10	86
	0.8	10	18	77	5	86
	1.2	8	19	77	4	86
Fibra de Vidrio/PTFE	0.6	17	11	72	17	88
	0.9	10	20	70	10	88
Poliéster/Silver PVC	0.7	3	25	72	3	35

Fuente: tenso+estructuras+atraves+del+tiempo

2.3.3. Sustentabilidad

Su versatilidad y funcionalidad han permitido a sus diseñadores y a las empresas encargadas de la construcción de ellas a crear una nueva forma de vida ecológica y sustentable con el desarrollo de estas estructuras livianas que requieren un mínimo de elementos y van empleando diferentes materiales. Con membranas reciclables, compactas, livianas y perdurables en el tiempo estas estructuras hacen parte de un medio ambiente futurista que busca proteger el ambiente y los usuarios.

2.4. Comportamiento

La ingeniería Estructural busca idealizar materiales con propiedades destacadas para diseñar y construir formas nuevas de manera que soporte cargas y mantengan su funcionalidad para que fueran hechas.

Básicamente el comportamiento de los materiales es lo que define la funcionalidad de una estructura. Es por tanto que la tensión o tracción es un esfuerzo que destaca a

las TENSO ESTRUCTURAS; estas estructuras textiles tensadas son aquellas en las que cada una de sus partes trabaja a tracción. Este comportamiento brinda estabilidad a la estructura, adquiriendo curvaturas en direcciones opuestas o forma anticlástica, que obliga a estudiar la distribución de cargas producidas por tensiones cruzadas y en sentido opuesto.

El funcionamiento de los cables que son elementos más simples son también resistentes a cargas de tracción lo que prevalece en el diseño. Los cables están sujetos en sus extremos en forma puntual o distribuida mediante brazos rígidos de apoyo o riostras.

En cambio la membrana compuesta por un material extremadamente resistente y moldeable es el conjunto de cordones muy finos de aquel material que representa las líneas de acción que soportan esos esfuerzos de tracción a la que esta será sometida para dar la forma deseada.

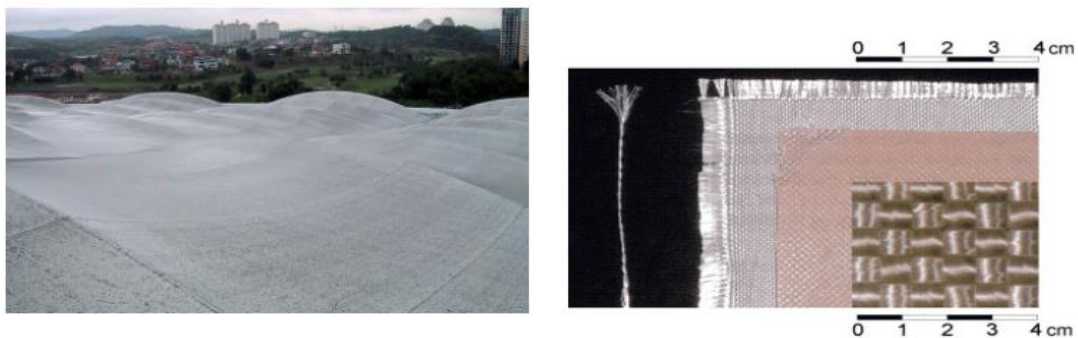


Imagen 0.9 Tejido de la membrana

Fuente: Estructuras de superficies tensadas. Michael Seidel.

Los elementos de soporte como mástiles, arcos y riostras externas trabajan bajo esfuerzos de compresión y flexión.

2.4.1.1. Propiedades mecánicas

2.4.1.1.1. Resistencia a la tracción

Es su propiedad emblema la que hace que la funcionalidad de esta cubra muchos espectros y se puedan ampliar sus aplicaciones.

Esta viene dada por los cables, de forma detallada son los cables trenzados los que trataremos en nuestra investigación ya que poseen una resistencia media a la tracción de 150 kg/mm. Menor en un 2 a 6% que la de los alambres rectos; por lo que el suministro de estos cordones debe asegurar no solo calidad si no también una resistencia a la tracción mínima garantizable.

“Los cables se fabrican con alambre estirado en frío y no tienen un límite de elasticidad definido. Por lo tanto, una carga de trabajo o carga de diseño se determina al dividir la resistencia a la ruptura mínima estipulada para una medida específica entre un factor apropiado de seguridad.” Determinado en el libro de Mac Graw-Hill, tomo I sección 5.

Tabla 2.2 -Propiedades mecánicas de cables de acero

Rotura mínima, ksi,* de medidas selectas de cable			Coefficientes mínimos de elasticidad, ksi,* de diámetros indicados	
Diámetro nominal, in	Hilo estañado	Cable estañado	Diámetro nominal, in	Coefficiente mínimo, ksi
1/2	30	23	Hilo estañado pre-estirado	
3/4	68	52		
1	122	91.4	1/2 a 2 9/16	24 000
1 1/2	276	208	2 5/8 y más	23 000
2	490	372	Cable estañado pre-estirado	
3	1076	824		
4	1850	1460	3/8 a 4	20 000

Fuente: Manual del Ingeniero Civil, tomo II Frederick S. Merrit, M Kente Loften y Jonathan T.

Ricketts

2.4.1.1.2. Resistencia al rasgado

Esta propiedad básicamente dada por la membrana y la forma de sus finos cables esta compone, gracias a ellos la cubierta nos brinda la seguridad de que la membrana por si sola evitará la aumente una fisura es decir de un rasgado que en algún momento pueda presentar la cubierta ya que toda la membrana está compuesta por un entramado de cables muy delgados que detiene esta propagación.

2.4.1.1.3. Humedad y temperatura

Las condiciones climáticas como humedad y temperatura son también un gran reto en el diseño, sobre todo para las membranas en las que el incremento de la temperatura pudiera reducir su capacidad portante entre un 25% y 70% en condiciones extremas sin embargo una forma de controlar o compensarla es creando diseños óptimos con materiales adaptables al clima del lugar en que se ubicará la estructura. La humedad es el agente más dañino para las tenso estructuras ya que influye en la resistencia a la tracción generando deformaciones y alterando la estabilidad de ellas.

“La diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior de la tela tensada es de 1° C aproximadamente. El coeficiente de transmisión térmica es muy pequeño comparado con el de construcciones tradicionales, y los efectos de la transmisión por convección y radiación han de tenerse también en cuenta. Los materiales utilizados comúnmente reflejan aproximadamente el 75% de la energía solar incidente, absorben el 15% y transmiten el 10% de dicha energía. La transmisión de luz de las telas se encuentra entre un 10- 15%. Esta

propiedad hace que las estructuras tensadas sean efectivas como protección solar en zonas tropicales y áridas, aportando a la vez ventilación natural cuando se trata de estructuras abiertas.”(TENSOESTRUCTURAS A TRAVÉS DEL TIEMPO)

2.4.1.2. Propiedades físicas

2.4.1.2.1. Dureza

Asociada a las condiciones de temperatura, humedad y radiación, combustión, lluvia, viento, nieve o granizo; los diseñadores y constructores de estas estructuras debemos encontrar materiales que puedan cumplir las principales funciones de protección contra estos agentes, haciendo que estas puedan durar como mínimo 15 años; si el ambiente en el que se ubique sea de condiciones favorables pero ya existen en el mercado materiales de mayor duración que brinde durabilidad de 50 años para estructuras permanentes.

2.4.1.2.2. Aislamiento térmico

Al diseñar para espacios cerrados sin ventilación natural es importante considerar que las estructuras deben reflejar y filtrar la radiación siendo un aspecto básico el control de las condiciones internas de la estructura; por lo que la membrana es un elemento básico que poseen estas estructuras ya que son capaces de absorber y reflejar la radiación en forma de calor. Como diseñadores podremos buscar la manera de acondicionar recubrimientos adicionales en las membranas, talvez colocar más de

una membrana permitiendo la absorción del efecto invernadero que se generará y guardará entre el espacio vacío de ellas.

2.4.1.2.3. Aislamiento acústico

El aislamiento acústico es el método por el cual se controla la propagación del Ruido ya sea aéreo o de impacto. Los aéreos que se refieren a ruidos que se transmiten por el aire y que se propagan hacia otros lugares en el caso de zonas cerradas; el de impacto es el que se produce al vibrar una estructura en consecuencia de algún impacto ocasionado. Para análisis de esta disertación solo deberemos considerar el aislamiento del ruido aéreo.

Para ello debemos identificar el tipo de recinto a diseñar, allí se realizaran mediciones de ruido en campo. Actualmente existe un “*Código Técnico de la edificación (CTE-DB HR)*”. De protección frente al ruido que posee un ámbito de aplicación general aunque para recintos ruidosos se tiene reglamentación específica. Los lugares destinados para espectáculos, aulas y salas de conferencia son aquellos con volúmenes superiores a 350 m³. Un recinto ruidoso es aquel en el que las actividades que en él suceden generan niveles de ruido superiores a los 80 dBA.

Si bien las tenso-estructuras abarcan lugares amplios y abiertos, el crear un tipo de aislamiento acústico no es una fácil tarea al existir numerosos ruidos externos ya sean ruidos de las autopistas, aeropuertos, lluvia, granizo o sistemas internos de aire acondicionado.

La acústica se caracteriza por la reflectividad de las vibraciones sonoras en frecuencias de 500 a 2000 Hz.

Como diseñadores se puede mejorar esta cualidad acústica en función ya sea de su geometría y los materiales que se usarán para construir la estructura. Muchos documentos afirman que se pueden resolver estos problemas aplicando por ejemplo recubrimientos internos con materiales porosos que absorban el sonido y reduzcan las vibraciones; también se pudieran instalar paneles, bandas acústicas u otros elementos que ayuden al diseño a aislar el ruido, así lo proponen los autores de la Tesis de TENSO ESTRUCTURAS de la Universidad Central de Venezuela. Se puede también emplear una doble capa en las estructuras mejorando el aislamiento acústico se comprueba que no más de 5 a 10 dB.

2.5. Elementos y materiales

En el ámbito arquitectónico las conocen también como Arquitectura textil por el material con el que se trabaja, que si bien anteriormente estas cubiertas de grandes luces únicamente se las construía de concreto o de acero su vanguardia ha sido el empleo de una membrana textil moldeable y de fácil manejo. Lo que hacen que junto con la red de cables hagan de estas estructuras moldeables en su construcción. Clasificaremos cada elemento de la tenso- estructura dependiendo su funcionalidad.

2.5.1. Elementos flexibles

2.5.1.1. Cables y tensores

Los cables brindan a las estructuras, grandes ventajas el momento de izarlas así como también de realizar estas construcciones de manera eficiente en casi todas las condiciones climáticas.

“En estructuras bajo cargas de tensión donde al menos una parte de la carga es soportada a través de la deflexión de los miembros en tensión, los cables estáticos y conjunto de cables cumplen un papel importante como elementos estructurales individuales y como parte de los sistemas.” [TENSILE SURFACES, Michael Seidel]

Los cables están conformados por alambres de acero, sujetos a un rango de cargas; pueden soportar fuerzas de tensión constante o dinámica. Estos miembros de tensión hechos de acero se utilizan mayormente para resistir fuerzas estáticas; se aplican en sistemas en dos dimensiones y también tridimensionales. Los cables con resistencias a la tracción de hasta 1770N/mm^2 se denominan *permanentes*, estas resistencias únicamente se logran con un tratamiento térmico y mecánico en su producción.

Durante la fabricación de los cables estos son sometidos a una combinación de tensión, flexión, torsión y compresión. Los cables estáticos en la estructura son las que deben mantener constante su gran rigidez durante décadas. Detallaremos entonces los cables que se usan en estas estructuras, su producción y ensamblaje.

2.5.1.1.1. Construcción.

Están constituidos por un núcleo, alambres y hebras esencialmente, dicho núcleo descansa en el centro de las hebras y cables, sirve de cama y soporte para los alambres de acero, hebras y cuerdas. Este tiene dos tipos de materiales fibra y acero. Los cables estáticos poseen regularmente núcleos de acero que garantizan la unión rígida de los alambres de acero.

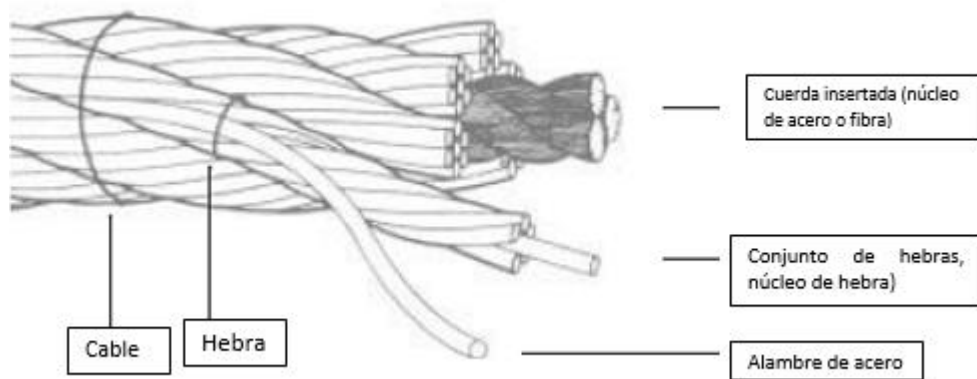


Imagen 0.10 Configuración de un cable
Fuente: TENSILE SURFACES, Michael Seidel

El elemento más pequeño del cable es el **Alambre** de acero con diámetros desde 0.5 a 7.0mm está compuesto por acero al carbono no aleado.

Las **Hebras** consisten en una o más capas de hilos, se giran helicoidalmente alrededor de un núcleo de hebra que se compone de un alambre central o de hilados.

Por su forma se clasifican en:

- ✓ Hebras redondas
- ✓ En forma de filamentos

✓ Cordones compactados

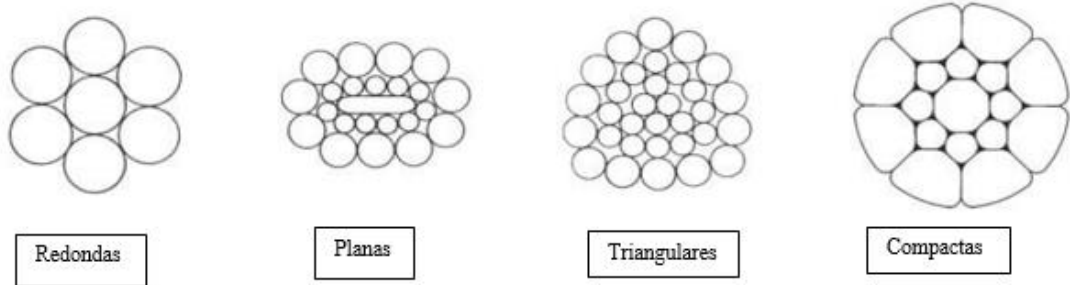


Imagen 0.11 Tipos de hebras
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

Las *Cuerdas o Cordones* son una o más capas de hebras que se hacen girar helicoidalmente alrededor de un núcleo también se clasifican en:

❖ Redondas

❖ Planas

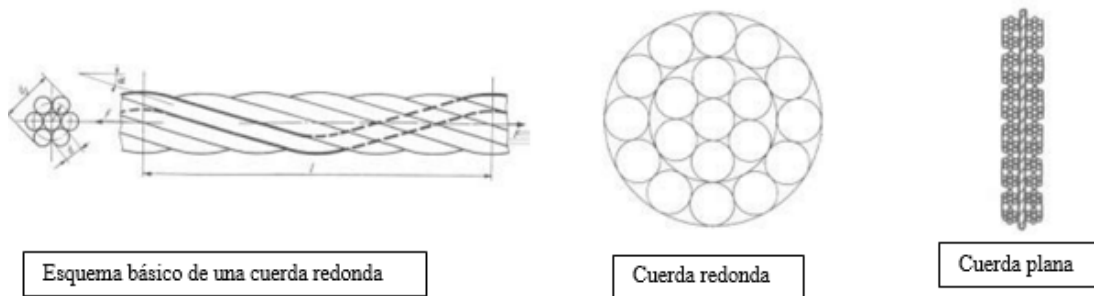


Imagen 0.12 Tipos de cordones
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

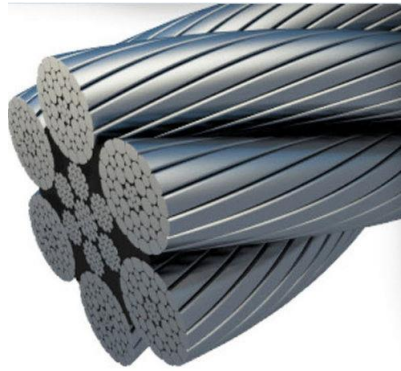


Imagen 0.13 *Cordones helicoidales bridon*
Fuente: Catálogo de cables de acero BRIDON

Para la fabricación de los cables se utilizan máquinas especializadas que realizan un trenzado de las hebras y alambres que conforman los cables; dando un proceso de post-formación.

Los cables que deben ser de muchas capas y de diámetros grandes se hacen utilizando una máquina de trenzado planetaria que funciona a 50rpm, es decir de bajas revoluciones. El alambre laminado de las bobinas se fija a la araña de trenzado de rotación, la inserción de la cuerda se ejecuta a través de un eje hueco de la boquilla de cierre donde los cables se enrollan alrededor de dicha inserción. Los cables de menor diámetro se hilan con máquinas de trenzado tubular llamadas “cableadoras rápidas”.



Imagen 0.14 *Bobina de transferencia, cableadora planetaria y modelo del mecanismo de trenzado*

Fuente: TENSILE SURFACES, Michael Seidel

“El trenzado se realiza con alambres redondos del mismo diámetro. El cruce de los cables produce transferencia de carga en los puntos entre las capas adyacentes de hilos. Las hebras puestas en paralelo, todos los cables tienen la misma longitud y dirección de cableado. El ángulo de cableado donde el diámetro y longitud del alambre son todos diferentes. La transferencia de carga es lineal. Otros tipos de trenzado se extienden a cableados en paralelo, compuestas de hilos y contra-puestos. “[TENSILE SURFACES, Michael Seidel]

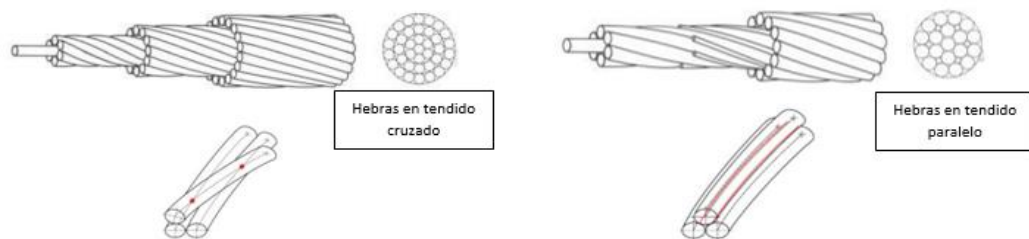


Imagen 0.15 Tipos de cableado

Fuente: TENSILE SURFACES, Michael Seidel

Dicha disposición helicoidal de los conductores da esfuerzos adicionales de tensión y compresión, la carga de rotura calculada de la real da una diferencia que se describe como pérdida del trenzado. El giro de fabricación y el giro de carga son quienes dan al cable la tendencia de torsión. Su capacidad de carga aumenta con el área de la sección transversal y la fuerza. Los cables compactados se usan cuando el diseñador requiere diámetros exteriores delgados y una gran sección transversal metal, se llaman cables compactados ya que se reducen el aire libre entre los orificios con un factor de tensado mayor es decir de llenado al 95% trabajo que se logra enrollando el cable después del proceso de tensado y comprimirlo desde su lado deformado.

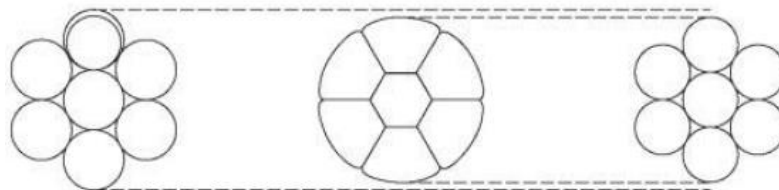


Imagen 0.16 Hebras compactadas
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

2.5.1.1.1.1.Pre-tensión

El pre-estiramiento de un cable es cuando al cargarse se provoca una tensión permanente, los cables pueden tensarse con una carga de hasta 6.000kN dando un pre-estiramiento de hasta 250m de largo del cable. Esa fuerza de tensión se transfiere a los cordones con abrazaderas o los llamados gatos hidráulicos. Para obtener cordones más largos se debe estirar previamente las secciones. Se logra un comportamiento uniforme y una tensión con suficiente rigidez cuando los cordones se cargan repetidamente en un pre-estiramiento de fábrica, esto se llama Pre-estiramiento Dinámico. Bajo carga se marca las conexiones de extremo a extremo y la línea axial que permite el montaje sin torsión de las conexiones, las deformaciones de fluencia se toman en cuenta antes de cortar esta longitud.

Luego del pre-estiramiento se deben acortar los cables en condiciones sin esfuerzo por la extensión causada, el ingeniero con los datos de compensación del cable deberá realizar los dibujos del corte sin causar deformación. Finalmente cortado el cable se carga a un valor acordado después del pre-estiramiento y pre-esfuerzo dinámico, se mide, se marca y se corta a la longitud deseada por el cliente.

2.5.1.1.1.2. Protección corrosiva

Los cables de alta resistencia reaccionan de forma muy sensible al daño mecánico y pérdida del material como desgaste y corrosión, por lo que el diseño de las estructuras debe contemplar también medidas de protección contra la corrosión. La Guía práctica de construcción de Cables y Membranas de Michael Seidel menciona 4 categorías de protección:

- Protección contra la corrosión de los alambres individuales
- Protección contra la corrosión del cordón interno
- Protección contra la corrosión del cordón externo
- Protección contra la corrosión a través del diseño detallado

2.5.1.1.1.2.1. Protección contra la corrosión de los alambres individuales

Esta protección es conocida como el proceso de galvanizado para los alambres, denominado así por la aplicación de una capa protectora de Galvan, que brinda una resistencia mayor a este fenómeno de corrosión ya que puede regenerarse esta protección desde las capas inferiores.

2.5.1.1.1.2.2. Protección contra la corrosión de los alambres individuales

Los cables metálicos hechos con alambres galvanizados a través de los años pierden su capa de zinc exponiendo al cable a la corrosión, una de las tantas prevenciones es

la aplicación de un compuesto adecuado de llenado entre los orificios de los alambres y hebras que garantiza la protección contra la corrosión del cordón internamente.

Este proceso de lubricación o llenado utiliza polvo de zinc disuelto en aceite sintético, se debe añadir inmediatamente antes de ingresar a la boquilla de cierre en el proceso de fabricación para impedir una desprotección en el proceso de pretensión.

2.5.1.1.1.2.3. Protección contra la corrosión de la cuerda exterior

Esta protección consiste únicamente en pintar una protección adicional al cable después de izado el mismo, son 4-6 capas de pintura plástica pigmentada o sin pigmentar aplicados después de que la cuerda se ha cargado.

2.5.1.1.1.2.4. Protección contra la corrosión a través del diseño detallado

Los diseñadores pueden brindar un proceso de protección mucho mayor al conocer las condiciones ambientales en las que se dispondrá del cable tomando en consideración la humedad y el oxígeno, el agua de lluvia que correrá a lo largo del cable. Para ello se requiere poner una protección o un buen diseño de drenaje en los anclajes, sillas de montar, empalmes, etc.

2.5.1.1.2. Tipo y sentido del cableado

Los cables también se los puede clasificar de acuerdo a la dirección de la colocación de sus hebras y la dirección de colocación de la cuerda.

“La dirección de colocación de las hebras (Z o S) es la dirección de la línea helicoidal de los alambres exteriores con referencia al eje axial de la hebra. La dirección de colocación de la cuerda (Z o S) es la dirección de la línea helicoidal de las hebras, los hilos exteriores en una cuerda espiral o las partes componentes de una cuerda de cable-establecido, en relación con el eje axial de la cuerda. Los términos S, Z y Z’

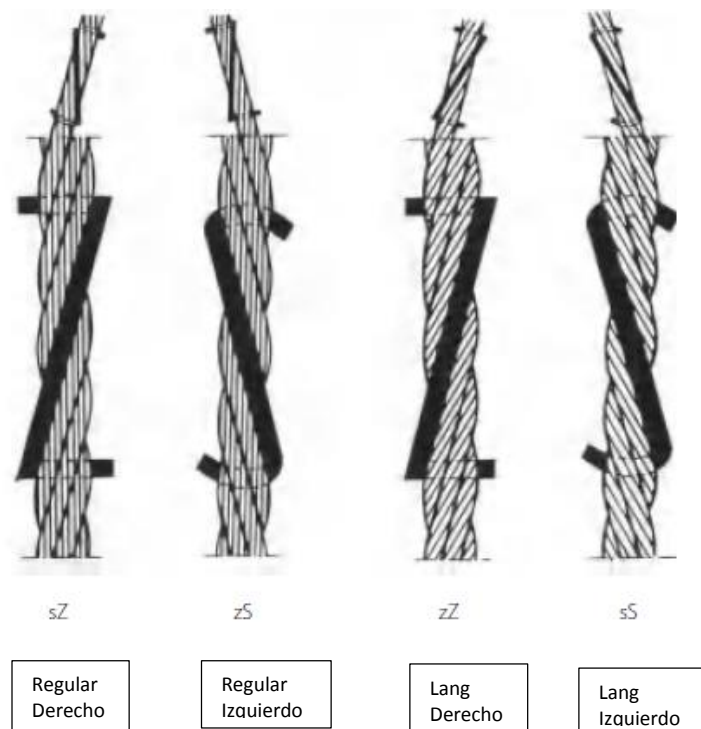


Imagen 0.17 Tipo y direcciones de cableado
 Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

El diferenciar cada tipo de cableado nos permite describir la colocación de los cables en la cadena y de los hilos en la cuerda; así tenemos cables trenzados con cableado regulares con forma sZ ó Zs en donde los alambres en las hebras tienen la dirección de colocación opuesta a las hebras de la cuerda; o el cableado de Lang (zZ ó sS) que poseen la misma dirección que los alambres y las hebras de la cuerda. El cableado de Lang hace más resistente y flexible al cable.

2.5.1.1.3. Longitud y ángulo del cableado

Lo describe correctamente el documento de Michael Seidel de TENSILE SURFACE STRUCTURES, dicha longitud hace referencia a la longitud del alambre que rota alrededor del eje de la cuerda.

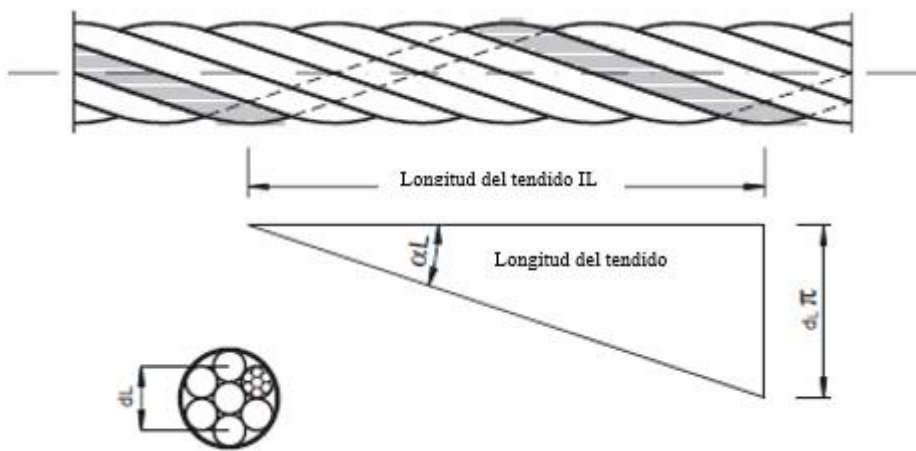


Imagen 0.18 Ilustración del ángulo de tendido del cable
 Fuente: TENSILE SURFACES, Michael Seidel

$$KL \frac{\pi}{\tan \alpha L}$$

Ecuación 1

$$IL = KL * dL$$

Ecuación 2

α_L : ángulo del cableado

I_L = Inercia dl cableado

K_L = número de cableado

2.5.1.1.4. Tipo de cable

Para las superficies de estructuras ligeras se utilizan cables de acero de alta resistencia estirados en frío.

Cables espiralados: Están conformados por un número de hilos que se hacen girar en espiral pueden ser en cableado regular o cableado de Lang en una o varias capas alrededor de una inserción, de acero normalmente; se usa este tipo de cables para cuando se requieren cables más flexibles.

Aquí los diámetros dependerán de las cargas con las que trabajaran los cables, así lo subraya Dr. N. Subramanian en su libro de Principios de las estructuras espaciales que menciona:

“Los cables son invariablemente de acero de alta resistencia, y son normalmente cables de acero de hasta 100 mm de diámetro. Cargas de rotura mínimas típicas son de 240t para 50 mm de diámetro y 530T para 75 mm de diámetro de cables. Cargas de trabajo de hasta 45 por ciento de la fuerza mínima de rotura se utilizan comúnmente.”

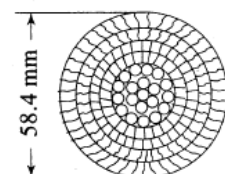
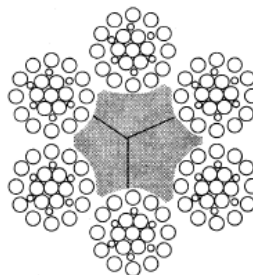
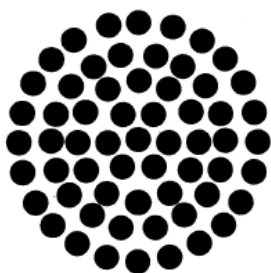


Imagen 0.19 Secciones de Entramado del cable
 Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

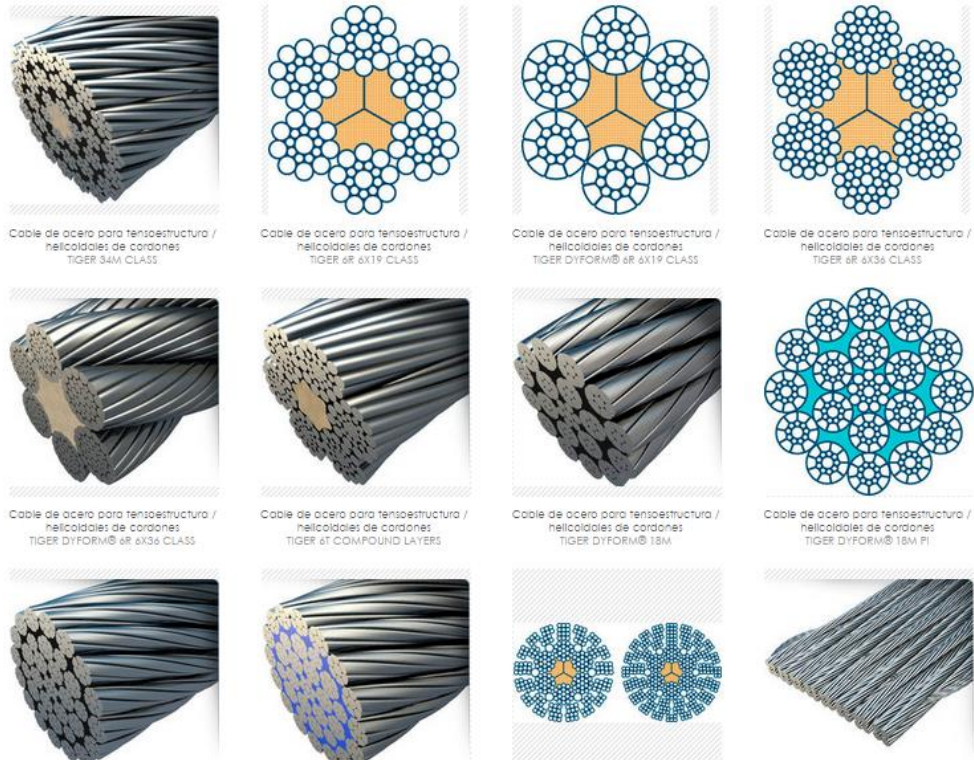


Imagen 0.20 Cables BRIDON para tenso estructuras
 Fuente: Catálogo de cables de acero BRIDON

2.5.1.1.5. Conexión de cables

2.5.1.1.5.1. Empalme de cables

En los cables el tipo de conexión más antiguo son los empalmes, que permiten la conexión entre cables diferentes y del mismo tipo.

