

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“PARÁMETROS DE CÁLCULO Y DISEÑO DE CUBIERTAS MECANIZADAS EN ACERO A-36 Y POLICARBONATO. DISEÑO DE LA CUBIERTA DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO”

PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

**CAPT. DE E. BYRON RUBÉN VEGA MORENO
CAPT. DE E. HUGO GEOVANNY DÍAZ CAJAS**

SANGOLQUÍ, FEBRERO DEL 2007

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

1.1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1.1 Clasificación de las cubiertas.	2
1.1.2 Cubiertas características.	3
1.1.3 Cubiertas típicas.	4
1.1.4 Cubiertas actuales.	5
1.2 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO.	6
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO.	6
1.4 ANTECEDENTES.	6
1.4.1 Acero estructural.	7
1.4.2 Planchas de policarbonato.	9
1.4.3 Sistema automatizado.	11
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.	12
1.6 METAS DEL PROYECTO.	12
1.7 METODOLOGÍA.	13

CAPÍTULO 2

RESPALDO TEORICO

2.1 POLICARBONATO.	14
2.1.1 Tipos de policarbonato.	14
2.1.2 Placas de policarbonato alveolar.	16
2.1.2.1 Principales usos de las placas alveolares.	17
2.1.2.2 Características de las placas alveolares.	18

2.1.2.3	Accesorios de las placas alveolares.	21
2.1.2.4	Manejo de las placas alveolares.	24
2.1.2.5	Armado de cubiertas con placas alveolares.	26
2.1.3	Degradación del policarbonato.	28
2.2	EL ACERO.	29
2.2.1	Historia del acero.	29
2.2.2	Composición del acero.	31
2.2.3	Propiedades del acero.	33
2.2.4	Acero A-36.	34
2.3	CATEGORIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS.	36
2.3.1	Estructuras de acero pesadas.	36
2.3.2	Estructuras de acero ligeras.	38
2.4	TIPOS DE CUBIERTAS.	43
2.4.1	Cubiertas fijas.	44
2.4.2	Cubiertas mecanizadas.	44
2.5	PARTES INTEGRANTES DE UNA CUBIERTA.	45
2.5.1	Estructura.	46
2.5.2	Mecanismo.	46
2.5.3	Anclaje.	47
2.6	FILOSOFÍA DE DISEÑO.	48

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE LOS MATERIALES

3.1	ALCANCE Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO.	50
3.2	ENSAYO DE COMPRESIÓN.	51

3.2.1	Objetivos.	52
3.2.2	Desarrollo del ensayo.	52
3.3	ENSAYO DE TRACCIÓN.	57
3.3.1	Objetivos.	58
3.3.2	Desarrollo del ensayo.	58
3.4	ENSAYO DE FLEXIÓN.	62
3.4.1	Objetivos.	63
3.4.2	Desarrollo del ensayo.	63
3.5	ENSAYO DE IMPACTO.	68
3.5.1	Objetivos.	69
3.5.2	Desarrollo del ensayo.	69
3.6	HOJA TÉCNICA DE LOS MATERIALES.	72

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE CARGAS

4.1	CARGAS Y FUERZAS QUE INTERVIENEN EN LA ESTRUCTURA.	74
4.1.1	Cargas Muertas.	75
4.1.2	Cargas Vivas.	76
4.1.3	Cargas de Viento.	77
4.1.4	Cargas Sísmicas.	79
4.1.5	Cargas de Lluvia y Granizo.	81
4.2	ESTUDIO DE LA SOLICITACIÓN VIENTO.	82
4.2.1	Características del viento.	83
4.2.2	Cargas de viento en estructuras.	83
4.2.3	Cargas de viento: normas y códigos.	85

4.2.4 Efectos aeroelásticos.	86
4.2.5 Ensayos en el túnel de viento.	87
4.3 CALCULO DE LOS ESTADOS DE CARGA QUE SE PRESENTAN EN LAS DIFERENTES POSICIONES DE LA CUBIERTA. (AL CERRARSE O ABRIRSE).	88

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DEL MODELO COMPUTARIZADO

5.1 GEOMETRÍA BÁSICA DE LA ESTRUCTURA.	101
5.1.1 La arquitectura del Edificio Central de la ESPE.	101
5.1.2 Forma de la cubierta.	102
5.1.3 Pendientes mínimas.	103
5.1.4 Aerodinámica.	104
5.2 ESTABLECIMIENTO DEL MODELO COMPUTARIZADO.	106
5.3 DISEÑO DE LA CUBIERTA MECANIZADA.	145
5.3.1 Resultados de la estructura.	145
5.3.2 Comprobación de la compacidad de las secciones.	157
5.3.3 Diseño de los elementos críticos.	160
5.4 DISEÑO DEL DISPOSITIVO MÓVIL.	176
5.5 DISEÑO DEL RIEL.	188
5.5.1 Comprobación de la compacidad de la viga.	188
5.5.2 Comprobación del alma.	189
5.5.3 Comprobación de los patines.	190
5.6 DISEÑO DEL ANCLAJE DEL RIEL.	192
5.6.1 Carga permitida.	192

5.6.2	Carga de diseño.	192
5.6.3	Selección del anclaje.	193
5.6.4	Criterios de diseño.	194
5.6.5	Modalidades de falla de los anclajes.	195
5.6.6	Distancia del borde.	196
5.6.7	Cargas aplicadas en los anclajes.	197
5.6.8	Resistencia a la carga.	198
5.6.9	Espesor del material base.	199
5.6.10	Carga de ajuste del anclaje.	199
5.6.11	Instalación de los anclajes.	199
5.6.12	Diseño del anclaje.	200

CAPÍTULO 6

MECANISMOS DE CONTROL

6.1	AUTOMATIZACIÓN.	203
6.1.1	Parte operativa.	204
6.1.2	Parte mando.	205
6.2	CLIMA.	206
6.2.1	Presión barométrica.	206
6.2.2	Lluvia y granizo.	208
6.2.3	Humedad ambiental.	209
6.2.4	Viento.	210
6.3	MECANISMOS DE CONTROL.	211
6.3.1	Conmutador de velocidad del viento.	211
6.3.2	Conmutador de temperatura y humedad.	213

6.3.3 Interruptor manual.	214
6.4 MOTORES Y REDUCTORES DE VELOCIDAD.	215
6.4.1 Motores.	215
6.4.2 Reductores de velocidad.	219
6.5 SISTEMA ELÉCTRICO.	221

CAPÍTULO 7

7.1 PRESUPUESTO.	227
------------------	-----

CAPÍTULO 8

8.1 CONCLUSIONES.	230
8.2 RECOMENDACIONES.	236

CAPÍTULO I

PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

1.8 INTRODUCCIÓN

La presente tesis comprende el análisis de los parámetros de diseño de cubiertas ligeras con materiales novedosos como el policarbonato para la cobertura de distintos tipos de estructuras, estas cubiertas tiene un uso generalizado debido al poco peso, su fácil transporte y montaje, unido a un costo bastante reducido respecto a otros sistemas de cobertura.



Fotografía 1.1: Cubierta de plaza de toros en España.

Como cubierta se entiende el elemento constructivo de cerramiento, situado sobre una edificación para protegerla de las condiciones atmosféricas. La principal función de una cubierta es evitar la entrada de agua y otros agentes ambientales al espacio habitable, además es un factor importante en la protección térmica. Este elemento constructivo desde los primeros

tiempos ha sido parte fundamental en su función de refugio y fuente de continuos retos constructivos.

La mayoría de los problemas que se encuentran en el diseño de cubiertas provienen de sus propias condiciones. Para cumplir su función principal debe ser completamente impermeable y asegurar el suficiente aislamiento térmico; pero también debe permitir enormes dilataciones y contracciones, provocadas por su exposición directa a la intemperie, sin merma de sus funciones. Otro factor que se debe tomar en cuenta es que si la cubierta ha de ser transitable o no, por ello asume tantas complicaciones que aún sigue siendo causa de numerosos defectos en la edificación.

1.8.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS

A lo largo de la historia, cada cultura ha ideado diversos tipos de cubiertas, asociados a formas, técnicas, materiales, usos o condiciones climáticas absolutamente dispares.



Fotografía 1.2: Cubiertas de caña.

Una de las clasificaciones más evidentes es la geométrica, que las divide en planas e inclinadas, pero, en cambio, plantea un enorme rango de soluciones intermedias. Atendiendo a los materiales se puede distinguir entre cubiertas en las que intervienen superficies impermeables, como las láminas asfálticas o las chapas metálicas, y las que se construyen únicamente con piezas más porosas, como las tejas cerámicas. También hay clasificaciones de orden técnico que se ocupan de las juntas y ensamblajes entre los materiales, la disposición de las vertientes, el tipo de ventilación o el orden de las distintas capas especializadas.

1.8.2 CUBIERTAS CARACTERÍSTICAS

Las cubiertas generalmente empleaban los materiales autóctonos de la zona y se los utilizaba de acuerdo a las exigencias climáticas. En las regiones montañosas las cubiertas deben presentar una fuerte inclinación, para evacuar de manera adecuada el agua y granizo e impedir filtraciones y sobrecargas en el sistema estructural. En los países donde las inclemencias estaban asociadas al viento frío, se desarrollaron elementos ligeros de gran espesor, fabricados con paja o ramas entrelazadas para conseguir un aislante natural impermeable. En las zonas cálidas con lluvias escasas, especialmente en la cuenca del Mediterráneo, se encuentran diversos tipos de cubiertas planas, construidas con capas de arcilla impermeable o con suelos cerámicos dispuestos sobre una cámara ventilada. En los climas tropicales, en cambio, es tradicional la

cubierta inclinada, que evacúa las lluvias abundantes y compone una especie de sombrilla para protegerse de las radiaciones solares.

1.8.3 CUBIERTAS TÍPICAS

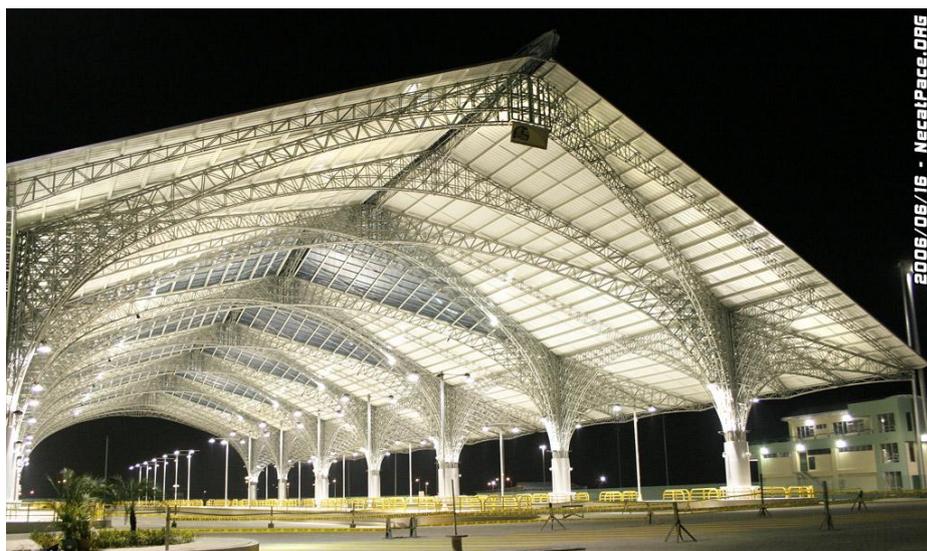
Una de las soluciones más lógicas y comunes para solucionar el problema del agua es evacuarla hacia el exterior mediante planos inclinados, conocidos con el nombre de vertientes, faldones o aguas. Estos elementos se apoyan sobre estructuras rígidas, muros, tabiques o ligeras armaduras triangulares llamadas cerchas con las que se pueden cubrir grandes luces y permitir los movimientos de dilatación y contracción. Otra consideración es que el espacio que habilitan bajo la cubierta permite ventilar la humedad residual y actúa como una cámara aislante, reduciendo los excesos de calor y frío que se producen en el exterior.

Sin embargo, cuando se pretende habitar el espacio inmediato a la cubierta es necesario disponer un sistema completamente impermeable y aislado. Las primeras soluciones históricas empleaban chapas metálicas, especialmente de cobre, plomo o cinc, que conseguían superficies muy impermeables a costa de un pésimo comportamiento térmico, gélido en invierno y tórrido en verano. Por esa razón las buhardillas y áticos se convirtieron en las viviendas urbanas habituales de la servidumbre y las clases sociales más desfavorecidas. Gracias a los avances energéticos y a la tecnología de los materiales aislantes, en continua evolución, este

problema se pudo subsanar y los espacios bajo cubierta se convirtieron en los más atractivos para la vivienda.

1.8.4 CUBIERTAS ACTUALES

En la actualidad las cubiertas tienen la tendencia a ser ligeras, no se diseñan para resistir carga sino más bien para disiparla. En la actualidad, la tendencia mundial es optimizar las cubiertas diseñando estas para un material específico, logrando de esta manera mejoras estructurales y costos competitivos en el mercado. Lo que definitivamente determina el diseño de las cubiertas modernas es la intención que se busca obtener con la implementación de éstas. Provocar sensaciones de cobijo, de amplitud, de libertad, de ligereza o masividad, movimiento, contraste, etc. Se entiende que los aspectos funcionales y estructurales están completamente considerados y con la implementación de la cubierta, totalmente satisfechos.



Fotografía 1.3: Cubierta de la Metrovía de Guayaquil.

1.9 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

- Determinar los parámetros de cálculo y diseño de cubiertas mecanizadas, aplicados al diseño de la cubierta del Edificio Central de la ESPE.

1.10 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los beneficios del bajo peso del policarbonato al momento del diseño estructural.
- Determinar si con el análisis de cargas que se haga es factible considerar el uso de motores y mecanismos que muevan estas cubiertas.
- Determinar que mecanismos de control son aplicables a este tipo de cubiertas.
- Determinar las recomendaciones necesarias para que una cubierta de este estilo resista la solicitación viento.

1.11 ANTECEDENTES

El uso de materiales nuevos como el policarbonato brinda nuevas oportunidades de diseño por sus características físicas y químicas, consecuentemente necesitamos de nuevas estructuras que se adapten a estos materiales. Aprovechando algunas de las características de policarbonato es muy oportuno plantear una estructura móvil.

1.11.1 ACERO ESTRUCTURAL



Fotografía 1.4: Utilización del acero estructural.

Podemos decir que los últimos cien años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero en la construcción de todo tipo de estructuras como edificios, puentes inclusive en la industria automotriz, naval, etc.

El motivo principal está centrado en la enormidad de usos que se le puede dar y la versatilidad de sus propiedades mecánicas. Otra ventaja, es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiera dar al producto.

Entre los materiales de construcción, como es de conocimiento general, el acero tiene una posición relevante; combina la resistencia mecánica, su capacidad de ser trabajado, disponibilidad y su bajo costo. Siendo así, es fácil comprender la importancia y el amplio uso de los aceros en todos los campos de la ingeniería, en las

estructuras, sean éstas fijas, como los edificios, puentes, etc. o sean móviles, en la industria ferroviaria, automotriz, naval, aeronáutica, etc.

Los aceros al Carbono comunes, simplemente laminados y sin ningún tratamiento térmico, son plenamente satisfactorios y constituyen un porcentaje considerable dentro de los aceros estructurales.

En otras aplicaciones, se exige una relación resistencia/peso más satisfactoria. Es el caso de la industria del transporte, en donde el equipo utilizado (camiones, buses, equipo ferroviario, naval, etc.) debido a las condiciones propias del servicio, debe caracterizarse por un peso relativamente bajo y una alta resistencia. Esta condición es fundamental ya que estas estructuras están sujetas a esfuerzos e impactos severos, además deben tener una resistencia a la corrosión adecuada.

Para todas estas aplicaciones, los aceros indicados son los de baja aleación, más conocidos como los de "alta resistencia y baja aleación".

De esta forma, se puede establecer la siguiente división de los aceros empleados en estructuras:

- Aceros al Carbono.
- Aceros de alta resistencia y baja aleación.

Por razones de importancia para nosotros, se dará especial énfasis a los aceros al Carbono.

1.11.2 PLANCHAS DE POLICARBONATO



Fotografía 1.5: Estadio Olímpico de Atenas.

El policarbonato fue descubierto en 1953 en forma simultánea en la Bayer de Alemania y la General Electric en EEUU. Se trata de un plástico duro, resistente, liviano, durable, fácilmente moldeable y susceptible de ser teñido en cientos de colores.

Se usa comúnmente cuando se requiere un material a través del cual se pueda mirar, pero suficientemente resistente a los malos tratos.

Las principales características del policarbonato son:

- **Virtualmente irrompibles:** Su resistencia al impacto es 200 a 300 veces mayor que la de un vidrio y 8 a 30 veces mayor que la de un acrílico. Por ello, están reemplazando con gran eficacia al vidrio frente a situaciones de alto riesgo de impacto o choque.
- **Livianas:** Resultan 6 veces más ligeras que el vidrio y 3 veces más livianas que el acrílico. Esto permite considerables ahorros

en las estructuras de apoyo y en la mano de obra. Al mismo tiempo ofrecen elevada seguridad.