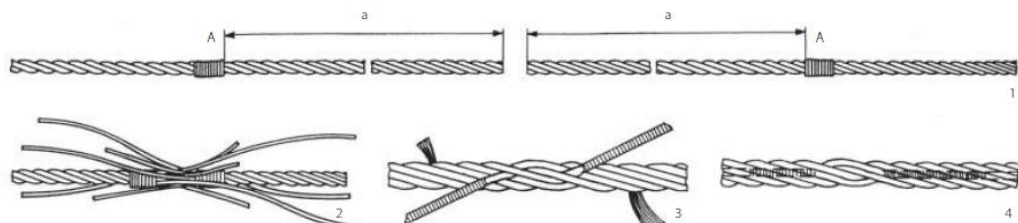


Imagen 0.21 Ilustración del empalmado
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

El empalme de cables nace con el objeto de crear cables de longitudes muchísimo más largos que los emitidos en fábrica, su proceso empieza teniendo dos extremos libres de cable que se deshilan para ser trenzados con el extremo del otro cable, dichas hebras se intercalan alternativamente, se reemplaza la hebra desenredada por una correspondiente de la cuerda para ser conectada. Esto solo es posible con cordones de hebras para empalmes intermedios y finales. Suelen realizarse con la ayuda de herramienta menor, así como también atornilladas en múltiples partes para sujetar dichos cables; con la ayuda de clips se fijan la distancia de acuerdo al diámetro del cable de acuerdo al menos un ancho del clip, esto para cables de diámetros pequeños 7mm-40mm. Para cables de exigencia mayor los empalmes se pueden realizar con sockets spltered o conectores de liberación.

Para los empalmes las longitudes que se deben dar es de 900 veces su diámetro para los cables de arrollamiento cruzado; y de 1.200 veces su diámetro para cables de arrollamiento Lang.

2.5.1.1.5.2. Conexiones de extremo

Para este tipo de conexión se emplean los anclajes más simples, su función es recibir y transmitir las fuerzas a las que están sometidas los elementos de la estructura.

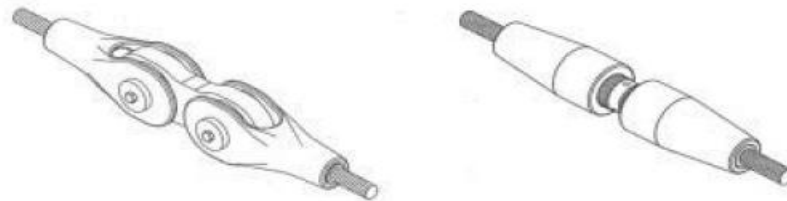


Imagen 0.22 Conexiones de extremo
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*



Imagen 0.23 Ilustración de conexión en montaje.
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

Para cables estáticos empleados en estructuras ligeras se usan mayormente los sockets spltered mas no se emplean empalmes ni alguna forma de acuar a los cables, como se ilustra en la imagen 2-24.



Imagen 0.24 Socket Nemag

Fuente: Catálogo de la empresa Nemag

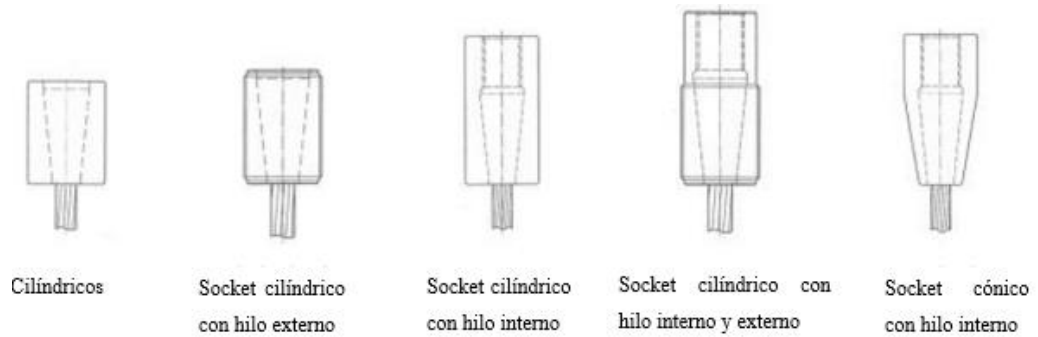


Imagen 0.24 Tipos de sockets

Fuente: TENSILE SURFACES, Michael Seidel

2.5.1.1.6. Accesorios para cables

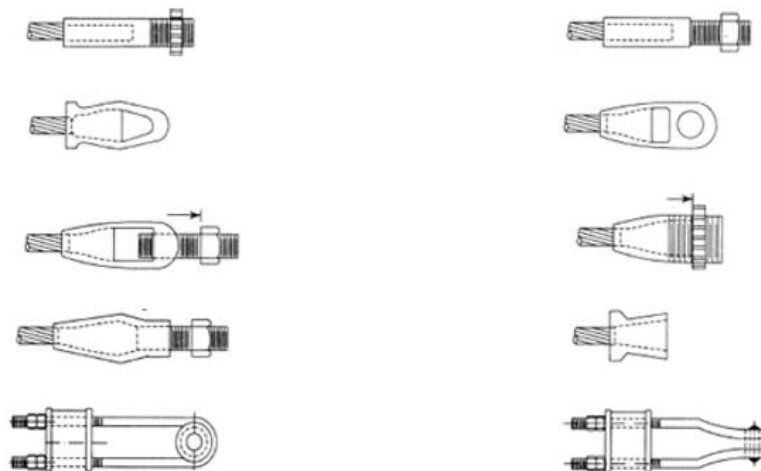


Imagen 0.25 Accesorios

Fuente: Space Structures, N Subramanian

2.5.1.2. *Membrana textil*

Es el elemento principal de nuestro tipo de estructura, ella busca cubrir de forma arquitectónica y eficiente un espacio abierto, emplea una estructura ligera como soporte de su peso propio. Su principal función es resistir las condiciones externas como lluvia, viento y granizo; debe también garantizar una durabilidad y un equilibrio total con la estructura.

Estas membranas poseen al textil como su componente principal, tienen un tejido base que hace el trabajo mecánico y un recubrimiento que protege y a su vez impermeabiliza. La facilidad de trabajo con los textiles permite distintas técnicas de sellado. La evolución y la tecnología nos brindaron un hallazgo importante y muy útil en cuanto a los tejidos como es el de las fibras sintéticas de alta resistencia.

Gracias un recubrimiento especial, le dan a la membrana una mayor resistencia y por consecuencia duración. Los materiales que más se utilizan actualmente se detallarán a continuación, desde los más simples y menos duraderos hasta los de composición compleja de larga duración.

- **Lonas Naturales:** estas utilizan tejidos como el algodón, que son naturales y hasta el plástico para emplearlos en tiendas de campaña y toldos.
- **Poliéster Reforzado con PVC:** las emplean las estructuras temporales como comerciales y tiendas, también se usa este tejido para las estructuras neumáticas; permiten durabilidad de 10 a 15 años.

- Fibra de Vidrio Revestida: su composición se basa en fibra de vidrio revestido con poli tetrafluoretileno (PTFE) un polímero altamente resistente a la temperatura, comercialmente conocido como teflón. Este tipo de tejido nos da características de alta resistencia a la tracción lo que permite el diseño de grandes luces con un peso menor en relación al del acero. La combinación de sus componentes garantiza una vida útil mayor a los 35 años, resistencia a los rayos Ultravioleta, translucidez entre un 12-45% y lo más importante altamente resistentes al fuego.

Estructuralmente es más rígida por lo que es menos susceptible a deformaciones. Sin olvidarnos de que se compone de un tejido y que sigue siendo un material frágil.

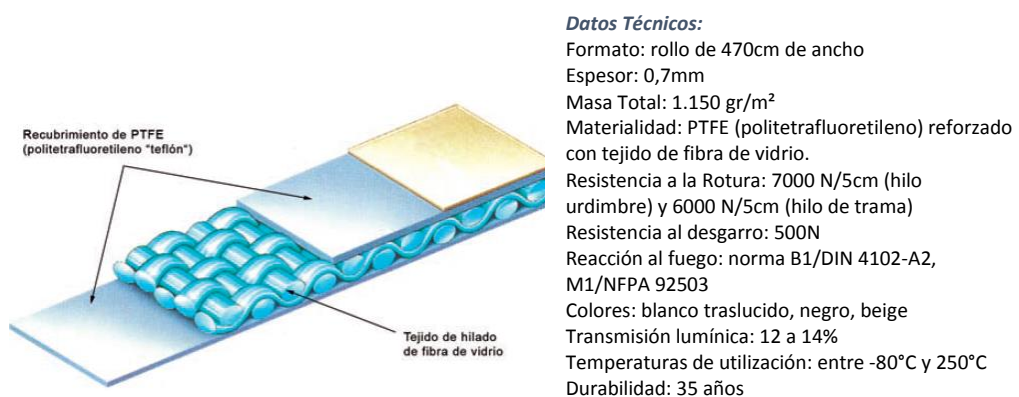


Imagen 0.26 Ilustración del recubrimiento PTFE
Fuente: Dossier Técnico Arq. membrana de Serge Ferrai

La membrana se suministra al constructor en bobinas de los anchos disponibles. Por lo que los costos deberán incluir la conformación de la membrana confeccionando los fragmentos de tela; entre estas juntas cocidas, pegadas, soldadas, entre otras

formas; para los extremos se debe unir el textil a sus bordes rígidos y elementos de anclaje para que mantengan la tensión que le da la forma a la membrana. Los sistemas de cables se hacen necesarios al ir aumentando la dimensión de la estructura ya que la membrana estará sometida a tensiones mayores y será necesario un refuerzo de apoyo que los cables proveen. Estos deberán coserse en los bordes de unas franjas especiales prefabricadas. La red de cables es quien forma la superficie principal que soporta al cuerpo de la cubierta. Las uniones entre estos dos entes principales deben ser tan flexible como para admitir que la estructura se deforme en las redes de los cables.

En cuanto a los pesos dependen de sus fabricantes pero para una referencia, los pesos serán aproximadamente de:

- 0.61kg/m² para lonas
- 1.53 kg/m² para tejidos revestidos
- 0.75 kg/m² para membranas compuestas

Considerando esos pesos, las grandes cubiertas de estadios que poseen membranas se diseñan considerando un peso de 4.88 kg/m²

2.5.1.2.1. Composición de la Tela

Su composición se realiza mediante máquinas, de ellas dependerá su tipo de acabado.

El entrelazado del giro y los hilos de trama, así como la densidad del hilo da el número de hilos de giro necesarios. Varios métodos de cruce de giro y entramado conducen a la ondulación característica de la tela tridimensional.

Aquí se detallan dos tipos de tela:

- Ligamento tafetán
- Armadura de cesta, que es una modificación del mismo ligamento anterior

Con estos dos tipos, el giro se realiza en dirección longitudinal de la tela; con el proceso de tejido y el recubrimiento los hilos de giro y de trama presentan geometrías diferentes. El hilo de giro se mantiene bajo tensión con una curva más estrecha mientras que los de trama presentan rizado más fuerte en el recubrimiento.

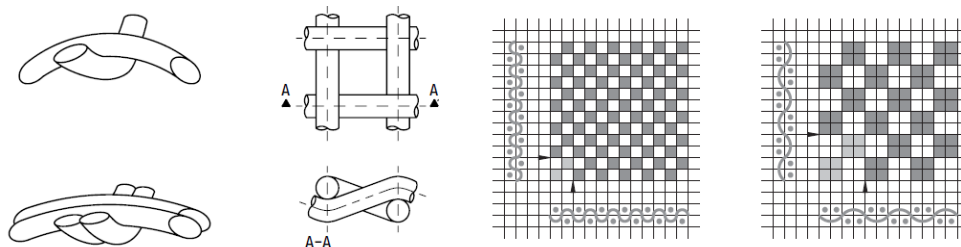


Imagen 0.27 Entramado de la tela
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*



Fig. 55: top: Glass fibre, glass fabric and coated fabric;
bottom: Internal construction of fabric

Imagen 0.28 Ilustración del entramado más detallado de la tela
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

Uno de los enlaces más fuertes de la química orgánica es el plástico fluorado uno de los componentes de los recubrimientos de PTF, mientras que las propiedades de rigidez y resistencia se dan gracias al tejido de vidrio.

“Las telas se tejen en anchos de hasta aprox. 5 m. En Austria, las telas se pueden realizar en un máximo de 3,2 m de ancho. Los anchos normales rodillo son 2,05 y 2,50 m. Dependiendo de la anchura de la tela y el peso área de la tela cruda, longitudes de rollo de un máximo de 2200 m en funcionamiento son de costumbre, con el aumento de peso por debajo de la superficie.

De acuerdo con el tipo de tejido, el grosor del hilo y el rodillo ancho, tejido por el proceso de tejer con pinzas dura 1-3 días por 1.000 metros de longitud, y es el proceso más intensivo de tiempo en la fabricación de telas.” [Michael Seidel, Tensile Surface Structure].



Imagen 0.29 Hilado en máquina de la membrana

Fuente: TENSILE SURFACES, Michael Seidel

2.5.1.2.2. Comportamiento

Al pretensar la membrana se va dando la forma geométrica curva que da la estabilidad a la estructura. Las cargas perpendiculares deforman a la estructura y esta adopta curvas, desarrollando tensiones de tracción superficial.

Los tejidos tienen un comportamiento no lineal de deformación, es decir que la resistencia del material a la deformación crece a medida que se aplica la fuerza, aquí la curva de relajación difiere de la de carga. Sin desmerecer que dicho comportamiento dependen varios factores entre ellos el número de ciclos de carga es el más importante.

Otro tipo de comportamiento de la membrana es el Anisotrópico; la tela en crudo presenta elementos laminares tejidos simétricamente, estructurados con hilos dispuestos de forma ortogonal entre sí; lo que da una dirección de preferencia con respecto al sistema de coordenadas describiendo la razón de este comportamiento.

El comportamiento mecánico de la membrana se evalúa aplicando fuerzas o cargas a corto y largo plazo. Las de largo plazo son causantes de la rotura de la tela estas son uni-axiales y bi-axiales es decir que son aplicadas en una dirección y la consecuente en dos direcciones. La acción resultante de la aplicación de la fuerza en un punto particular en el tiempo de la vida útil con respecto a la historia de carga del material, la denominamos *resistencia residual* o de *fluencia*

Para el comportamiento a corto plazo se determinan con pruebas de corta duración, de tensión biaxial con cargas pertinentes, es decir aplicadas en las secciones de los hilos de urdimbre y de trama.

Están también los esfuerzos tangenciales cortantes que se asocian con el giro, lo que las hace superficies de comportamiento *funiculares*. Los cables son quienes poseen normalmente este comportamiento que se relaciona con la falta de rigidez. En la membrana este comportamiento le permite absorber la tracción, más al presentarse la compresión la membrana genera arrugas en su superficie.

En cuanto a las costura dos parámetros de calidad como el recubrimiento y la interacción del tejido que en un futuro harán de la ***propagación del rasgado***, el tejido de los hilos que conforman la membrana evidencia su función de entramados diferentes para evitar dicha propagación que es el modo de falla más común de la tela.

Sobre la ***resistencia al corte*** la ejercen las fibras que se ubican en los bordes, la tela debe permitir deformaciones de corte entre los hilos, aquí se forma una distorsión de cizalla entre los hilos de urdimbre y de trama que como consecuencia genera una tensión lateral. Cuando dichos hilos no se obstaculizan entre ellos y el deslizamiento continúa por dichos hilos y llegan hasta un bloqueo en el que la resistencia aumenta bruscamente provocando interferencia.

Existen dos esfuerzos principales en las membranas como son s_I y s_{II} , el primero en la dirección principal de la composición de la membrana y el segundo es en la dirección de trama. Dichos esfuerzos en materia de elementos finitos son llamados esfuerzos directos causantes de cambios de longitud.

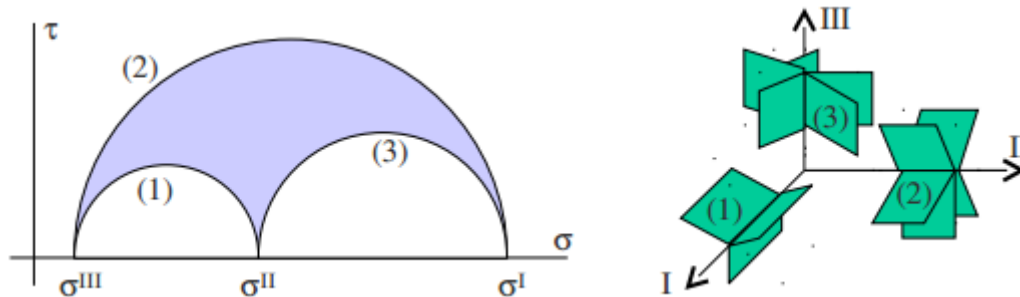


Imagen 0.30 Representación de los esfuerzos en el plano y en el círculo de Mohr.

Fuente: Apuntes para una breve introducción a la RESISTENCIA DE MATERIALES y temas relacionados. Universidad de Valladolid Área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de estructuras, Julio 2011

“los recursos resistentes de las tenso-estructuras no se basan solamente en la resistencia de los materiales, sino que también dependen de la geometría, el pretensado, y las deformaciones, de manera que las formas tienen que ser funiculares, es decir, tienen que seguir el recorrido de las cargas. Además, las uniones tienen que permitir a menudo giros y desplazamientos, no solamente para transmitir las cargas, sino también para aplicar y mantener del pretensado.” **LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LAS TENSO ESTRUCTURAS.** Arq. José Ignacio de Llorens Duran

2.5.2. Elementos rígidos

Dentro de la estructuración se encuentran también los elementos rígidos que ayudan a formar la superficie deseada para la construcción de la misma, siendo muy pertinente tratarla en la investigación.

Las fuerzas de tensión son introducidas a través de los bordes para estabilizar la superficie deseada. Aquí los elementos de borde rígidos se cargan principalmente en compresión y pueden estar sujetos a momentos de flexión, son estos los que

determinan el comportamiento y deformación de la superficie; razón por la que deberá ser tomado en cuenta en su diseño.

2.5.2.1. Bordes rígidos

El detalle y las fuerzas actuantes en este elemento influyen en la geometría de la superficie y por consiguiente la rigidez de dicha membrana.

Para su diseño intervienen principalmente la fuerza en este elemento, el radio del borde y principalmente la tensión de la membrana que influenciará en el esfuerzo de la membrana que aumentará a medida que se incremente la fuerza en el borde, el aumento del radio de borde producirá una reducción de la superficie de la curvatura lo que implica entonces un aumento de las fuerzas en el elemento, tal como se ilustra en la figura.

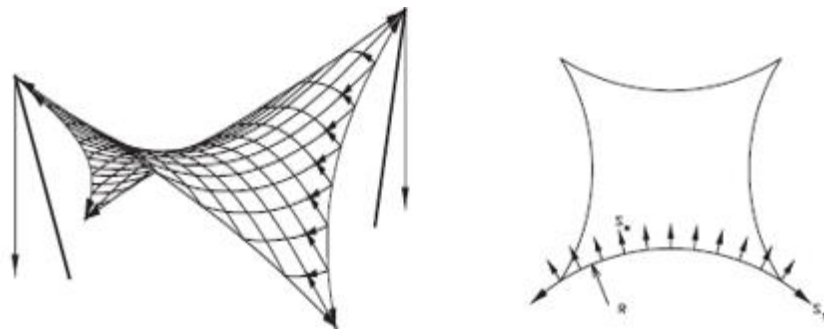


Imagen 0.31 Ilustración de los bordes.
Fuente: *TENSILE SURFACES*, Michael Seidel

La dificultad en el diseño nace en la necesidad de introducir elementos metálicos rígidos que permitan absorber diferencias de deflexión. Pero el reto se concentra en conciliar las diferentes rigideces en el borde y la flexión de los elementos que se

reunieron, crear una combinación de fuerza de transferencia y crear una buena conexión que sea utilizable y de construcción simple.



Imagen 0.32 Keder

Fuente: <http://www.plakat-total.de/druckdaten/konfektionierung/keder.html>



Imagen 0.33 Formas de realizar un Keder

Fuente: dibujo de autocad Adriana Jiménez

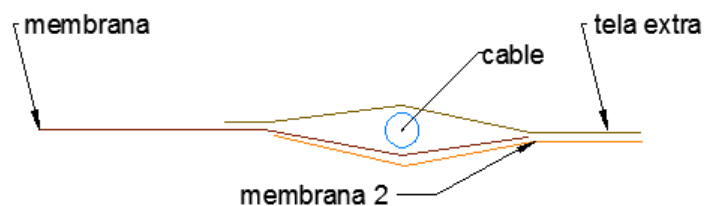


Imagen 0.34 Formas de realizar un Keder

Fuente: dibujo de autocad Adriana Jiménez

Esta conexión consiste básicamente en una placa de sujeción, la membrana forma un doblez por el que se atraviesa el cable que ayudara a tensionar la tela, lo que denominaremos Keder; este elemento evita que la membrana se deslice fuera de la placa y debe colocarse en el borde de la placa para permitir su correcta función.

Su longitud va de acuerdo a la curvatura de la membrana, es decir mientras más corta sea su curvatura más larga debe ser la placa. Pero su seguridad radica en las dimensiones cortas pero es común observar el diseño de placas de 1000mm. Para la membrana este elemento representa un sistema de ajuste por fricción.

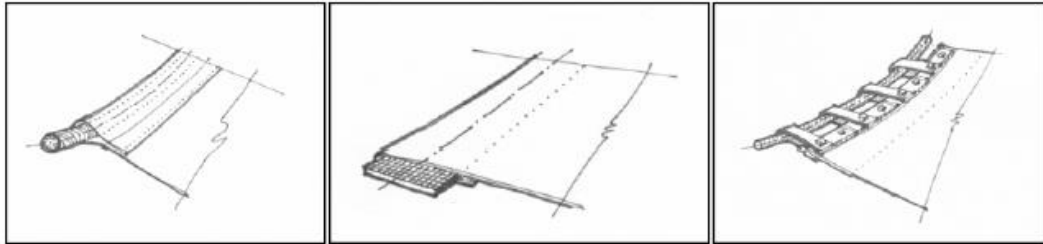


Imagen 0.35 Conexiones de borde

Fuente: Documento “Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela

2.5.2.2. *Anclajes y cimentaciones*

2.5.2.2.1. Anclajes

La membrana en sus esquinas forma puntos extremos entre los dos bordes que se anclan en sus extremos mediante accesorios metálicos que impiden el movimiento relativo, aquí las fuerzas de la membrana se desvían por los accesorios y se transfieren a la estructura inicial siguiendo lo que conocemos como “trayectoria de la carga”.

Llamamos anclaje a aquella placa de membrana que influye en el comportamiento de esta superficie, su geometría depende del alcance y la dirección que tengan las fuerzas, el ángulo de la placa debe ser de acuerdo a la forma y superficie que se requiera en la membrana. Aquí este elemento de borde se extiende paralelamente a la curvatura principal de la superficie, cuanto más agudo dicho ángulo mayor es la

capacidad de resistir las fuerzas que actúan en la membrana evitando que esta se deslice fuera de la placa.

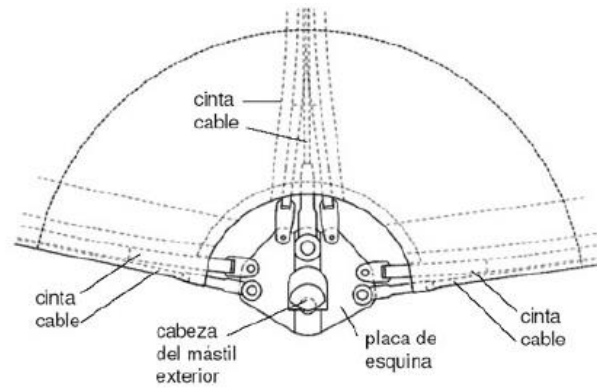


Imagen 0.36 Conexión de membrana esquinera, diseñada para el Pabellón de BMW, Feria de Frankfurt, W. Sobek.

Fuente: J. Llorens, Los detalles constructivos de las TENSO-ESTRUCTURAS



Imagen 0.37 Tipos de anclajes en los bordes

Fuente: TENSILE SURFACES, Michael Seidel

La función de estos anclajes es reforzar los bordes y conservar la pretensión de la membrana para brindar la curvatura deseada en el diseño, por lo que la rigidez tensionante del elemento resulta de la relación con la dirección de los extremos de la membrana durante el proceso de pretensado. La pre-tensión se debe realizar por etapas en cada elemento esquinero.



Imagen 0.38 *Detalles de rigidez de las placas*
Fuente: *TENSILE SURFACES, Michael Seidel*

2.5.2.2.2. Cimentaciones

Estas tenso-estructuras tienen su sustento en los apoyos rígidos puntuales o lineales que vienen a representar los anclajes y los mástiles fijando y manteniendo a la estructura. Debiendo estos resistir las tracciones de las cargas externas y el pretensado.

2.5.2.2.2.1. *Mástiles*

Un mástil es un elemento vertical que genera el punto más alto de la tenso-estructura, sosteniendo y tensionando la membrana. Depende de la geometría de su diseño el empleo de uno o más mástiles creando un sistema un tanto complejo con formas más especiales. La función de este elemento es también soportar las fuerzas de tracción y trabajar a compresión como lo fue explicado en la sección de los bordes.

Su modelación estructural deberá realizarse como una viga-columna de manera que se tomen en cuenta el efecto de las fuerzas en la dirección de este elemento, con la

ayuda de una matriz de rigidez geométrica; en cuanto al equilibrio deberemos considerar la deformación del sistema acoplado a un efecto de flexión.

2.5.2.2.2. Anclajes al suelo

Estos concentran tensiones mayores, son el último elemento de transferencia de la línea de carga por lo que su diseño es primordial. Pueden ser puntos de anclajes fijos, de rotación, que permitan el giro o ambos, esto depende del requerimiento estructural del sistema.

Las reacciones verticales se absorben por gravedad o rozamiento del anclaje a través de la superficie de contacto con el terreno. Mientras que los horizontales se compensan y se transfieren a través de las riostras de un lado a otro, o con anillos a compresión; se pueden resistir por rozamiento o por el empuje pasivo del terreno.

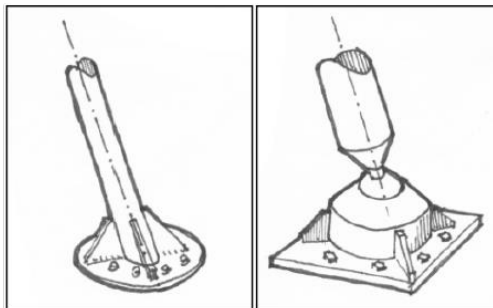


Imagen 0.39 Tipos de anclajes a cimentación.

Fuente: Documento “Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela



Imagen 0.40 Detalle de anclaje

Fuente: Documento “Tenso estructuras, Universidad Central de Venezuela

2.6. Cargas

Debido a la ligereza de este tipo de estructuras tensadas, la relación existente entre las cargas externas y su peso propio es relativamente mayor en comparación a otro tipo de cubiertas.

El impacto de las cargas externas como viento o granizo es de mayor influencia en las estructuras tensadas, haciendo de su consideración una exigencia en el modelamiento de esta. Consideraremos en esta disertación los siguientes tipos de cargas:

- Carga Muerta (D)
- Carga Viva o Sobrecarga (L)
- Carga de Viento (W)
- Carga Sísmica (E)

2.7. Formas en su funcionalidad

2.7.1. Definición de su forma

La tipología, construcción y montaje son factores decisivos a la hora de iniciar el modelamiento de estas estructuras tensadas en las que su forma representa el emblema de su diseño y el arte del diseñador.

El descubrimiento de la forma va ligado al entorno en el que se ubicará, el uso de la estructura y el ambiente en el que se deberá desenvolver de mejor manera, los modelos matemáticos y modelos físicos ayudan a los diseñadores a garantizar sus formas y su duración.

Su proceso de diseño se basa en el descubrimiento de la forma “Form Finding”, actualmente existen diversos métodos para realizar dicho proceso enfocados en el estudio de los modelamientos computacionales que garantizan la correcta funcionalidad de una tenso estructura.

2.7.2. Modelos

La modelación es el análisis estructural que toma en cuenta el comportamiento en conjunto del sistema sometido a cargas que el diseñador considere y tome en cuenta en su modelación. En este tipo de estructuras el problema es un tanto más complejo ya que no es de comportamiento lineal.

Los modelos físicos conllevan la mayor parte en este proceso de diseño, así también lo detallan los autores del documento de la Universidad Central de Venezuela:

“Para llegar a un mínimo entendimiento y aproximación a la forma, los modelos físicos deben mimetizar el comportamiento como prototipo de la estructura final. Las tenso-estructuras se diseñan y levantan de acuerdo a un estado pretensado en los cables y membranas que las componen. Estos modelos permiten estudiar estos comportamientos desde las condiciones iniciales de los materiales.”

Con la evolución del material y su modelación hemos visto pasar las formas de burbujas de jabón y evolucionar a modelamiento con telas elásticas que permitieron la aparición de las estructuras auto-tensadas, para actualmente poder trabajar con curvas de flexión el cual es un método de curvas sometidas a tracción.

La vanguardia actualmente son los modelos computacionales que gracias a programas de elementos finitos se pueden analizar toda clase de comportamientos a los que pudiera someterse la estructura.

Este análisis computarizado se basa en encontrar la superficie correcta y suave mediante las características del material, sometiéndola a cargas aplicadas en distintas localizaciones. Aquí los cables, bordes, mástiles y los soportes se analizaran con dimensiones reales; la capacidad de análisis de estos programas permite realizar variedad de cálculos que se basan en algoritmos en búsqueda del equilibrio de su

forma. Existen programas completos que desarrollan los patrones de corte, confección y el pretensado necesario para garantizar la forma ya encontrada.