- **Muy flexibles:** Se curvan fácilmente en frío. No se rajan ni se quiebran al ser cortadas, aserradas o perforadas.
- **Alta capacidad de transmisión de luz:** Dispersan uniformemente la luz incidente. Instaladas en cielos y tragaluces proporcionan una agradable luz difusa en zonas interiores, sin crear brillos ni puntos de color. Permiten minimizar los requerimientos de luz artificial, generando importantes ahorros de energía eléctrica.
- **Estables y durables:** Son sometidas a un tratamiento especial que las protege del amarillamiento y les permite resistir aproximadamente por 10 años los efectos del viento, lluvia, granizo, rayos UV y otros agentes dañinos que actúan a la intemperie. Este tratamiento las resguarda de las típicas pérdidas de resistencia al impacto o de transmisión de luz que afectan a las planchas de fibra de vidrio tradicionales.
- **Aislantes térmicos:** La baja conductividad térmica del policarbonato unida a la estructura con cámaras de aire del policarbonato celular, otorga un aislamiento térmico prolongado, mejor que el del vidrio y el de plásticos no celulares.
- **Difícilmente inflamable:** Está definido por normas internacionales como "auto extingible" (a muy altas temperaturas se funde, sin que las llamas se dispersen), aunque en los productos celulares, por su estructura geométrica, este

comportamiento es mantenido sólo parcialmente, debido al efecto "chimenea" que se manifiesta en los alvéolos. No es tóxico.

- **Colores y espesores:** Los colores reducen el paso de la luz y del calor. Una plancha lisa incolora deja pasar el 90% de la luz; una blanca opalina transmite un 50% y una bronce o gris, alrededor de un 36%. Las placas celulares de 4 mm de espesor son las más usadas en viviendas. Las de 6, 8 y 10 mm, se utilizan principalmente en galpones, invernaderos, piscinas y multicanchas.

1.11.3 SISTEMA AUTOMATIZADO

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte Operativa.
- Parte de Mando.

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos.

La Parte de Mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban aparatos

electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes del sistema automatizado.

1.12 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER

- Al momento no existen en el país estudios detallados sobre cubiertas mecanizadas y los parámetros que se deben tomar en cuenta para su cálculo y diseño.
- Dar a la Escuela Politécnica del Ejército un diseño novedoso de cubierta mecanizada para su Edificio Central, utilizando tecnología de vanguardia en este tipo de estructuras, lo cual generará un mejoramiento estructural y estético en dicho edificio.
- Este tipo de cubierta, al ser completamente alivianada, puede ser utilizada en la ampliación de otros edificios de la Escuela, sin la necesidad de reforzar la estructura de éstos.
- Este tipo de cubiertas al ser livianas, 6 veces más ligeras que el vidrio y 3 veces más liviana que el acrílico, permiten considerables ahorros en las estructuras de apoyo y en la mano de obra, al mismo tiempo ofrecen elevada seguridad.

1.13 META DEL PROYECTO

- Establecer los parámetros que se deben tomar en cuenta para el diseño de cubiertas mecanizadas en nuestro país.

- Realizar la verificación de resistencia y características físicas en el laboratorio del policarbonato realizando los ensayos de laboratorio de cada material.
- Verificar los estados de carga que se presentan en las diferentes posiciones de la cubierta (al cerrarse o abrirse) mediante la utilización de SAP 2000.
- Establecer lineamientos para este tipo de estructuras, los materiales utilizados y los mecanismos para su automatización.

1.14 METODOLOGÍA

- Análisis Deductivo a partir de la observación científica de estructuras existentes, Método Histórico Comparativo.
- Análisis Deductivo – Inductivo de la resistencia de los materiales y sus características, con ayuda de los laboratorios de la Escuela Politécnica del Ejército.
- Análisis Deductivo – Inductivo de los parámetros principales que arroje el cálculo estructural.
- A través del análisis de los resultados en un proceso deductivo establecer conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2

RESPALDO TEÓRICO

1.15 POLICARBONATO

Para entender de mejor manera el material que se está estudiando se sabe que el policarbonato es un grupo de termoplásticos fácil de trabajar,

moldear y termoformar, y son utilizados ampliamente en la manufactura moderna. El nombre "policarbonato" se basa en que se trata de polímeros. Los termoplásticos son un tipo de polímeros (macromoléculas generalmente orgánicas formada por la unión de moléculas pequeñas) que con los efectos del calor pasan a un estado viscoso o fluido. Esta propiedad es utilizada para dar la forma deseada a estos materiales por medio de moldes y al enfriarse quedarse con la forma que se pretendía obtener.

Tabla 2.1: Características mecánicas del policarbonato.

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
Densidad	1.2	gr / cm ³
Resistencia a la compresión	800	kg / cm ²
Resistencia a la tracción	600	kg / cm ²
Resistencia a la flexión	900	kg / cm ²
Resistencia al impacto	30	kg / cm ²
Temperatura de uso	< 115°C	
Coefficiente de dilatación	0.065	mm / m°C
Conductividad térmica	0.21	W / (m.K)

1.15.1 TIPOS DE POLICARBONATO

Policarbonato compacto liso se adapta a numerosas aplicaciones y diseños. Por ejemplo: fabricación de piezas de automóviles, teléfonos celulares, computadores, equipos deportivos, electrónicos, electrodomésticos, CDs, DVDs, anteojos, equipos médicos, contenedores de alimentos, botellas y cientos de otros productos de uso diario. Se usan en reemplazo de vidrios y en la fabricación de espejos, con la ventaja de ser un material "no cortante". Las cárceles modernas lo han incorporado con entusiasmo debido a los niveles de seguridad que permiten.

Planchas de policarbonato acanalado: Se usan especialmente en industrias, para techar pasos cubiertos, claraboyas, invernaderos, pérgolas, terrazas, etc. La gran ventaja que tienen sobre las planchas acanaladas de fibra de vidrio es que son menos quebradizas, su resistencia es más de 20 veces mayor, son fáciles de instalar y no se astillan. Además permiten crear estructuras curvas con un radio mínimo de 4 m.

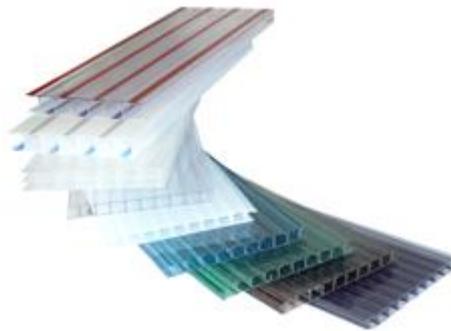
Planchas de policarbonato celular, también denominadas "de cámara" o "alveolar". Se emplean como revestimiento de muros y cubiertas, tanto en viviendas (terrazas, piscinas, solarios, patios, fachadas) como en edificios (deportivos, comerciales, industriales, institucionales, etc.). También se utilizan en la fabricación de utensilios y muebles (lámparas, biombos, etc.). Pueden tener dos, tres o cuatro paredes. Las de 3 o más se usan en climas extremadamente fríos. Su uso se ha masificado rápidamente debido a su particular combinación de propiedades.

1.15.2 PLACAS DE POLICARBONATO ALVEOLAR

Este tipo de placas toman particular importancia en este estudio por ser un elemento primordial en el desarrollo de este trabajo de investigación, estas hojas son diseñadas para un sinnúmero de aplicaciones de techado y cristalería, para condiciones de clima extremos y son conocidas por sus cualidades trasmisoras de luz y

refractantes. Son atractivas, duraderas, fáciles de instalar y protegen a las personas y pertenencias dentro de una estructura de los elementos naturales y de los daños de la radiación UV.

En comparación a otro tipo de placas, la de policarbonato alveolar, también denominada celular o de cámara, ofrece enormes ventajas de costo-beneficio por sobre otros materiales cuando es necesario cubrir, dividir o revestir un espacio que requiera permanecer transparente. Posee excelente transparencia, muy buenas propiedades aislantes, una elevada resistencia al impacto y su gran flexibilidad permite crear arcos sin necesidad de calentarlo. Las placas poseen un protector contra la radiación ultravioleta, lo cual es relevante para que sus propiedades se mantengan en el tiempo.



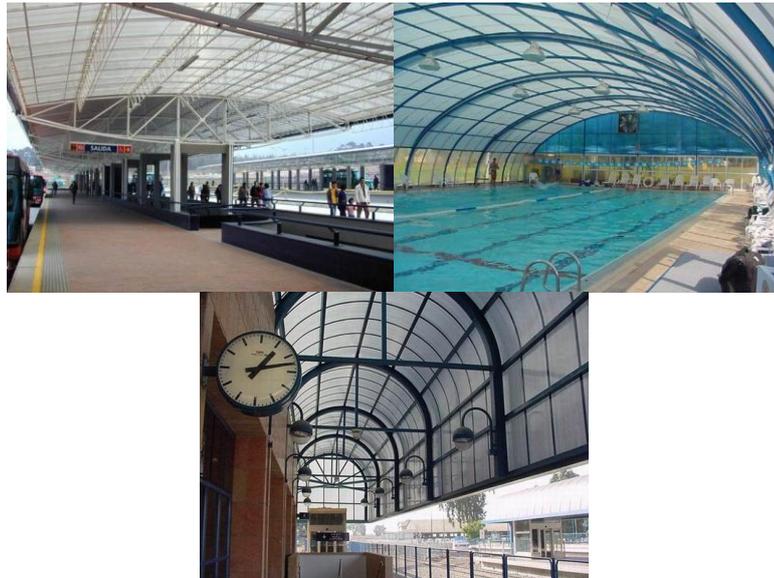
Fotografía 2.1: Muestras de policarbonato alveolar.

1.15.2.1 PRINCIPALES USOS DE LAS PLACAS ALVEOLARES

A continuación se enumeran los principales usos de las placas alveolares, sin embargo es importante advertir que para cualquier proyecto estándar o innovador (cubiertas mecanizadas), será absolutamente necesario tomar en consideración las propiedades de cada placa en particular,

su interacción con otros materiales como el acero, aluminio o madera, utilización de los accesorios correctos, así como los correspondientes cálculos estructurales.

- Cubiertas de techos, tragaluces y como parte de las fachadas en supermercados.
- Centros comerciales y de exhibición.
- Depósitos o bodegas.
- Gimnasios polideportivos, piscinas temperadas, industrias.
- Cubiertas en estaciones de ferrocarriles, de autobuses estaciones gasolineras.
- Terrazas, pérgolas, patios, etc.
- Invernaderos para plantas y cultivos bajo techo.
- Paneles divisorios transparentes para oficinas y exposiciones.
- Cielos falsos, transparentes o semitransparentes.
- Como elemento de fachada y cubierta en casas prefabricadas.
- Paraderos de buses de transporte público.



Fotografía 2.2: Diversas cubiertas construidas con policarbonato alveolar.

1.15.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS PLACAS ALVEOLARES

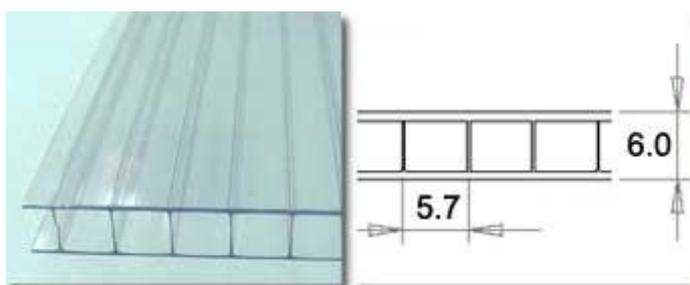
Estas placas tienen una configuración y geometría espaciales donde se han tomado las cualidades inherentes del policarbonato y se han mejorado para proveer una amplia serie de ventajas importantes entre las que se puede mencionar:

- ***Excelente aislamiento***, la configuración alveolar con paredes múltiples atrapa aire dentro de la hoja proveyendo gran aislamiento térmico.
- ***Transmisión de la luz del día controlada***, ideal para aplicaciones donde transmisiones de luz específicas son requeridas.
- ***Virtualmente irrompible***, resiste al impacto 200 veces más que el vidrio y 8 veces más que el acrílico.

- **Retardante de flama**, cumple con la mayoría de estándares internacionales, a temperaturas muy altas el material se derrite pero la llama no se esparce, tienen un punto de ignición a los 510°C.
- **Flexible y fácil de instalar**, fácilmente curvado para arcos. No se resquebraja o rompe cuando se corta, asierra o perfora.
- **Liviano**, 1/6 del peso del vidrio y 1/3 del peso del acrílico.
- **Excelente resistencia al clima**, una lámina exterior protege las hojas contra el amarillamiento y protege la superficie de largas exposiciones a los rayos UV.
- **Desempeño antiempañado**, un tratamiento opcional de drenaje de condensación previene efectivamente la acumulación de humedad.

En placas de policarbonato alveolar se puede encontrar una serie de variedades, cada una con sus características bien definidas, pero las más comercializadas por su versatilidad y gran resistencia son las láminas de 6 y 8mm cuyas principales características se describen a continuación.

Placas alveolares de 6mm.



Fotografía 2.3: Placa de 6 mm.

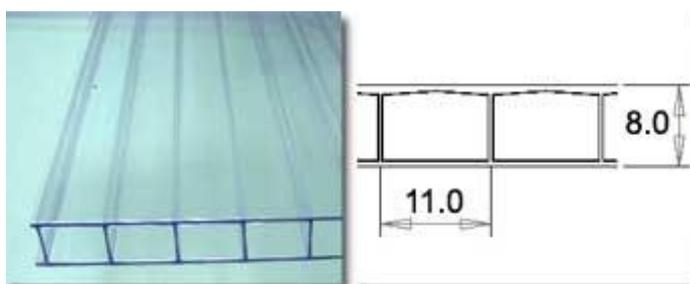
Tabla 2.2: Especificaciones técnicas P. A. 6mm.

Peso kg/m ²	1,3
Ancho estándar mm	1050, 2100
Radio mínimo para doblado en frío m.	1,05
Valor U, según ASTM C177 Watt/m ² ·°C	3,6

Tabla 2.3: Especificaciones ópticas P. A. 6mm.

Color	Transparente
Transmisión de luz %, 90° a la superficie	80
Coefficiente de sombra	0,88
Coefficiente de aumento del calor solar	0,75
Refractancia solar	0,193
Transmisión visible	0,788

Placas alveolares de 8mm.



Fotografía 2.4: Placa de 8 mm.

Tabla 2.4: Especificaciones técnicas P. A. 8mm.

Peso kg/m ²	1,5
Ancho estándar mm.	1050, 2100
Radio mínimo para doblado en frío m.	1,4
Valor U, según ASTM C177 Watt/m ² ·°C	3,3

Tabla 2.5: Especificaciones ópticas P. A. 8mm.

Color	Transparente
Transmisión de luz %, 90° a la superficie	80
Coefficiente de sombra	0,86
Coefficiente de aumento del calor solar	0,74
Refractancia solar	0,151
Transmisión visible	0,76

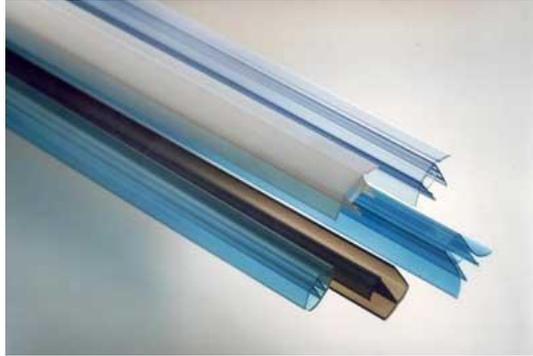
1.15.2.3 ACCESORIOS DE LAS PLACAS ALVEOLARES

Para un adecuado uso de las placas de policarbonato se debe contar con los accesorios adecuados y que cumplan ciertas condiciones mínimas. Estos tienen las siguientes características:

- Son diseñados específicamente para el uso de hojas de policarbonato.
- Asegura el sellado apropiado del sistema y las características de resistencia de cargas.
- Ayudan a realizar el trabajo segura y rápidamente.

Perfiles conectores de policarbonato

Estos accesorios conectan las hojas y cubren conexiones estructurales y permiten cubrir grandes áreas, especialmente el techado semitransparente, sin obstruir la luz entrante en los puntos de conexión. Los perfiles no aumentan fuerza estructural; ellos están a nivel de las hojas y pueden ser dobladas al radio mínimo permitido por las hojas. Los perfiles están protegidos del daño UV por una lámina externa sobre su superficie.



Fotografía 2.5: Accesorios del policarbonato alveolar.

Tornillos auto perforantes

Los tornillos que se utilizan para la colocación del policarbonato se denominan auto perforantes debido a que su punta realiza la perforación de la estructura donde se van a alojar, poseen una amplia gama de aplicaciones. Esto se debe a que han sido diseñados para las más altas exigencias.

Su punta en forma de mecha, permite el perforado de chapas de acero, maderas, plásticos y otros siendo sumamente sencilla su aplicación.