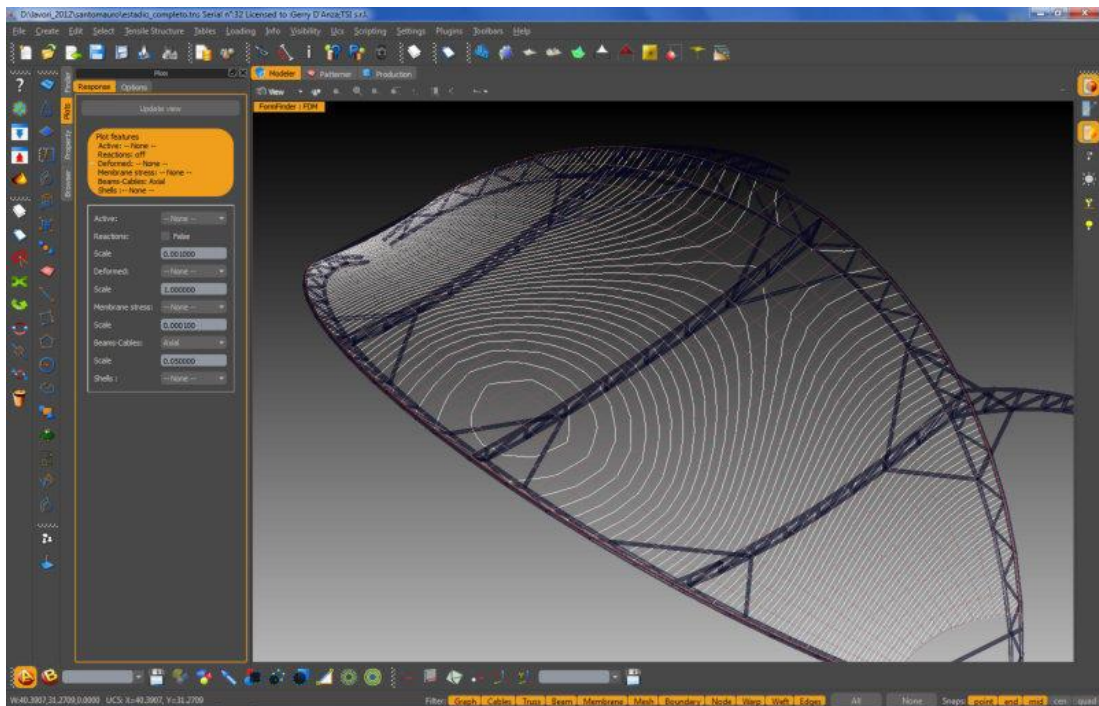


Imagen 0.41 Modelamientos en ixForten4000

Fuente: www.ixforten.com/cfd.htm

2.7.3. Construcción y montaje

Alcanzada su forma y estructura deberemos encontrar las soluciones constructivas, que son el paso principal para el equilibrio entre el diseño y la utilización de los materiales, el aspecto técnico siempre llevará la parte más importante.

Aquí podemos definir los siguientes aspectos:

- ❖ confección de la tela
- ❖ confección de los bores

- ❖ sistemas de apoyos y anclaje
- ❖ transporte
- ❖ montaje

La confección define los patrones principales ya que dependerá de la composición de la tela y la unión entre las piezas el garantizar una superficie y estructura duradera y de diseño correcto.

El transporte y el montaje son aspectos muy influyentes también en la duración de estas estructuras, como diseñadores la responsabilidad es garantizar al constructor la realización del diseño, el detalle necesario para la construcción y montaje correcto de la cubierta. Si bien el transporte toma en cuenta el factor de mayor peso que son las dimensiones totales de la cubierta, el montaje se considera desde el inicio del proceso que es el diseño, aquí se debe planear la correcta manejabilidad de la membrana y los elementos de la estructura, son quienes aplicaran la tensión necesaria para estabilizar la tela, lo que condiciona el empleo de instrumentos como gatos hidráulicos, motores eléctricos, barras o roscas en otros casos.

Como formas nuevas constructivas los tejidos requieren un enfoque especial y aunque la vanguardia implique la utilización de materiales ligeros y sistemas a tensión no se debe emplear como soluciones a problemas estructurales de actualidad; el diseñador está en la obligación de garantizar la estabilidad y la protección de los usuarios ya sea empleando este tipo de cubiertas o las antiguamente usadas.

2.7.4. Forma a analizarse

En cuanto a la forma a disponerse en esta investigación será la de arcos, comunes en estadios o cubiertas que albergan a gran cantidad de beneficiarios.

Arcos - superficies con forma de silla de montar se extienden entre las vigas de borde en forma de arco.

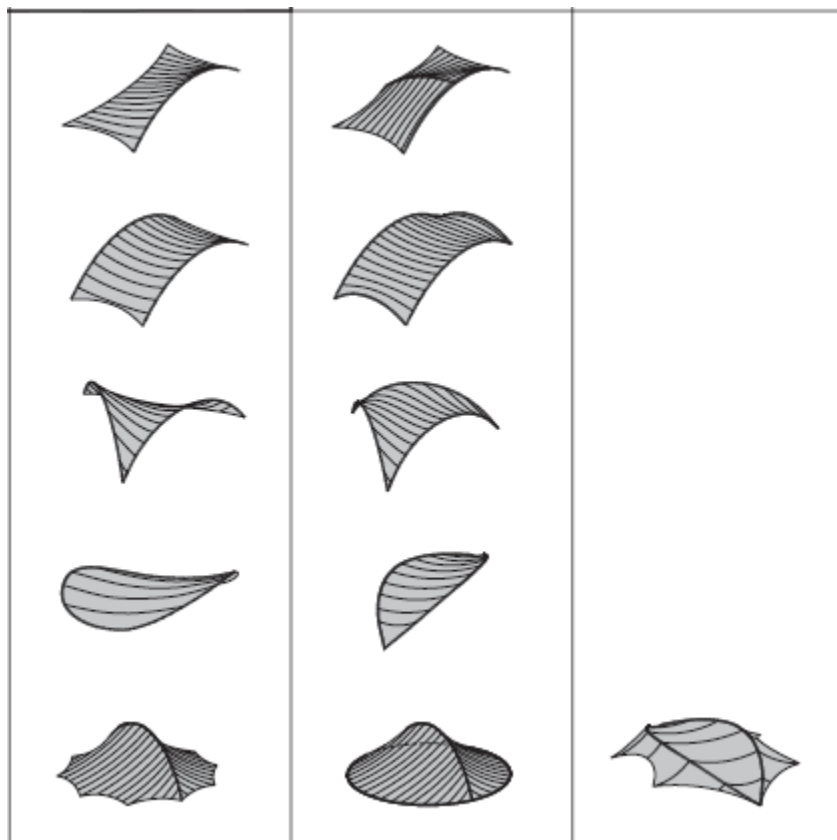


Imagen 0.42 Formas estructurales de arco
Fuente: *TENSILE SURFACES*, Michael Seidel

CAPITULO III DESARROLLO PROPUESTA DE CUBIERTA

3.1 Estructura en los estadios

El diseño estructural de los estadios tiene su referencia histórica en el tan conocido “COLISEO ROMANO” que es parte de los atractivos y monumentos histórico de Italia, su construcción data desde los años 70 dC., la antigua Grecia demostró con sus diseños ser expertos en construcciones de teatros por lo que han servido hasta la actualidad de inspiración.

Con la creación y la importancia de nuevos deportes como el béisbol, atletismo, hockey, rugby, entre otros; se han diseñado estadios para estos nuevos deportes pero solo hace 30 años hemos visto la evolución en la importancia de los estadios del deporte más antiguo, el fútbol. FIFA y UEFA han sido las confederaciones que a través de sus eventos mundiales han fomentado el fútbol en las nuevas generaciones, estableciendo mayores exigencias en la construcción de estadios.

Las primeras consideraciones que se establecieron fue, el eliminar las pistas de atletismo alrededor del perímetro del terreno de juego, obligando a que la estructura del estadio abrace el terreno de juego con el fin de potenciar el efecto de “caldero” sin dejar a un lado la seguridad de los jugadores, equipo técnico, oficiales del partido y por supuesto los espectadores.

La Guía de la UEFA para Estadios de calidad será parte de las fuentes en esta investigación en la que destacamos dos puntos muy importantes:

- 1) “El diseño de un estadio debe centrarse en la necesidad de crear estructuras adecuadas a las necesidades de las personas, que ofrezcan la máxima comodidad y seguridad.”
- 2) “El diseño de un estadio debe incorporar los avances tecnológicos más punteros con el fin de ofrecer las mejores instalaciones posibles al público asistente a un encuentro, que cada vez espera más de la experiencia vivida el día del partido. “

3.1.1. Criterios en el diseño

Uno de los principales criterios en el diseño de los estadios es la visibilidad del terreno de juego, aquí los espectadores o fanáticos son quienes los llenan; quienes alientan a sus equipos y sobre todo quienes han hecho de la industria del fútbol; el mejor negocio.

Por lo que el objetivo principal de los estadios es garantizar la visibilidad para cada localidad, tener una excelente visión del todo el terreno de juego, optimizando los ángulos de visión de los asientos y reduciendo la distancia entre la acción y los espectadores.






El diseño del graderío tiene como objetivo acercar lo más posible a los espectadores a la acción del terreno de juego, donde son de igual importancia desde el asiento de primera fila hasta al asiento más lejano.

Esta investigación se concentrará en la visibilidad que se puede brindar a los espectadores al proponer una cubierta nueva para el palco del Estadio Olímpico Atahualpa cubriendo de protección del sol, lluvia y hasta de granizo a los espectadores que acuden a este emblemático Estadio del Distrito Metropolitano de Quito.


3.2. Descripción del área de estudio

3.2.1. Localización geográfica

La ciudad de Quito, capital de la Provincia de Pichincha y también la capital de la República del Ecuador. Llamada también San Francisco de Quito es la ciudad de influencia principal en nuestro país, la segunda ciudad más poblada del país ha acogido a propios y extraños al poblarse de mucha gente de provincia que buscó como logro emigrar y conseguir éxito en la ciudad principal, gracias a sus administraciones recibió el premio como Destino Líder de Sudamérica por la organización World Travel Awards (WTA) en el 2014.

-  **Población:** 1 630 637 de habitantes
-  **Superficie:** 324 km²
-  **Velocidad de viento promedio:** viento E a 14 km/h
-  **Humedad:** 56%
-  **Temperatura promedio:** 17 °C

El crecimiento y desarrollo estructural de la ciudad busca repotenciar cada una de sus locaciones emblemáticas, parte de ellas es el tan conocido ESTADIO OLÍMPICO ATAHUALPA construido en 1948 por la empresa Menatlas Quito C.A. y después de 3 años de construcción se inaugura el 25 noviembre de 1951 con capacidad de 35.742 espectadores en la actualidad. Se encuentra ubicado en la Av. 6 de diciembre y Naciones Unidas. Su superficie con dimensiones de 105 x 70 m. Ha presenciado 3 remodelaciones históricas en 1977, 1990 y 2012.

 **Coordenadas:** 0°10'40.33"S 78°28'36.04"O

 **Elevación:** 2797m



Imagen 0.1, Estadio Olímpico Atahualpa
Fuente: Google Earth

3.2.2. Antecedentes

Gracias a la gestión de la Municipalidad de Quito para la construcción de este estadio, hemos visto y vivido momentos y eventos históricos de los que destacan:

- ✓ Dos partidos inaugurales:
 - Cúcuta de Colombia vs Río Guayas
 - Selección de Pichincha vs Boca Juniors de Cali
- ✓ Modificaciones históricas:
 - 1969 se encienden por primera vez las cuatro torres de iluminación.
 - 1985 Electroimpex coloca el marcador electrónico para el estadio
 - 1989 reemplazo de luminarias

- 1993 adecuaciones para la Copa América entre ellas la remodelación para el área de Prensa
- 2001 instalación de la pista atlética de material sintético
- 2005 instalación de 7800 butacas en las zonas de palco y tribuna
- ✓ Clasificaciones mundiales para Corea y Japón 2002 y Alemania 2006

El Atahualpa ha sido testigo de Campeonatos Nacionales del Fútbol Ecuatoriano de la Serie A y B, varios partidos de copas Libertadores, Copa Sudamericana, partidos amistosos, despedidas y homenajes de grandes jugadores; grandes clubes y selecciones mundiales así como las conocidas figuras del fútbol mundial como Pelé y Maradona han jugado en este estadio y la inolvidable inédita clasificación al Mundialista de la Selección en el año 2002 ha vivido este emblemático estadio.

La Empresa Húngara ELECTROIMPEX, quien se encarga de colocar el marcador electrónico del estadio considera según las especificaciones al Atahualpa como el mejor escenario deportivo del país en el año 1985.

La Concentración Deportiva de Pichincha figura como propietario del Estadio; pero a inicios del 2014 el entonces Ministro de Deportes José Francisco Cevallos presenta El proyecto de Remodelación y Rehabilitación del Estadio Olímpico Atahualpa que contemplaba la idea de remodelación integral del estadio, con asientos unipersonales, aumentar el aforo de espectadores con palcos y tribunas techados, así como también el Museo del Deporte Ecuatoriano, locales comerciales, restaurantes y parqueaderos subterráneos. Su costo estimado en 75,9 millones aproximadamente.

Si bien esta propuesta de remodelación, compromiso entre el ministerio y la Concentración Deportiva de Pichincha; no tuvo el financiamiento previsto por el Estado Ecuatoriano la viabilidad del proyecto se mostró en la acogida de la ciudadanía y los fanáticos del fútbol así que la realización del mismo quedó pospuesto.

3.2.3. Objetivo de la propuesta

Esta investigación propone fundamentalmente:

⇔ Modelar una Estructura Metálica y una Tenso Estructura para la cubierta de palco del ESTADIO OLÍMPICO ATAHUALPA con solicitudes propuestas de acuerdo a su funcionalidad para dar un análisis comparativo con las comúnmente usadas estructuras metálicas.

3.2.4. Descripción

La cubierta de hormigón Armado que existe actualmente en el palco del estadio, presenta todas las solicitudes estructurales y ha garantizado su funcionalidad a través de los años pero es de carácter fundamental brindar una nueva propuesta estructural con diseños vanguardistas, el empleo de nuevos materiales en línea con los estadios del futuro sin dejar a un lado las solicitudes que demanda una cubierta de este tipo; por lo que su análisis se garantizará con modelaciones tecnológicas avalados por las resistencias de estos materiales que usaremos.

3.3. Criterios generales en el diseño

3.3.1. Códigos y Normas a Utilizarse

- NEC 2015
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC 2005)
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE 7-10)

3.3.2. Métodos de Diseño

Elementos estructurales como vigas, diagonales, correas, cables de acero y la membrana se diseñarán bajo condiciones de servicio o MÉTODOS DE ESFUERZO ADMISIBLE, que exijan las normas anteriormente nombradas.

3.3.3. Requisitos de resistencia

Cada uno de los elementos estructurales deberá diseñarse para resistir los esfuerzos de las cargas de servicio, los cuales serán menores o iguales a los esfuerzos admisibles del material correspondiente.

3.3.4. Requisitos de rigidez

Las deformaciones producidas a través del tiempo debido a la aplicación de las cargas continuas se denominan permanentes, aquí las deformaciones de cada elemento y de toda la estructura deberán ser menores a las deformaciones admisibles de los elementos.

3.4. Especificación del cable a usar en el diseño



Imagen 0.2, Logo de BEKAERT

Fuente: <http://idealalambrec.bekaert.com>

La Empresa líder en tecnología y el mayor fabricante mundial de productos elaborados en acero, tiene su participación en el área agrícola, industrial y de construcción aquí en el Ecuador. El año pasado sus productos fueron parte de los materiales constructivos para una obra de gran importancia en la ciudad de Quito; como lo fue la construcción del puente sobre el río Chiche con una longitud de 314 metros, a cargo de la empresa española GRUPO PUENTES. Su método de construcción fue volados sucesivos, es decir, mediante dovelas con cables postensados para la sujeción de estas en el puente; se van ubicando una a continuación de la otra por ambos extremos.

Este cable usado por el GRUPO PUENTES será el utilizado para la propuesta a diseñarse.

3.4.1. Características del cable

Código: CP 190 RB 15,2



Imagen 0.3, cable

Fuente: <http://cablesestructurales.com>

3.4.2. Características de su construcción

- PC Strand 1 x 7
- Alma o núcleo de acero
- Hebras helicoidales de acero no galvanizado
- Hebras en tendido paralelo
- Torsión izquierda
- Pérdida máxima por relajación después de 1.000 horas a 20°C, para carga inicial de 80% de carga de rotura: 3,5%.
- Valor del módulo de elasticidad: 202 kN/mm², +/- 3%.
- Conforme aprobación de la NBR 7483: 1 kgf/mm²=10 MPa

3.4.3. Propiedades mecánicas

CERTIFICADO DE CALIDAD

CLIENTE: 42002146 IDEAL ALAMBREC S/A

MATERIAL: 40459037 CABLES DE ACERO 07 HILOS DESNUEDOS ASTM A 4672/07- GRADE 270 EX-TORSIÓN IZQUIERDA

NORMA: ASTM 416

ORDEN: 4528660

Tabla 3.1 Propiedades mecánicas realizadas en laboratorio, Ideal Alambrec.

PROPIEDADES MECÁNICAS/METALÚRGICAS															
Min.	Alargamiento 600	Área	Carga 1%	Carga de ruptura	Diámetro Cordones	Diámetro Núcleo	Diámetro Pierna 1	Diámetro Pierna 2	Diámetro Pierna 3	Diámetro Pierna 4	Diámetro Pierna 5	Diámetro Pierna 6	Módulo Elasticidad	Masa	Paso
	3,5	136,0	23923	26583	15,05	5,20	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	19500	1074	12
Max					15,85	5,28	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10			16
[Unidad métrica.]	%	mm ²	kgf	kgf	Mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kgf/mm ²	kg/1000m	n° x diam.
	7,1	142,14	25700	28500	15,35	5,24	5,05	5,05	5,06	5,06	5,06	5,06	20097	1123	16
	7,1	142,14	25700	28500	15,35	5,24	5,05	5,05	5,06	5,06	5,06	5,06	20097	1123	16
	7,1	142,14	25700	28500	15,35	5,24	5,05	5,05	5,06	5,06	5,06	5,06	20097	1123	16
	7,3	142,22	25400	28000	15,31	5,24	5,05	5,05	5,06	5,07	5,06	5,07	19963	1122	16
	7,3	142,22	25400	28000	15,31	5,24	5,05	5,05	5,06	5,07	5,06	5,07	19963	1122	16
	7,3	142,22	25400	28000	15,31	5,24	5,05	5,05	5,06	5,07	5,06	5,07	19963	1122	16
	7,3	142,22	25400	28000	15,31	5,24	5,05	5,05	5,06	5,07	5,06	5,07	19963	1122	16

Fuente: Información directa obtenida de la compañía Ideal Alambre, Ing. Pablo Argudo. Jefe técnico comercialización

3.5. Especificación de membrana a usarse



Imagen 0.4-Logotipo de la Empresa Francesa
Fuente: www.sergeferrari.com

El Grupo Francés líder en del sector de membranas compuestas y materiales especiales e innovadores para la arquitectura ligera, están presentes con sus materiales en todo el mundo y han desarrollado sus actividades en cada rincón del mundo siendo utilizadas en innumerables proyectos de fachadas, cubiertas, etc., un gran ejemplo de aplicación de membranas es el ALLIANZ RIVERA DE NIZA, el primer eco-estadio con tecnología Precontraint que desarrollo Serge Ferrari. En Sudamérica en México se diseñó y construyó la cubierta del ESTADIO OMNILIFE con la membrana de la misma tecnología.

Demostrando no solo la versatilidad de sus membranas para acoplarse a sus diferentes tipos de diseño si no también la aplicación de estas en cualquier tipo de clima o sollicitación.

3.5.1. Características de la membrana

PRECONTRRAINT 702 T2

CÓDIGO: 702-1746 T2



Imagen 3.5 membrana 702-

1746 T2 de Serge Ferrari

Fuente:

Precontrait_702_S2_&_Fluotop_T2_Es.pdf/Guillermo Delgado

La tecnología exclusiva Précontraint Serge Ferrari presenta:

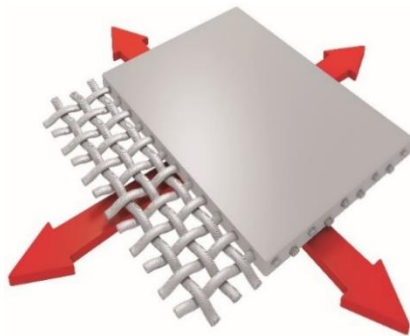


Imagen 3.6 comportamiento del material de las membranas Serge Ferrari

Fuente: <http://es.sergeferrari.com/industria-medio-ambiente/>

- Armadura de micro-cables de poliéster de alta tenacidad
- Recubrimiento bajo tensión ejercida en urdimbre y trama durante todo el ciclo de fabricación
- Capa de superficie de polímeros de altas sollicitaciones membrana resiste sin refuerzo al desgarro
- Su tratamiento de superficie T2 optimiza el rendimiento de las aleaciones de PVDF (polivinilideno fluorado) y limita la adherencia de la polución y la suciedad.

3.5.2. Propiedades mecánicas

Tabla 3.2 Características Técnicas Precontraint 702 Fluotop T2, Serge Ferrari

Características Técnicas	Precontraint 702 Fluotop T2		Normas
<i>Aplicación</i>	Estructuras fijas y permanentes		
<i>Tratamiento de superficie</i>	PVDF Alta concentración/ PVDF		
<i>Confección</i>	Soldable después de la abrasión		
<i>Hilo</i>	PES HT 1100 Dtex		
<i>Peso</i>	750g/m ²		EN ISO 2286-2
<i>Espesor total</i>	0.56 mm		
<i>Ancho</i>	178 cm		(+1mm/-1mm)
<i>Resistencia a la Tracción (urdimbre/trama)</i>	300/280 daN/5cm		EN ISO 1421
<i>Resistencia al desgarro (urdimbre/trama)</i>	30/28 daN/5cm		DIN 53.363
<i>Adherencia</i>	10 daN/5cm		EN ISO 2411
Reacción al Fuego			
<i>Euro clase</i>	B-s2,d0 /EN 1350-1		
<i>Garantía</i>	10 años		
Longevidad			
<i>Espesor de recubrimiento</i>	240 micras		
<i>Longevidad de la adherencia del barniz</i>	QUC 4000 h	conforme	Test Scotch
<i>Evolución del blanco</i>	QUC 4000 h	ΔE = 3.5	CIE Lab
<i>Resistencia a los micro-organismos**</i>	Método A: Grado 0, excelente		EN ISO 846
Propiedades óptico-solares	ASHRAE 74-1988	EN 410	
<i>Tratamiento solar (Ts)</i>	9%	10%	
<i>Reflexión Solar (Rs)</i>	73%	79%	
<i>Factor Solar (g)</i>	15%	13%	
<i>Transmisión de luz visible (Tv)</i>	--	8%	
<i>Reflexión de luz visible (Tv)</i>	--	88%	
<i>Transmisión UV</i>	T-UV 0 %		
<i>Transmisión de luz visible (Tv)</i>	14%		NFP 38511
<i>Conductancia térmica global</i>			
<i>Posición vertical/horizontal</i>	U= 5.6/ 6.4 W/m ² /°C		
Prestación acústica			
<i>Índice de atenuación</i>	12 dBA		ISO 717-1

Fuente: Precontraint_702_S2_& Fluotop_T2_Es.pdf /Guillermo Delgado



3.5.3 Membranas usadas en estadios



Imagen 3.7 diseño de cubierta Estadio Reims-Francia, catálogo Serge Ferrari.
Fuente: Serge_Ferrari, Special Issue: Sports Venues.



Imagen 3.8 Diseño de cubierta con membrana Estadio Temuco-Chile, catálogo Serge Ferrari.
Fuente: Serge_Ferrari, Special Issue: Sports Venues.



Imagen 3.9 Diseño de cubierta dentro de un estadio, catálogo Serge Ferrari.
Fuente: Serge_Ferrari, Special Issue: Sports Venues

Estos múltiples ejemplos muestran las infinitas formas de creación de cubiertas en estadios, para ello utilizaremos el programa especializado en membranas ixForten4000 obteniendo los respectivos esfuerzos de la membrana.

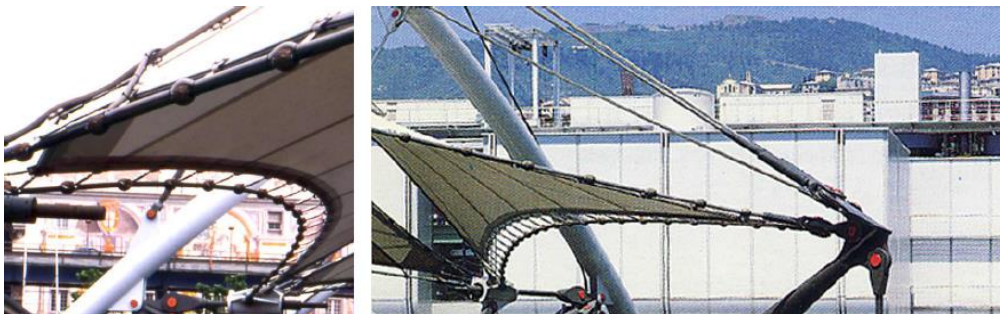


Imagen 3.10 conectores al cable exterior con tensores regulables en el “Grande Bigo” de Génova, Italia.

Fuente: J. Llorens, Los detalles constructivos de las TENSO-ESTRUCTURAS.

3.6. Tipos de Cargas

Las cubiertas son estructuras ligeras que se encuentran categorizadas como tipo 1, dentro de la tabla 1-1 de Categoría de Ocupación para edificios y otras estructuras para cargas de viento, nieve, sismo, inundaciones y de hielo.

3.6.1. Carga Muerta (D)

Por definición de la norma ASCE 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, la carga muerta consiste en el peso de todos los materiales constructivos incorporados; es decir, las cargas que permanecerán a lo largo de la vida de la estructura. Aquí se encontrarán el peso de cada elemento parte de la estructura, su valor total se calcula en el programa SAP 2000.

3.6.1.1. TENSO ESTRUCTURA

De forma detallada tendremos la carga de los cables, membrana y la estructura metálica.

$$\Leftrightarrow \text{Peso de la membrana} = 1329 \text{ m}^2 * 0.75\text{kg/m}^2 = 996.75 \text{ kg}$$

$$\Leftrightarrow \text{Peso de los elementos metálicos} = 27 \ 380 \quad [\text{kgf}]$$

$$\Leftrightarrow \text{Peso de los cables} = 5 \ 386 \quad [\text{kgf}]$$

3.6.1.2. ESTRUCTURA METÁLICA

$$\Leftrightarrow \text{Peso total estructura} = 24 \ 210 \ [\text{kgf}]$$

3.6.2. Carga Viva (L)

La carga viva definida en la norma ASCE 7-10 es la producida por el uso u ocupación de la estructura que no incluye cargas de viento, lluvia, nieve, sismo o carga muerta.

Se considerará la carga viva de acuerdo al tipo de cubiertas que se especifica en la tabla 1.2 de cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas que detalla la NEC-15.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción especifica que: “En la región andina y sus estribaciones, desde una cota de 1000 m sobre el nivel del mar, no se permite la reducción de carga viva en cubiertas para prevenir caídas de granizo o ceniza.” (Comite Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)0

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Cubiertas		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		
Toldos y carpas	i	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0.24 (no reduc.)	
Todas las demás	1.00	
Elementos principales expuestos a áreas de trabajo		8.90
Carga puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubiertas sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular		1.40
Todos los otros usos		1.40
Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores		

Imagen 3.11 Tabla de Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas y concentradas.

Fuente: Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-15), capítulo Cargas no sísmicas

$$\Leftrightarrow \text{Cubierta metálica} = 0.07135 \text{ t/ m}^2$$

$$\Leftrightarrow \text{Tenso estructura} = 0.02446 \text{ t/ m}^2$$

3.6.3. Carga de Viento (W)

Este tipo de estructuras clasificadas como cubiertas para propósitos especiales que albergan más de 300 personas, requieren de un análisis preciso de viento, ya que al ser de composición ligera (estructura metálica, cables y membrana) las ráfagas de viento que se presenten a lo largo de la vida de la estructura causará daños representativos de no haberse tomado en cuenta esta carga en el diseño.

“La carga de viento es la que produce mayores tensiones siendo variable, la distribución de su presión. En estructuras rebajadas sólo habrá succiones. Como la compresión de la base la soportará una estructura rígida (paredes, pórtico, tierra), únicamente se necesita una presión de aire mínima para soportar el peso de la membrana y la posible carga de nieve, así como para estabilizarla frente a las posibles ráfagas del viento. Las estructuras más altas, por el contrario, deben resistir grandes presiones del viento, por lo que necesitarán presiones altas de aire para disminuir las deformaciones y la formación de pliegues en la membrana.”
(Basset Salomon, Luisa (Universidad de Valencia))

El *método* a utilizarse es el PROCEDIMIENTO ANALÍTICO, detallado en la sección 6.5 de la ASCE 7-10; en donde su aplicación se determina para estructuras sujetas a las cargas del viento, inestabilidad a causa del aleteo o azotamiento de obstrucciones de barlovento merezcan consideración especial. Categoría 1 ó categoría B, de acuerdo al mapa de ISOTACAS de la tesis realizada por el Ing. Alex Hurtado; que recoge las velocidades regionales de viento para la República del Ecuador para un periodo de retorno de 50 años para este grupo de estructuras; la velocidad de isotacas para la Ciudad de Quito es de 22 m/s lo que equivale a 80 km/h.