Los tornillos auto perforantes son especialmente revestidos para ambientes con condensación, utilizables en las cubiertas de invernaderos y piscinas.



Fotografía 2.6: Tornillos auto perforantes punta de mecha.

➤ **Ventajas**

La ventaja en la utilización se basa en la optimización de los tiempos de armado, ya que en una sola operación perfora, rosca y fija lo que uno desee. Otras de las ventajas que posee es su costo, ya que no son más caros que los tornillos similares tradicionales.

➤ **Características técnicas**

Los tornillos auto perforantes están contruidos en acero aleados y tratados térmicamente y pueden ser sometidos a un torque máximo de 200 kg/cm.

Su dureza superficial altamente resistente a la fricción y corte permite que el filo de la punta sea reutilizado varias veces.

En el armado de cubiertas con policarbonato se deben utilizar tornillos con arandelas de neopreno vulcanizadas a arandelas de acero que evita la rotura del neopreno y por consiguiente no permite filtraciones.



Fotografía 2.7: Tornillo perforante y arandela.

Siliconas y cintas sellantes

Estos accesorios sirven para el sellado impermeable de las placas de policarbonato alveolar, impiden que la humedad y

los agentes exteriores como el polvo e insectos ingresen en los canales de las placas manteniendo su limpieza y características de transparencia.



Fotografía 2.8: Siliconas y sellantes.

1.15.2.4 MANEJO DE LAS PLACAS ALVEOLARES

Protección

- La capa de polietileno protege las hojas durante el transporte y almacenaje además del polvo y rayones.
- La capa de polietileno de la parte superior de la hoja tiene impresiones que indican el lado con revestimiento de protección UV.
- La capa de polietileno inferior de la hoja no tiene protección UV.

Limpieza

- Estas presentan mayor y mejor servicio con una limpieza simple.
- Se enjuagan las hojas con agua.
- Se debe usar agua jabonosa para limpiar las hojas. Si la suciedad se mantiene limpia con una tela suave.

- El enjuagado y secado se realiza con una tela suave, si es posible, para prevenir manchas de agua.
- No se debe usar esponjas, cepillos o instrumentos puntiagudos ya que pueden dañar la capa de protección UV.

Almacenamiento

- El lugar debe ser seco, oscuro y bien ventilado sin exposición solar, viento, polvo u objetos duros para prevenir daños.
- Se deben almacenar en una superficie limpia, plana, elevada y ubicada sobre un material suave para prevenir daños.
- En exteriores las hojas deben ser cubiertas por un material opaco que provea protección contra el sol.
- La exposición al sol puede causar que las capas protectoras se pegue sobre la hoja y no se pueda remover.

Transporte

- Las hojas se deben transportar en vehículos adecuados, sin tornillos salientes, maderas o chapas que puedan dañarlas.
- Es recomendable embalar las hojas con cartón corrugado asegurándolas firmemente durante el transporte.

- Si el transporte de la hoja es doblado se deben respetar los radios mínimos de curvatura.
- No transporte elementos pesados apoyados sobre las hojas.
- No se debe arrastrar las hojas al moverlas.

1.15.2.5 ARMADO DE CUBIERTAS CON PLACAS ALVEOLARES

En esta sección se describen las principales consideraciones para el armado de cubiertas con policarbonato.

Paso 1

Se debe usar tornillos auto perforantes para unir la base de los perfiles conectores a la estructura de la cubierta. Asegurar los tornillos sin ejercer excesiva presión sobre el perfil, evitando que se doble.

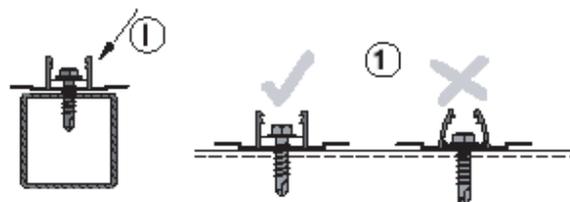


Figura 2.1: Colocación de tornillos en conector.

Paso 2

Colocar la hoja en la parte superior de los filos del perfil con la cara que tiene la protección UV hacia arriba.

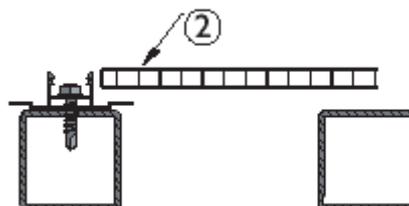


Figura 2.2: Colocación de la hoja de policarbonato.

Paso 3

Deslice la base del perfil conector bajo la hoja para unirla a la estructura.

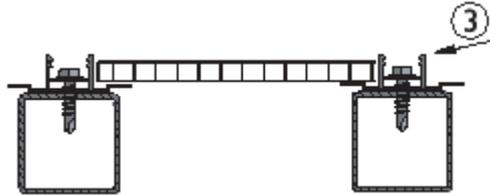


Figura 2.3: Colocación de la hoja en los conectores.

Paso 4

Con un martillo de goma colocar las tapas de los perfiles conectores.

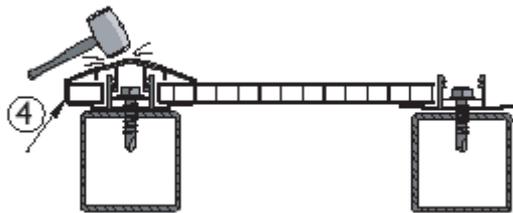


Figura 2.4: Colocación de tapas en los perfiles.

Pasos 5 al 7

Continuar añadiendo secuencialmente una hoja, la base del conector y luego la tapa hasta alcanzar el final de la cubierta. Luego de terminar la instalación se debe remover las láminas protectoras.

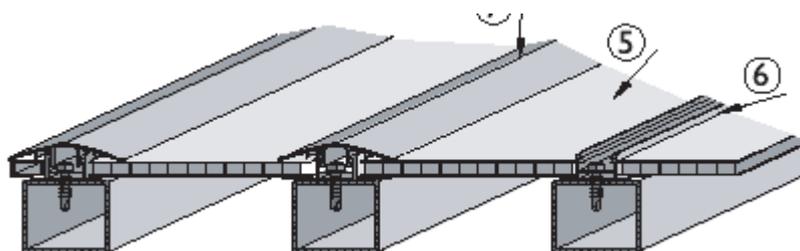


Figura 2.5: Secuencia de ensamblaje de las hojas.

1.15.3 DEGRADACIÓN DEL POLICARBONATO

La degradación de los polímeros es el proceso de deterioro irreversible que en su estado final puede conducirle a una situación en la que las prestaciones para las que ha sido seleccionado como material idóneo no sean las adecuadas. Ese proceso se produce por el ataque de determinados agentes ambientales sobre su estructura. Efectos evidentes de esos procesos en el empleo del policarbonato son el amarillamiento de las hojas, el agrietamiento, la suciedad dentro de las hojas.

Entre las principales causas de la degradación de los polímeros tenemos:

- Calor.
- Energía luminosa, causada por la radiación solar. (UV y visible)
- Hidrólisis, por el agua del entorno.
- Otros agentes como lluvia ácida, microorganismos, etc.
- El concurso del oxígeno.

1.16 EL ACERO

El aumento del consumo de Acero a lo largo del siglo XX es un fiel reflejo de la evolución en la utilización de nuevas tecnologías y materiales. Desde 1900 a 1999 el consumo aumentó de 28 millones de toneladas anuales a 780 millones de toneladas anuales. Esto determina un crecimiento promedio de 3,4 % anual a lo largo de 100 años.

1.16.1 HISTORIA DEL ACERO

La historia de la tecnología comienza con el uso de las primeras herramientas de piedra en el desarrollo y evolución del hombre. El siguiente gran paso en la evolución del hombre fue el uso y control del fuego, que se utilizó no solo para iluminar y generar calor sino que también sirvió para obtener utensilios de cerámica cocida de diversos usos. Uno de estos usos fue el desarrollo del moldeo de los primeros metales, inicialmente usado para la ornamentación.

Posteriormente, con el descubrimiento de la rueda y con el desarrollo de las técnicas de templado de los metales y sus combinaciones (aleaciones), los hombres fueron capaces de producir bronce por lo que a partir del año 3000 a.C. el humanismo ingresa en lo que denominamos Era de Bronce, con progresos en la agricultura, herramientas y los primeros pasos en la metalurgia.

Durante la Edad Media, la utilización de los metales en los arados hizo posible acrecentar de manera sustancial gran cantidad de tierra cultivable. Este punto y el desarrollo de los medios de transporte generaron una gran transformación en el comercio y por

consecuencia en las costumbres y hábitos de la civilización Europea. Un evento notable de la época fue la invención de la imprenta con moldes tipográficos metálicos.

A mediados del siglo XIX se inicia lo que hoy llamamos "Arquitectura Moderna", como una consecuencia de la revolución industrial. Uno de los primeros edificios realizado en hierro y vidrio, fue el "Palacio de Cristal" (1850), erigido por el Arquitecto J. Paxton para una Exposición Internacional en Londres.

A partir de la disponibilidad de materiales como el hierro, el vidrio y el acero, la construcción dejó de estar limitada a la mampostería de piedra y de ladrillos, y a la madera.

Dos edificios ejecutados en 1889 manifestaron este cambio de manera contundente. Estos fueron: "El Hall de la Maquinaria", obra del Arquitecto Dutert, con luces libres entre apoyos de 117 mts., y la "Torre Eiffel", obra del Arquitecto Eiffel, de 300 mts. de altura.



Fotografía 2.9: Torre Eiffel.

La construcción del primer rascacielos ejecutado con Metal Frame fue el de la "Home Insurance Company" de Chicago (1885), de 10

pisos de altura, debido al Arquitecto e Ingeniero William Le Barón Jenney.

Con relación al uso del acero en obras de infraestructura, podemos decir que el "Puente de Brooklyn" (1869), diseñado por John Roebling, fue el primer puente colgante de los EE.UU. En él se utilizaron tensores formados por cables de acero paralelos, metodología que aún se sigue utilizando frecuentemente en la actualidad. Este puente une los barrios de Brooklyn y Manhattan por sobre el East River, y consta de seis carriles para la circulación de vehículos sobre una luz de 486 m.

La década de los 30 tiene como exponentes en los EE.UU. a dos edificios notables construidos con Acero: el "Empire State Building" (1931) y el "Chrysler Building" (1930), construidos ambos en la ciudad de Nueva York.

1.16.2 COMPOSICIÓN DEL ACERO

El hierro en estado puro no posee la resistencia y dureza necesarias para las aplicaciones de uso común. Sin embargo, cuando se combina con pequeñas cantidades de carbono se obtiene un metal denominado acero, cuyas propiedades varían en función de su contenido en carbono y de otros elementos en aleación, tales como el manganeso, el cromo, el silicio o el aluminio, entre otros. Los aceros son aleaciones de hierro y carbono forjables, con porcentajes de carbono variables entre 0,008 y 2,14%. Se distinguen de las fundiciones, también aleaciones de hierro y carbono, en que la

proporción de carbono puede variar entre 2,14% y 6,70%. Sin embargo la mayoría de las aleaciones comerciales no superan el 4,5% de carbono.

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas fundamentales:

- El arrabio, obtenido a partir de mineral en instalaciones dotadas de horno.
- Las chatarras férricas.

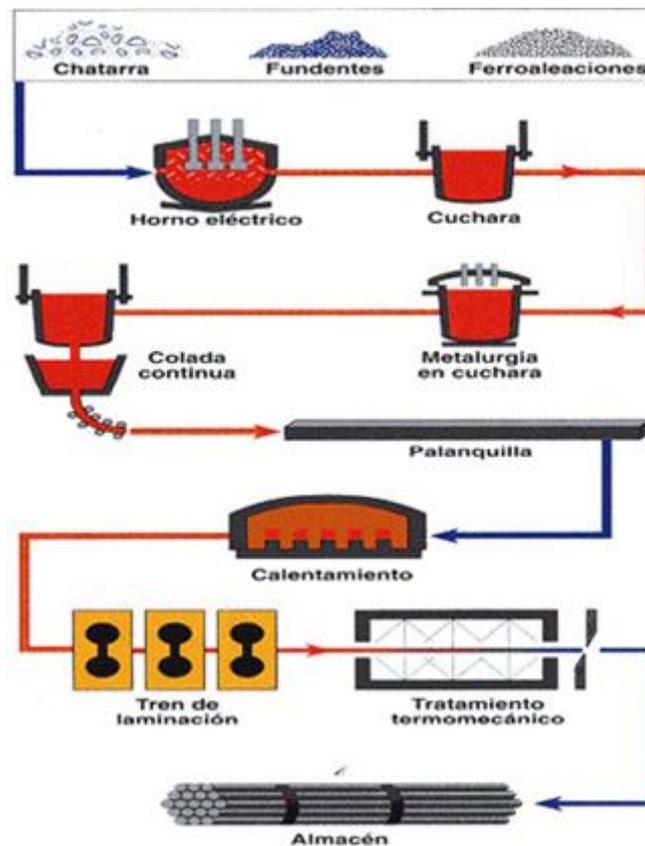


Figura 2.6: Proceso de fabricación del acero

1.16.3 PROPIEDADES DEL ACERO

Dentro de las principales propiedades del acero se encuentran las siguientes:

- **Ductilidad**, se refiere a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura.
- **Dureza**, se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.
- **Resistencia a la tracción**, es la fuerza máxima por unidad de área, que puede soportar el acero al ser estirado.
- **Maleabilidad**, es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de compresión.
- **Tenacidad**, es la conjugación de dos propiedades: ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

La forma en que se determinan con qué propiedades cuenta un material, es mediante la realización de diferentes pruebas o ensayos.

Dentro de los ensayos a que se someten los aceros, destacaremos los más utilizados:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de dureza
- Ensayo de impacto
- Ensayo de doblado

1.16.4 ACERO A-36

El manual de la ASTM (American Society for Testing and Materials) en lo concerniente al acero A-36 indica que ésta especificación cubre perfiles, placas y barras de acero al carbono de calidad estructural para el uso mediante remachado, empernado o soldado en construcción de puentes, edificios y en general para propósitos estructurales.

Se debe añadir que el programa de cálculo Sap 2000 ocupa la norma ASTM A36 del acero al tomar los datos para el diseño como el Esfuerzo de tensión de 58 Ksi y Punto de Fluencia de 36 Ksi para el diseño de estructuras metálicas, acorde también con lo estipulado en el AISC-LRDF93 (American Institute of Steel Construction). Estos datos se ilustran en las figuras que vienen a continuación.



Figura 2.7: Pantalla de Definición de Materiales en SAP2000.

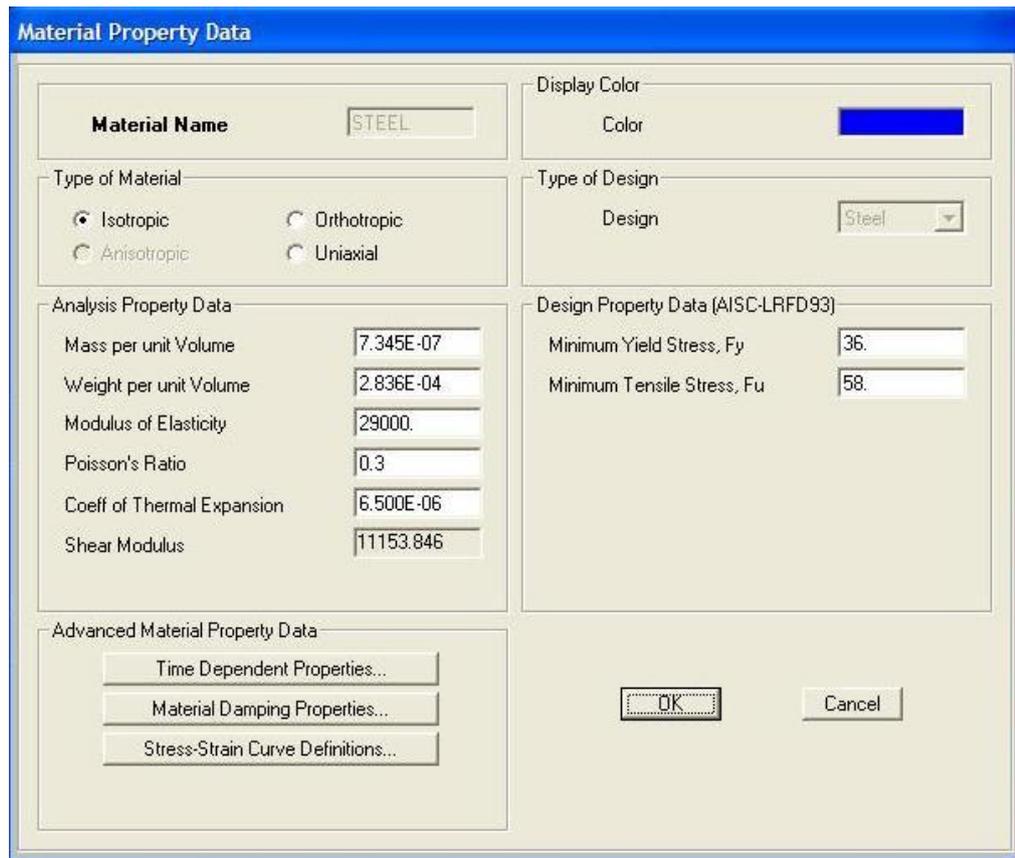


Figura 2.8: Ventana de propiedades del Acero A36 en SAP2000 (unidad Kips-in).