ESCALA 1:40000 TR 50

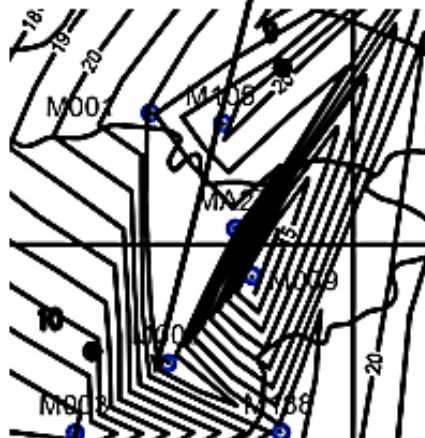
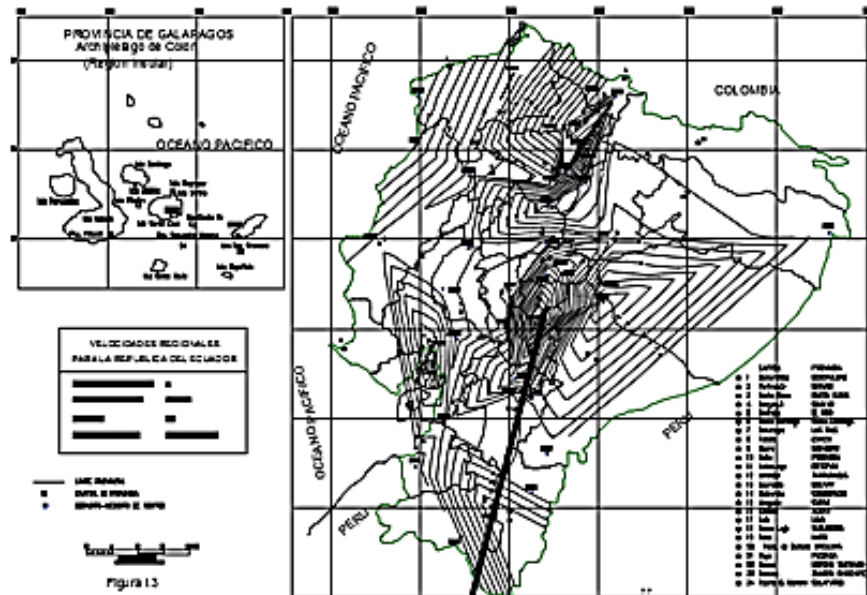


Imagen 3.12 Mapa de isotacas del ecuador, tiempo de retorno 50 años

Fuente: Tesis Ing. Alex Hurtado “NORMATIVA DE DISEÑO POR VIENTO PARA PREVENIR DAÑOS EN PORTICOS, GALPONES INDUSTRIALES, SOPORTES DE TUBERIAS Y ESTRUCTURAS TRIDIMENSIONALES EN CELOSIA PARA EL ECUADOR”

Tabla 3.3 Parámetros de Análisis de viento mediante la norma ASCE 7-10

Parámetros básicos para el análisis de Viento de la NORMA ASCE 7-10													
Velocidad Básica del Viento $z = 0.6h$	22 16.2	[m/s]	80 [Km/h]										
Factor de Dirección del Viento, Kd	0.85	tabla 6-4, Factor Kd, direccionalidad del viento.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Structure Type</th> <th>Directionality Factor K_d^*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arched Roofs</td> <td>0.85</td> </tr> </tbody> </table>	Structure Type	Directionality Factor K_d^*	Arched Roofs	0.85						
Structure Type	Directionality Factor K_d^*												
Arched Roofs	0.85												
Categoría de Exposición	B												
Factor de Topografía, Kzt	1.0	Si las condiciones de la estructura no conllevan todas las condiciones especiales entonces $K_{zt} = 1.0$. (Sección 6.5.7.1, Asce 7)											
Factor de efecto de ráfaga, G	0.85	El efecto del factor de Gust, debe ser tomado como 0.85. (Sección 6.5.7)											
Factor de Velocidad de presión, Kz	0.825	<p>For $15 \text{ ft.} \leq z \leq z_g$</p> $K_z = 2.01 (z/z_g)^{2/\alpha}$ <p><i>Imagen 3.14 Ecuación del Factor de velocidad de presión. Tabla 6-3. ASCE 7-05. Fuente ASCE 7. Cap. 6 Cargas de viento</i></p>	<p><i>Imagen 3.13 Tabla factor kd</i> Fuente: ASCE 7-10. Cap. 6 Cargas de viento</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Exposure</th> <th>α</th> <th>z_g (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>7.0</td> <td>365.76</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Imagen 3.14 Tabla Constantes de exposición de Terreno.</i> Fuente: ASCE 7-10. Cap. 6 Cargas de viento</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Non-Hurricane Prone Regions and Hurricane Prone Regions with $V = 85-100$ mph and Alaska</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>0.87</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Imagen 3.15 Tabla Factor de Importancia.</i> Fuente: ASCE 7-10. Cap. 6 Cargas de viento</p>	Exposure	α	z_g (m)	B	7.0	365.76	Category	Non-Hurricane Prone Regions and Hurricane Prone Regions with $V = 85-100$ mph and Alaska	I	0.87
Exposure	α	z_g (m)											
B	7.0	365.76											
Category	Non-Hurricane Prone Regions and Hurricane Prone Regions with $V = 85-100$ mph and Alaska												
I	0.87												
Velocidad de isotaca	17	[m/s]											
Factor de Importancia, I	0.87												
Largo cubierta, L	63.27	[m]											
Ancho cubierta, A	21.0	[m]											
H= altura estructura	36.56	[m]											

Se realizó el análisis de carga de viento mediante la Norma Ecuatoriana de la Construcción:

Tabla 3.4 Cálculo de la presión de viento mediante la NEC-15 para la Cubierta metálica.

CÁLCULO DE LA PRESIÓN DEL VIENTO DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN [Cubierta Metálica]																		
$P = \frac{1}{2} * \rho * Vb^2 * Ce * Cf$		Ecuación de presión de viento. Sección 3.2.4 Fuente: NEC-15. Capítulo 1																
densidad del aire en [kg/m ³],	ρ	1.25	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONSTRUCCIÓN</th> <th>Barlovento</th> <th>Sotavento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°</td> <td>+0.8</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Superficies inclinadas a 15° o menos</td> <td>+0.3 a 0</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>Superficies inclinadas entre 15° y 60°</td> <td>+0.3 a +0.7</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>Superficies inclinadas entre 60° y la vertical</td> <td>+0.8</td> <td>-0.6</td> </tr> </tbody> </table>	CONSTRUCCIÓN	Barlovento	Sotavento	Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5	Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6	Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6	Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6
CONSTRUCCIÓN	Barlovento	Sotavento																
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5																
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6																
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6																
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6																
coeficiente entorno/h	Ce	1.17																
coeficiente de forma	Cf	0.3	Barlovento															
	Cf	-0.6	Sotavento															
<p><i>Imagen 3.17 Tabla. Factor de forma Ct</i> Fuente: NEC-15.</p>																		
la velocidad corregida del viento en m/s;	$V = Vb * \sigma$																	
Velocidad Básica del Viento	$V =$	22																
coeficiente de corrección	$\sigma =$	0.92																
	$Vb =$	20.24																
	$P =$	239.65	[N/m ²]															
		-149.78	[N/m ²]															
AREA DE SUPERFICIE	A	1346.39	[m ²]															
	$F =$	120997.84	[N]															
		12.33	[Ton]															
		-241995.67	[N]															
	$F =$	-24.67	[Ton]															
			BARLOVENTO 0.01 [t/m ²]															
			SOTAVENTO -0.02 [t/m ²]															

Autor: Adriana Jiménez Pérez

Tabla 3.5 Cálculo de la presión de viento mediante la NEC-15 para la Tenso-estructura

CÁLCULO DE LA PRESIÓN DEL VIENTO DE ACUERDO A LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN [Tenso estructura]																			
$P = \frac{1}{2} * \rho * Vb^2 * Ce * Cf$ <p><i>Ecuación de presión de viento.</i> Sección 1.1.5.1 Fuente: NEC-15</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONSTRUCCIÓN</th> <th>Barlovento</th> <th>Sotavento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°</td> <td>+0.8</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Superficies inclinadas a 15° o menos</td> <td>+0.3 a 0</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>Superficies inclinadas entre 15° y 60°</td> <td>+0.3 a +0.7</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>Superficies inclinadas entre 60° y la vertical</td> <td>+0.8</td> <td>-0.6</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Imagen 3.19 Tabla.</i> Factor de forma Ct Fuente: NEC-15.</p>			CONSTRUCCIÓN	Barlovento	Sotavento	Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5	Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6	Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6	Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6
CONSTRUCCIÓN	Barlovento	Sotavento																	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5																	
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6																	
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6																	
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6																	
densidad del aire en [kg/m ³], coeficiente entorno/h	$\rho =$	1.25																	
	$Ce =$	1.17																	
	$Cf =$	0.8	Barlovento																
coeficiente de forma	$Cf =$	-0.5	Sotavento																
<i>Ecuación velocidad corregida del viento en m/s;</i> Fuente: NEC-15. Capítulo Cargas No Sísmicas	$V = Vb * \sigma$																		
Velocidad Básica del Viento	$V =$	22																	
coeficiente de corrección	$\sigma =$	0.92																	
	$Vb =$	20.24																	
	$P =$	239.65	[N/m ²]																
		-149.78	[N/m ²]																
AREA DE SUPERFICIE	$A =$	1346.39	[m ²]																
	$F =$	322660.9	[N]																
		32.89	[Ton]	BARLOVENTO 0.02 [t/m ²]															
		-																	
	$F =$	201663.06	[N]																
		-20.56	[Ton]	SOTAVENTO -0.02 [t/m ²]															

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96

Imagen 3.20 Tabla Coeficiente de Corrección
Fuente: NEC-15.

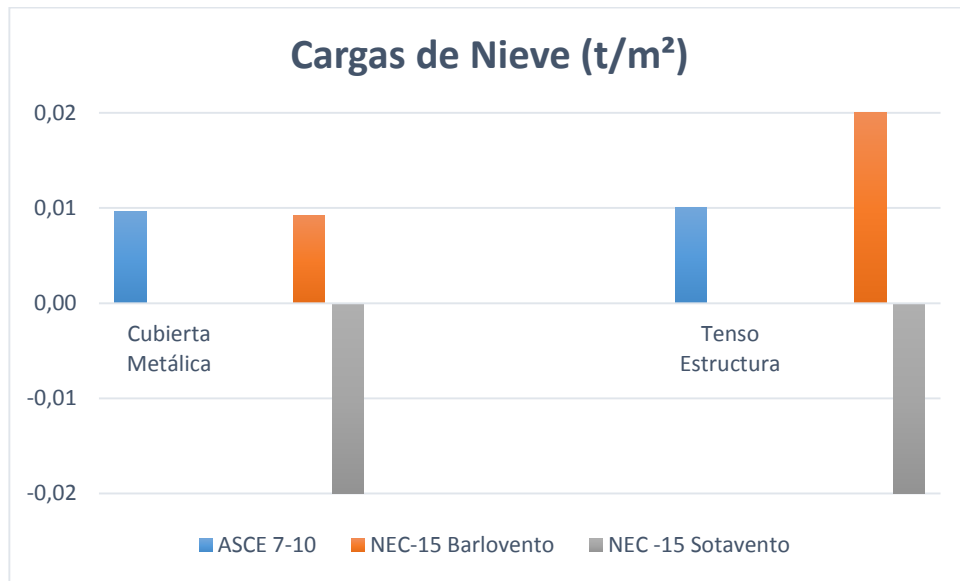


Imagen 3.21 Gráfico comparativo de los resultados calculados para la carga de viento
Fuente: Excel, Autor: Adriana Jiménez

Después de realizados los cálculos con ambas normas, se encontró que la NEC-15 establece factores diferentes entre las direcciones del viento para el tipo de cubiertas usadas, lo que nos brinda una exactitud de cálculo; se considerará únicamente el resultado obtenido por la dirección de Barlovento ya que la dirección de sotavento será equilibrado por el peso propio de dichas estructuras. Se realizará entonces el diseño con las cargas obtenidas mediante la NEC -15 anteriormente mencionada.

⇔ **Cubierta metálica: 0.01 [t/m²]**

⇔ **Tenso estructura: 0.02 [t/m²]**

3.6.4. Carga de Lluvia (R)

Este tipo de cargas se analiza considerando que cada porción de cubierta podrá soportar la carga de agua lluvia que se acumule en dicha sección.

Aquí el análisis se realiza solo por la norma ASCE 7-10 ya que la NEC-15 no detalla un análisis de carga de lluvia. Se trabaja con las mismas dimensiones de vanos por lo que se usará la misma carga para sus respectivas modelaciones.

Tabla 3.6 Cálculo de la carga de Lluvia para ambas estructuras mediante la norma ASCE 7-10.

CARGA DE DISEÑO DE LLUVIA, SEGÚN ASCE 7-10

Ec.8-1 ASCE 7-10 $R = 0.0098(ds + dh)$ Fuente: ASCE 7-10. Sección 8.3. Capítulo 8

$$d_s = 0.1 \text{ mm/día (datos obtenidos del INAMHI)}$$

$$d_h = 26.4467 \text{ mm/día (datos obtenidos del INAMHI)}$$

$$R = 0.26016 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$0.027 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$26.5196 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Autor: Adriana Jiménez Pérez

3.6.5. Carga de Granizo (S)

Las estructuras ligeras a analizarse técnica y económicamente en esta propuesta presentan dos cargas de nieve diferentes debido a las características propias de su superficie. Este tipo de cargas deberán ser previstas dentro de la combinación debido a la presencia de granizo en lluvias fuertes en distintas épocas del año.

Tabla 3.7 Cálculo de la carga de granizo para ambas cubiertas

PARÁMETROS DE DISEÑO PARA CARGAS DE NIEVE DE ACUERDO A LA NEC-15		
Ecuación Granizo Nec-15	$S = \rho_s * H_s$	
$\rho_s =$	1000 [kg/m ³]	peso específico granizo
$H_s =$	0.05 [m]	altura de acumulación del granizo
$S =$	50 [kg/m ²]	
$S =$	0.05 [t/m ²]	
Para cubiertas con pendientes menores del 15% se debe considerar una carga de granizo mínima de 0.50 kN/m² = 0.051 t/m²		

Autor: Adriana Jiménez

3.6.5.1. Estructura metálica

Para esta propuesta de cubierta se analizará una superficie plana de 5° de inclinación, siendo su carga de fácil cálculo dentro de lo que detalla la ASCE 7-10.

Tabla 3.8 Cálculo de la carga de Nieve según la Norma ASCE 7-10

DISEÑO PARA CARGAS DE NIEVE DE ACUERDO A LA NORMA ASCE 7 -10

Carga de nieve en techos planos:
 $pf = 0.7 * Ce * Ct * pg$ *Ecuación de carga. Sección 7.3. ASCE 7-10*

Determinación de factores:

$\rho g = 960$

Factor de exposición

$Ce = 0.9$

Factor térmico

$Ct = 1$

Factor de Importancia

$I = 0.8$

Terrain Category	Exposure of Roof ^a		
	Fully Exposed	Partially Exposed	Sheltered
B (see Section 26.7)	0.9	1.0	1.2
C (see Section 26.7)	0.9	1.0	1.1
D (see Section 26.7)	0.8	0.9	1.0

Imagen 3. 22 Tabla Factor de Exposición
Fuente: ASCE 7-10. Capítulo 7 tabla 7-2.

Table 7-3 Thermal Factor, C_t	
Thermal Condition ^a	C_t
All structures except as indicated below	1.0

Imagen 3. 23 Tabla Factor de Exposición
Fuente: ASCE 7-10. Capítulo 7

Category ^a	I
I	0.8

Imagen 3. 24 Categoría de Importancia
Fuente: ASCE 7-10. Capítulo 7

$483.840 \text{ [N/m}^2\text{]}$

$pf = 0.049 \text{ [t/m}^2\text{]}$

$49.32 \text{ [kg/m}^2\text{]}$

Autor: Adriana Jiménez Pérez

3.6.5.2. Tenso estructura

De acuerdo a lo especificado en la norma se utiliza la misma presión calculada con techos planos pero ahora se considera el factor ps.

Tabla 3.9 Cálculo de la carga de Granizo para la tenso estructura mediante ASCE 7-10.

Cubiertas con pendiente	$ps = Cs * pf$	<i>Ecuación ASCE 7-10. Sección 7.4</i>
Factor de pendiente	$Cs = 1$	inclinación calculada en la propuesta de tenso estructura= 52°
Presión calculada en techos planos	$pf = 483.840$	
	$ps = 483.840 \text{ [N/m}^2\text{]}$	
	$ps = 0.049 \text{ [t/m}^2\text{]}$	
	$ps = 49.3211 \text{ [kg/m}^2\text{]}$	

Autor: Adriana Jiménez Pérez

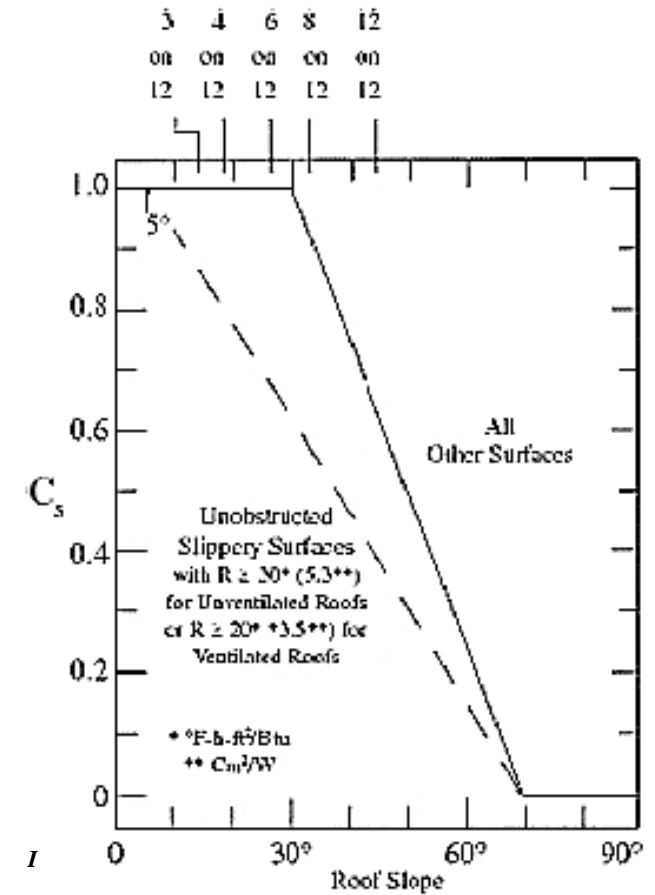


Imagen 3.25 Gráfico de Techos inclinados con factor $C_t=1.0$

Fuente: ASCE 7.10- Capítulo 7. Figura 7-2

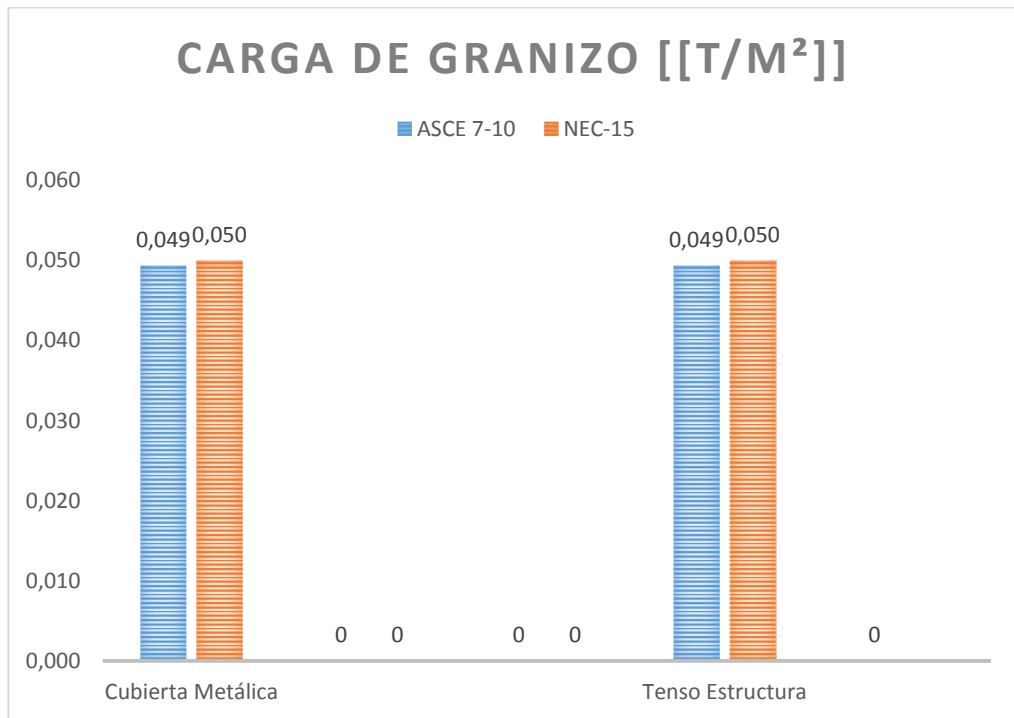


Imagen 3.26 Gráfico de los resultados obtenidos del cálculo de la carga de Granizo

Fuente: Excel, Autor: Adriana Jiménez

Para esta carga ambos análisis no nos muestran mayor diferencia en los resultados; por lo que se trabajará con las obtenidas de la NEC-15, norma de diseño que rige en nuestro país.

⇔ **Cubierta metálica: 0.05 [Ton/m²]**

⇔ **Tenso estructura: 0.05 [Ton/m²]**

3.6.6. Carga Sísmica (E)

En este tipo de estructuras, la carga sísmica no es muy representativa por su pequeña masa pero se realizará su análisis completo considerando la clasificación de su importancia.

La ASCE- 7 en su capítulo de Criterio de diseño Sísmico determina que las estructuras diferentes a edificaciones deberán considerar su diseño como lo especifique el cap. 15 de esta norma. El cual menciona que estas estructuras deben proporcionar suficiente rigidez, resistencia y ductilidad en concordancia de los requisitos que se especifican, más aun del movimiento de la tierra ante ondas sísmicas que se representan por las fuerzas de diseño.

Estas propuestas de cubierta se clasifican según la norma como ESTRUCTURAS NO EDIFICADAS APOYADAS EN OTRAS ESTRUCTURAS DIFERENTES A EDIFICACIONES; que hacen parte del sistema resistente a fuerzas sísmicas primarias, dentro de la clasificación que se halla en la tabla 15.4-2.

Tabla 3.10 Coeficientes sísmicos para estructuras diferentes a edificaciones.

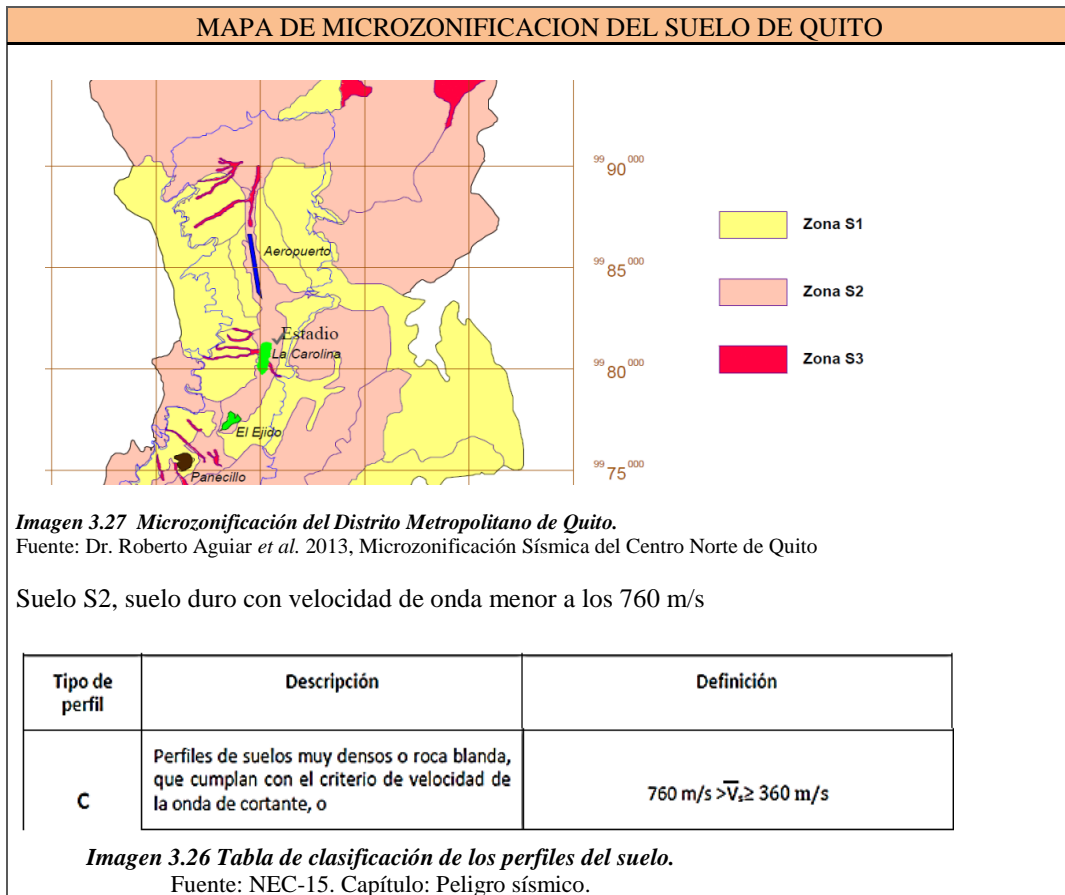
Estructuras Diferentes a Edificaciones	Detalle de Requerimientos	R	Ω D	Cd	Sistemas límites estructurales altos y sus				
					A&B	C	D	E	F
Estructuras tipo péndulo invertido (excepto tanques elevados, embarcaciones, silos y tolvas)	12.2.5.3	2	2	2	NL	NL	NL	NL	NL

Fuente: ASCE7- 10. Minimum design Loads for buildings and other structures Section 15.4.1

Son entonces estructuras tipo péndulo invertido por lo que deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas laterales que se determinan a partir del análisis de las normas tanto la ASCE 7-10 como la NEC 15, para ambas propuestas se utilizará el valor de cortante Basal calculado con las normas antes descritas.

3.6.6.1. ASCE 7 -10

Tabla 3.11 Determinación del tipo de suelo.



SITE CLASS	C
Ss =	2.04
S1 =	0.82
Fa =	1

Table 11.4-1 Site Coefficient, F_a

Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE_R) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_s .

Imagen 3.28 Tabla ASCE 7-10. Coeficiente de suelo, F_a

Fuente: ASCE 7-10. Minimum design Loads for buildings and other structures. Sección 11.4

Table 11.4-2 Site Coefficient, F_v

Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCE_R) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period				
	$S_l \leq 0.1$	$S_l = 0.2$	$S_l = 0.3$	$S_l = 0.4$	$S_l \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	See Section 11.4.7				

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S_l .

Imagen 3.29 Tabla ASCE 7-05. Coeficiente de suelo, F_v

Fuente: ASCE 7-10. Minimum design Loads for buildings and other structures. Sección 11.4

$F_v =$	1.3	
$SMS = F_a S_s$	2.04	
$SM1 = F_v S_l$	1.07	
$SDS = 2/3 SSM$	1.36	s
$SD1 = 2/3 SS1$	0.7133	s

Tabla 3.12 Calculo de Coeficiente R. ASCE 7-10.

COEFICIENTE - R									
Estructuras Diferentes a Edificaciones	Detalle de Requerimientos	R	OD	Cd	Sistemas estructurales y sus límites altos				
					A&B	C	D	E	F
Estructuras tipo péndulo invertido (excepto tanques elevados, embarcaciones, silos y tolvas)	12.2.5.3	2	2	2	NL	NL	NL	NL	NL

Imagen 3.30 Tabla Coeficientes sísmicos para estructuras no edificadas no similares a edificios
Fuente: ASCE7- 10. Minimum design Loads for buildings and other structures Section 15.4.1

R=2

Autor: Adriana Jiménez P.

Tabla 3.13 Determinación de la categoría de Diseño Sísmico.

CATEGORIA DE DISEÑO SISMICO																																			
Use or Occupancy of Buildings and Structures	Risk Category																																		
Buildings and other structures that represent a low risk to human life in the event of failure	I																																		
<p>Imagen 3.31 Tabla Categoría de Riesgo para edificios y otras estructuras. Fuente: ASCE7- 10. Minimum design Loads for buildings and other structures. Sección 11</p> <p>Table 11.6-1 Seismic Design Category Based on Short Period Response Acceleration Parameter</p> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="padding: 5px;">Value of S_{DS}</th> <th colspan="2" style="padding: 5px;">Risk Category</th> </tr> <tr> <th style="padding: 5px;">I or II or III</th> <th style="padding: 5px;">IV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">$S_{DS} < 0.167$</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">A</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">A</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">B</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">C</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">D</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$0.50 \leq S_{DS}$</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">D</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">D</td> </tr> </tbody> </table> <p>Imagen 3.32 Tabla Categoría de Diseño Sísmico basada en periodos cortos de respuesta. Fuente: ASCE7- 10. Minimum design Loads for buildings and other structures Sección 11.6</p> <p>Table 11.6-2 Seismic Design Category Based on 1-S Period Response Acceleration Parameter</p> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="padding: 5px;">Value of S_{D1}</th> <th colspan="2" style="padding: 5px;">Risk Category</th> </tr> <tr> <th style="padding: 5px;">I or II or III</th> <th style="padding: 5px;">IV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">$S_{D1} < 0.067$</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">A</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">A</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">B</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">C</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">D</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$0.20 \leq S_{D1}$</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">D</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">D</td> </tr> </tbody> </table> <p>Imagen 3.33 Tabla Categoría de Diseño Sísmico basada en periodos cortos de respuesta. Fuente: ASCE7- 10. Minimum design Loads for buildings and other structures Sección 11.6</p> <p><i>Se debe seleccionar la categoría sísmica más alta entre las dos posibles.</i></p> <p style="background-color: #f8d7da; padding: 2px;">Despreciar categorías de las tablas y remitirse a las condiciones siguientes</p> <p><i>En categorías de riesgo sísmico I, II o III sí, $S1 > 0.75$ entonces se debe asignar la Categoría de Diseño Sísmico tipo E</i></p> <p><i>En categorías de riesgo sísmico IV sí, $S1 > 0.75$ entonces se debe asignar la Categoría de Diseño Sísmico tipo F</i></p> <p>CATEGORIA E</p> <p>Revisar en la tabla 12.2-1 las limitaciones del sistema estructural escogido</p>		Value of S_{DS}	Risk Category		I or II or III	IV	$S_{DS} < 0.167$	A	A	$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C	$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D	$0.50 \leq S_{DS}$	D	D	Value of S_{D1}	Risk Category		I or II or III	IV	$S_{D1} < 0.067$	A	A	$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C	$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D	$0.20 \leq S_{D1}$	D	D
Value of S_{DS}	Risk Category																																		
	I or II or III	IV																																	
$S_{DS} < 0.167$	A	A																																	
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C																																	
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D																																	
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D																																	
Value of S_{D1}	Risk Category																																		
	I or II or III	IV																																	
$S_{D1} < 0.067$	A	A																																	
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C																																	
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D																																	
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D																																	

Autor: Adriana Jiménez P.

Tabla 3.14 Calculo del coeficiente de respuesta sísmica.

Coeficiente de respuesta sísmica		
Structure Type	C_i	x
Moment-resisting frame systems in which the frames resist 100% of the required seismic force and are not enclosed or adjoined by components that are more rigid and will prevent the frames from deflecting where subjected to seismic forces:		
Steel moment-resisting frames	0.028 (0.0724) ^a	0.8
Concrete moment-resisting frames	0.016 (0.0466) ^a	0.9
Steel eccentrically braced frames in accordance with Table 12.2-1 lines B1 or D1	0.03 (0.0731) ^a	0.75
Steel buckling-restrained braced frames	0.03 (0.0731) ^a	0.75
All other structural systems	0.02 (0.0488) ^a	0.75
^a Metric equivalents are shown in parentheses.		

Imagen 3.34 Tabla Valores de parámetros aproximados C_t y x .
 Fuente: ASCE7- 10. Minimum design Loads for buildings and other structures Sección 12.

$C_t =$	0.0488		$T_a =$	0.72556189	Seg.
$x =$	0.75				
$h_n =$	36.56				

Imagen 3.35 Tabla Coeficientes por límite superior.
 Fuente: ASCE7- 10. Minimum design Loads for buildings and other structures

Design Spectral Response Acceleration Parameter at 1 s, S_{D1}	Coefficient C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

$C_u =$	1.4		$T =$	1.02	seg
$TL =$	4				

$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$ for $T \leq T_L$

$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)}$ for $T > T_L$

C_s Máximos

$C_{smax} =$	0.45
--------------	------

$SDS =$	1.36		$C_s =$	0.88	
$R =$	2				
$I_e =$	1.3				

Imagen 3.36 Ecuaciones 12.8-3 y 12.8-4.
 Fuente: ASCE7- 10. Minimum design Loads for buildings and other structures Sección 12.

$C_s = \frac{0.8 S_1}{R/T}$			$C_s(\min 1) =$	0.25	
	0.45				
			$C_s =$	0.03	

Autor: Adriana Jiménez P.

Tabla 3.15 Cálculo de la Carga de Sismo mediante la Norma ASCE 7-10.

CORTE BASAL		
	V =	0.45 W

Autor: Adriana Jiménez.P.

3.6.6.2. NEC-15

Tabla 3.16 Cálculo de la carga de Sismo con la NEC-15

CALCULO DEL TERMINO Sa																		
Coeficiente r																		
TIPO DE SUELO																		
A, B O C.	r																	
D, E	1.5																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo perfil</th> <th>de Descripción</th> <th>Definición</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Perfil de roca competente</td> <td>$V_s \geq 1500$ m/s</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Perfil de roca de rigidez media</td> <td>$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o</td> <td>$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s</td> </tr> </tbody> </table>							Tipo perfil	de Descripción	Definición	A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s	B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s	C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s
Tipo perfil	de Descripción	Definición																
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s																
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s																
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s																
<p><i>Imagen 3.37 Tabla de clasificación de los perfiles del suelo.</i> Fuente: NEC-15. Capítulo: Peligro sísmico</p>																		
Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI	Valores											
Factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5	Tipo de Suelo	C										
Amenaza Sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta	r =	1										
							Z =	0.4										
							η =	2.48										
Coeficiente η																		
PROVINCIAS																		
Costa, excepto Esmeraldas		η 1.8																
Sierra, Esmeraldas y Galápagos		2.48																
Oriente		2.6																

Autor: Adriana Jiménez P.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18

Imagen 3.38 Tabla tipo de suelo y factores de sitio Fa.

Fuente: NEC-15. Capítulo: Peligro sísmico. Sección 3

Fa= 1.2

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Imagen 3.39 Tabla tipo de suelo y factores de sitio F_d .
Fuente: NEC-15. Capítulo: Peligro sísmico. Sección 3

$F_d = 1.3$

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Imagen 3.40 Tabla tipo de suelo y factores de comportamiento inelástico.
Fuente: NEC-15. Capítulo: Peligro sísmico. Sección 3

$F_s = 1.3$

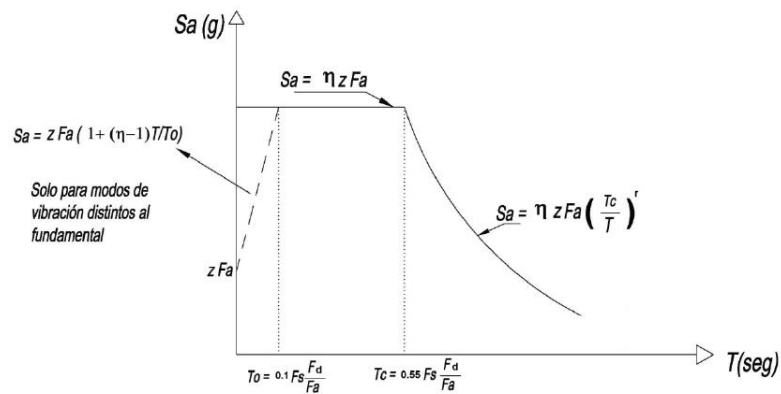


Imagen 3.41 Figura 2.3. Determinación del espectro sísmico.
Fuente: NEC-15. Capítulo: Peligro sísmico. Sección 3

Tabla 3.17 Determinación del Factor de Importancia usando la NEC-15.

FACTOR DE IMPORTANCIA - I		
Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente I
Edificaciones esenciales	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

Imagen 3.42 Tabla de importancia y uso de la estructura
Fuente: NEC-15. Capítulo: Peligro sísmico. Sección 3

I=	1.3
----	-----

Autor: Adriana Jiménez P.

Tabla 3.18 Determinación del coeficiente de reducción-R, usando la NEC-15

COEFICIENTE DE REDUCCION – R	
Tabla 2.15. Factor de reducción de respuesta R para estructuras diferentes a las de edificación	
Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas presurizadas, soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	2
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación	3.5
Estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes	3
Naves industriales con perfiles de acero	3
Torres en armadura (auto-portantes o atirantadas)	3
Estructuras en forma de péndulo invertido	2
Torres de enfriamiento	3.5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados	3
Letreros y carteleras	3.5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	2
Otras estructuras no descritas en este documento	2

Imagen 3.43 Tabla del factor de reducción de respuesta en estructuras diferentes a edificaciones

Fuente: NEC-15. Capítulo: Peligro sísmico. Sección 3

R=	2
----	---

Autor: Adriana Jiménez P.

Tabla 3.19 Cálculo del coeficiente Sa, usando la NEC-15

To=	0.14083
Tc=	0.77458
T=	1.065
Zona del Grafico	3
Sa =	0.86598

Autor: Adriana Jiménez P.

Tabla 3.20 Cálculo de los coeficientes de Irregularidad usando la NEC-15.

IRREGULARIDAD EN PLANTA		
TIPO	DESCRIPCION	
1	Torsión en planta	
2	Retrosesos excesivos en esquinas	
3	Discontinuidades en el sistema de piso	
4	Ejes estructurales no paralelos	
<i>Colocar 0.9 si existe - 1.0 si no existe</i>		
TIPO	ϕ_{PA} =	1
1,2,3	ϕ_{PB} =	1
4	ϕ_P =	1
IRREGULARIDAD EN ELEVACION		
TIPO	DESCRIPCION	
1	Piso débil	
2	Concentración de masas	
3	Irregularidad geométrica	
<i>Colocar 0.9 si existe - 1.0 si no existe</i>		
TIPO	ϕ_{EA} =	1
1	ϕ_{EB} =	1
2,3	ϕ_E =	1

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Imagen 3.44 Tabla determinación del factor C_t y α

Fuente: NEC-15. Capítulo: Peligro sísmico. Sección 3

C_t =	0.072
h_n =	36.56
α =	0.8
T =	1.282

Autor: Adriana Jiménez P.

Tabla 3.21 Cálculo de los coeficientes de Irregularidad usando la NEC-15

COEFICIENTE DE CORTANTE BASAL	
$\frac{I * Sa}{R * \phi P * \phi E}$	= 0.47W

Autor: Adriana Jiménez P.

De los resultados de los análisis de ambas normas se observan los mismos valores; por lo que el uso del coeficiente basal de la NEC-15 como norma vigente en el país no estará alejada de los valores de la norma Americana muy considerada por calculistas y diseñadores.

⇔ *Cubierta metálica:* $V = 0.47 W$

⇔ *Tenso estructura:* $V = 0.47 W$

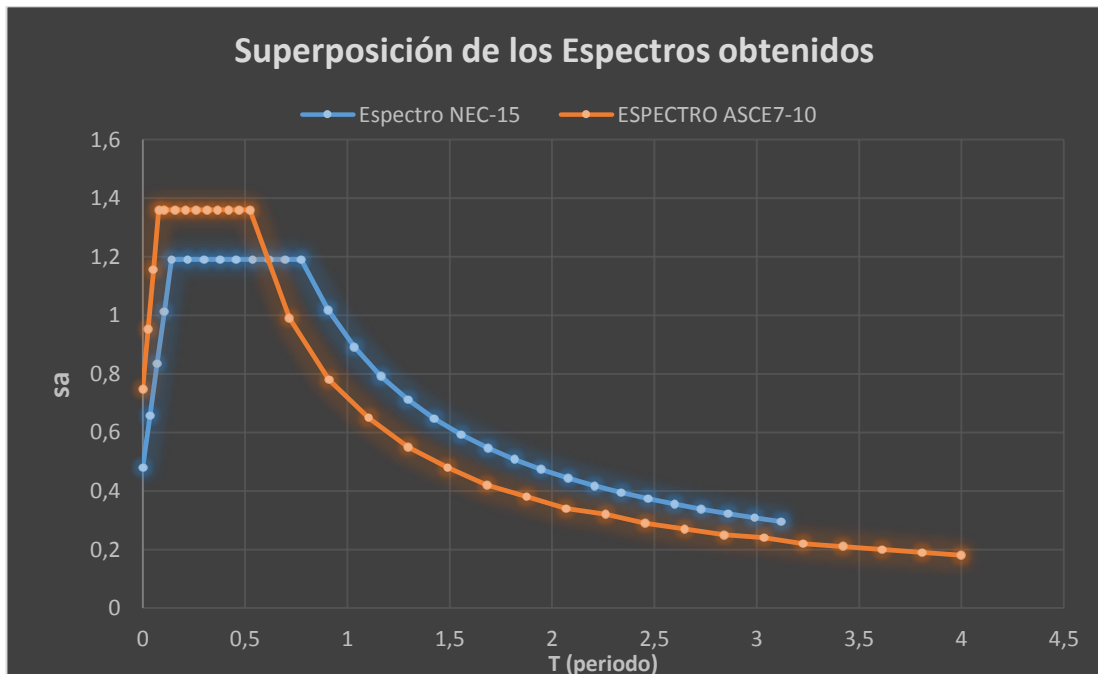


Imagen 3.45 Comparación de los Espectros de diseño ASCE 7 y NEC-15.

Autor: Adriana Jiménez P.

3.7. Detalle de cargas a aplicarse en las cubiertas

⇔ Cubierta Metálica [t/m]

Tabla 3. 22 Determinación de las cargas a aplicarse en las correas.

CVIENTO	CGRANIZO	CLLUVIA	CVIVA	
0.01	0.05	0.03	0.07	t/m

Autor: Adriana Jiménez P.

⇔ Tenso estructura [t/m]

Tabla 3.23 Determinación de las cargas a aplicarse en la membrana

CVIENTO	CGRANIZO	CLLUVIA	CVIVA	
0.02	0.05	0.03	0.024	t/m

Autor: Adriana Jiménez P.

3.8. Combinaciones de Carga

Lo dispuesto por los distintos reglamentos internacionales como el **AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI-318)** y la **NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC-15)** en cuanto diseño de edificios y otras estructuras es realizar combinaciones de carga para diseño por última resistencia; establecido por la **ASCE 7-10 “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”**.

En este contexto el análisis de las estructuras serán usando diseño en base a factores de carga y resistencia (**LRFD**), lo que quiere decir que la resistencia de cada componente estructural será mayor o igual a la requerida gracias a este tipo combinación.

3.8.1. Simbología

D: Carga permanente

E: Carga de Sismo

L: Carga Viva

R: Carga de Lluvia

S: Carga de Granizo

W: Carga de Viento

3.8.2. Combinaciones de carga para diseño por última Resistencia

1. $1.4 D$
2. $1.2 D + 1.6 L + 0.5 R$
3. $1.2 D + 1.6 L$
4. $1.2 D + 0.5 S$
5. $1.2 D + 1.6 S$
6. $1.2 D + L$
7. $1.2 D + 1.6 R + 0.5 W$
8. $1.2 D + 1.0 W + L$
9. $1.2 D + 1.0 W + 0.5 S$
10. $1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 R$
11. $1.2 D + 1.0 E_x + 0.3 E_y + L$
12. $1.2 D + 0.3 E_x + 1.0 E_y + L$
13. $1.2 D + 1.0 E_x + 0.3 E_y + 0.2 S$

14. $1.2 D + 0.3 E_x + 1.0 E_y + 0.2 S$

15. $0.9 D + 1.0 W$

16. $0.9 D + 1.0 E_x + 0.3 E_y$

17. $0.9 D + 0.3 E_x + 1.0 E_y$

CAPITULO IV MODELO EN SAP 2000

Para esta etapa de la propuesta se procedió a realizar los diseños de las dos estructuras a analizarse técnica y económicamente para finalmente modelarlas en el programa de elementos finitos como lo es SAP 2000, después de dibujadas se realizan los respectivos chequeos de diseño; lo que determina si las secciones empleadas son las correctas para nuestro diseño. A continuación se muestra cada diseño y las secciones usadas lo cual podrá ser verificado en los programas.

En cuanto al diseño en acero de los elementos de ambos diseños se los realiza seleccionando el código AISC-LRFD99.

4.1. Diseño Cubierta Metálica

Si bien este diseño metálico es el más sencillo sus exigencias al ser una cubierta para el estadio emblemático de nuestro país; son muy grandes debido a la importancia de este tipo de estructura de ocupación pública.

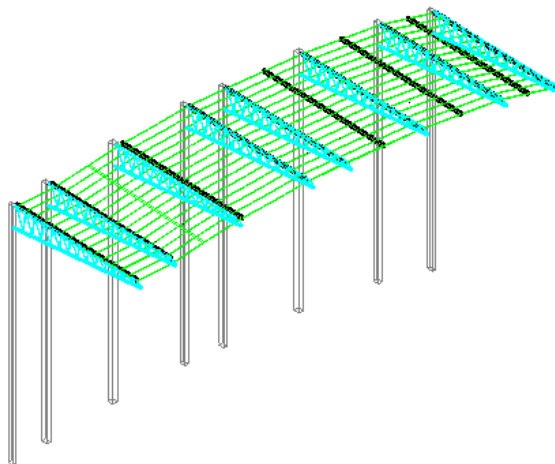
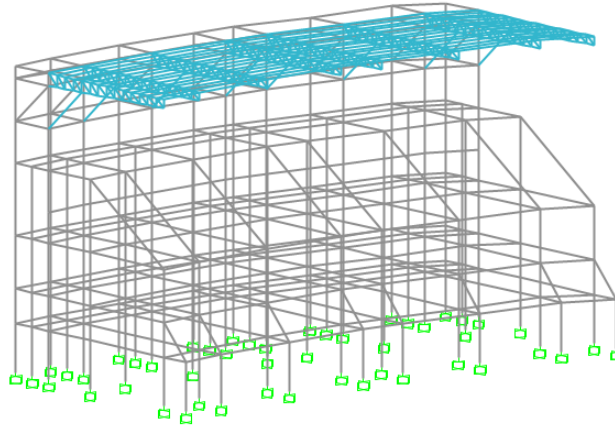


Imagen 4.1 Propuesta de Cubierta Metálica.
Fuente: AutoCAD 2016, Autor Adriana Jiménez



*Imagen 4.2 Diseño en sap2000
Autor: Adriana Jiménez*

4.1.1. Diseño elementos

Si bien el alcance de esta propuesta es únicamente el diseño y modelamiento de las cubiertas a compararse, es fundamental realizar el modelamiento de los graderíos del estadio y los pórticos posteriores para considerar la resistencia debida a las columnas con las que trabajaremos.

4.1.1.1. Diseño de Concreto

4.1.1.1.1. Columnas

4.1.1.1.1. Columnas Pórticos

Tabla 4.1 Listado de las secciones empleadas en el pórtico externo parte del sistema estructural

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]		Material de Refuerzo	Configuración del refuerzo	Ø acero ref. longitudinales	Ø acero ref. de confinamiento	# varillas paralelo t2	# varillas paralelo t3
			t3	t2						
COLUMNA EXT	HORMIGON	Rectangular	0.7	0.4	A615Gr60	Rectangular	Ø 25	Ø 12	6	6
COLUMNA EXT 2	HORMIGON	Rectangular	0.6	0.3	A615Gr61	Rectangular	Ø 20	Ø12	4	4

Autor: Adriana Jiménez

4.1.1.1.2. Columnas de la cubierta

Mediante el levantamiento topográfico realizado se obtuvieron las secciones de las columnas del estadio por lo que esta propuesta trabajará con las secciones ya existentes.

Tabla 4.2 Detalle de las columnas de la cubierta empleadas

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]		Material de Refuerzo	Configuración del refuerzo	Ø acero ref. longitudinales	Ø acero ref. de confinamiento	# varillas paralelo t2	# varillas paralelo t3
			t3	t2						
COLUMNA 1	HORMIGON	Rectangular	0.85	0.45	A615Gr60	Rectangular	Ø 25	Ø 12	4	4
COLUMNA 2	HORMIGON	Rectangular	0.85	0.68	A615Gr60	Rectangular	Ø 25	Ø 12	6	6
COLUMNA 3	HORMIGON	Rectangular	0.85	0.80	A615Gr60	Rectangular	Ø 28	Ø 12	6	6

Autor: Adriana Jiménez

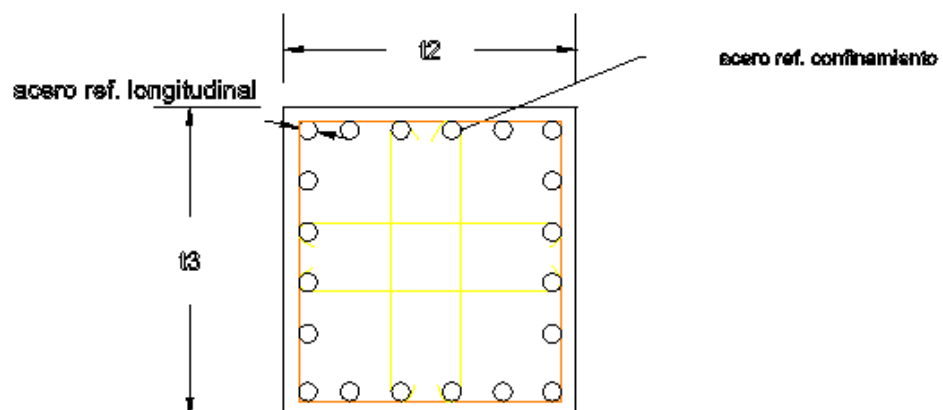


Imagen 4.3 Ilustración de la sección rectangular para el modelamiento de columnas

Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez

4.1.1.1.2. Vigas

Tabla 4.4 Detalle de las vigas empleadas en la modelación del sistema estructural del estadio

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]		Material de Refuerzo
			t3	t2	
Viga1	HORMIGON	Rectangular	0.40	0.25	A615Gr61
Viga2	HORMIGON	Rectangular	0.60	0.25	A615Gr62
Viga3	HORMIGON	Rectangular	0.70	0.35	A615Gr63
Viga4	HORMIGON	Rectangular	0.30	0.20	A615Gr64

Autor: Adriana Jiménez

4.1.1.2. Elementos metálicos

Tabla 4.5 Detalle de las secciones tubulares empleadas en la cercha

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]	
			t3	tw
Cordón Superior	A36	Pipe	0.3	0.0060
Cordón Sup 2	A36	Pipe	0.2	0.0050
Cordón Sup 3	A36	Pipe	0.1	0.0015
Cordón Inferior	A36	Pipe	0.3	0.0060
Cordón inf 2	A36	Pipe	0.2	0.0045
Cordón Inf 3	A36	Pipe	0.1	0.0020
Montante	A36	Pipe	0.15	0.0025
Montante2	A36	Pipe	0.1	0.0020
Diagonal	A36	Pipe	0.1	0.0030
Puntal	A36	Pipe	0.3	0.0050

Autor: Adriana Jiménez

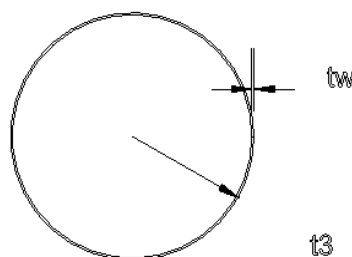


Imagen 4.4 Ilustración de la sección pipe (tubular) para el modelamiento de cordones, montantes y diagonales.

Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez

Tabla 4.6 Detalle de las secciones tipo cajón empleadas en la cercha

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]			
			t3	t2	tf	tw
Correa	A36	Box	0.20	0.08	0.003	0.003
Correa2	A36	Box	0.15	0.05	0.0017	0.0017

Autor: Adriana Jiménez

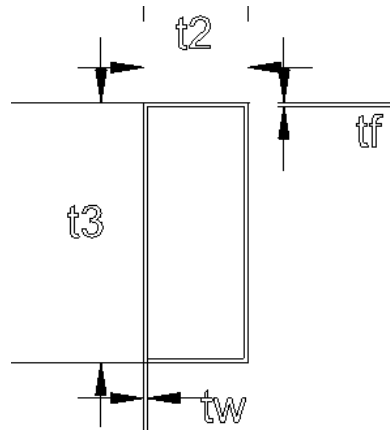


Imagen 4.5 Ilustración de la sección cajón para el modelamiento de correas

Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez

4.2. Diseño Tenso Estructura

Para este diseño se emplea una viga de sección variable tipo I curva, cables torones y membrana tal y como se muestra en los planos a continuación.

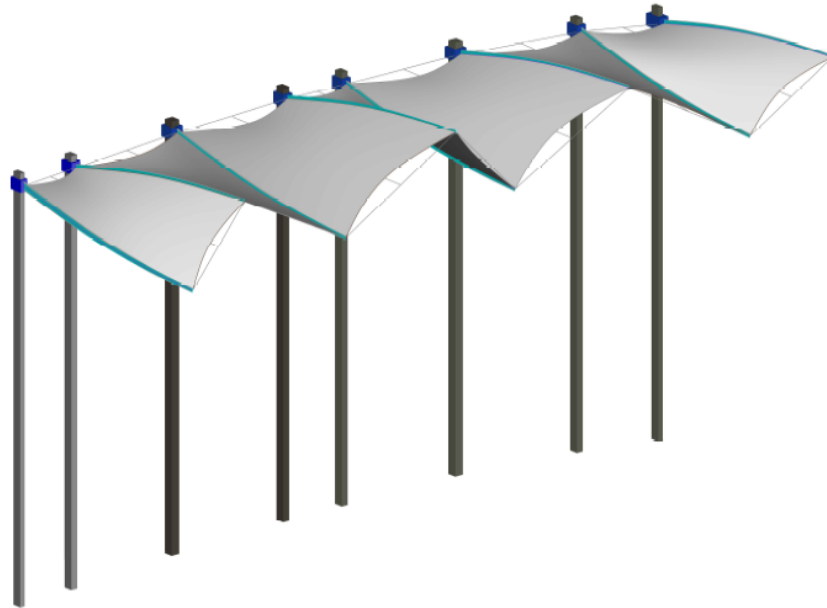


Imagen 4.6 Propuesta de Tenso Estructura
Fuente: AutoCAD 2016, Autor Adriana Jiménez

4.2.1. Diseño de la Membrana

El programa utilizado para la membrana es el **ixForten4000**, el cual permite obtener los esfuerzos a los que estará sometido material y sus deformaciones.

Para este diseño ya se realizó previamente el diseño en AutoCAD por lo que su modelación fue más rápida.

A continuación se detallan los pasos realizados para este diseño:

1. Se inicia el programa; aparecerá una ventana que pide indicar las unidades con las que se desea trabajar, se selecciona y OK.

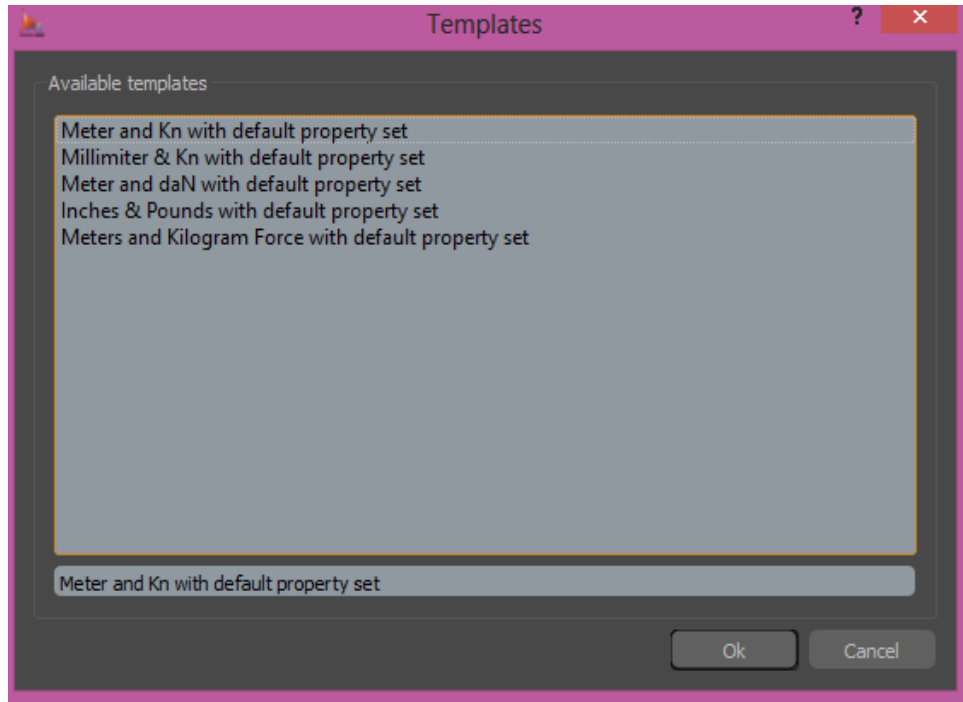


Imagen 4.7 Modelación en ixForten4000, cuadro de inicialización
Autor: Adriana Jiménez P.

2. En la barra del menú: Importar los layers hacia el programa ixForten4000:

File/Import/AutoCad DWG

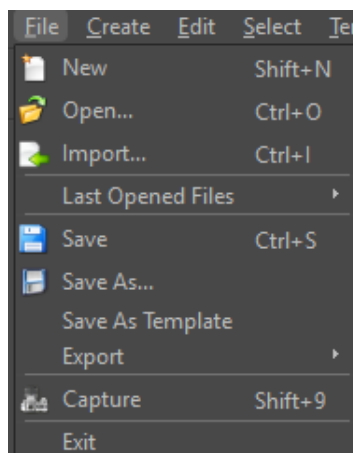


Imagen 4.8 Modelación en ixForten4000, menú File
Autor: Adriana Jiménez P.

3. Aquí se selecciona el documento DWG que tiene el diseño.

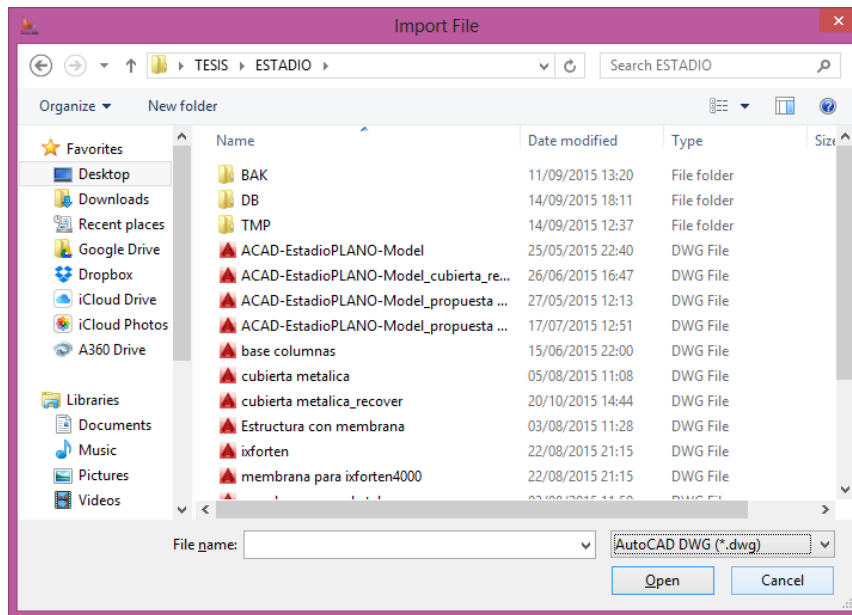


Imagen 4.9 Modelación en ixForten4000, cuadro de selección archivo DWG.
Autor: Adriana Jiménez P.

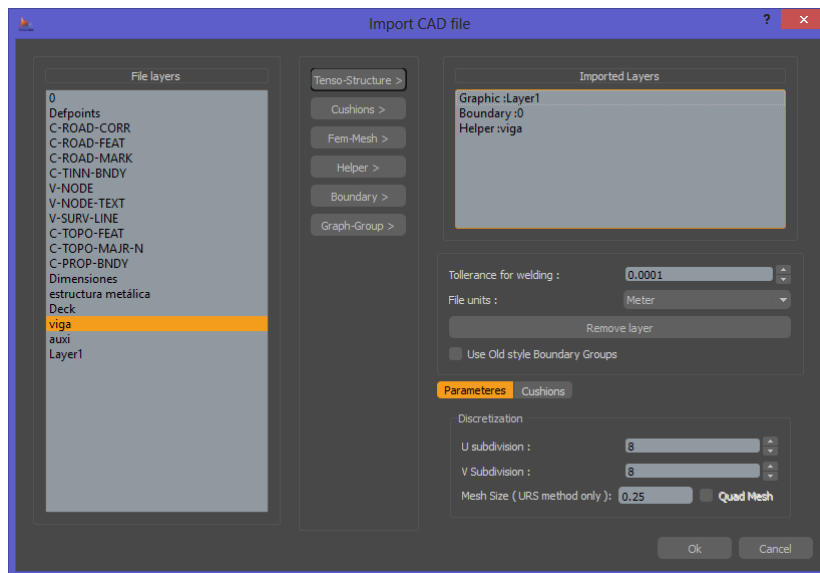


Imagen 4.10 Modelación en ixForten4000, cuadro de importación
Autor: Adriana Jiménez P.

Es necesario identificar los layers que se necesite para importar y el número de subdivisiones que cada grupo requiera.

Se selecciona el layer al tipo de grupo que pertenezca:

En este caso:

- Vigas: 8 -> Helper
- 0 : 40 -> Boundary
- Layer: 7 -> Graphic

4. Después de importado la forma del diseño, se crea el área de la membrana como se observa a continuación.

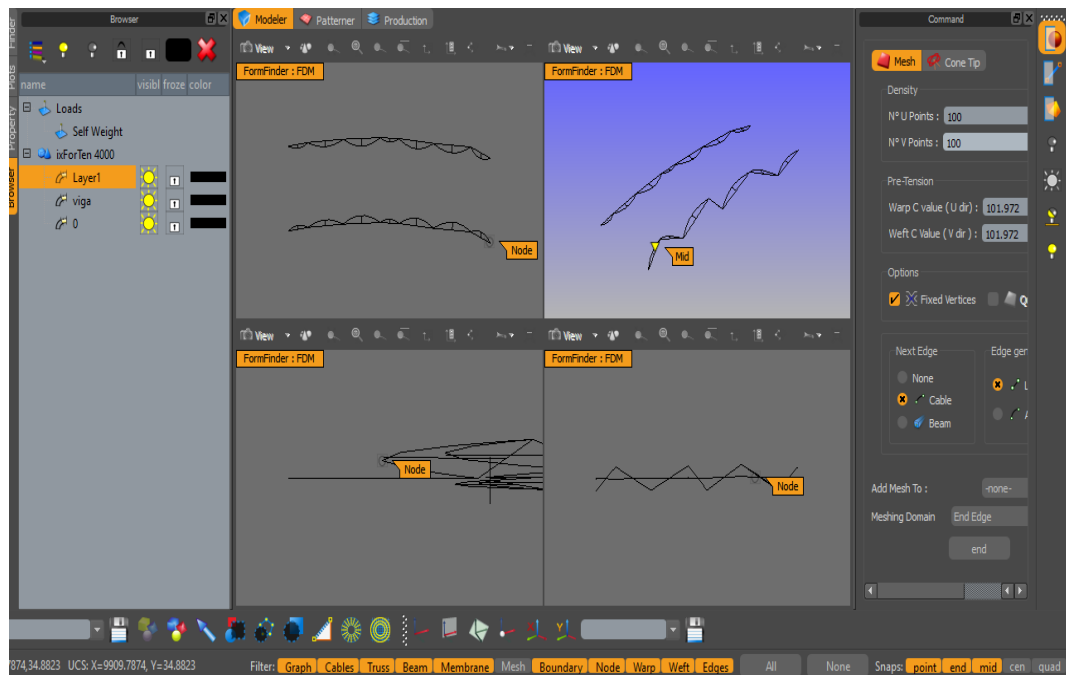


Imagen 4.11 Modelación en ixForten4000 a partir del plano realizado en autocad.

Autor: Adriana Jiménez P.

5. Para la membrana: en el menú: Create/Tenso Group

Debe detallarse el número de puntos en cada plano: U y V (iguales siempre)

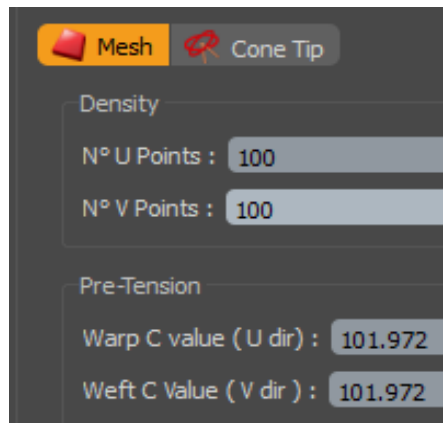


Imagen 4.12 Pretensión de diseño para la membrana.