Además el acero A36 debe tener una soldabilidad garantizada ya que sin ser sometido a tratamientos especiales, puede ser soldado en las condiciones de la obra, dando garantías de seguridad de la unión bajo las cargas de servicio. Se entenderá que la soldabilidad se refiere a la soldadura eléctrica por arco protegido, efectuada con operarios y métodos calificados de acuerdo con las normas correspondientes. La garantía de soldabilidad del acero se refiere al cumplimiento de las exigencias de composición química que se indican en la tabla siguiente.

Tabla 2.6: Composición Química del acero A-36.

Elemento	Composición (%) para el Acero ASTM 36	
	Mínimo	Máximo
Carbono	0.25	0.29
Manganeso	0.60	1.20
Fósforo	--	0.04
Azufre	--	0.05
Silicio	0.15	0.30

1.17 CATEGORIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS

Una de las formas más comunes de clasificación de las estructuras metálicas es la que toma como referencia la cantidad de acero que se utiliza en la construcción de la estructura con relación al área de la misma. Así podemos diferenciar dos tipos de estructuras:

- Estructuras de acero pesadas.
- Estructuras de acero ligeras.

1.17.1 ESTRUCTURAS DE ACERO PESADAS

Para objeto de ésta tesis las estructuras metálicas se clasificaran en estructuras de acero pesadas, aquellas en las cuales se utiliza para su construcción más de 14 Kg/m² y es característica de edificios de gran altura. Los perfiles de acero utilizados en este tipo de estructuras tienen grandes secciones, peraltes e inercias, para resistir los esfuerzos que generan las cargas que deben soportar.



Fotografía 2.11: Estructura de acero pesada en el norte de Quito.



Fotografía 2.12: Clínica Internacional construida en estructura de acero.



Fotografía 2.13: Ejemplo de estructura de acero pesada.

1.17.2 ESTRUCTURAS DE ACERO LIGERAS

Este tipo de estructuras, a diferencia de las anteriores son sumamente ligeras y los perfiles metálicos utilizados son de secciones muy reducidas y adquieren configuraciones especiales para resistir las cargas de servicio.

Estas estructuras se encuentran generalmente en las cubiertas, donde se necesitan cubrir grandes luces sin tener grandes estructuras que las soporten.

La utilización de cubiertas ligeras para la techado de distintos tipos de estructuras tiene un uso generalizado debido al poco peso, su fácil transporte y montaje, unido a un costo bastante reducido respecto a otros sistemas de cobertura.



Fotografía 2.14: Ejemplo de estructura de acero ligera.

Dentro de las estructuras ligeras de acero utilizadas especialmente para cubiertas que es el tema de estudio de esta tesis podemos diferenciar los siguientes tipos:

ENTRAMADOS ESPACIALES

Son conocidos también como armaduras espaciales. Estos entramados poseen una gran rigidez, permiten cubrir grandes áreas de manera muy económica y ofrecen gran flexibilidad de uso en el interior de una estructura al eliminarse las columnas interiores. Estos entramados son versátiles en su forma y configuración, puede utilizarse un modulo estándar para generar parrillas planas, bóvedas cilíndricas, cúpulas y mas formas arbitrarias.

La armadura espacial más común es la parilla de doble capa, que consiste en una capa superior e inferior de cuerdas conectadas por elementos de alma. Los entramados espaciales que cubren grandes áreas libres de columnas están generalmente apoyados en las esquinas o en el perímetro.

Los tipos de miembros usados en estos entramados pueden ser perfiles de acero estructural laminados en caliente, tubos rectangulares o redondos o secciones de acero formadas en frío. En varios de estos entramados es posible utilizar de dos o más tipos diferentes de miembros.

Independiente al tipo de entramado espacial, la parte esencial de estos sistemas es el nudo. La mayor parte de los entramados tiene nudos concéntricos; es decir, los ejes centroidales de los miembros que concurren al nudo se intersecan en un punto de trabajo común en el centro del nudo. Así mismo, algunos sistemas, tienen nudos excéntricos. En estos nudos se debe considerar la flexión local de los miembros además de los esfuerzos básicos del nudo.

La mayor parte de las armaduras espaciales se ensamblan bien sea en el sitio pieza por pieza, o en el suelo por tramos que luego se levantan a su posición en el entramado. En ciertos casos, cuando las características de la construcción lo permiten, se arma todo el entramado en el suelo y luego se iza a su posición final.



Fotografía 2.15: Cubierta ejemplo de entramado espacial situada en la ESPE.

ESTRUCTURAS EN ARCO

Un arco funciona como un mecanismo de transporte de las cargas que recibe, ya sean provenientes del peso propio o de sobrecargas, hasta los muros o pilares que lo soportan.



Fotografía 2.16: Arco portante del Puente del Milenio.

Por su propia morfología trabaja básicamente sometido a compresión, por lo cual tiene la particularidad de crear empujes horizontales hacia el exterior en los puntos de apoyo, de forma que tiende a provocar la desestabilización de éstos por vuelco.

Los techos en arco son ventajosos para tramos largos, en especial si se desea tener grandes espacios libres en el centro. Bóvedas tipo barril en celosía con arriostramientos, se utilizan en hangares, gimnasios y centros comerciales. No obstante estos techos pueden estar apoyados en columnas, pueden extenderse hasta el suelo también, eliminando la necesidad de muros. Generalmente los techos son livianos, aun para luces muy grandes, ya que a estos se les da una forma tal que las cargas se transmiten a los cimientos casi por completo como fuerzas axiales de compresión.



Fotografía 2.17: Arcos de una sola pieza, cubierta del Velódromo de Atenas.

Independiente al tipo de sistema estructural elegido, se debe hacer provisión para resistir el empuje del arco. Si el suelo y sus condiciones lo permiten, la cimentación puede resistir los empujes completamente. Si no es así, se puede utilizar tirantes. Los arcos

soportados por encima del suelo pueden ser atirantados o apoyados en contrafuertes.

USO DE CABLES DE ACERO EN LAS ESTRUCTURAS

Los cables de acero de alta resistencia son eficientes para la construcción de techos de gran magnitud y solo resisten cargas por tensión axial. Su costo es relativamente bajo para la cantidad de carga que soportan pero para hacer una comparación económica deben considerarse otros componentes necesarios.

Los componentes a más de los cables requeridos, son soportes verticales y anclajes. Los soportes verticales se requieren para suministrar las amplitudes requeridas dentro de la estructura, ya que los cables se deflecan por debajo de los apoyos. En general, los cables se soportan en torres, postes o muros.

Los techos de cable se clasifican en atirantados por cables y suspendidos por cables. En techo atirantado, el tablero es sostenido por armaduras o vigas, las que son soportadas a su vez por cables en uno o más puntos. Este tipo de construcción es favorable cuando se necesitan voladizos de grandes luces, por ejemplo en hangares, paradas de colectivos, etc. En un techo colgante de cables, el tablero de este techo y otras cargas son soportados directamente por los cables.

Puesto que el número de anclajes y conexiones no se incrementa linealmente con el aumento de la luz, las estructuras de cables de mayores luces pueden costar menos por unidad de área que las de

luces más pequeñas. Esto es inverso a la relación económica de la mayoría de otros sistemas estructurales en los cuales el precio por unidad de área cubierta aumenta a medida que la luz crece.



Fotografía 2.18: Cubierta con estructura de cables situada en la Marín.



Fotografía 2.19: Cubierta de acero y cables del Cinemark en Quito.

1.18 TIPOS DE CUBIERTAS

Las cubiertas livianas por sus características y los materiales utilizados en su construcción son susceptibles de mecanización y automatización según diferentes necesidades de las actividades que se realizan al interior de las

instalaciones protegidas por dichas cubiertas. Por esta razón se pueden diferenciar dos tipos de cubiertas.

- Cubiertas fijas.
- Cubiertas mecanizadas.

1.18.1 CUBIERTAS FIJAS

Este tipo de cubiertas son aquellas que una vez construidas no se pueden mover de su ubicación, este tipo de cubiertas son relativamente más económicas que las móviles ya que no necesitan de los mecanismos y motores que la muevan.

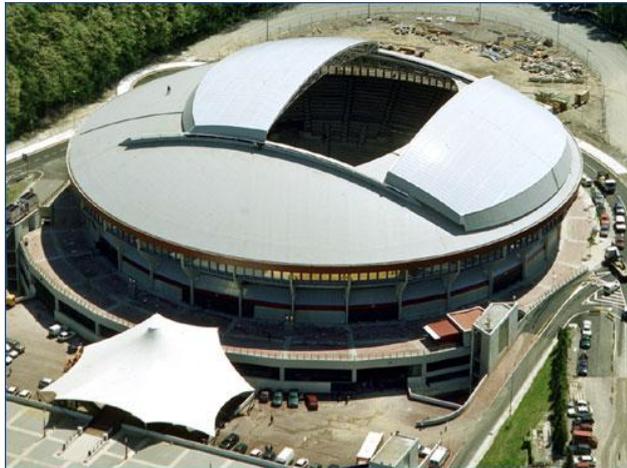
Se utilizan generalmente en instalaciones donde no se requiere un control de las condiciones climáticas al interior de las mismas ya que estas depende únicamente de las condiciones climáticas y de los materiales de la cubierta.

1.18.2 CUBIERTAS MECANIZADAS

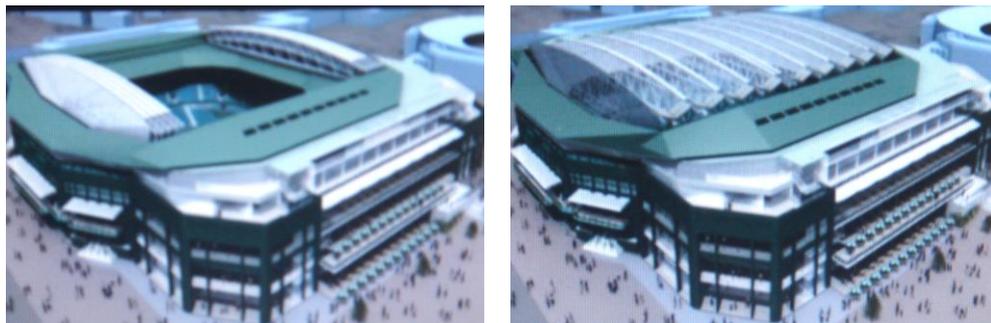
Estas cubiertas tienen dispositivos que le permiten su apertura y cierre para poder controlar las condiciones ambientales internas de la instalación. Estas estructuras son relativamente nuevas y son generalmente utilizadas en instalaciones deportivas como estadios, plazas de toros, coliseos, además de centros comerciales como por ejemplo en el patio de comidas del Mall El Jardín y Mall San Luís.

En la actualidad existen varios tipos de cubiertas mecanizadas, su forma, diseño y materiales a utilizar depende de varios factores, entre

otros se tiene la luz a cubrir, el espacio donde colocar la cubierta, la geometría de la cubierta.



Fotografía 2.20: Cubierta mecanizada tipo parpado ubicada en España.



Fotografía 2.21: Cubierta mecanizada retráctil ubicada en Wimbledon.

1.19 PARTES INTEGRANTES DE UNA CUBIERTA MECANIZADA

Las cubiertas mecanizadas disponen de tres componentes que permiten su correcto funcionamiento estructural. Las partes integrantes de las cubiertas mecanizadas son:

- Estructura.
- Mecanismo.
- Anclaje.

1.19.1 ESTRUCTURA

La estructura es la parte fija de la cubierta que comprende las vigas, las correas y el material de cubrimiento. La estructura debe ser diseñada para resistir todas las cargas y solicitaciones de la cubierta tanto al estar fija o en movimiento.



Fotografía 2.22: Estructura de la cubierta mecanizada del Mall “San Luís”.

1.19.2 MECANISMO

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



Fotografía 2.23: Motor de la cubierta mecanizada del Mall “San Luis”.



Fotografía 2.24: Rodamiento de la cubierta mecanizada del Mall “San Luís”.



Fotografía 2.25: Sistema eléctrico de la cubierta mecanizada del Mall “San Luís”.

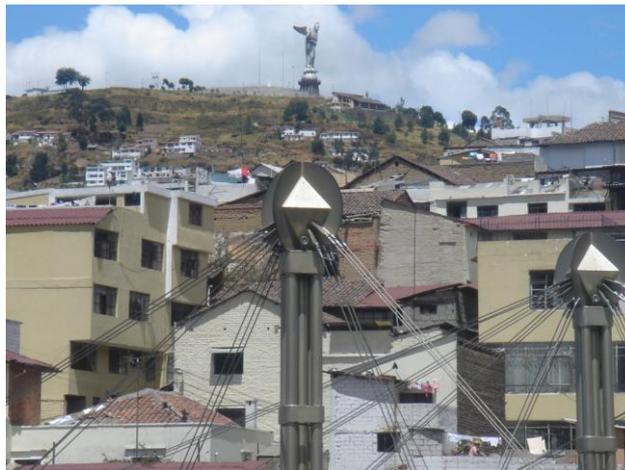
1.19.3 ANCLAJE

Las cubiertas mecanizadas de acero deben ser ancladas a las estructuras de soporte, que generalmente son columnas y vigas de hormigón armado, los dispositivos que permiten realizar esta actividad son los denominados anclajes.



Fotografía 2.26: Anclaje de una columna de acero.

Otro tipo de anclajes son requeridos para soportar la tensión en los cables en una estructura. Los medios empleados para este fin incluyen cimentaciones pesadas, cimentaciones de pilotes, partes del edificio, aros perimetrales de compresión y aros interiores de tensión. Para unir los anclajes, cada cable por lo general viene dotado con aditamentos en los extremos, con frecuencia roscados para permitir su agarre y tensionamiento mediante un gato hidráulico y la colocación de una tuerca para que sostenga al cable tensionado en su sitio. Además a veces se requieren placas de soporte para distribuir la reacción del cable.



Fotografía 2.27: Anclaje de cables de acero.

1.20 FILOSOFÍA DE DISEÑO

El diseño y construcción de estructuras de cubiertas mecanizadas requiere de una meticulosa planificación. Los elementos estructurales y de soporte, anclajes, detalles constructivos, sistemas de drenaje, accesorios decorativos y los elementos de seguridad de principio a fin de la estructura, deben ser todos cuidadosamente considerados.

Antes de establecer la filosofía de diseño de cubiertas mecanizadas se considera primeramente las exigencias estructurales y arquitectónicas.

Estas cubiertas soportan la carga de mantenimiento que no es muy significativa. La mayor carga actuante sobre la cubierta es el viento, al tener áreas extensas la fuerza que soportará será realmente importante.

Los principales factores que se toman en cuenta para el diseño de este tipo de cubiertas son:

- Las estructuras ligeras no se diseñan fundamentalmente para resistir carga sino para disiparla. Los materiales utilizados en estas cubiertas son sumamente lisos, lo que les permite evacuar rápidamente el agua, granizo y nieve para no soportar las cargas debido a su peso sino más bien disiparlas. Los polímeros como el policarbonato con el tiempo no se vuelven rugosos, su deterioro es químico que causa el amarillamiento y permite mantener su efectividad para disipar cargas.
- Los sismos son temblores producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la tierra. El análisis sísmico se basa en la masa de la estructura pero al ser las cubiertas móviles muy flexibles y construidas con polímeros ligeros carecen de masa representativa que obligue a considerar el sismo como factor fundamental.
- El esfuerzo principal que estas estructuras soportan es el viento. El estudio de la interacción del viento y las estructuras es complejo, involucra muchos campos de las ciencias como la meteorología, dinámica de fluidos, teoría de la turbulencia, dinámica estructural y métodos probabilísticos. Se deben determinar las características del viento y las cargas resultantes sobre las estructuras para poder realizar el diseño estructural de la cubierta.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE LOS MATERIALES

3.1 ALCANCE Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Como parte de los estudios de la tesis propuesta en beneficio de este tipo de estructuras en Ingeniería Civil se presenta el estudio de materiales. El alcance de este estudio permitirá determinar las características de los materiales con los que va a estar constituida la cubierta mecanizada, haciendo énfasis en las propiedades del policarbonato alveolar, ya que de este material no tenemos un código donde podamos ver sus propiedades y características para ser aplicadas en el diseño en este tipo de cubiertas.

Este análisis tiene como objetivos específicos los siguientes puntos:

- Determinar las propiedades de fabricación del policarbonato alveolar, por medio de la clasificación de los diferentes espesores que existen de este tipo de material y sus características específicas para cada espesor.
- Conocer las condiciones físicas y características mecánicas del policarbonato alveolar, por medio de ensayos de diferentes muestras de este material en el laboratorio.
- Evaluar la carga que puede soportar el policarbonato bajo las condiciones de trabajo de las cubiertas mecanizadas y establecer los parámetros mecánicos para el diseño de estas estructuras.
- Emitir conclusiones y recomendaciones generales respecto a las características del policarbonato alveolar plasmándolos en una hoja

técnica para la aplicación de este material en diferentes tipos de estructuras.