Autor: Adriana Jiménez P.

Adicionalmente el valor de pretensión. Deberá identificarse cada borde con el elemento adecuado, en este caso bordes laterales: viga metálica y bordes superior e inferior: cable.

- Después de creados todos los grupos, se muestran en la ventana izquierda el número de Tenso Grupos usados en el modelo.

En este caso son 7 Tenso Groups; es decir uno para cada vano de la cubierta.

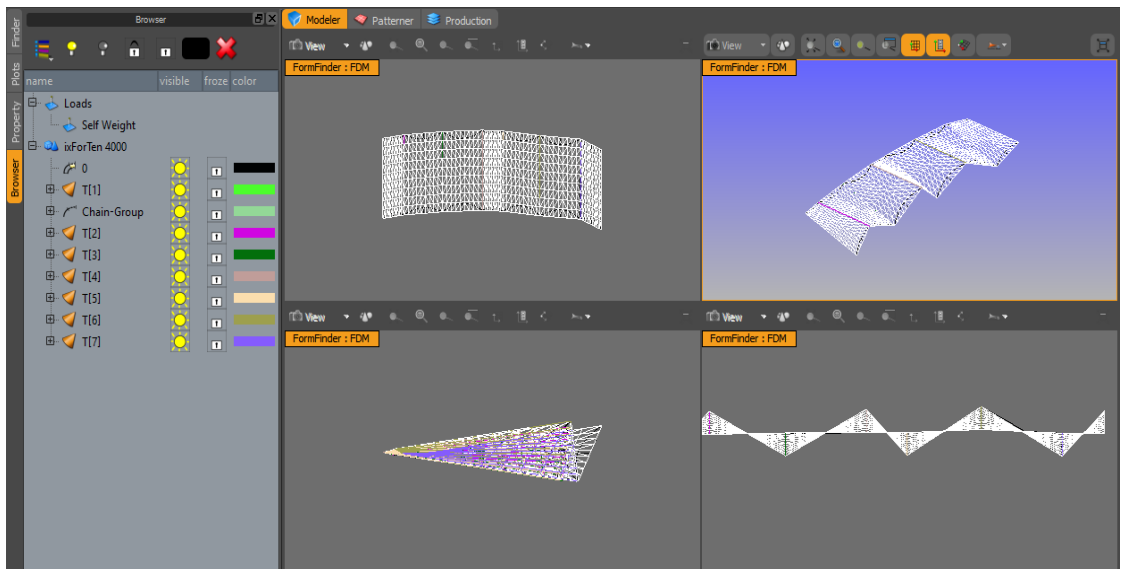


Imagen 4.13 modelación membrana.

Autor: Adriana Jiménez P.

- Se definen los materiales y los elementos a usarse con un clic en el botón:



Imagen 4.14, botón del programa Forten

Fuente: ixForten 4000

1. Materiales:
Aceros: A36 y A270K,
Membrana Preconstraint.

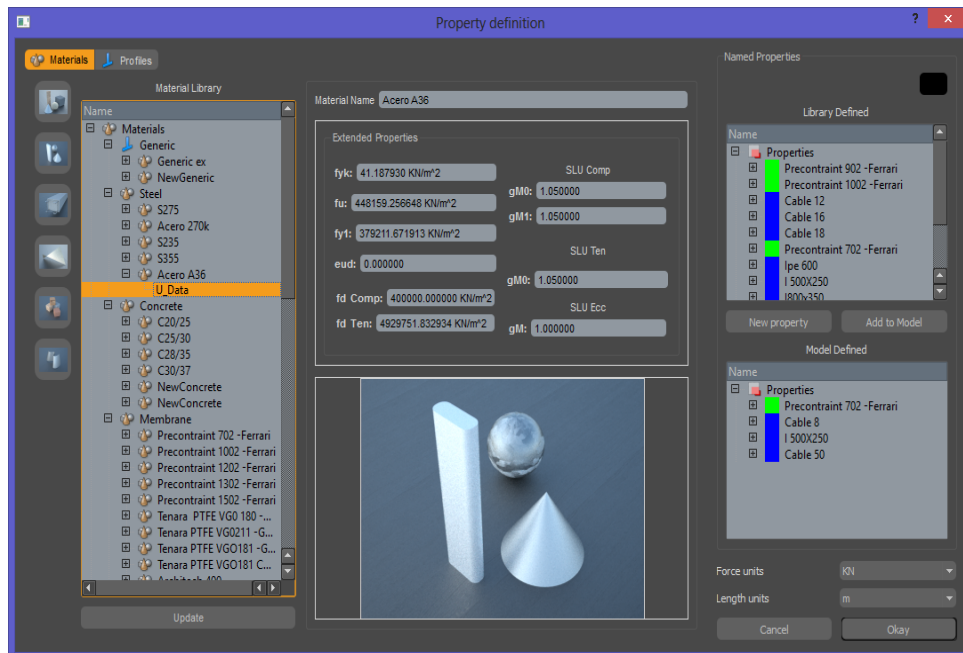


Imagen 4.15 Definiendo materiales y perfiles en el programa ixForten4000
 Autor: Adriana Jiménez P.

2. Elementos:

En la misma ventana en la pestaña: Perfiles (perfiles) se ingresan los elementos que hacen parte de la cubierta.

Para el ingreso de los elementos como cable y viga de acero se usaron las empleadas en SAP 2000 de tal manera que exista una comparación real de los esfuerzos.

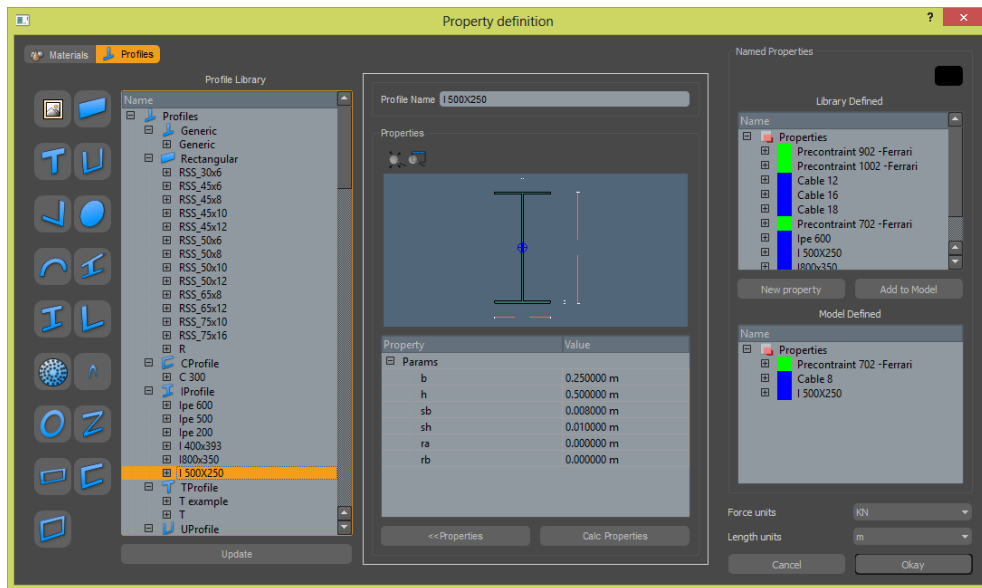


Imagen 4.16 Definiendo el tipo de viga en el programa ixForte4000
 Autor: Adriana Jiménez P.

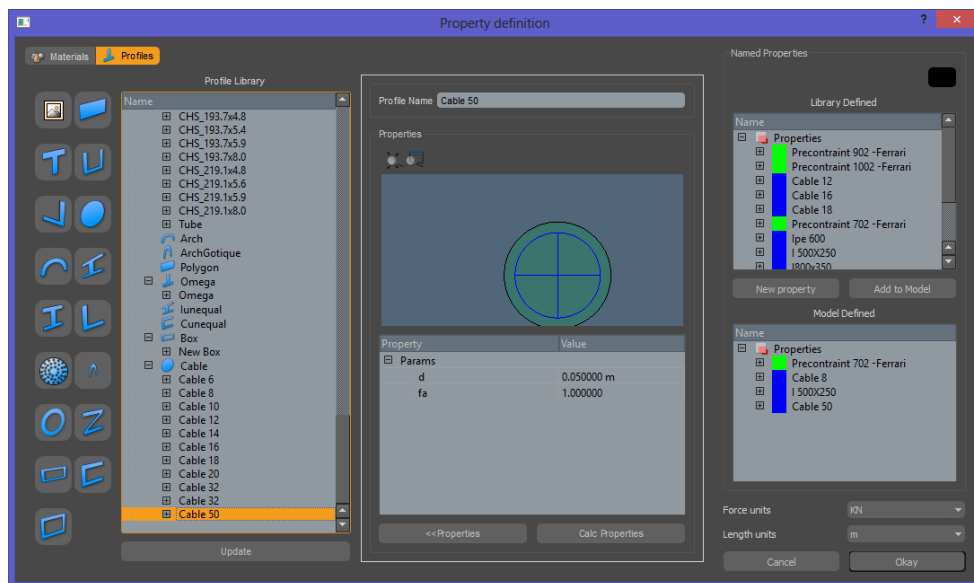


Imagen 4.17 Definiendo el tipo de cable en el programa ixForte4000
 Autor: Adriana Jiménez P.

8. Se crea el estado o los estados de carga, en este caso el crítico sería: Granizo.
 Para ello se crea la condición de carga con el botón:



Imagen 4.18 botón de creación de cargas Forten
 Fuente: ixForten 4000

9. Se selecciona cada Tenso Grupo para aplicar la carga creada, con el botón:



Imagen 4.19 botón de aplicación de cargas Forten
Fuente: ixForten 4000

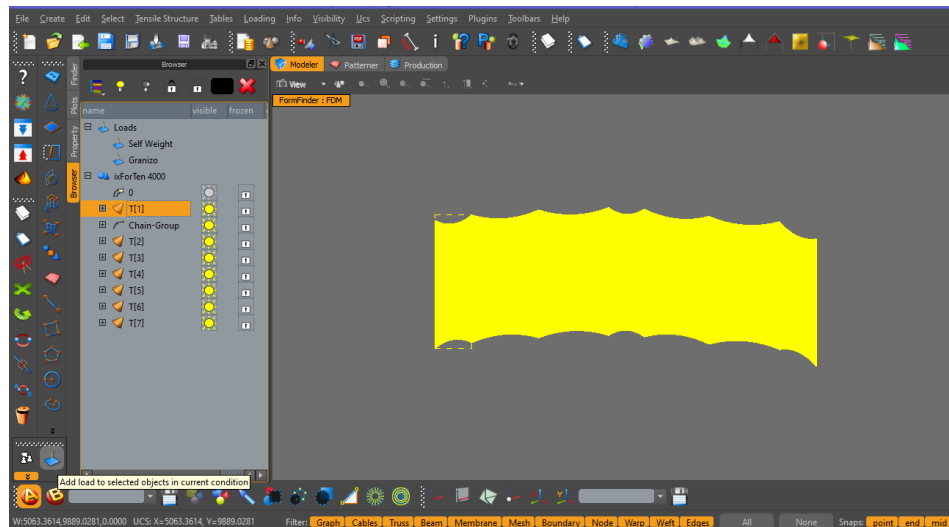


Imagen 4.20 Ilustración de la selección del Mesh para aplicar la carga
Autor: Adriana Jiménez P.

10. Al aparecer la ventana de cargas, se escoge la pestaña de Cargas de Gravedad. Se detalla el valor de la carga en las unidades adecuadas (kN/m^2), click en aplicar (apply)

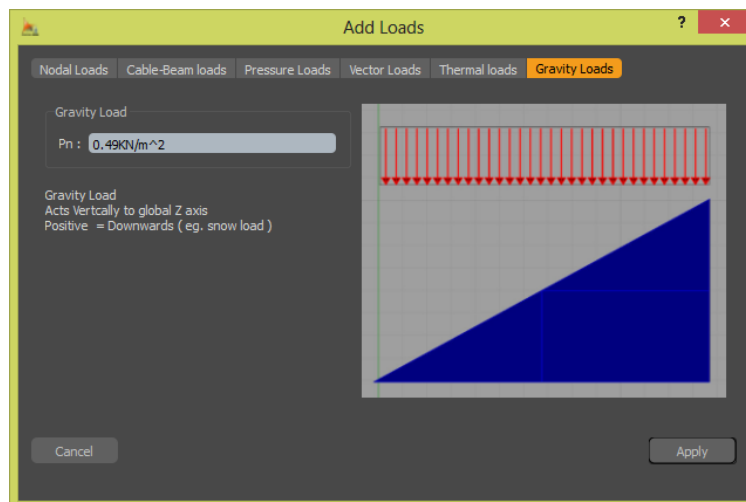


Imagen 4.21 Aplicación de la carga de granizo en cada vano de la membrana
Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

11. Para comprobar que la carga está aplicada, en la ventana izquierda de la pantalla: Plot/ Options/ Loads: Granizo/ Update View

Aquí se observa que la selección de color amarillo indica en que partes de la membrana se encuentra aplicada la carga.

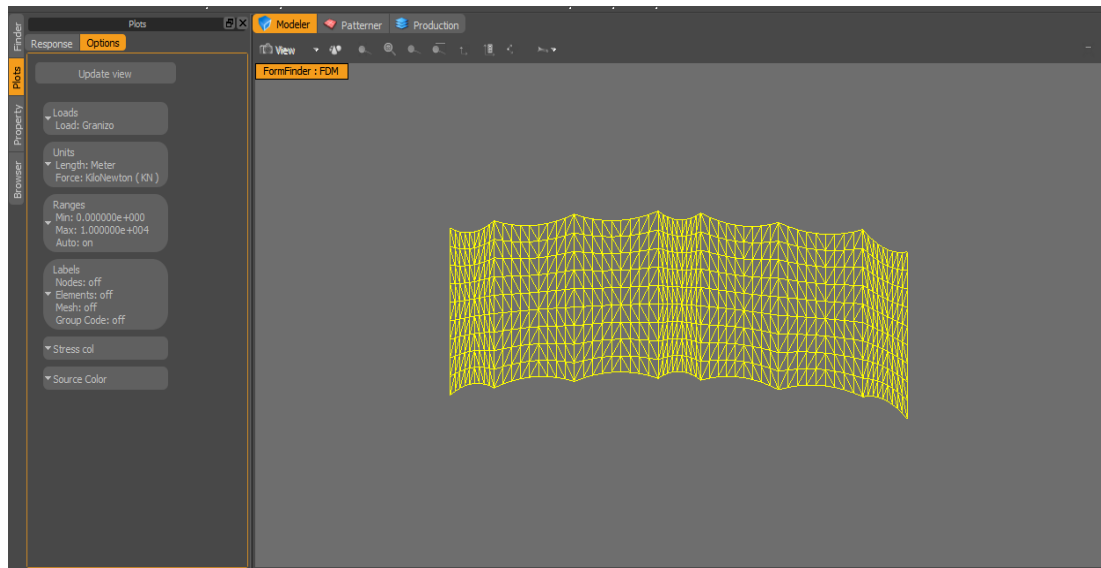


Imagen 4.22 Ingreso de los casos de carga para la membrana

Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

10. Finalmente para correr el análisis no lineal, se deberá crear los estados de carga a analizarse, mediante el menú:

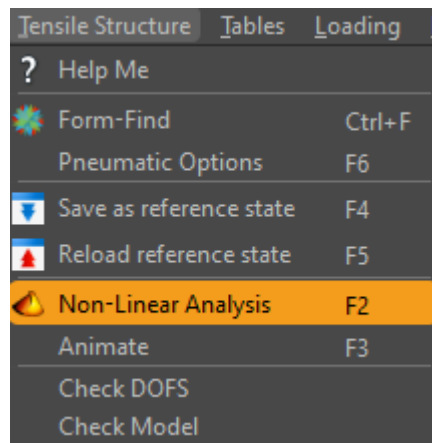


Imagen 4.23 Ingreso de los casos de carga para la membrana

Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

En la pestaña Load Cases: New/ LC1: 1.0/LC2: 1.0, Run All

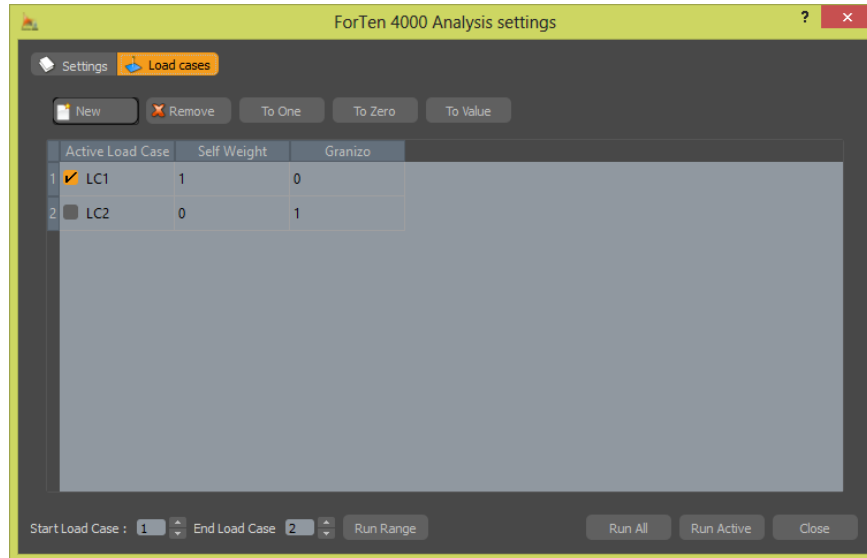


Imagen 4.24 Ingreso de los casos de carga para la membrana
Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

12. Para obtener los esfuerzos vamos a la ventana vertical izquierda:
Plot/Response/ Active/ FormFind, LC1, LC2/ Membrane Stress: sI,
SII/Update View

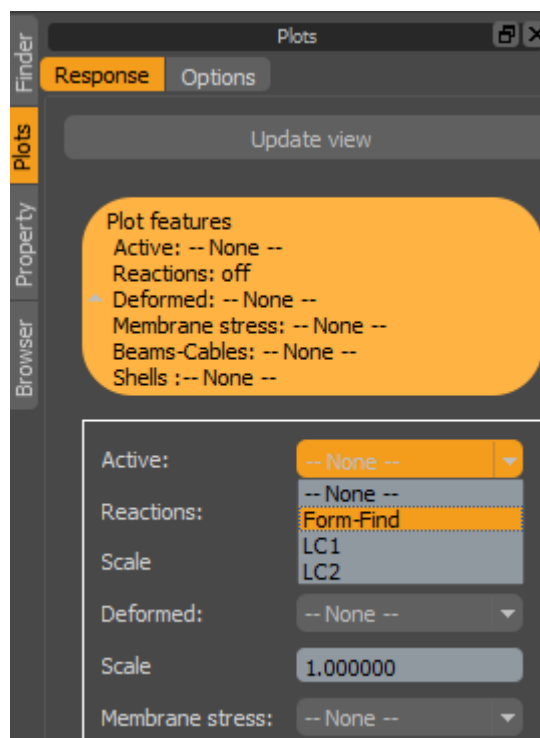


Imagen 4.25 Ilustración para la obtención de esfuerzos
Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

4.2.2 Diseño en SAP 2000

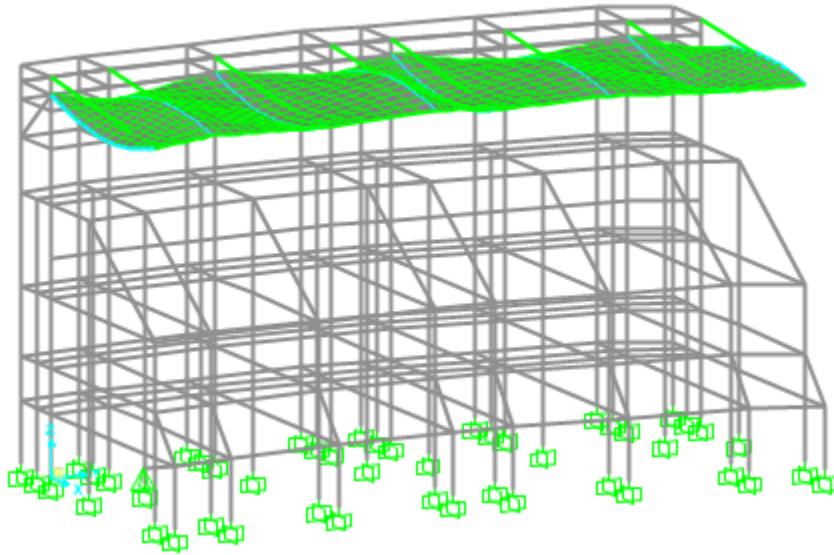


Imagen4.26 Diseño de la propuesta de Tenso estructura

Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

4.2.2.1 Diseño Elementos

Si bien el alcance de esta propuesta es únicamente el diseño y modelamiento de las cubiertas a compararse, es fundamental realizar el modelamiento de los graderíos del estadio y los pórticos posteriores para brindarle la resistencia debida a las columnas con las que trabajaremos.

4.2.1.1. Diseño de Concreto

4.2.1.1.1 Columnas

4.2.1.1.1.1. *Columnas Pórticos*

Tabla 4.7 Detalle de las columnas externas empleadas en el pórtico del modelo estructural

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]		Material de Refuerzo	Configuración del refuerzo	Ø acero ref. longitudinales	Ø acero ref. de confinamiento	# varillas paralelo t2	# varillas paralelo t3
			t3	t2						
COLUMNA EXT	HORMIGON	Rectangular	0.7	0.4	A615Gr60	Rectangular	Ø 25	Ø 12	6	6
COLUMNA EXT 2	HORMIGON	Rectangular	0.6	0.3	A615Gr61	Rectangular	Ø 20	Ø12	4	4

Autor: Adriana Jiménez

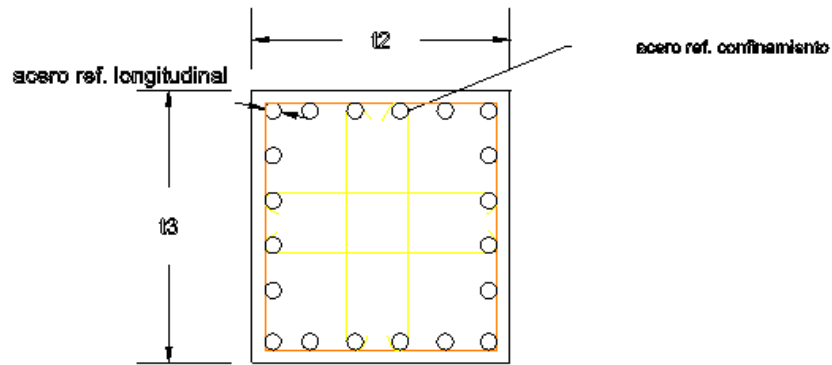


Imagen 4.27 Ilustración de la sección rectangular para el modelamiento de columnas

Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez

4.2.1.1.1.2. Columnas de la cubierta

Mediante el levantamiento topográfico realizado se obtuvieron las secciones de las columnas del estadio por lo que esta propuesta trabajará con las secciones ya existentes.

Tabla 4.8 Detalle de las columnas de la cubierta

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]		Material de Refuerzo	Configuración del refuerzo	Ø acero ref. longitudinales	Ø acero ref. de confinamiento	# varillas paralelo t2	# varillas paralelo t3
			t3	t2						
COLUMNA 1	HORMIGON	Rectangular	0.85	0.45	A615Gr60	Rectangular	Ø 25	Ø 12	4	4
COLUMNA 2	HORMIGON	Rectangular	0.85	0.68	A615Gr60	Rectangular	Ø 25	Ø 12	6	6
COLUMNA 3	HORMIGON	Rectangular	0.85	0.8	A615Gr60	Rectangular	Ø 28	Ø 12	6	6

Autor: Adriana Jiménez

4.2.1.1.2. Vigas

Tabla 4.9 Listado de las secciones de vigas empleadas para modelar el sistema estructural del estadio

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]		Material de Refuerzo
			t3	t2	
Viga1	HORMIGON	Rectangular	0.4	0.25	A615Gr61
Viga2	HORMIGON	Rectangular	0.6	0.25	A615Gr62
Viga3	HORMIGON	Rectangular	0.7	0.35	A615Gr63
Viga4	HORMIGON	Rectangular	0.3	0.2	A615Gr64

Autor: Adriana Jiménez

4.2.1.2. Elementos metálicos

4.2.1.2.1. Vigas Metálicas

Para esta cubierta se optó por hacer una viga metálica de sección variable con la intención de tener un aprovechamiento del material, es decir poner la sección más gruesa donde exista mayor sollicitación permitiendo un ahorro del material; es así que especificaremos 3 tipos de dimensiones.

Tabla 4.10 Listado de las vigas I de la cubierta

Nombre Sección	Material	Forma	Dimensiones [m]					
			t3	t2	tf	tw	t2b	tfb
VM1	A36	I/Wide Flange	0.8	0.35	0.025	0.015	0.35	0.025
VM2	A36	I/Wide Flange	0.6	0.30	0.015	0.010	0.30	0.015
VM3	A36	I/Wide Flange	0.5	0.25	0.010	0.008	0.25	0.010

Autor: Adriana Jiménez

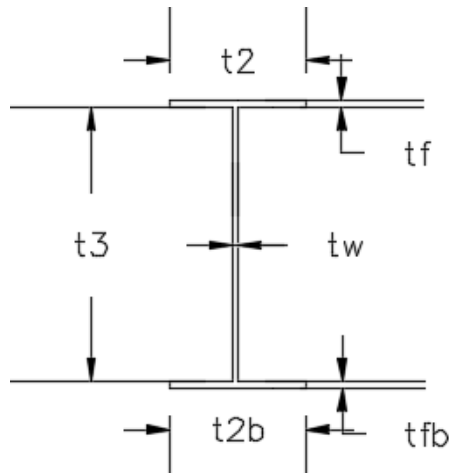


Imagen 4.28 sección I/Wide Flange para el modelamiento de la viga se sección variable
Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez

4.2.1.2.2. CABLES

Representados como un elemento Frame, sección maciza con el material correspondiente, se emplea este tipo de elemento tubular ya que el análisis para estos elementos es del tipo no-lineal, tal como lo especifica el manual de Sap.

Tabla 4.11 Listado de las frames empleados como cables

Nombre Seccion	Material	Forma	Dimension [m]	
			t3	
Cable1	A416Gr270	Circular	0.05	Conformado por 3 cables de 15.24mm
Cable2	A416Gr270	Circular	0.038	Conformado por 3 cables de 15.24mm
Cable3	A416Gr270	Circular	0.04	Conformado por 3 cables de 15.24mm
Tensor	A416Gr270	Circular	0.025	

Autor: Adriana Jiménez

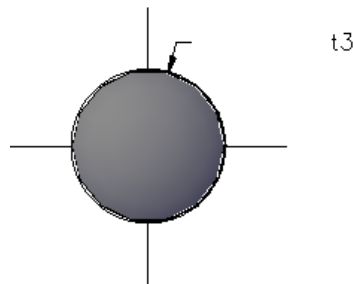


Imagen 4.29 Sección pipe para el modelamiento del cable
Fuente: Autocad, Autor: Adriana Jiménez

4.3 Vista en planta y perspectiva de las cubiertas propuestas

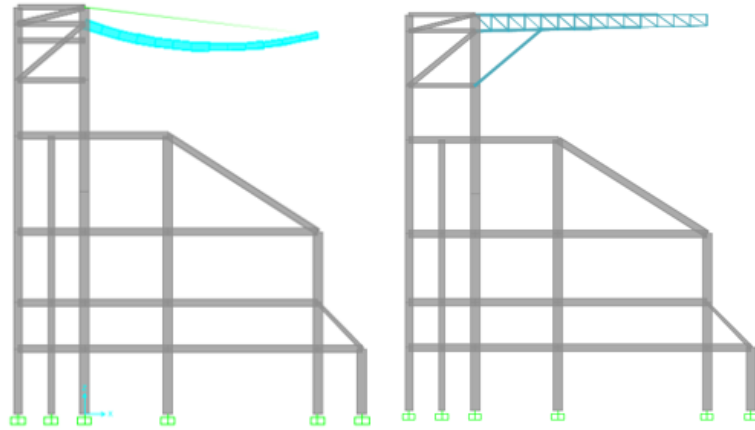


Imagen 4.30 Vista en el plano xz del diseño de la Tenso estructura y la Cercha.
Fuente: Diseño de las cubiertas en Sap 2000. Autor: Adriana Jiménez P.

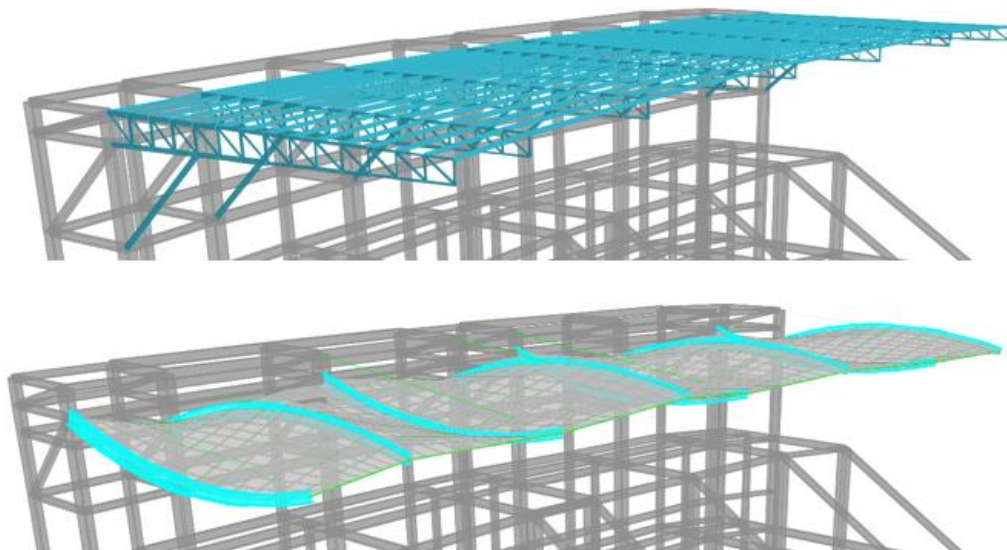


Imagen 4.31 Vista en 3D del diseño de la Tenso estructura y la Cercha.
Fuente: Diseño de estructura en Sap 2000. Autor: Adriana Jiménez P.