Fotografía 3.1: Preparación de las muestras de policarbonato.

3.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN

El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

El esfuerzo de compresión es una presión que tiende a causar una reducción de volumen. Este esfuerzo es la fuerza que actúa sobre un material de construcción, suponiendo que esté compuesto de planos paralelos, lo que hace la fuerza es intentar aproximar estos planos, manteniendo su paralelismo.

Algunos materiales exhiben un comportamiento dramáticamente diferente en compresión que en tensión y en algunos casos estos materiales se utilizan principalmente para resistir esfuerzos de compresión, ejemplos típicos son el concreto y las piedras utilizadas en construcción. Se necesita entonces datos del ensayo de compresión en muchas aplicaciones de ingeniería.

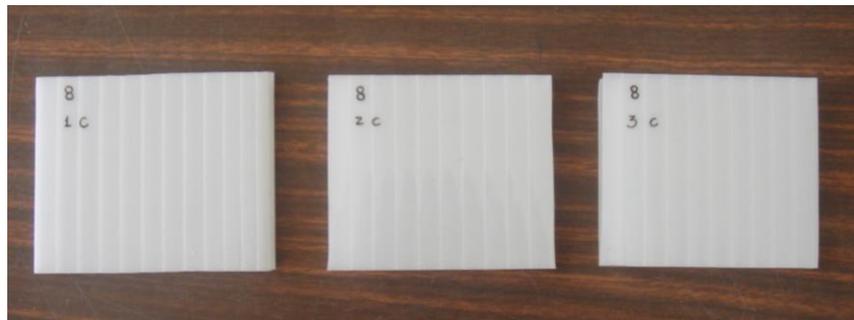
3.2.1 OBJETIVOS

- Realizar pruebas de compresión a muestras de espesores diferentes de policarbonato alveolar y analizar las cargas que soportan.
- Identificar los principales tipos de fallas que se dan en el ensayo de compresión en las placas de policarbonato alveolar.

3.2.2 DESARROLLO DEL ENSAYO

Muestras para el ensayo

Para el ensayo de compresión se prepararon muestras cuadradas de policarbonato alveolar de aproximadamente 10cm. de lado. Las muestras tomadas son de policarbonato de 6mm. y de 8mm.



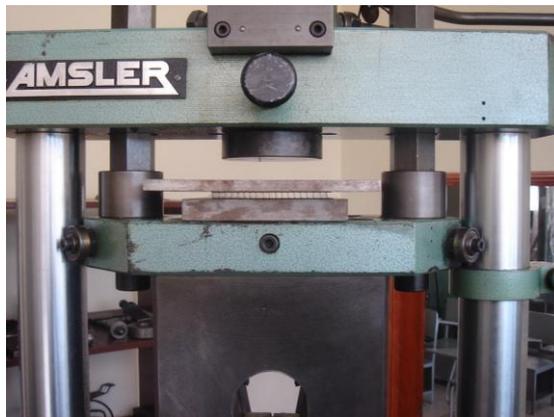
Fotografía 3.2: Muestras para el ensayo de compresión.

Instrumentos utilizados

Este ensayo se lo realiza en la Máquina de Ensayos Universales colocando la placa de policarbonato en medio de dos placas metálicas que son las que ejercen la fuerza de compresión.



Fotografía 3.3: Máquina de Ensayos Universales.



Fotografía 3.4: Muestra colocada en la máquina para el ensayo de compresión.

La carga se va aumentando progresivamente hasta llegar a la falla del material, momento en el cual se mide la presión máxima que puede soportar la muestra.

Cálculos

En este ensayo se obtuvieron como resultados la carga aplicada a la muestra y la respectiva deformación a compresión. Con estos valores se obtuvo el esfuerzo a compresión y el módulo de elasticidad en las placas de 6 y 8mm.

Para el cálculo del esfuerzo de compresión y tracción se utilizó la siguiente expresión:

$$\sigma_{ult} = \frac{F \max}{A_0}$$

La deformación unitaria de las muestras en los ensayos de compresión y tracción se calcula mediante la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

De la fórmula siguiente se puede encontrar el valor del módulo de elasticidad:

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Donde:

Tabla 3.1: Terminología utilizada en los ensayos de tracción y compresión.

NOTACIÓN	
σ	Esfuerzo
F max	Fuerza máxima
Ao	Área probeta
E	Modulo de elasticidad
ε	Deformación unitaria
L	Longitud bajo carga
Lo	Longitud inicial

Tabla 3.2: Resultados obtenidos en el ensayo de compresión en las muestras de 6mm.

Muestra	Largo cm	Ancho cm	Área cm ²	Carga Máxima Kg
1	11,5	10	115	418
2	11,5	10	115	294
3	11,4	10,3	117,42	521
4	11,3	10,1	114,13	624
5	10,13	9,9	100,287	934
6	10,11	9,9	100,089	504
7	10,12	9,9	100,188	594

Esf. Último kg/cm ²	Esf. Promedio kg/cm ²	ε ---	E kg/cm ²	E. promedio kg/cm ²
3,63	4,901	0,100	36,348	34,560
2,56		0,087	29,498	
4,44		0,147	30,253	
5,47		0,133	41,006	
9,31		0,263	35,434	
5,04		0,142	35,545	
5,93		0,168	35,221	

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN 6mm

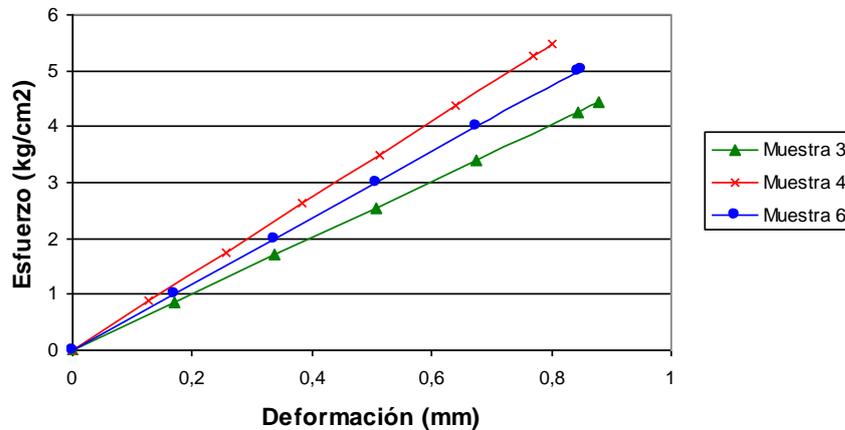


Figura 3.1: Gráficas Esfuerzo-Deformación de las muestras de 6mm.

Tabla 3.3: Resultados obtenidos en el ensayo de compresión en las muestras de 8mm.

Muestra	Largo cm	Ancho cm	Área cm ²	Carga Máxima kg
1	12,0	10,0	120,00	792
2	11,1	9,6	106,56	1338
3	11,0	9,6	105,60	858
4	10,9	9,8	105,79	1762
5	10,1	9,5	96,05	1220
6	10,0	9,5	94,80	1172
7	10,0	9,9	98,50	1404

Esf. Último kg/cm ²	Esf. Promedio kg/cm ²	ε ---	E kg/cm ²	E. Promedio kg/cm ²
6,60	12,000	0,125	52,800	100,511
12,56		0,133	94,172	
8,13		0,127	64,145	
16,66		0,173	96,092	
12,70		0,122	104,540	
12,36		0,117	105,816	
14,25		0,140	101,933	

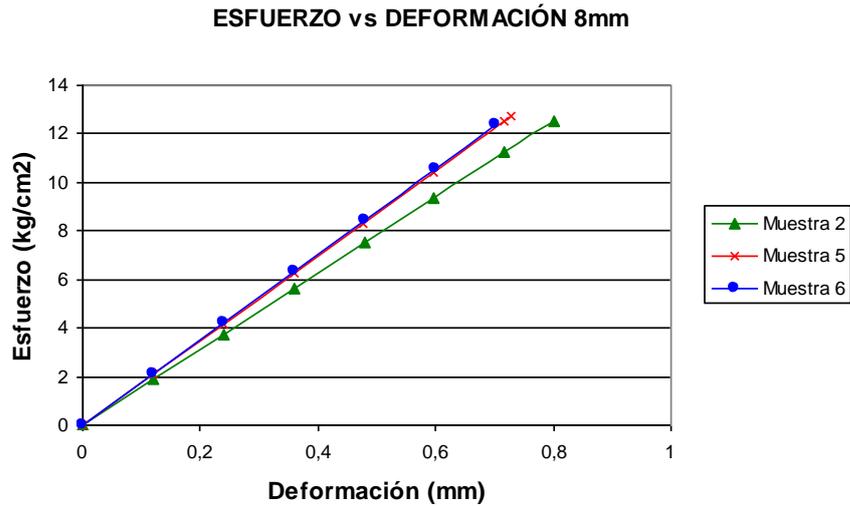


Figura 3.2: Gráficas Esfuerzo-Deformación de las muestras de 8mm.

Conclusiones

- Se obtuvieron resultados dispares, esto se debe a que los espesores y altura de los alveolos de las placas de policarbonato no son homogéneos.
- Para el cálculo del esfuerzo último de compresión y del módulo de elasticidad se eliminaron los valores extremos que difieren grandemente del resto de valores. (En las tablas de cálculo estos valores constan en rojo).

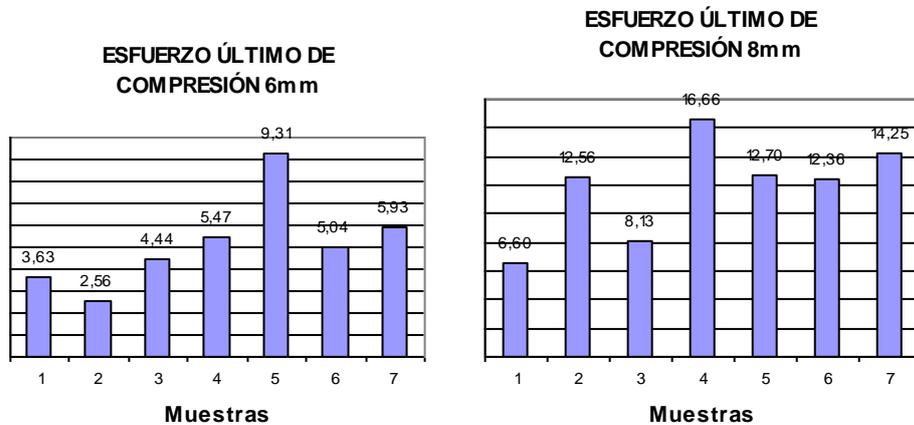


Figura 3.3: Variación de los esfuerzos de compresión.

- En las placas de policarbonato de 6mm. las deformaciones están en el orden del 15%. En las placas de 8mm. están en el orden del 10%.
- El material que se estudió presenta deformaciones solamente en el rango elástico, luego de lo cual se produce la ruptura del material. Debido a esto la gráfica *Esfuerzo – Deformación* tiene un comportamiento lineal.
- Este material es frágil ya que no presenta grandes deformaciones antes de la falla.

3.3 ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada realizada con dicho material a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta.

Para conocer las cargas que pueden soportar los materiales, se efectúan ensayos para medir su comportamiento en distintas situaciones. El ensayo destructivo más importante es el ensayo de tracción, en donde se coloca una probeta en una máquina de ensayo consistente de dos mordazas, una fija y otra móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil.

La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionable. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, la máquina de ensayos universales posee un plotter que grafica en un eje el desplazamiento y en el otro eje la carga leída.

En el ensayo se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma, a medida que se incrementa la carga aplicada y se representa gráficamente en función de la tensión (carga aplicada dividida por la sección de la probeta).

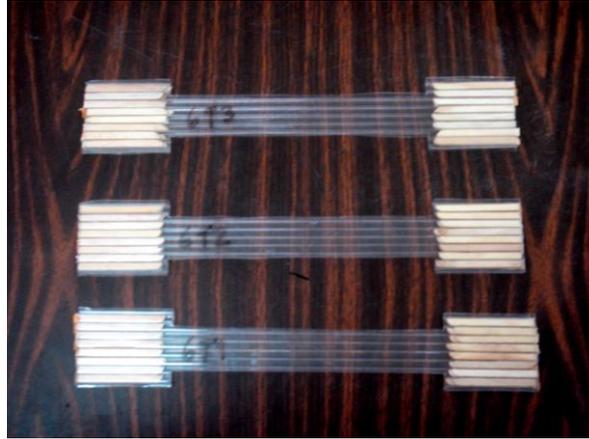
3.3.1 OBJETIVOS

- Realizar pruebas de tracción a probetas de espesores diferentes de policarbonato alveolar y analizar las cargas que pueden soportar este material.
- Identificar los principales tipos de fallas que se dan en el ensayo de tracción en las placas de policarbonato alveolar.

3.3.2 DESARROLLO DEL ENSAYO

Muestras para el ensayo

Para el ensayo de tracción se prepararon muestras normalizadas en el sentido longitudinal de los alveolos. Las muestras tomadas son de policarbonato de 6mm. y de 8mm. Las muestras se tuvieron que rellenar en sus extremos para que al aplicar la fuerza de tracción las mordazas que sujetan la muestra no dañen su configuración inicial.



Fotografía 3.5: Muestras para el ensayo de tracción.

Instrumentos utilizados

Este ensayo se lo realiza en la Máquina de Ensayos Universales colocando la muestra de policarbonato en medio de dos mordazas metálicas que son las que ejercen la fuerza de tracción.



Fotografía 3.6: Muestra colocada para el ensayo de tracción.

Cálculos

Al igual que en el ensayo de compresión, en este ensayo se obtuvieron como resultados la carga aplicada a la muestra y la

respectiva deformación a tracción. Con estos valores se obtuvo el esfuerzo a tracción en las placas de 6 y 8mm.

Tabla 3.4: Resultados obtenidos en el ensayo de tracción en las muestras de 6mm.

Muestra	Ancho cm	Carga Máxima kg	Esfuerzo Último kg/cm
1	2,9	232	80,00
2	2,9	213	73,45
3	2,9	197	67,93

Esf. Promedio Kg/cm de placa	ϵ ---	E kg/cm	E. promedio kg/cm
73,793	0,144	553,846	607,036
	0,147	498,791	
	0,088	768,470	

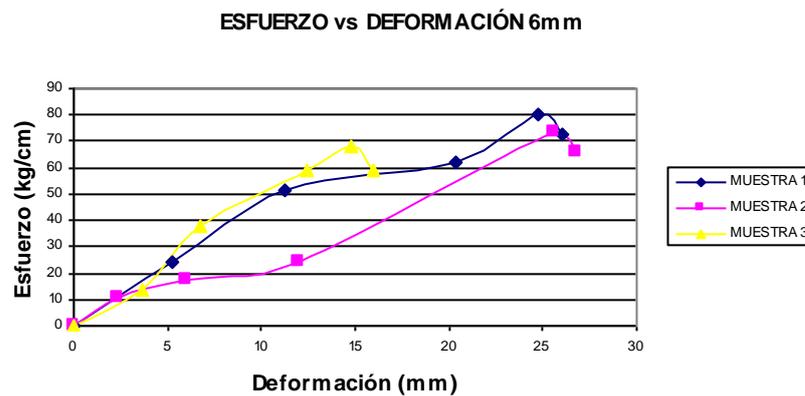


Figura 3.4: Gráficas Esfuerzo-Deformación de las muestras de 6mm.

Tabla 3.5: Resultados obtenidos en el ensayo de tracción en las muestras de 8mm.

Muestra	Ancho cm	Carga Máxima kg	Esfuerzo Último kg/cm
1	4,1	305	74,39
2	4,2	283	67,38
3	4,3	297	69,07

Esf. Promedio kg/cm de placa	ϵ ---	E kg/cm	E. promedio kg/cm
70,280	0,079	945,819	872,521
	0,077	871,989	
	0,086	799,755	

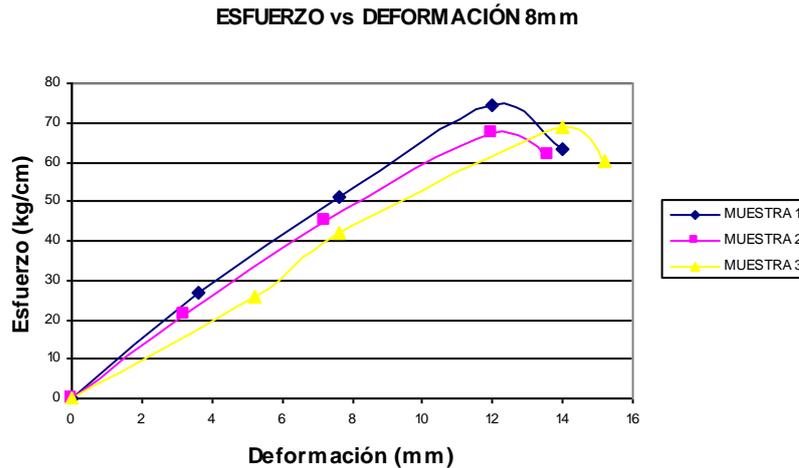


Figura 3.5: Gráficas Esfuerzo-Deformación de las muestras de 8mm.

Conclusiones

- Por tener una configuración especial el policarbonato alveolar los resultados de los esfuerzos a tracción se presentan en kilogramos por cada centímetro de placa (6mm. y 8mm. respectivamente).
- En las placas de policarbonato de 6mm. las deformaciones están en el orden del 10%. En las placas de 8mm. están en el orden del 4,5%.
- Para el ensayo de tracción el material en estudio presenta deformaciones en el rango elástico, un límite de fluencia y posteriormente un pequeño rango plástico antes de la ruptura los cuales se pueden apreciar en la gráfica *Esfuerzo – Deformación* presentada.

- En este ensayo también se aprecia que este material es frágil ya que no presenta grandes deformaciones antes de la ruptura.

3.4 ENSAYO DE FLEXIÓN

Si las fuerzas actúan sobre una pieza de material de tal manera que tiendan a inducir esfuerzos compresivos sobre una parte de una sección transversal de la pieza y esfuerzos tensivos sobre la parte restante, se dice que la pieza está en flexión.

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar a flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

Este ensayo se realiza con probetas de policarbonato en dimensiones predeterminadas con el objeto de determinar sus valores característicos de resistencia a la flexión y módulo de elasticidad de flexión pura.

La máquina de ensayo consiste en unos apoyos donde se coloca la placa de policarbonato y con un medidor de peso aplicamos la carga a la muestra hasta llegar a la rotura. En la primera parte del ensayo se aplican cargas y se mide la deformación mediante un micrómetro para determinar las deflexiones que se producen. En la segunda parte se aplica carga hasta producir la falla del material.

3.4.1 OBJETIVOS

- Realizar ensayos de flexión sobre diferentes muestras de policarbonato alveolar y determinar el modulo de ruptura, el módulo de elasticidad y la deflexión máxima.

3.4.2 DESARROLLO DEL ENSAYO

Muestras para el ensayo

Para el ensayo de flexión se prepararon muestras normalizadas tanto en el sentido transversal como longitudinal de los alveolos.

Las muestras tomadas son de policarbonato de 6mm. y de 8mm.



Fotografía 3.7: Muestras para el ensayo de flexión longitudinal.



Fotografía 3.8: Muestras para el ensayo de flexión transversal.

Instrumentos utilizados

En la primera parte del ensayo se utiliza la máquina para ensayo de vigas para aplicar cargas y medir las respectivas deflexiones.



Fotografía 3.9: Máquina para ensayo de vigas.

En la segunda parte se colocan las muestras sobre apoyos fijos y se aplica carga hasta producir la falla de la muestra.



Fotografía 3.10: Falla de las muestras a flexión.

Cálculos

En esta práctica se colocan las muestras sobre dos apoyos simples y se aplica carga en la mitad obteniendo como resultado la carga

aplicada a la muestra y la respectiva deformación a flexión. Con estos valores se obtuvo el valor de la inercia y el módulo de elasticidad del material. Para el cálculo de la inercia de las muestras se dividieron los alveolos en diferentes elementos como se muestra en la Figura 3.6.

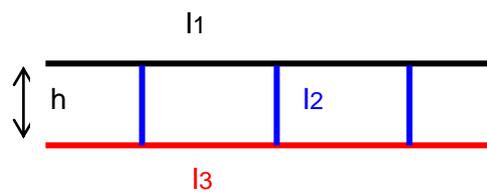


Figura 3.6: Esquema para el cálculo de inercias del policarbonato alveolar.

Al ser divididas las muestras en rectángulos las fórmulas utilizadas para calcular la inercia son:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I = I_o + A \cdot d^2$$

La deflexión de una viga simplemente apoyada y con carga puntual en el centro es:

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

De la fórmula anterior podemos calcular el módulo de elasticidad mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot I \cdot \delta}$$

Donde:

Tabla 3.6: Terminología utilizada en el ensayo de flexión.

NOTACIÓN	
δ	Deflexión
P	Carga
L	Dist. Apoyos
E	Modulo de elasticidad
I	Inercia
b	Base
h	Altura

Tabla 3.7: Resultados obtenidos en el ensayo de flexión en las muestras de 6mm.

Carga lb.	Deflexión promedio	Deflexión promedio
	Longitudinal mm.	Transversal mm.
0	0,000	0,000
1	3,505	7,400
1,5	5,461	10,566
2	7,180	13,936
2,5	9,000	17,153
3	10,770	20,278
3,5	12,869	23,766
4	14,884	
4,5	16,874	
5	18,889	
5,5	20,896	
6	22,606	

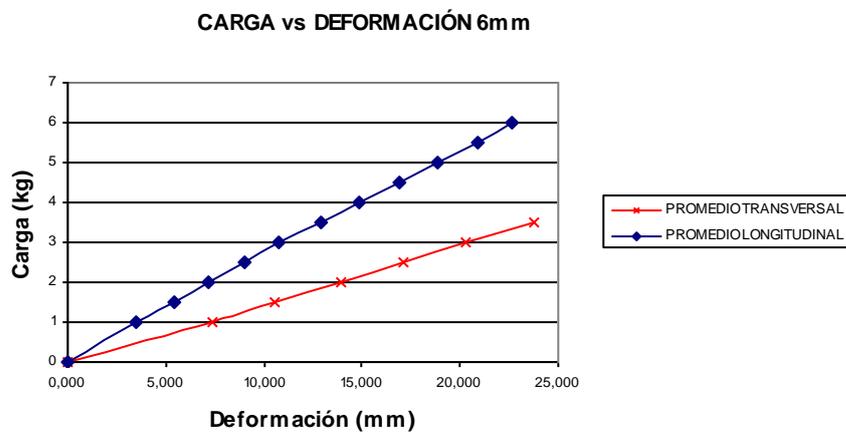


Figura 3.7: Gráficas Carga-Deformación de las muestras de 6mm.

Tabla 3.8: Resultados obtenidos en el ensayo de flexión en las muestras de 8mm.

Carga lb.	Deflexión promedio	Deflexión promedio
	Longitudinal mm.	Transversal mm.
0	0,000	0,000
1	1,947	4,470
1,5	2,929	6,689
2	3,852	8,721
2,5	4,792	10,897
3	5,850	13,191
3,5	6,816	15,494
4	7,781	18,042
4,5	8,670	20,506
5	9,771	23,757
5,5	10,719	
6	11,667	
6,5	12,768	
7	13,826	
7,5	14,901	
8	15,943	
8,5	17,001	
9	18,271	
9,5	19,253	
10	20,455	

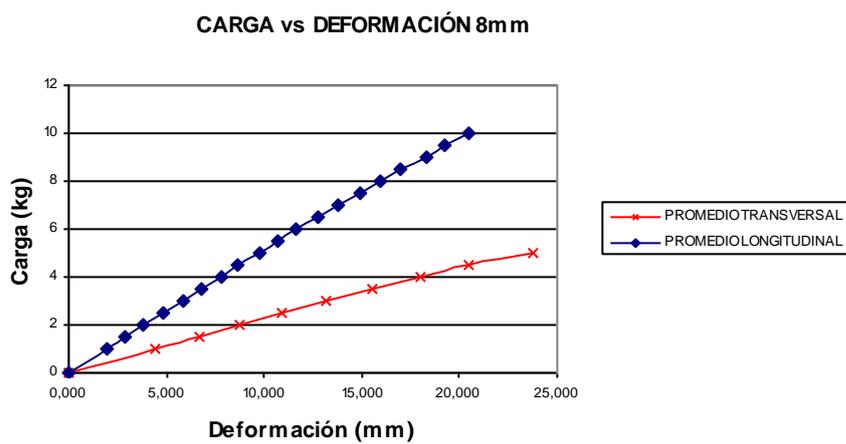


Figura 3.8: Gráficas Carga-Deformación de las muestras de 8mm.

Muestras con alveolos longitudinales

$I_{6mm} =$	0,0346	cm ⁴
$I_{8mm} =$	0,0840	cm ⁴
$E_{6mm} =$	23826,803	kg/cm ²
$E_{8mm} =$	18062,656	kg/cm ²

Conclusiones

- En este ensayo podemos encontrar el valor del módulo de elasticidad del material ya que emplea las deflexiones de las placas de policarbonato y la inercia de las mismas.
- Para el cálculo de la inercia de las muestras se divide los alveolos en sus componentes verticales y horizontales y se los considera como rectángulos.
- Las deformaciones que presentan las muestras son muy altas debido a su material de constitución.
- El policarbonato presenta deformaciones en el rango elástico durante el ensayo por esto la gráfica *Carga – Deformación* tiene un comportamiento lineal.
- Este material por su configuración alveolar tiene dos comportamientos diferentes, teniendo una mejor resistencia en el sentido longitudinal de los alveolos.

3.5 ENSAYO DE IMPACTO

Los ensayos dinámicos de choque se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillos pendulares, en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada,

realizándose la experiencia en la mayoría de los casos, de dos maneras distintas según que la probeta rompa por flexionamiento (flexión por choque) o que su rotura se alcance por deformación longitudinal (tracción por choque). Los valores obtenidos en estos ensayos son únicamente comparables, en materiales con propiedades similares ya sean siempre dúctiles o frágiles, cuando se realizan sobre el mismo tipo de probeta y en idénticas condiciones de ensayo.

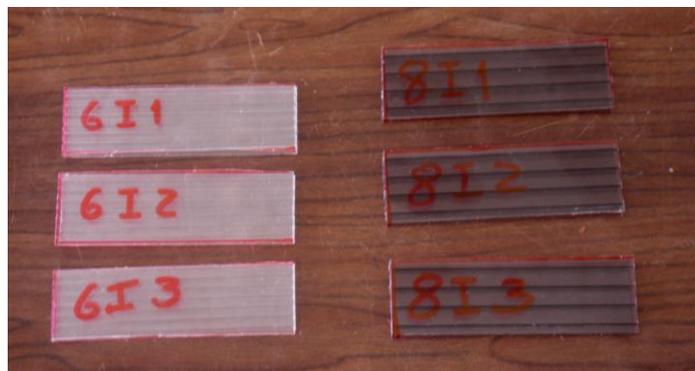
3.5.1 OBJETIVOS

- Realizar un ensayo por impacto de diferentes muestras de policarbonato alveolar y determinar la fragilidad o capacidad de este material para absorber cargas instantáneas.

3.5.2 DESARROLLO DEL ENSAYO

Muestras para el ensayo

Para el ensayo de impacto se prepararon muestras normalizadas de policarbonato de 6mm. y de 8mm.



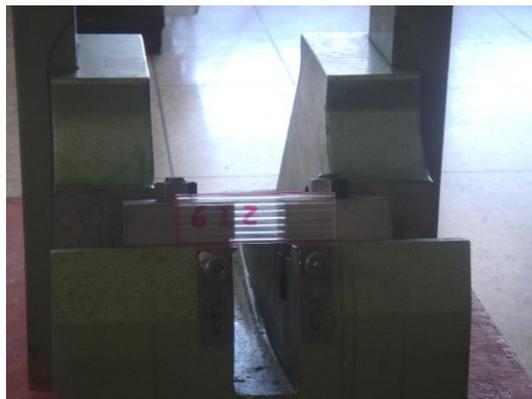
Fotografía 3.11: Muestras para el ensayo de impacto.

Instrumentos utilizados

El ensayo de impacto se lo realiza en la máquina para pruebas de impacto que mide la energía que puede absorber la muestra al ser golpeada por una masa en movimiento.



Fotografía 3.12: Péndulo de impacto.



Fotografía 3.13: Muestra colocada para el ensayo de impacto.

Cálculos

En este ensayo el resultado obtenido es la energía que logra disipar una probeta al ser golpeada por un pesado péndulo en caída libre.

El ensayo se realizó con probetas de placas de 6 y 8mm.

Tabla 3.9: Resultados obtenidos en el ensayo de impacto en las muestras de 6mm.

Muestra	Ancho cm	Energía absorbida Julio (N-m)	Energía absorbida por cm Julio/cm	Energía promedio por cm Julio/cm
1	4,07	8,83	2,17	2,097
2	4,21	7,85	1,86	
3	3,91	8,83	2,26	

Tabla 3.10: Resultados obtenidos en el ensayo de impacto en las muestras de 8mm.

Muestra	Ancho Cm	Energía absorbida Julio (N-m)	Energía absorbida por cm Julio/cm	Energía promedio por cm Julio/cm
1	4,30	13,73	3,19	3,222
2	4,23	13,73	3,25	
3	4,26	13,73	3,22	

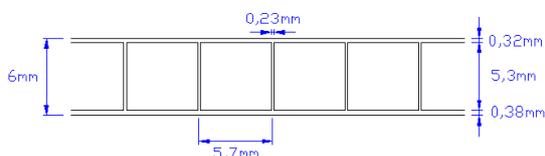
Conclusiones

- Las muestras de policarbonato por pertenecer a la familia de los polímeros presentan un comportamiento parecido a los plásticos, por lo tanto no absorbe mucha energía por impacto.
- De igual manera que en los ensayos anteriores, las muestras de 8mm. tienen un mejor comportamiento mecánico que las muestras de 6mm.
- Las muestras ensayadas no se rompieron con lo que se demuestra la flexibilidad de este material.

3.6 HOJA TÉCNICA DE LOS MATERIALES

POLICARBONATO ALVEOLAR Lámina de 6mm.

Geometría:



Descripción:

Estas hojas son diseñadas para un sinnúmero de aplicaciones de techado y cristalería, en condiciones de climas extremos. Son atractivas, duraderas, fáciles de instalar y protegen a las personas y pertenencias dentro de una estructura de los elementos naturales y de los daños de la radiación UV.

Tabla de propiedades físicas

Propiedad	Valor
Peso (g/m ²)	1295
Inercia (mm ⁴ /cm de placa)	69,132
Esfuerzo de compresión (kg/cm ²)	4,90
Mod. Elasticidad Compresión (kg/cm ²)	34,56
Esfuerzo de tracción (kg/cm de placa)	73,79
Mod. Elasticidad Flexión (kg/cm ²)	23826,80
Energía absorbida (Julio/cm de placa)	2,10

Ventajas:

- Diseño flexible que permite gran variedad de aplicaciones.
- Resiste impacto 200 veces más que el vidrio y 8 veces más que el acrílico.
- Su peso es 6 veces menor que el vidrio y 3 veces menos que el acrílico.
- Las láminas alveolares ahorran consumo de combustibles en equipos de calefacción y aire acondicionado.
- La capa de protección UV asegura la extrema duración de todas las propiedades mecánicas y la excelente calidad de transmisión de la luz.
- Resiste la mayoría de los productos químicos incluyendo varios ácidos minerales y orgánicos, etc.

Distancia recomendada entre apoyos

Entre vigas:	1,05m.
Entre correas:	0,90m.
Radio mínimo de curvatura:	1,2m.

Desventajas:

- La distribución de los alveolos y el grosor de sus paredes no es totalmente uniforme.
- Si no es instalado adecuadamente puede producirse el deterioro del material.
- En comparación con otros materiales de cubierta es relativamente costoso.

Recomendaciones:

- Al realizar la instalación no camine directamente sobre las planchas de policarbonato.
- Utilice todos los accesorios recomendados para un correcto funcionamiento de las placas de policarbonato.
- En la colocación de las láminas, la dirección de los alveolos debe coincidir con la dirección de la caída de aguas.
- Realizar mantenimiento máximo cada seis meses con agua y jabón suave para mantener el brillo y transparencia.

Usos:

- Cubiertas de techos y tragaluces.
- Centros comerciales y de exhibición.
- Gimnasios polideportivos, piscinas temperadas, industrias.
- Cubiertas en estaciones de ferrocarriles, buses y estaciones gasolineras.
- Invernaderos para plantas y cultivos bajo techo.
- Paneles divisorios transparentes para oficinas y exposiciones.
- Cielos falsos, transparentes o semitransparentes.

Medidas:

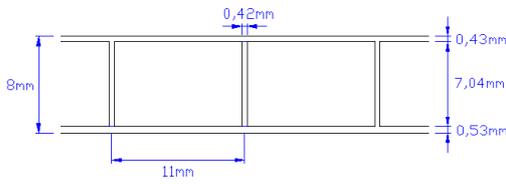
Ancho estándar	1,05m.
	2,10m.
Largo estándar	11,0m.

Accesorios:

- Perfiles conectores estructurales.
- Perfiles conectores de policarbonato.
- Tornillos auto perforantes.
- Remates de aluminio.
- Siliconas y cintas sellantes.

POLICARBONATO ALVEOLAR Lámina de 8mm.

Geometría:



Descripción:

Estas hojas son diseñadas para un sinnúmero de aplicaciones de techado y cristalería, en condiciones de climas extremos. Son atractivas, duraderas, fáciles de instalar y protegen a las personas y pertenencias dentro de una estructura de los elementos naturales y de los daños de la radiación UV.