4.4 Eficiencia de los diseños.

4.4.1 Elementos metálicos de la Cubierta metálica, vista en planta

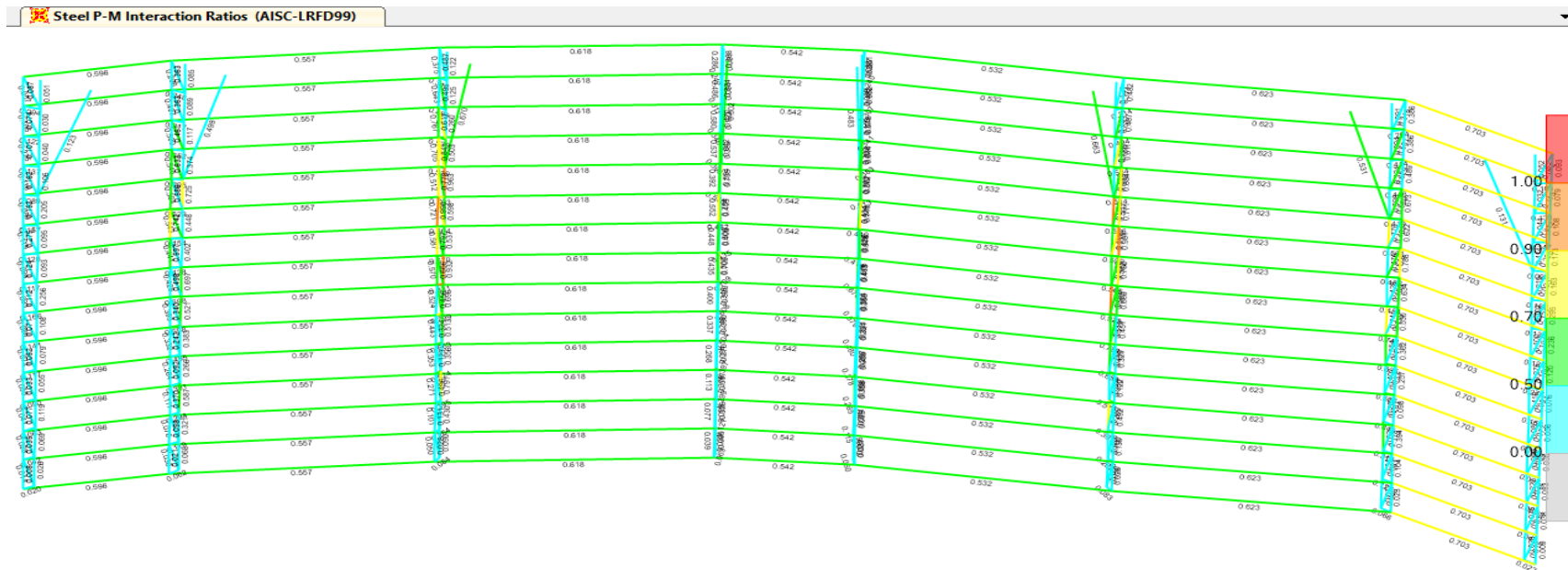


Imagen 4.32 Eficiencia de los elementos de metálicos al correr el diseño de Acero

Fuente: Diseño de Cubierta Metálica en Sap 2000. Autor: Adriana Jiménez P.

4.4.2 Elementos metálicos de la Tenso Estructura, vista en planta

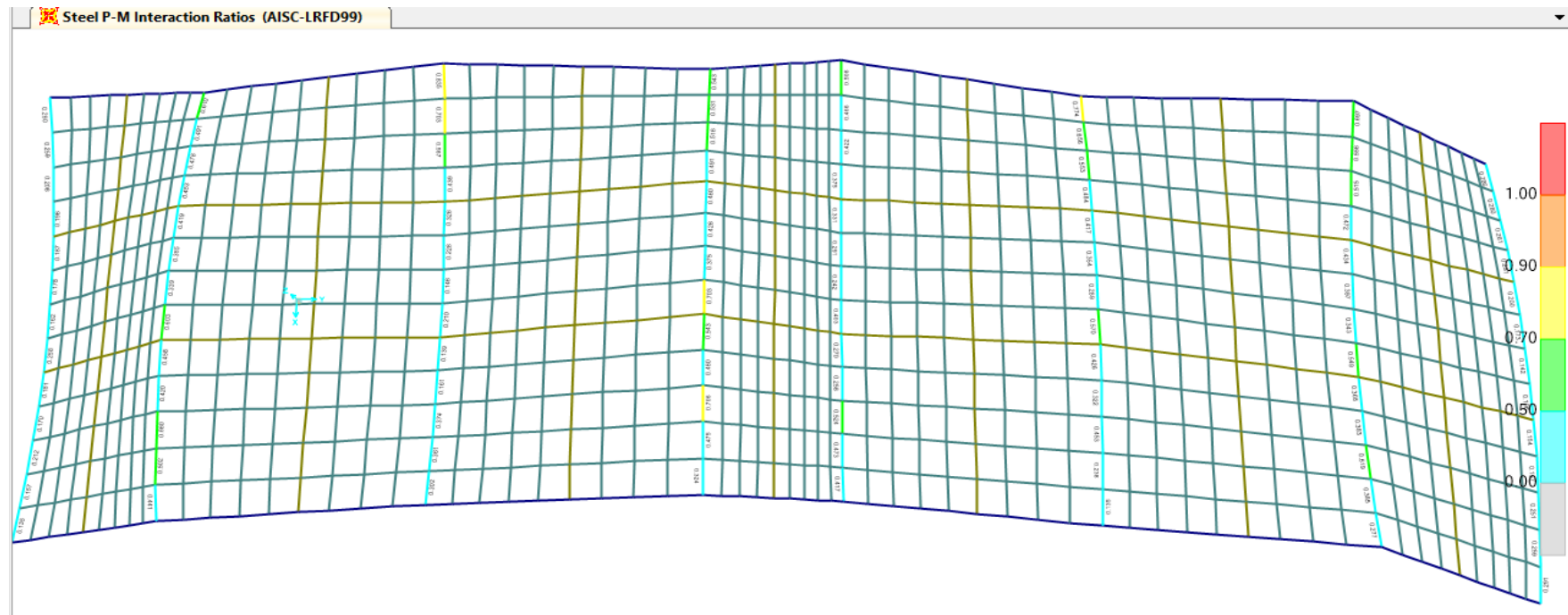


Imagen 4.33 Vista en planta de la eficiencia de los elementos de metálicos al correr el diseño de Acero
Fuente: Diseño de estructura Tensada en Sap 2000. Autor: Adriana Jiménez P.

4.4.3 Comparación de las eficiencias de los elementos metálicos de ambas cubiertas:

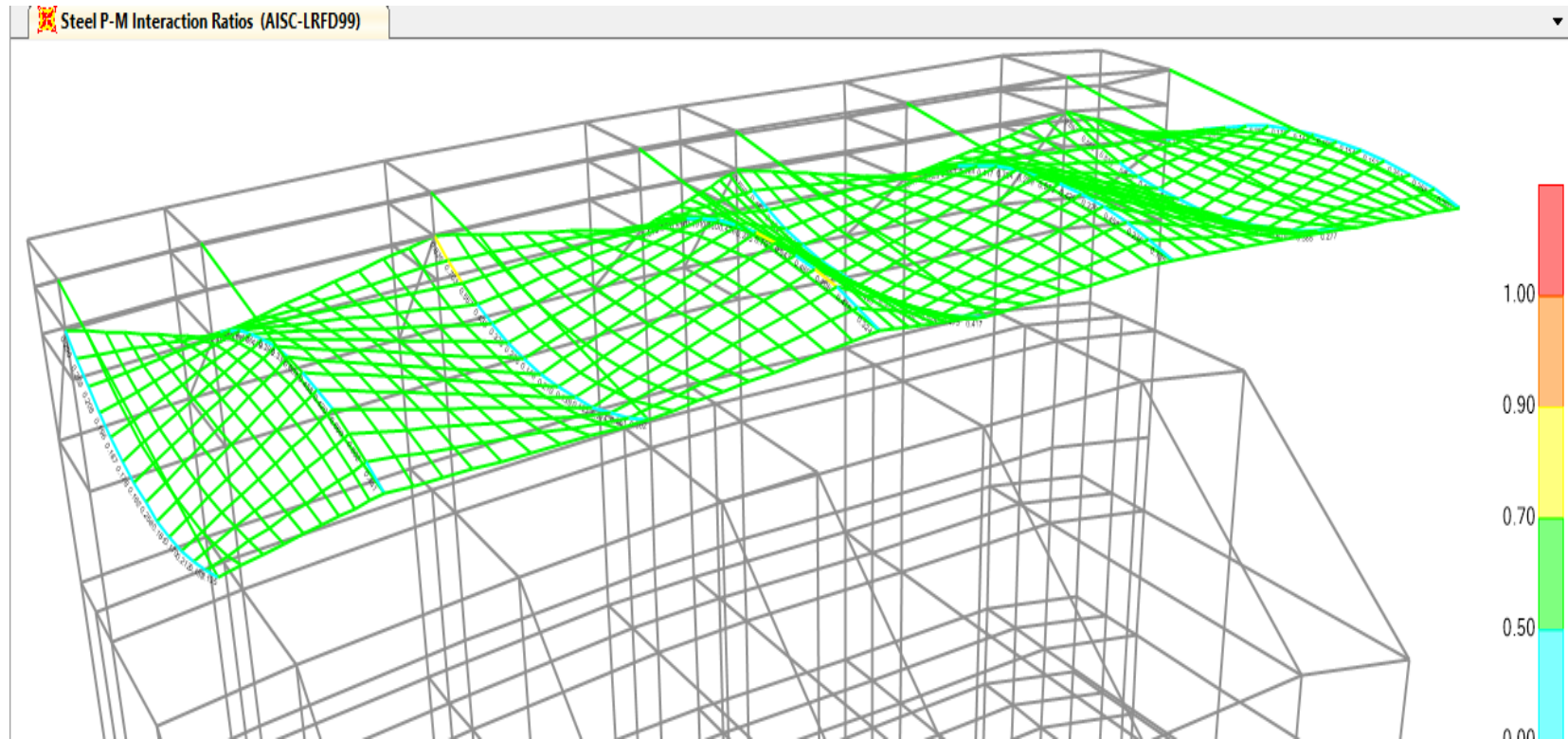


Imagen 4.34 Vista 3D de la Eficiencia del diseño acero

Fuente: Diseño de estructura Tensada en Sap 2000. Autor: Adriana Jiménez P.

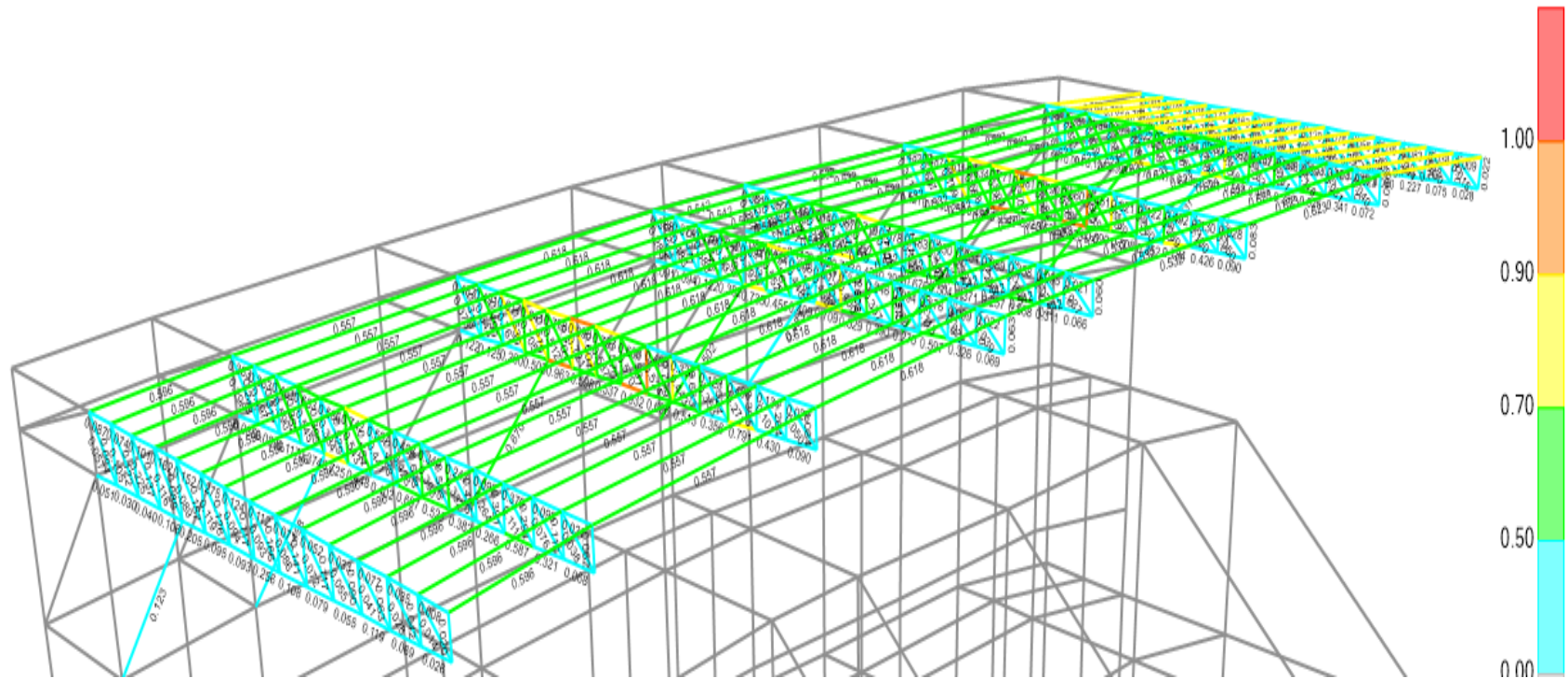


Imagen 4.35 Vista 3D de la Eficiencia del diseño acero
Fuente: Diseño de Cercha Metálica en Sap 2000. Autor: Adriana Jiménez P.

CAPITULO V ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Después de obtenido los diseños definitivos se procede a analizar y comparar los esfuerzos de la membrana de los dos programas utilizados esto debido a que es la sollicitación más grande que tiene este tipo de estructuras; que se muestran a continuación.

5.1. Esfuerzos de la membrana

5.1.1. En ixForten 4000

Este programa experto en este tipo de materiales (lona) obtiene esfuerzos lineales, por lo que para su comparación deberá dividirse para la longitud de la sección (L).

5.1.1.1. Esfuerzos de la membrana por peso propio

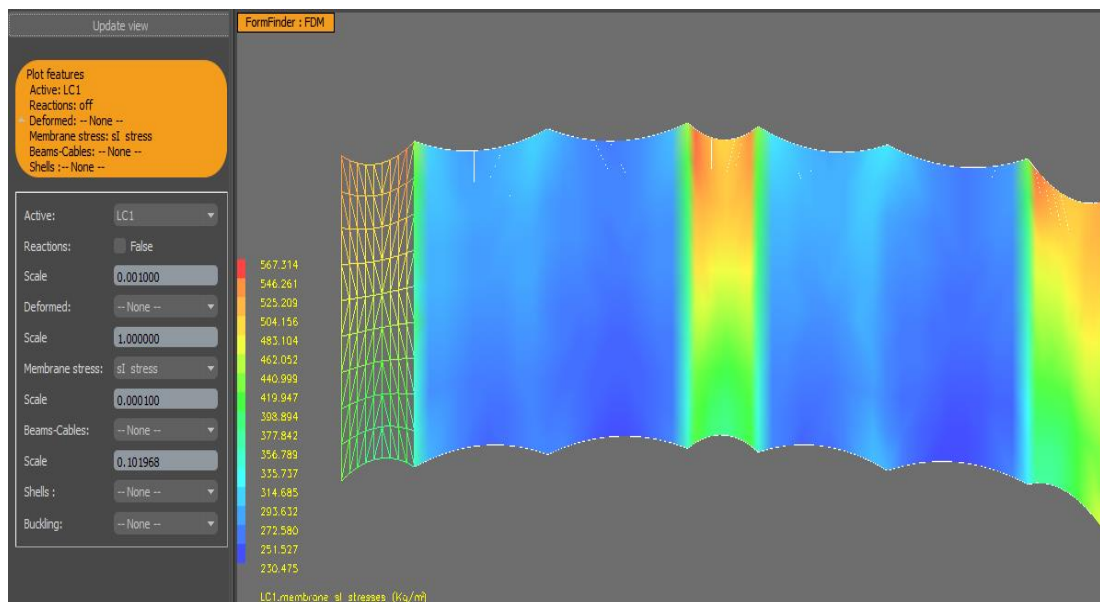


Imagen 5.1 Esfuerzos sl de la membrana
Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

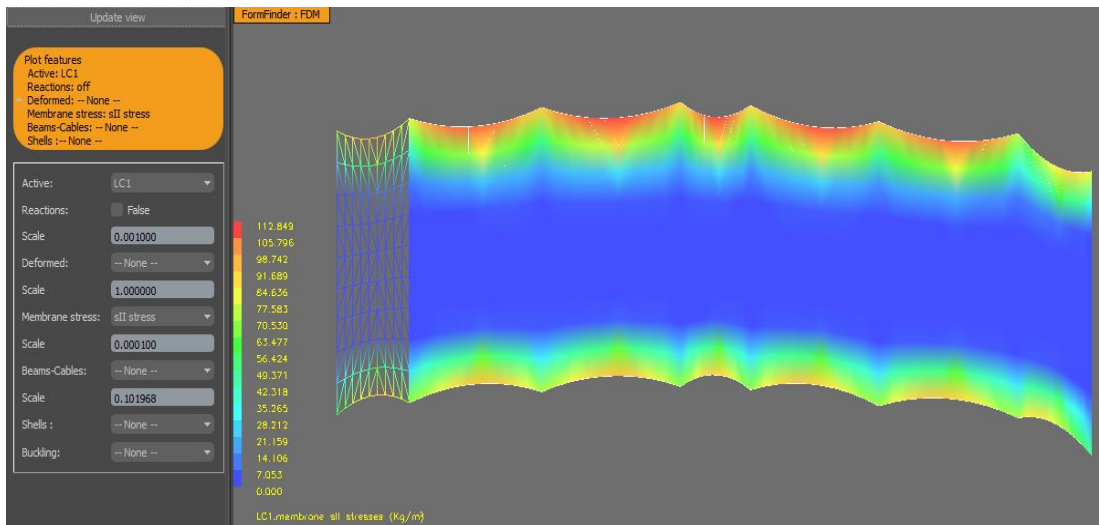


Imagen 5.2 Esfuerzos sII de la membrana
 Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

5.1.1.1 Esfuerzos de tensión de la membrana: carga de granizo

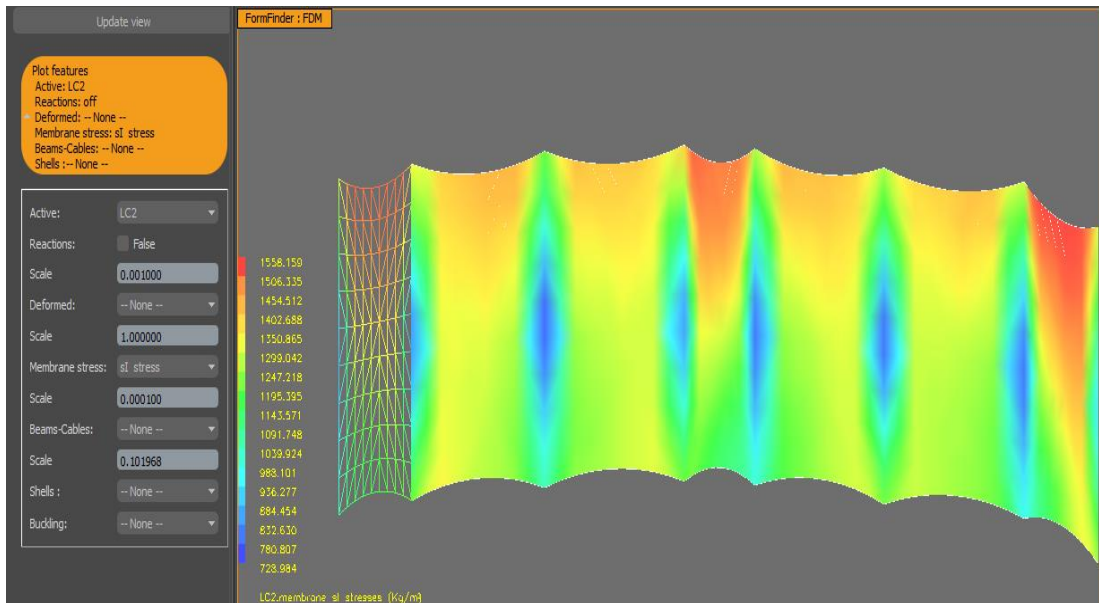


Imagen 5.3 Esfuerzos sI de la membrana
 Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

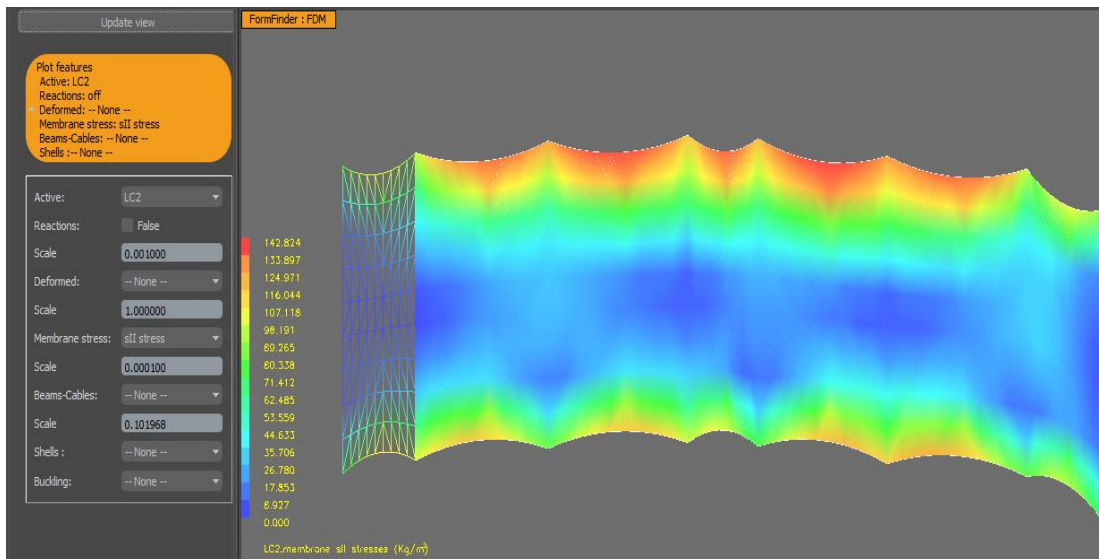


Imagen 5.4 Esfuerzos sII de la membrana
 Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

Después de analizados y obtenidos todos los esfuerzos, se trabajarán con los obtenidos, LC2 sI.

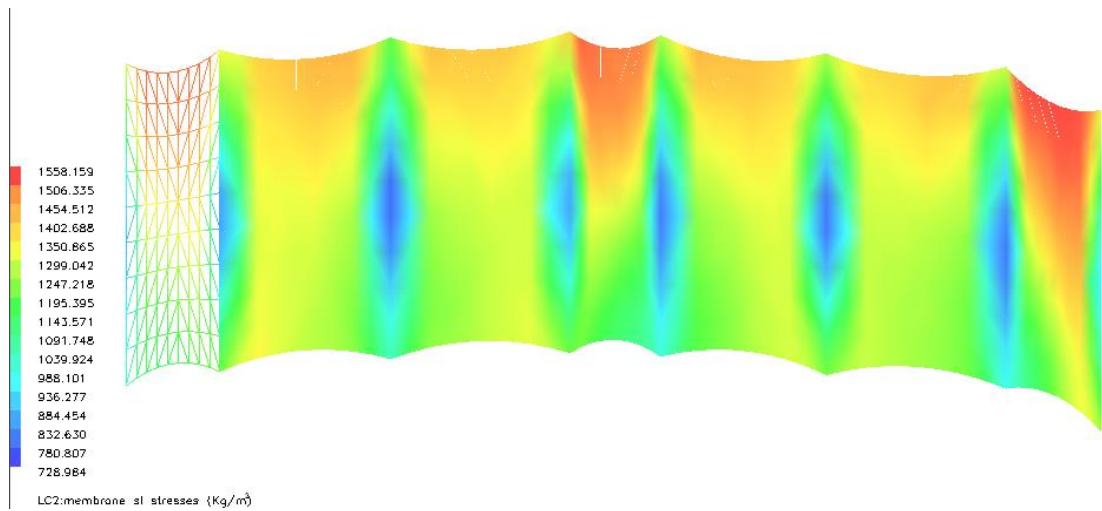


Imagen 5.5 Ilustración de los esfuerzos de la membrana con el mayor estado de carga
 Fuente: ixforten 4000, Autor: Adriana Jiménez P.

5.1.2. En sap 2000

5.1.2.1. Por Peso propio

5.1.2.1.1. S_{11}

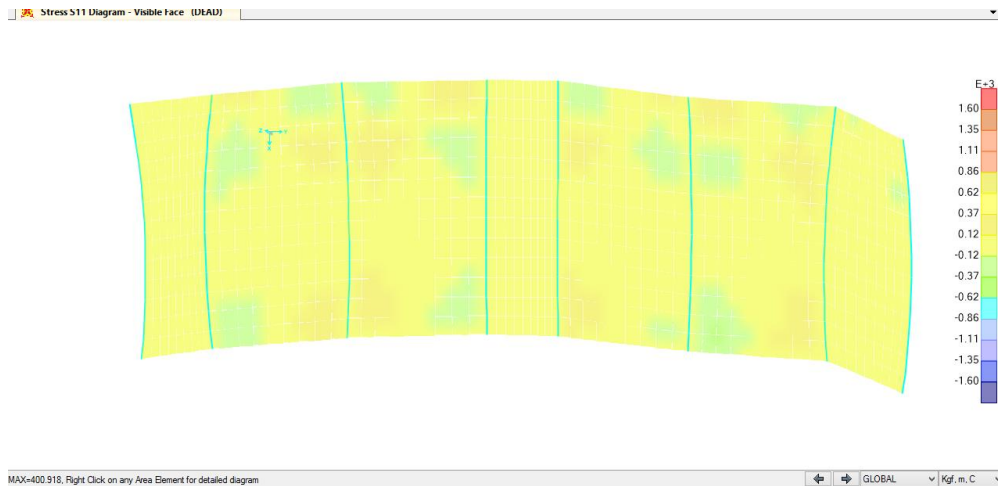


Imagen 5.6 Esfuerzos s_{11} de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

5.1.3.1.1 S_{22}

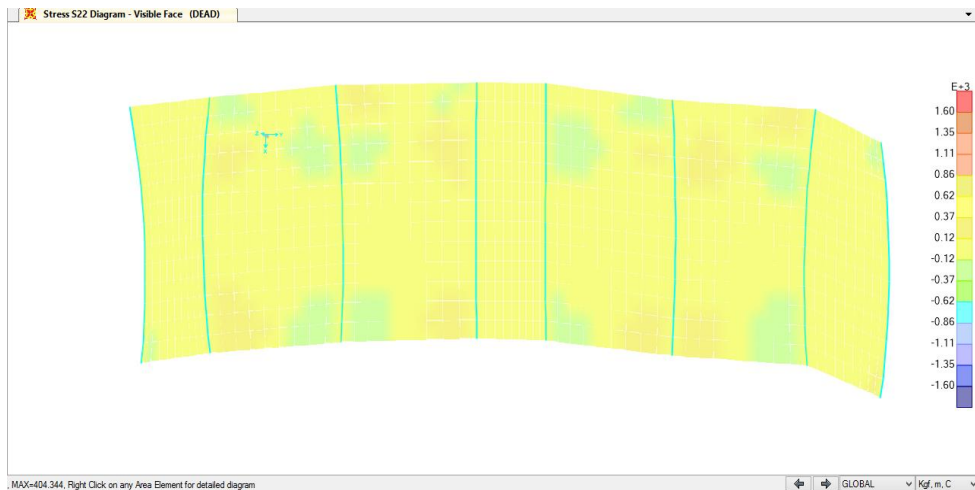


Imagen 5.7 Esfuerzos s_{22} de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

5.1.3.2 Por carga de Granizo

5.1.3.2.1 S11

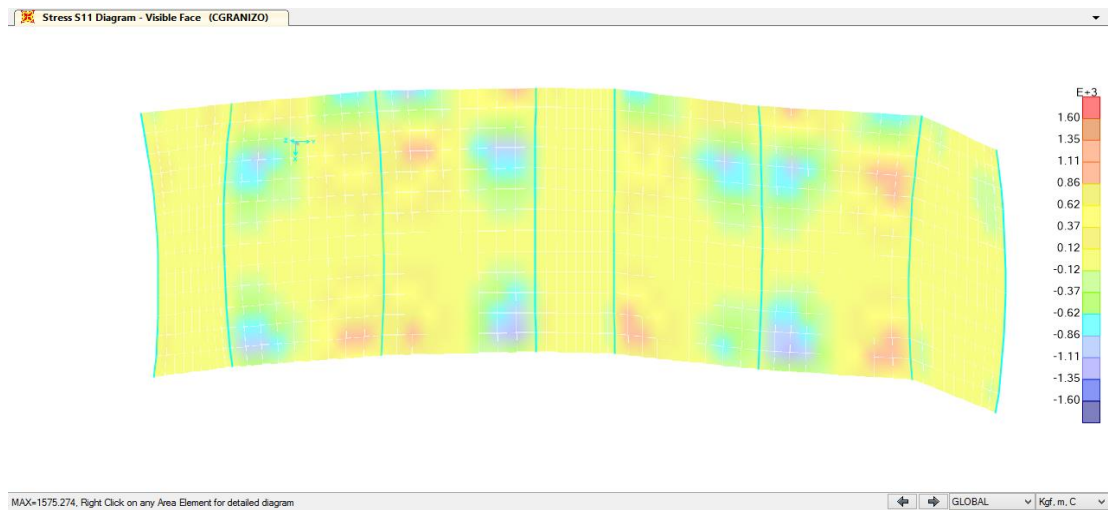


Imagen 5.8 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

5.1.3.2.2. S22

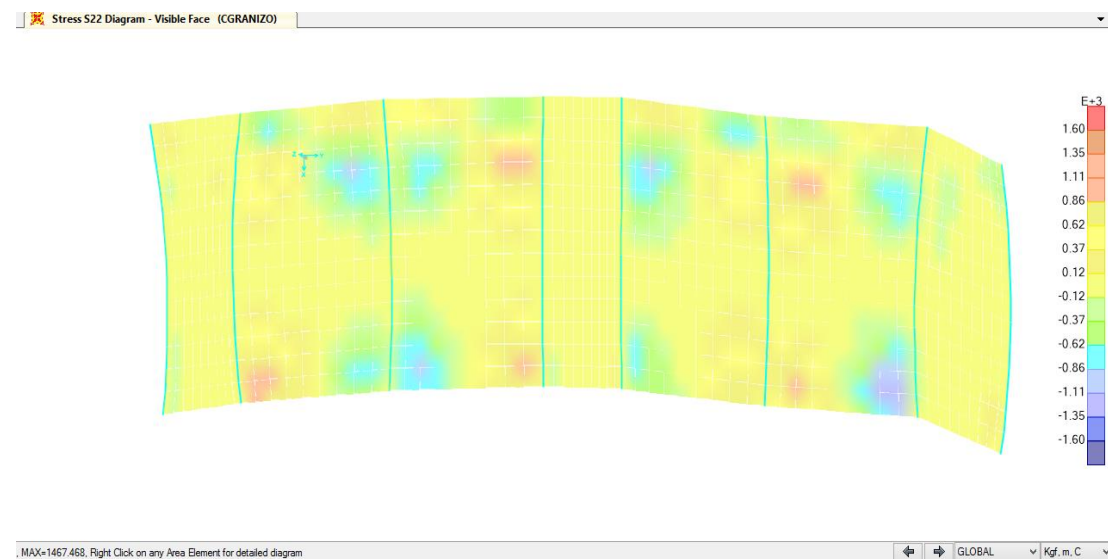


Imagen 5.9 Esfuerzos s22 de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

5.2 Comparación de los resultados de esfuerzos obtenidos en ambos programas

Tabla 5.1 Comparación de los esfuerzos por cada vano

Esfuerzos Sap 2000/CGranizo

Esfuerzos ixForten 4000/Granizo

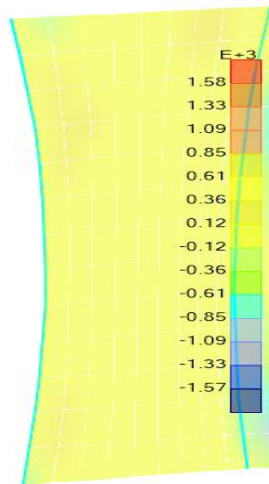


Imagen 5.10 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

1er vano

Los tonos más oscuros de la zona superior de este vano representan los lugares más traccionados.