Tabla de propiedades físicas

Propiedad	Valor
Peso (g/m ²)	1500,00
Inercia (mm ⁴ /cm de placa)	167,967
Esfuerzo de compresión (kg/cm ²)	12,00
Mod. Elasticidad Compresión (kg/cm ²)	100,51
Esfuerzo de tracción (kg/cm de placa)	70,28
Mod. Elasticidad Flexión (kg/cm ²)	18062,66
Energía absorbida (Julio/cm de placa)	3,22

Ventajas:

- Diseño flexible que permite gran variedad de aplicaciones.
- Resiste impacto 200 veces más que el vidrio y 8 veces más que el acrílico.
- Su peso es 6 veces menor que el vidrio y 3 veces menos que el acrílico.
- Las láminas alveolares ahorran consumo de combustibles en equipos de calefacción y aire acondicionado.
- La capa de protección UV asegura la extrema duración de todas las propiedades mecánicas y la excelente calidad de transmisión de la luz.
- Resiste la mayoría de los productos químicos incluyendo varios ácidos minerales y orgánicos, etc.

Distancia recomendada entre apoyos

Entre vigas:	1,05m.
Entre correas:	1,10m.
Radio mínimo de curvatura:	1,6m.

Desventajas:

- La distribución de los alveolos y el grosor de sus paredes no es totalmente uniforme.
- Si no es instalado adecuadamente puede producirse el deterioro del material.
- En comparación con otros materiales de cubierta es relativamente costoso.

Recomendaciones:

- Al realizar la instalación no camine directamente sobre las planchas de policarbonato.
- Utilice todos los accesorios recomendados para un correcto funcionamiento de las placas de policarbonato.
- En la colocación de las láminas, la dirección de los alveolos debe coincidir con la dirección de la caída de aguas.
- Realizar mantenimiento máximo cada seis meses con agua y jabón suave para mantener el brillo y transparencia.

Usos:

- Cubiertas de techos y tragaluces.
- Centros comerciales y de exhibición.
- Gimnasios polideportivos, piscinas temperadas, industrias.
- Cubiertas en estaciones de ferrocarriles, buses y estaciones gasolineras.
- Invernaderos para plantas y cultivos bajo techo.
- Paneles divisorios transparentes para oficinas y exposiciones.
- Cielos falsos, transparentes o semitransparentes.

Medidas:

Ancho estándar	1,05m.
	2,10m.
Largo estándar	11,0m.

Accesorios:

- Perfiles conectores estructurales.
- Perfiles conectores de policarbonato.
- Tornillos auto perforantes.
- Remates de aluminio.
- Siliconas y cintas sellantes.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE CARGAS

3.7 CARGAS Y FUERZAS QUE INTERVIENEN EN LA ESTRUCTURA

Para el desarrollo de la tesis se analizan las cargas y fuerzas que intervienen en el diseño de la estructura propuesta. Es importante determinar de la manera más precisa posible el valor de las cargas que soportará la estructura durante su vida útil y también determinar las combinaciones más desfavorables que puedan presentarse de acuerdo a los reglamentos, para que de esta manera la estructura responda adecuadamente a todas las sollicitaciones durante su vida útil y sea un diseño económico.

Para el diseño de la cubierta mecanizada analizaremos el cálculo de los siguientes tipos de cargas:

ANÁLISIS ESTÁTICO, $\Sigma F=0$

- Cargas muertas.
- Cargas vivas.
- Cargas eólicas o de viento.
- Cargas de sismo.
- Cargas de lluvia y granizo.

ANÁLISIS DINÁMICO, $\Sigma F=\text{masa} \cdot \text{aceleración}$

- Movimiento de la cubierta.
- Vibración del motor.

3.7.1 CARGAS MUERTAS

Son aquellas que se mantienen constantes en magnitud y con una posición fija durante la vida útil de la estructura; generalmente la mayor parte de las cargas muertas es el peso propio de la misma. Pueden calcularse con buena aproximación a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la estructura y de la densidad del material. Para edificios, por lo general se toman como cargas muertas, rellenos, acabados de entrepisos y cielos rasos, y se deja un margen para tener en cuenta cargas suspendidas como conductos, aparatos y accesorios de iluminación, etc. Para el caso de esta tesis se considera como carga muerta los pesos de los diversos miembros estructurales que están permanentemente unidos a la estructura, entre otros:

- Arcos.
- Correas.
- Placas de policarbonato.
- Accesorios de colocación.
- Motores.
- Columnetas metálicas.
- Mecanismo móvil.
- Instalaciones eléctricas.

Son cargas que tendrán invariablemente el mismo peso y localización durante el tiempo de vida útil de la estructura. En algunos casos, una carga muerta estructural puede estimarse satisfactoriamente por medio de fórmulas basadas en los pesos y

tamaños de estructuras similares. Para el presente caso se estima que la carga muerta será menor a 14kg/m^2 .

3.7.2 CARGAS VIVAS

Son cargas variables en magnitud y posición debidas al funcionamiento propio de la estructura. Las cargas vivas son las producidas por el uso y ocupación del edificio u otra estructura y no incluyen las cargas de construcción o medio ambientales.

Las cargas mínimas especificadas en los códigos se determinan estudiando la historia de sus efectos sobre estructuras existentes.

Usualmente esas cargas incluyen un margen para tener una protección contra deflexiones excesivas o sobrecargas repentinas.

Se supone que los pisos de edificios están sometidos a cargas vivas uniformes, que dependen del propósito para el cual el edificio es diseñado. Estas cargas están tabuladas en códigos locales y nacionales en las que se incluyen márgenes contra la posibilidad de sobrecarga debido a cargas de construcción y requisitos de servicio. Además de las cargas uniformes, algunos códigos especifican cargas vivas concentradas mínimas, causadas por carretillas, automóviles, etc.

En el caso de estructuras metálicas es necesario recalcar que junto a la resistencia, que depende de las cargas, es muy importante controlar la capacidad de servicio. (deformaciones excesivas).

En lo referente a la tesis propuesta, las cubiertas deben sustentar las cargas muertas más las cargas vivas unitarias que se indican en

la tabla 4.1 (tomada del CEC 2001). Se supone que las cargas vivas actúan verticalmente sobre el área proyectada en un plano horizontal.

Las cargas vivas en las cubiertas son aquellas causadas por:

- Materiales, equipos y trabajadores utilizados en el mantenimiento de la cubierta.
- Durante la vida de la estructura las causadas por objetos móviles y por las personas que tengan acceso a ellas.

Tabla 4.1: Cargas vivas mínimas para cubiertas en Kg/m² (CEC 2001)

INCLINACIÓN DE LA CUBIERTA	AREA TRIBUTARIA DE CARGA EN METROS CUADRADOS PARA CUALQUIER ELEMENTO ESTRUCTURAL		
	0 a 20	21 a 60	Sobre 60
Plana o con pendiente menor que 1:3. Arco o bóveda con flecha menor de 1/8 de luz.	100	80	60
Pendiente de 1:3 a menos de 1:1. Arco o bóveda con flecha de 1/8 de luz a menos de 3/8 de luz.	80	70	60
Pendiente de 1:1 y mayor. Arco o bóveda con flecha de 3/8 de luz o mayor.	60	60	60
Marquesinas, excepto cubiertas con tela.	25	25	25
Invernaderos y edificios agrícolas.	50	50	50

3.7.3 CARGAS DE VIENTO

Son cargas dinámicas pero para el diseño se realiza una aproximación utilizando cargas estáticas equivalentes. La mayor parte de los edificios y puentes pueden utilizar este procedimiento

cuasi-estático y solo en casos especiales se requiere un análisis modal o dinámico.

La presión ocasionada por el viento es proporcional al cuadrado de la velocidad y debe ser calculada, principalmente, en las superficies expuestas de una estructura. Debido a la rugosidad de la tierra, la velocidad del viento es variable y presenta turbulencias. Sin embargo, se asume que la edificación asume una posición deformada debido a una velocidad constante y que vibra a partir de esta posición debido a la turbulencia. El procedimiento analítico para evaluar los efectos producidos por la fuerza del viento involucra el análisis simplificado, si los efectos producidos por la fuerza del viento no son fundamentales en el diseño, o el análisis completo, si por el contrario, las fuerzas de viento en algún sentido resultan determinantes en el diseño. Estas cargas dependen de la ubicación de la estructura, de su altura, del área expuesta y de la posición. Las cargas de viento se manifiestan como presiones y succiones. En general ni se especifican normas de diseño para el efecto de huracanes o tornados, debido a que se considera incosteable el diseño contra estos efectos; sin embargo, se sabe que el detallado cuidadoso del refuerzo, y la unión de refuerzos en los sistemas de piso con muros mejora notablemente su comportamiento. Cuando las estructuras impiden el flujo del viento, la energía cinética de éste reconvierte en energía potencial de presión, lo que causa la carga de viento. El efecto del viento sobre una estructura depende de la densidad y velocidad del aire, del

ángulo de incidencia del viento, de la forma y de la rigidez de la estructura y de la rugosidad de su superficie.

3.7.4 CARGAS DE SISMO

Los sismos producen cargas sobre una estructura por medio de la interacción del movimiento del suelo y las características de respuesta de la estructura. Esas cargas resultan de la distorsión en la estructura causada por el movimiento del suelo y la resistencia lateral de ésta. Sus magnitudes dependen de la velocidad y tipo de aceleraciones del suelo, así como de la masa y rigidez de la estructura.

Estas cargas se pueden determinar como fuerzas estáticas horizontales aplicadas a las masas de la estructura, aunque en ocasiones debido a la altura de los edificios o esbeltez se hace necesario un análisis dinámico para determinar las fuerzas máximas a que estará sometida la estructura.

En la práctica, los efectos de la aceleración, velocidad y desplazamiento de una estructura pueden determinarse como un espectro de respuesta sísmica. Una vez establecida esta gráfica, las cargas sísmicas pueden calcularse usando un análisis dinámico basado en la teoría de la dinámica estructural. Este análisis es a menudo muy elaborado y requiere el uso de una computadora. Aunque éste puede ser el caso, tal análisis es obligatorio si la estructura es muy grande.

Algunos códigos requieren que se preste atención específica al diseño sísmico, especialmente en zonas que predominan sismos de alta intensidad. Además, tales cargas deben considerarse seriamente al diseñar edificios de gran altura.

Para estructuras pequeñas, un análisis estático de diseño sísmico puede ser satisfactorio. Este método aproxima las cargas dinámicas mediante un conjunto de fuerzas estáticas externas que se aplican lateralmente a la estructura.

La fórmula que sirve para determinar el cortante basal (**V**) en la estructura propuesta en la tesis es tomada del CEC 2000 ya que la cubierta se considera como una estructura diferente a las estructuras de edificación y ésta se diseñará para resistir fuerzas laterales mínimas no menores a las determinadas para estructuras de este tipo. La formula aplicada es la siguiente:

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

Z = Factor de zona (Tabla 1 CEC 2000) que para nuestro diseño es de 0.4.

I = Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (Tabla 4 CEC 2000) que en lo referente a la cubierta tiene un valor de 1

W = Valor que representa el peso de la estructura.

Con todo lo descrito para el cálculo estructural de la cubierta propuesta se tomará la siguiente expresión para el corte basal:

$$V = 0.19 * W$$

Debido a la poca masa no se considera necesario hacer un análisis más detallado, haciéndose un control muy general sobre los períodos de vibración de la cubierta y de la estructura base de hormigón.

3.7.5 CARGAS DE LLUVIA Y GRANIZO.

Este tipo de cargas pueden llegar a ser de gran importancia en determinado tipo de estructuras que deberán soportar el peso del agua y granizo sobre ellas. En el caso de la cubierta mecanizada propuesta éstas no se tomaron en cuenta ya que la filosofía de diseño de esta estructura es la de disipar este tipo de cargas. En los ensayos realizados en el policarbonato alveolar se determinó que una pendiente del 10% (5° aproximadamente) son suficientes para evacuar inmediatamente el agua y granizo de la estructura. La geometría de la cubierta presenta un 90% de su superficie con una pendiente mayor al 10% asegurando que estas cargas serán disipadas.



Fotografía 4.1: Simulación de lluvia con la máquina de pendientes.



Fotografía 4.2: Formación de gotas de agua que simulan la de lluvia.

3.8 ESTUDIO DE LA SOLICITACIÓN VIENTO

El estudio de este tipo de cargas es de suma importancia para el desarrollo de esta tesis, motivo por el cual se la estudia de forma más detallada que el resto.

Las estructuras modernas avanzan hacia diseños más grandes y flexibles, debido a ello los efectos del viento se han incrementado en este tipo de estructuras y pueden comprometer la integridad de la misma y el confort de las personas que la utilizan. Para entender este problema y la interacción del viento con las estructuras se deben tomar en cuenta un sinnúmero de disciplinas que involucran campos científicos como la meteorología, dinámica de fluidos, teoría estadística, dinámica estructural y métodos probabilísticos.

En esta parte de la tesis se describe las contribuciones de cada ciencia explicando las características de los campos de viento y las cargas de viento que se aplican a las estructuras.

3.8.1 CARACTERISTICAS DEL VIENTO.

Todas las estructuras diseñadas por los Ingenieros Civiles están inmersas o influenciadas por la capa atmosférica, por ello están sometidas a todas las acciones que en ella se presentan como pueden ser los vientos, sismos y demás condiciones meteorológicas. La superficie de la tierra es muy rugosa en valles y montañas, lo que hace que el viento sea variable tanto en dirección como en velocidad. A medida que se incrementa la altura la velocidad del viento también se incrementa logarítmicamente. La expresión más utilizada para obtener los perfiles de velocidad según la altura es:

$$\bar{U}_{(Z)} = \bar{U}_{ref} \left(\frac{Z}{Z_{ref}} \right)^{\alpha}$$

Donde U son las velocidades, Z las alturas y α (alfa) es una constante que varía de acuerdo a la rugosidad del terreno. (Ver Figura 4.1 en la página 85).

3.8.2 CARGAS DE VIENTO EN ESTRUCTURAS.

El viento que impacta en la estructura impone cargas en la misma que pueden variar tanto espacial como temporalmente. La fluctuación en la velocidad del viento se traduce en presiones positivas $P_{w(z,t)}$ distribuidas en el edificio en la cara de barlovento,

las correspondientes presiones negativas $P_{l(z,t)}$, se dan en la cara de sotavento de la estructura.

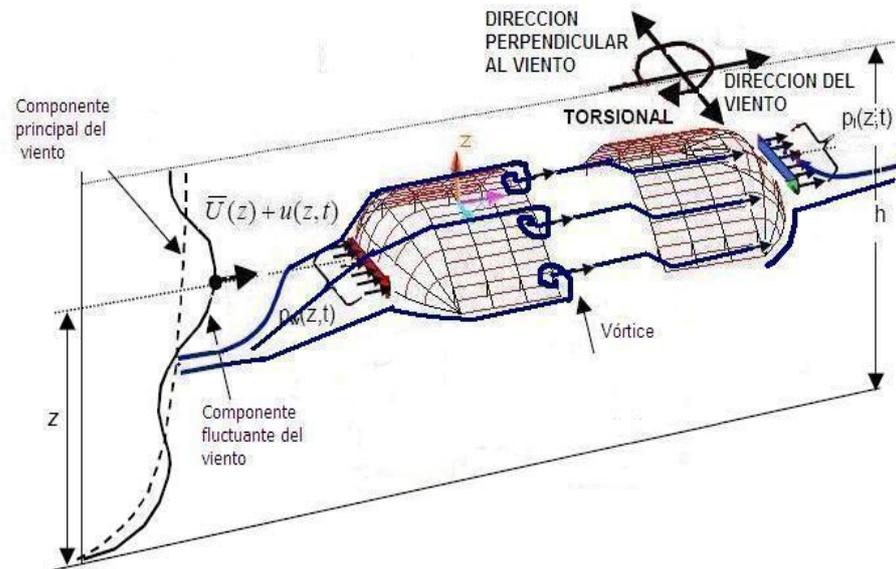


Figura 4.1: Descripción del viento principal y los efectos inducidos del viento sobre la estructura propuesta.

Una vez impactada la cara de barlovento, el viento es desviado alrededor de la estructura y si ésta tiene esquinas pronunciadas el viento no puede doblar estas y se separa de la estructura produciendo sectores de presiones negativas (succión), en las cubiertas móviles este fenómeno se da al estar estas abiertas o semiabiertas. Este flujo forma una lámina de corte y con la subsecuente interacción con la cubierta forma pequeños vórtices.

Las cargas simultáneas en las tres dimensiones sobre la estructura debidas a la interacción con el viento dan como resultado una respuesta estructural con tres componentes que se denominan: **componente en la dirección del viento**, que es resultado de las

fluctuaciones de presión del viento que choca contra la estructura produciendo un balanceo de la estructura en la dirección del viento.

La componente transversal a la dirección del viento, constituye un balanceo perpendicular a la dirección del viento y es producido por una presión en las caras laterales y los vórtices que se crean en los cambios de dirección de la estructura. Finalmente ***la componente torsional***, que resulta del desbalance de las presiones en las caras de la estructura. Estas cargas de viento son mayores en estructuras asimétricas.