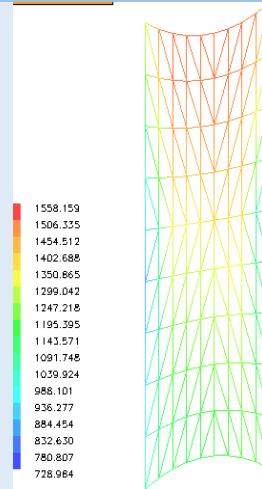


Imagen 5.11 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: ixForten4000 Autor: Adriana Jiménez P.

1er vano

La zona de color rojo es la que más se encuentra traccionada.

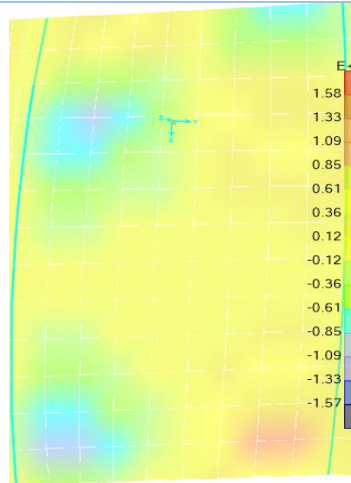


Imagen 5.12 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

2do vano

Los puntos más traccionados son los bordes laterales como se muestran en colores.

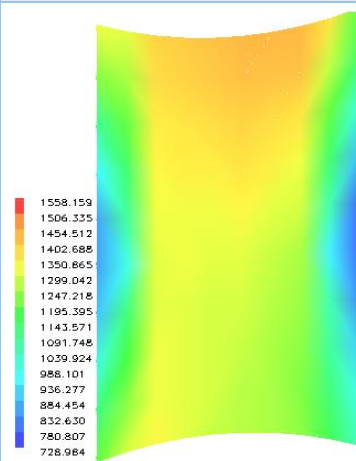


Imagen 5.13 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: ixForten4000 Autor: Adriana Jiménez P.

2do vano

Hay una tracción uniforme en este vano, pero los colores rojizos detallan más tracción en la parte superior.

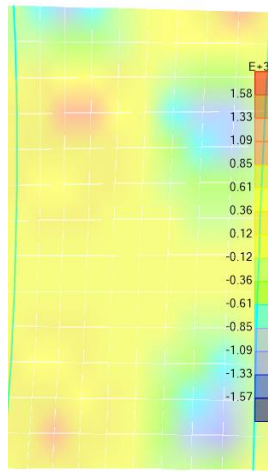


Imagen 5.14 Esfuerzos s11 de la membrana
 Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

3er vano

Los puntos más traccionados se hayan cerca de los bordes laterales.

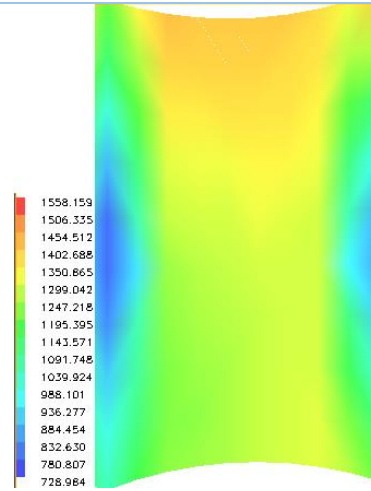


Imagen 5.15 Esfuerzos s11 de la membrana
 Fuente: ixForten4000 Autor: Adriana Jiménez P.

3er vano

La tracción se encuentra en el borde superior de la membrana.

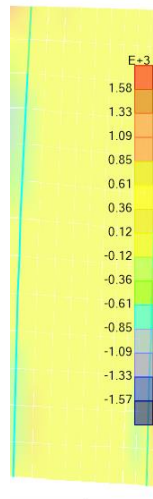


Imagen 5.16 Esfuerzos s11 de la membrana
 Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

4to vano

Todo el vano muestra una tracción uniforme.

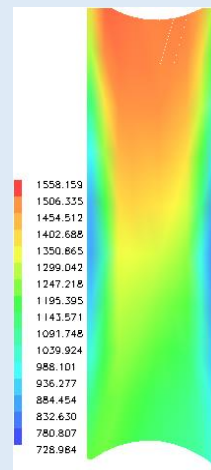


Imagen 5.17 Esfuerzos s11 de la membrana
 Fuente: ixForten4000 Autor: Adriana Jiménez P.

4to vano

Mientras que esta foto la tracción máxima se hace muy visible en este vano.

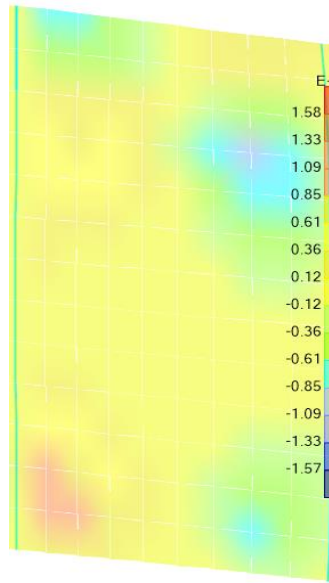


Imagen 5.18 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

5to vano

El punto más tracción se muestra en la parte inferior izquierda.

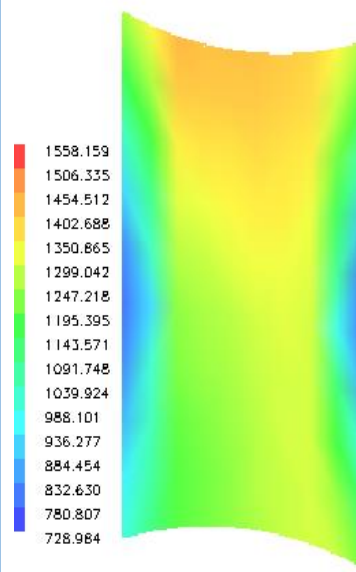


Imagen 5.19 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: ixForten4000 Autor: Adriana Jiménez P.

5to vano

Los lugares más traccionados siguen apareciendo en la parte superior de colores tomates y rojizos.

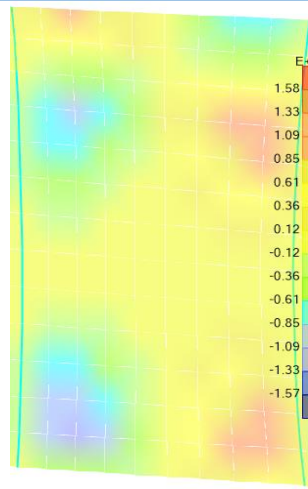


Imagen 5.20 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

6to vano

Se observa dos puntos de máxima tracción en el borde lateral izquierdo a los extremos.

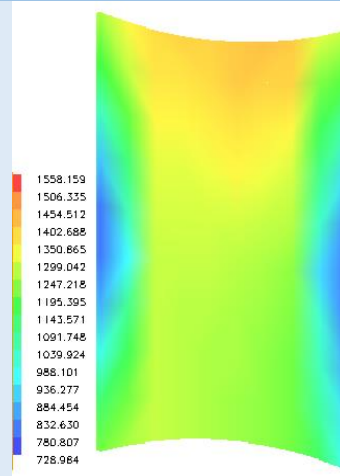


Imagen 5.21 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: ixForten4000 Autor: Adriana Jiménez P.

6to vano

Los tonos amarillos-rojizos de la parte superior izquierda indican la existencia de tracción intermedia.

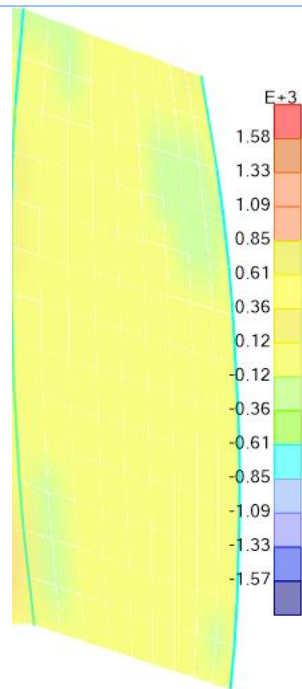


Imagen 5.22 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: Sap 2000, Autor: Adriana Jiménez P.

7mo vano

Toda la sección parece tener una tracción uniforme pero hay lugares de tonos celestes que marcan la compresión.

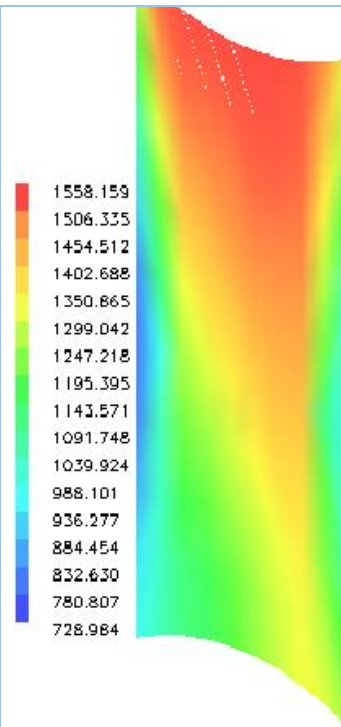


Imagen 5.23 Esfuerzos s11 de la membrana
Fuente: ixForten4000 Autor: Adriana Jiménez P.

7mo vano

La tracción máxima se sigue mostrando en la parte superior en todo el ancho del vano.

Autor: Adriana Jiménez

5.3 Deformación de la cubierta

La acción de la carga más influyente en el modelo hará que la membrana se deforme tal y como se muestra en la imagen a continuación.

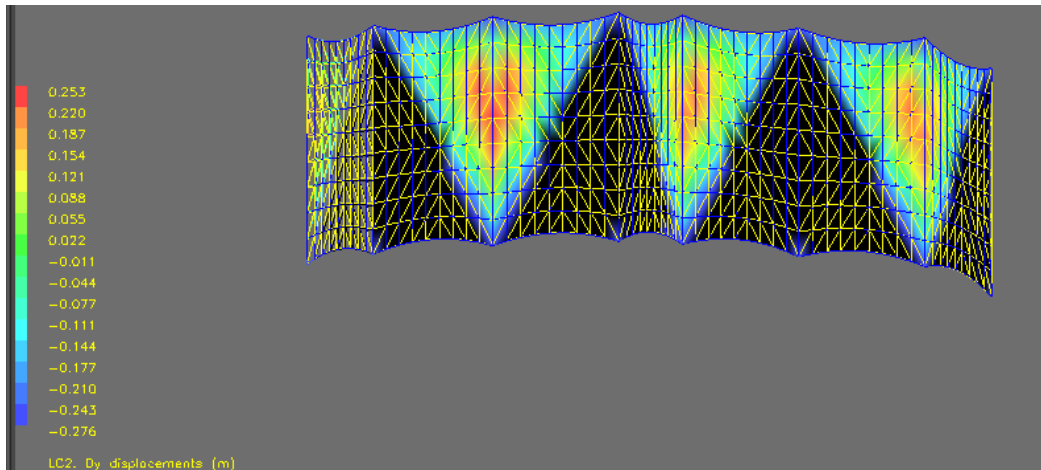


Imagen 5.24 Deformaciones de la membrana, por carga de granizo
Fuente: ixForten4000, Autor: Adriana Jiménez P.

5.4 Comparación Esfuerzos

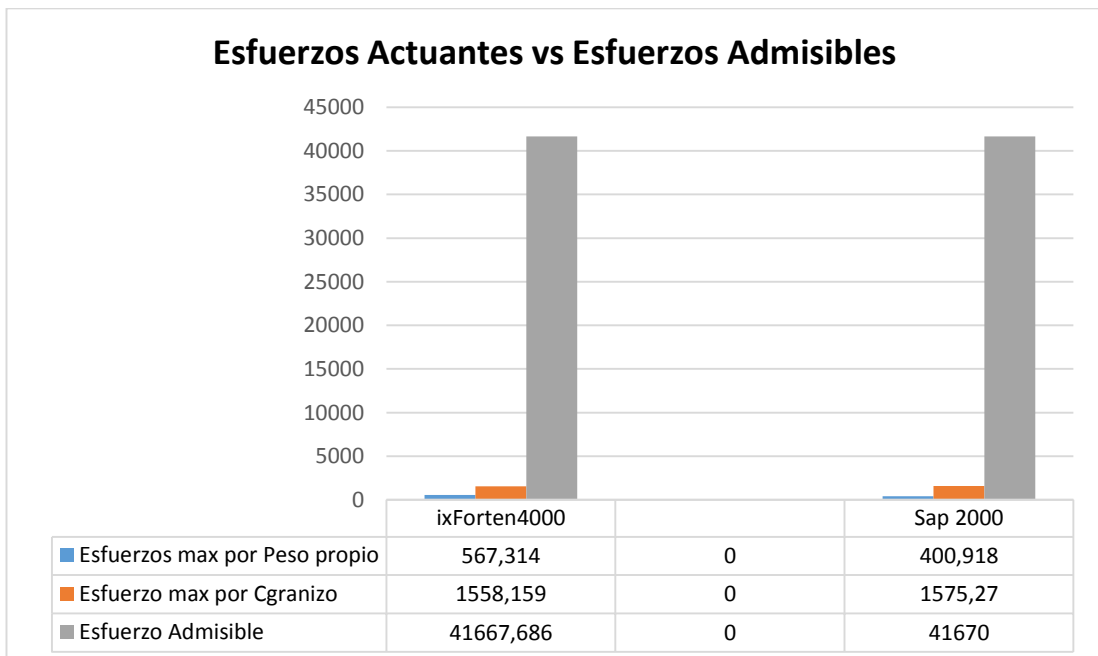


Imagen 5.25 Gráfico de comparación de esfuerzos
Fuente: excel, Autor: Adriana Jiménez P.

5.4 Comparación Técnica de ambas propuestas.

Tabla 5.2 Comparación técnica.

<i>ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS PROPUESTAS DE CUBIERTA</i>	
<i>CERCHA METÁLICA</i>	<i>TENSO ESTRUCTURA</i>
<i>Diseño geométrico común</i>	Diseño geométrico único y en armonía con el ambiente.
<i>La cubierta tiene un peso de 24 t aproximadamente</i>	Pesa 27 t aproximadamente
<i>Las secciones que se usaran para hacer de ella eficiente son 3 de cada tipo</i>	Se usara un solo tipo de viga de sección variable.
<i>Costo presupuestado aproximado: \$133 000</i>	Costo presupuestado aproximado: \$168 000
<i>Cubierta de Placa Galvalumen presenta propiedades de dicho material: aislamiento común para el clima</i>	Cubierta de Membrana Precontraint T2 de Ferrari, presenta propiedades de aislamiento especiales: * térmico: especializado para filtrar radiación *acústico: propagación de ruido aéreo o de impacto
<i>Conexiones soldadas y apernadas sencillas</i>	Conexiones soldadas, apernadas, confección de la membrana con cables.
<i>Construcción de proceso común.</i>	Construcción requiere mínima cantidad de recursos
<i>Montaje con uso de poleas</i>	Montaje con el empleo de grúa telescópica
<i>Mano de obra especializada: personal adecuado para cada trabajo</i>	Mano de obra especializada: personal adecuado para cada trabajo
<i>Uso de Acero A36 en los perfiles.</i>	Uso de Acero A36 y Acero A586 para los cables

Autor: Adriana Jiménez P.

5.5 Comparación Económica de ambas propuestas

Tabla 5.3 Comparación económica de las propuestas

ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO DE LAS PROPUESTAS DE CUBIERTA		
	Metálica	Tenso
Perfiles	\$ 80,135.10	\$ 90,627.80
cubierta	\$ 25,224.42	\$ 31,975.74
cables	\$ -	\$ 36,305.01
Conexiones	\$ 20,801.12	\$ 8,956.48
Pintura	\$ 6,884.22	\$ -
TOTAL	\$ 133,044.86	\$ 167,865.03
[\$/m²]	\$ 100.11	\$ 126.31

Autor: Adriana Jiménez P.

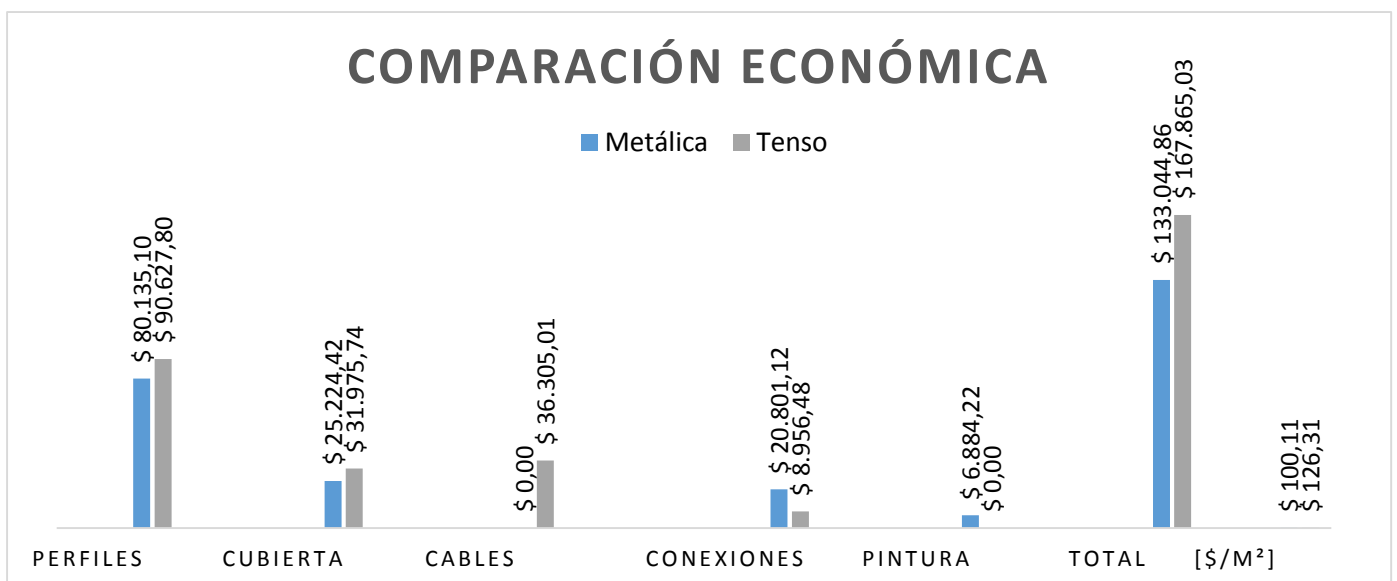


Imagen 5.27 Ilustración económica de las propuestas

Fuente: Excel, Autora: Adriana Jiménez P.

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La razón básica de esta investigación se encuentra en ampliar la aplicación de las membranas o textiles en los campos de la Ingeniería Civil, como en este caso el diseño de la cubierta del estadio emblemático del país.

Para analizar la versatilidad de estas estructuras tensadas fue necesario compararla de forma técnica y económica con una estructura similar y que sea del mismo uso.

6.1. Conclusiones

1. Para la Cubierta Metálica se obtuvo un valor de 0.07135 t/m^2 por carga viva; mientras que para la Tenso Estructura fue de 0.02446 t/m^2 ; la diferencia radica en el tipo de cubierta y el grado de inclinación.
2. En cuanto a la carga de viento en la Cubierta Metálica se aplicó una carga de 0.01 t/m^2 mientras que en la Tenso Estructura la carga de viento obtenida del cálculo fue de 0.02 t/m^2 , esta diferencia dada por el factor “ C_t ” del grado de inclinación de la estructura y la dirección del viento.
3. La carga de lluvia y la carga de granizo que se aplicó en ambas estructuras fue del mismo valor: 0.027 t/m^2 y 0.05 t/m^2 respectivamente; esto debido a que la NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015 no detalla calculo específico para la de lluvia y se trabajó con lo obtenido de la ASCE 7-10 y en cuanto a la carga de Granizo el análisis de ambas normas determinó resultados similares por lo que se aplicó la norma vigente en el país.

4. En cuanto a la carga sísmica su cálculo se basó en la determinación del Cortante Basal con la NEC-15 y ASCE 7-10, los resultados obtenidos fueron un coeficiente del mismo valor: 0.47W. En la comparación de espectros (imagen 3.45) se puede observar que las condiciones límites del espectro de la NEC-15 son menores a los de la ASCE 7-10.
5. Las cargas de mayor influencia son: Carga Viva para la Cubierta Metálica y Carga de Granizo para la Tenso Estructura.
6. La combinación crítica para la Cubierta Metálica es la Comb12 mientras que para la Tenso Estructura es la Comb14, esta diferencia debido a que para cada una de ellas las cargas influyentes son distintas.
7. El sistema estructural de hormigón que representa la parte del palco existente del estadio, modelado en SAP2000 hizo de estos diseños la representación exacta de las propuestas así como también agregó resistencia al sistema en conjunto: hormigón y acero, hormigón, acero, cables y membrana.

Cubierta Metálica

8. El análisis modal para este diseño da como resultado un periodo de 2.87s y una frecuencia=0.35.
9. El desplazamiento máximo bajo la combinación más influyente del diseño es de 0.308m.

10. Se obtuvieron finalmente las secciones resistentes y eficientes para el diseño de la propuesta:

Nombre Sección	Dimensiones [m]	
	Diámetro (m)	Espesor (m)
Cordón Superior	0.30	0.0060
Cordón Sup 2	0.20	0.0050
Cordón Sup 3	0.10	0.0015
Cordón Inferior	0.30	0.0060
Cordón inf 2	0.20	0.0045
Cordón Inf 3	0.10	0.0020
Montante	0.15	0.0025
Montante2	0.10	0.0020
Diagonal	0.10	0.0030
Puntal	0.30	0.0050

Nombre Sección	Dimensiones [m]			
	t3	t2	tf	tw
Correa	0.20	0.08	0.003	0.003
Correa2	0.15	0.05	0.0017	0.0017

11. Cuidando del peso de la estructura y la eficiencia de los materiales se decidió emplear secciones variables a lo largo de la cubierta, es decir, a medida que la sollicitación disminuiría la sección y dimensión del elemento proporcionalmente también disminuiría.

Tenso Estructura:

12. Para este diseño, el análisis modal dio como resultado un periodo de 2.31s y una frecuencia igual a 0.43.
13. En cuanto a los desplazamientos, analizado con la combinación más crítica (COMB14) se obtiene un valor de 1.41m

14. Al encontrarse desplazamientos de valores muy grandes, se identifica la no linealidad geométrica; para ello se realizó un análisis no lineal y el resultado obtenido fue un desplazamiento de 0.356m, lo que representa un control del 25% del total de las deformaciones.

15. Se obtienen finalmente las secciones de la viga de acero principales para el diseño de nuestra cubierta:

Nombre Sección	Dimensiones [m]					
	t3	t2	tf	tw	t2b	tfb
VM1	0.8	0.35	0.025	0.015	0.35	0.025
VM2	0.6	0.30	0.015	0.010	0.30	0.015
VM3	0.5	0.25	0.010	0.008	0.25	0.010

16. Las secciones de cable que soportan el peso de la membrana y las cargas son:

Nombre Sección	Dimensión [m]
	diámetro
Cable1	0.050
Cable2	0.038
Cable3	0.040
Tensor	0.025

17. La pre-tensión juega un papel muy importante en cuanto al comportamiento no lineal de las membranas; para esto la Guía Europea de estructuras tensadas establece que las membranas se pre-tensan un 0.8% de su módulo de Elasticidad, permitiendo eliminar arrugas en su instalación y encontrando un equilibrio en cuanto a forma y esfuerzos.

18. Los esfuerzos máximos de tracción se observan en el tejido de la membrana y estos fueron:

- ixForten 4000: 1558.159 kg/m²
- Sap 2000: 1575.27 kg/m²

S1 en la dirección principal o dirección de urdimbre.

19. Concluyendo que dichos esfuerzos son similares y comparables en magnitud ya que ambos programas no poseen el mismo sistema de resolución existirá un margen de error en los resultados.

20. Al observar el gráfico comparativo de esfuerzos se determina que los esfuerzos de ambos programas (ixForten4000 y Sap2000) representan el 3.78% y 3.74% respectivamente; de su capacidad de resistencia; lo que nos muestra la elasticidad del material de la membrana y garantiza la durabilidad del mismo.

Finales

21. Esta investigación permitió conocer la complejidad de los materiales textiles: lonas o membranas compuestas; con una bibliografía únicamente Europea y con pocos programas especializados en este tipo de materiales al intentar buscar una estructura resistente y eficiente en Sap 2000 el resultado en cuanto a las membranas fue la presencia de esfuerzos de tracción y compresión concluyendo que dicho programa identificaba estas áreas como láminas; a diferencia de las membranas estas poseen rigidez y superficie pequeña mas no mínima.

22. En la primera propuesta (cercha) se necesitan 24 210kg de Acero A36 mientras que para la Estructura Tensada 27 380 kg, permitiendo concluir que las secciones de esta última son grandes ya que debe resistir los esfuerzos de la membrana.
23. En cuanto a los costos de las propuestas, la Tenso Estructura versus la Cercha Metálica difieren en \$34 820.17 aproximadamente; esto debido al costo y montaje de los cables y membrana que son los elementos principales de este tipo de estructura, justificando así toda la inversión. El costo por metro difiere en 26.2 lo que no hace una muy representativa para el material de cubierta que se usa, con propiedades térmicas y acústicas propias apropiadas para un centro de eventos deportivo.
24. Este tipo de estructuras tensadas requieren de menores recursos para su construcción y montaje por lo que al ser comparadas con estructuras rígidas como las de hormigón; la ejecución de la construcción es de menor duración, no requiere de encofrados y su habilitación sería de forma inmediata.
25. La razón principal por la que se construyen este tipo de estructuras básicamente es por el tiempo de construcción más rápido, su montaje requiere menor tiempo, no necesita de encofrados ni soldar cada uno de sus elementos, no se requiere tiempos de fraguado ni deshabilitar el lugar en el que se

construya. Por lo que representa un factor de gran importancia a la hora de construir.

6.2 Recomendación:

- 1) La complejidad de esta investigación se dio al ya tener establecido un modelo previo a la disertación por lo que se debía buscar dar el equilibrio y soporte necesario para mantener el modelo inicial, por lo que recomiendo que el proceso de diseño de una estructura tensada se realice de la manera como la proponen las guías y algunos libros:
 - ✓ Determinar la pre-tensión inicial con la que se instalará la membrana.
 - ✓ Resolver el problema de rigidización de los bordes garantizando mantener dicha pretensión.
 - ✓ Buscar los esfuerzos a los que se someterá la membrana.
 - ✓ Finalmente encontrar la forma adecuada de la cubierta con el uso de los cables que serán parte de la confección de la sobre cubierta.
- 2) Es necesario controlar las cargas más influyentes de la estructura a diseñarse y la combinación más crítica para determinar el valor máximo de las deformaciones; de requerirse controlar dichas deformaciones se debe hacer un análisis No Lineal de ellas.
- 3) El cálculo y análisis con la Norma Ecuatoriana de la Construcción se recomienda ir comparando con la Norma Americana ASCE 7 -10 para tener una referencia de cuanto no deben exceder o estar alejados nuestros resultados de dicho reglamento.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, T. F. (ABRIL de 2011). “CÁLCULO Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CUBIERTA DEL MERCADO CENTRAL DE LA PARROQUIA DE PÍNTAG EN BASE A TENSO-ESTRUCTURA CON EL USO DE BAMBÚ GIGANTE (DENDROCÁLAMUS ASPER)”. Sangolquí, Cantón Rumiñahui, Ecuador.

ARQHYS. (s.f.). *ARQHYS*. Obtenido de <http://www.arqhys.com/construccion/estructuras-membrana-tensada.html>

ARQUITECTURA TEXTIL. (s.f.). Obtenido de <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/11991622/Arquitectura-Textil-Tenso-estructuras.html>

Basset Luis, U. P. (s.f.). *ESTRUCTURAS NEUMATICAS*. Valencia, España.

Basset Salomon, Luisa (Universidad de Valencia). (s.f.). *ESTRUCTURAS NEUMÁTICAS. VALENCIA, ESPAÑA*.

Basset, L. (s.f.). *Estructuras Neumáticas*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30383/Estructuras%20neum%C3%A1ticas.pdf?sequence=1>

Bermúdez, D. J. (s.f.). *LAS TENSOESTRUCTURAS SE TOMAN LOS JUEGOS OLÍMPICOS*. Bogotá, Colombia.

Buchholdt, H. A. (1999). *AN INTRODUCTION OF CABLE ROOF STRUCTURES. Second edition*. Londres: Thomas Telford Publications Ltd.

CIDELSA. (2014). *TensoEstructuras*. Obtenido de <http://www.cidelsa.com/tensoestructuras.html>

CIDELSA. (s.f.). Catálogo de Tenso estructuras. Santiago de Chile, Chile.

Comite Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (10 de 01 de 2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN*. Quito, Pichincha, Ecuador.

- Duran, J. I. (2011). LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LAS TENSO ESTRUCTURAS. España.
- EMELDIS. (s.f.). *EMPALMES*. Obtenido de <http://www.emeldis.com.ar/contenido/productos4.htm>
- ESPACIO CUBIERTO. (s.f.). TENSOESTRUCTURAS.
- Estrada, A. (2005). 80 años de Frei Otto. *Arquitectura*.
- FISCHER, O. (s.f.). *Unión de Acople Rápido Nemag*. Obtenido de <http://www.ortizfischer.com.ar/productos/8/union-de-acople-rapido-nemag.html>
- Johnson, C. (s.f.). *COMO EMPALMAR CABLES DE ACERTO*. Obtenido de http://www.ehowenespanol.com/empalmar-cables-acero-como_92492/
- Luisa, B. (s.f.). ESTRUCTURAS TENSADAS.
- Marroquin, P. A. (s.f.). *Guía básica de TENSO ESTRUCTURAS*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/josecarloscoronelsalvador/tensoestructuras>
- Martínez, J. d. (22 de octubre de 1999). INGENIERIA ESTRUCTURAL, Universidad Autónoma de México. México.
- Serge Ferrari. (s.f.). *Materiales Serge Ferrari*. Obtenido de <http://es.sergeferrari.com/>
- Sergio Preidikman, J. C. (s.f.). ANÁLISIS DINÁMICO DE MÁSTILES ARRIOSTRADOS.
- Sinha, S. (2014). *Arquigrafico*. Obtenido de <http://www.arkigrafico.com/las-tenso-estructuras-o-arquitectura-textil/>
- SN. (s.f.). *Tensoestructuras*.
- Sofistik, E. d. (s.f.). *SOFiSTiK*. Obtenido de <http://www.sofistik.com/es/soluciones/fem/estructuras-ligeras/>
- Stephanie Castro, R. C. (s.f.). TENSO ESTRUCTURAS. VENEZUELA.

Subramanian, D. N. (1999). *Principles of Space Structures Second Edition*. New Delhi: Wheeler Publishing.

TENSO-ESTRUCTURA. (s.f.).

TEXSA. (s.f.). SISTEMA DE AISLAMIENTO ACUSTICO.

Valcarcel, J. P. (s.f.). ESTRUCTURAS ESPACIALES: ENTRE LA IMAGINACIÓN Y LA CRISIS. Sevilla, España.