Como la presión del viento varía espacialmente sobre las caras de la estructura existe la posibilidad de encontrar regiones de altas presiones localizadas, esto es de particular importancia en el diseño de componentes y accesorios de la estructura, sin embargo lo más importante es el resultado integral de estas cargas ya que con estos valores se diseña el sistema estructural.

3.8.3 CARGAS DE VIENTO: NORMAS Y CÓDIGOS.

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

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

3.8.4 EFECTOS AEROELÁSTICOS.

Estos efectos en algunas ocasiones pueden tener una contribución significativa en la respuesta estructural. Estos efectos se producen en la interacción del viento y la estructura cuando ésta se mueve y varía su respuesta ante la acción del viento, por lo tanto estos efectos o fuerzas desaparecen cuando no existe movimiento estructural. Se pueden diferenciar varios tipos de efectos aeroelásticos entre ellos: vórtice inducido, vibración, galopeo, aleteo y amortiguamiento aerodinámico.

Vórtice inducido.- En una estructura con bordes pronunciados se producen vórtices cuando el viento pasa por estas esquinas produciendo variaciones en la presión sobre la superficie de la estructura. Cuando la frecuencia de esta variación en la presión se acerca a la frecuencia natural de vibración de la estructura se puede producir el vórtice inducido.

Galopeo.- Éste evento se da cuando pequeños movimientos de la estructura perpendiculares a la dirección del viento son amplificados por las fuerzas del viento.

Aleteo.- Este es el término utilizado para una situación inestable que comúnmente es un problema en el diseño de puentes de grandes luces. Es una vibración que ocurre cuando una superficie

colgante se dobla bajo una carga aerodinámica. Cuando la carga se reduce, la deflexión también se reduce regresando a su forma original la cual restaura las cargas originales y comienza nuevamente el ciclo.

3.8.5 ENSAYOS EN EL TÚNEL DE VIENTO.

A pesar de los avances computacionales los túneles de viento siguen siendo el método más efectivo para estimar los efectos del viento sobre las estructuras.

Para el diseño en ingeniería, un túnel de viento es una herramienta de investigación desarrollada para ayudar en el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos, los cuales deben ser representados a escala y aproximándose lo más posible a la realidad. En el túnel se simulan las condiciones experimentadas por la estructura en la situación real. En un túnel de viento, la estructura permanece estacionaria mientras se fuerza el paso de aire por encima de él.



Fotografía 4.3: Maquetas de estructuras estudiadas en túneles de viento.

Con estos ensayos se puede determinar la dirección que toma el viento al interactuar con la estructura, los parámetros de la

turbulencia que se presentan, medir presiones y cuantificar las fuerzas que actúan sobre la estructura.

Lastimosamente para el estudio de la presente tesis no se pudo conseguir un túnel de viento donde realizar los ensayos respectivos por lo que se calcularon las cargas de viento con la norma ASCE 7-98 mencionada anteriormente. Sin embargo se realizaron ensayos de viento sobre una maqueta a escala 1:30 de la cubierta para determinar la dirección general del viento y sus posibles efectos.



Fotografía 4.4: Efectos del viento sobre maqueta de la estructura propuesta.

3.9 CÁLCULO DE LOS ESTADOS DE CARGA QUE SE PRESENTAN EN LAS DIFERENTES POSICIONES DE LA CUBIERTA. (AL CERRARSE O ABRIRSE)

Para el cálculo de las diferentes cargas que debe soportar la estructura en las diferentes posiciones que puede presentar al cerrarse o abrirse se utilizó la norma ASCE 7-98, para lo cual se desarrolló un programa en Excel, el mismo que obtuvo los resultados que se presentan a continuación:

CAPITULO 5

DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DEL MODELO COMPUTARIZADO

5.1 GEOMETRÍA BÁSICA DE LA ESTRUCTURA

Para que cualquier estructura sea útil debe ser diseñada para cumplir las exigencias a las que va a ser sometida durante su vida útil, las cubiertas deben proveer protección a las personas que están bajo ellas de los agentes medio ambientales. En el caso específico de las cubiertas mecanizadas, éstas pueden además controlar los agentes externos como la lluvia o calores intensos haciendo más agradable la permanencia de las personas al interior de la estructura.

En el establecimiento de la geometría de la cubierta mecanizada se tomaron en cuenta varios factores entre los que podemos mencionar:

- La arquitectura del Edificio Central de la Espe.
- Forma de la cubierta.
- Pendientes mínimas.
- Aerodinámica.

5.1.1 LA ARQUITECTURA DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA ESPE

Por ser una edificación existente con todos sus elementos estructurales constitutivos ya existentes se debió adaptar la geometría de la cubierta mecanizada a estos elementos. La separación de las columnas existentes del edificio es de 12,90 m. lo que obligó a que la separación entre los apoyos que sostienen la cubierta sea la misma. En la losa de cubierta del edificio existen

vigas que unen las columnas y sobre las que se empotrarán las vigas I de acero que permitirán la apertura y cierre de la cubierta.



Fotografía 5.1: Instalaciones del Edificio Central de la ESPE.

5.1.2 FORMA DE LA CUBIERTA

La forma de la cubierta se basa en varios factores:

El primero es que debe ser estéticamente decorativa y no desentonar con el resto de instalaciones de la Espe. El policarbonato se puede obtener en una variada gama de colores pudiendo decorar la cubierta con el emblema de la Escuela Politécnica del Ejército.

Se adoptó como elemento estructural el arco ya que este distribuye de mejor manera las cargas trasladando las mismas a sus apoyos y transformándolas en fuerzas horizontales, disminuyendo el tamaño de la estructura, contribuyendo a que sea más liviana y flexible.

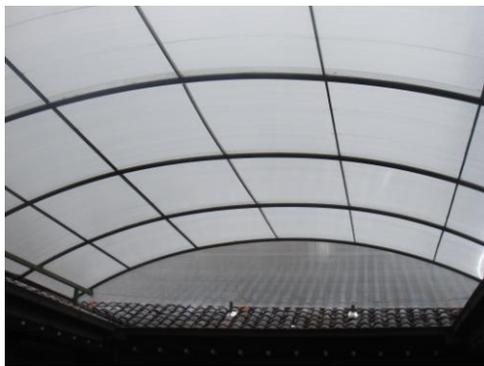
Además el policarbonato puede ser doblado en frío sin ninguna dificultad soportando mayores cargas que cuando es utilizado de manera plana.

Se estudiaron además varios tipos de cubiertas existentes en Quito dentro de las visitas realizadas con el Sr. Ing. Christian Endara,

Director de Tesis para escoger el mejor modelo y adaptarlo a nuestras necesidades.



Fotografía 5.2: Fotografías de la Cubierta Móvil del Mall San Luis y Cubierta con elementos en arco del Centro Cultural Metropolitano.



Fotografía 5.3: Fotografías de la Cubierta diseñada por el Sr. Ing. Christian Endara en el Edificio del Patronato Municipal de Quito.

5.1.3 PENDIENTES MÍNIMAS

Como se estableció en la filosofía de diseño, estas cubiertas no están construidas para soportar cargas sino más bien para disiparlas, por ello se establecieron pendientes mínimas para que la cubierta desaloje el agua y granizo para no soportar sus cargas.

Mediante el medidor de pendientes se estableció que con una pendiente del 10% el policarbonato puede eliminar las cargas de granizo y lluvia, debido a esto el arco parte en su arranque con un ángulo de 35° lo que permite tener en el 90% de la cubierta una

pendiente superior a la pendiente mínima lo que nos asegura un buen funcionamiento de la cubierta.



Fotografía 5.4: Fotografía del medidor de pendientes simulando lluvia.

5.1.4 AERODINÁMICA

Debido a su gran tamaño y su liviana estructura, esta cubierta tendrá como carga principal la de viento, por ello se buscó darle una forma estética y aerodinámica para disipar parte de estas cargas. En la parte frontal y posterior de la cubierta se colocaron estructuras elipsoidales para desviar el viento y no soportar su carga frontalmente.

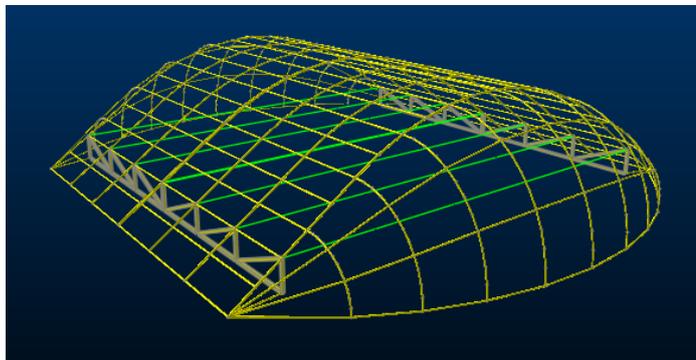


Figura 5.1: Figura Tridimensional de la Estructura propuesta en la tesis.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se estableció la geometría para la cubierta mecanizada con las siguientes características:

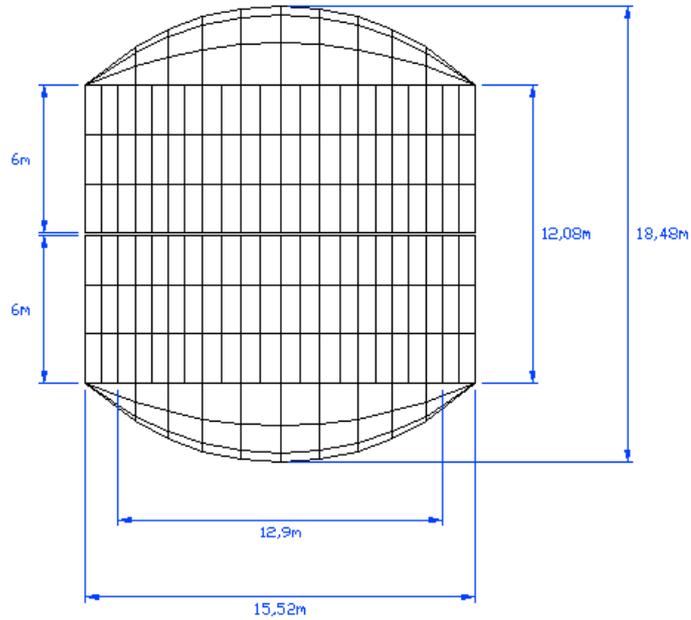


Figura 5.2: Planta de la Cubierta propuesta en la tesis.

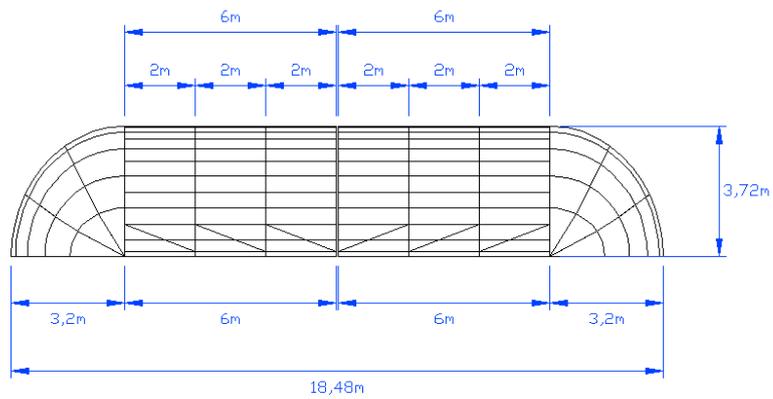


Figura 5.3: Vista Lateral de la Cubierta propuesta en la tesis.

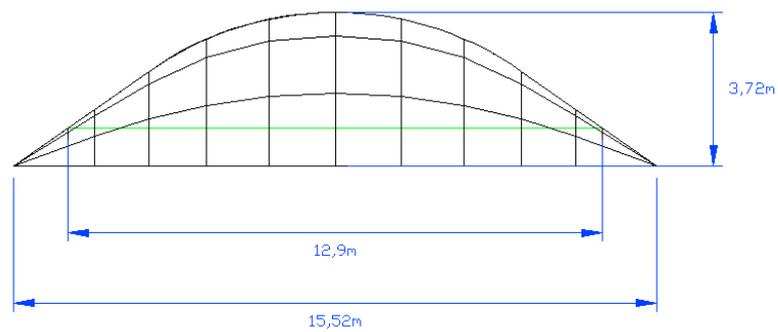


Figura 5.4: Vista Frontal de la Cubierta propuesta en la tesis.

5.2 ESTABLECIMIENTO DEL MODELO COMPUTARIZADO.

Con el avance de la ciencia y tecnología cada día se desarrollan y mejoran nuevos programas que nos facilitan el cálculo estructural en la Ingeniería. En la actualidad se dispone de programas como el AutoCAD que es una herramienta de dibujo que facilita la creación de las geometrías para luego realizar su análisis y diseño.

Con el Programa SAP 2000 (Structural Analysis Program) se realizó el diseño de los diferentes elementos estructurales de la cubierta hasta llegar a la opción más adecuada. Durante todo el proceso de diseño con este programa se contó con la dirección del Sr. Ing. Pablo Caiza, Codirector del proyecto, quien tiene un profundo conocimiento en el diseño de estructuras y empleo de las diferentes herramientas de las que dispone este programa.



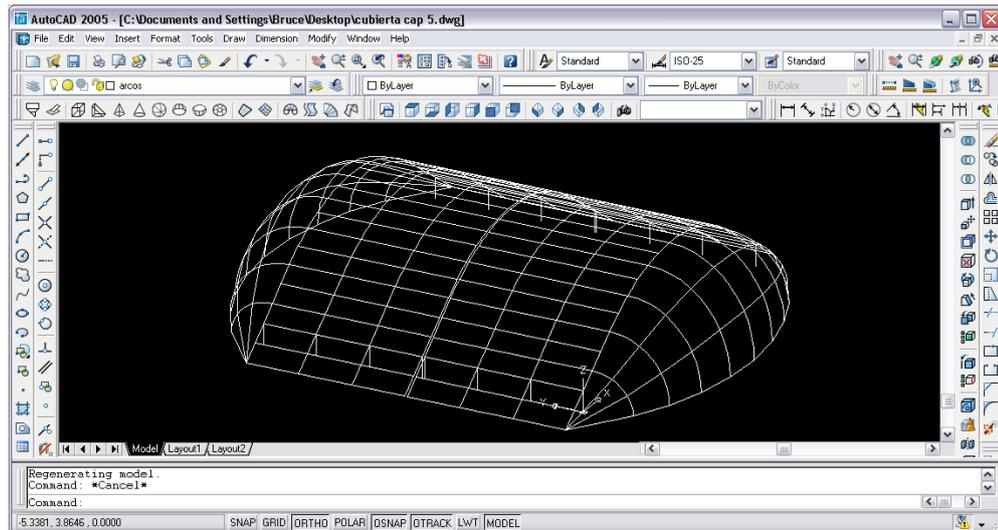
Fotografía 5.5: Sr. Ing. Pablo Caiza Codirector de la tesis revisando el modelo.

Para el diseño de los elementos móviles se utilizó el programa ALGOR que permite ver el funcionamiento, tensiones y deformaciones de los diferentes mecanismos que permiten el movimiento de la cubierta mediante el análisis de elementos finitos en la comprobación de las piezas.

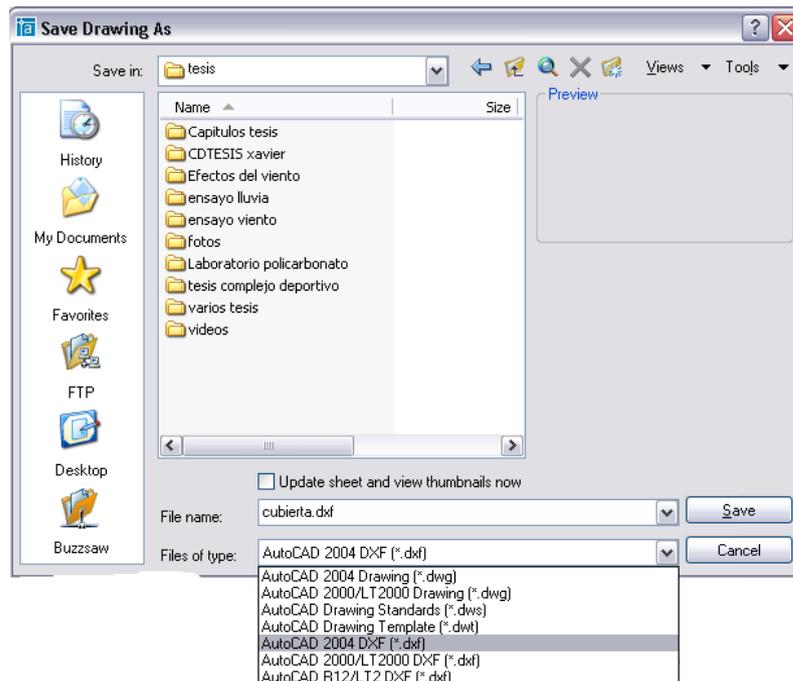
Importación del Modelo de la estructura.

Para la importación del modelo se procedió de la siguiente manera:

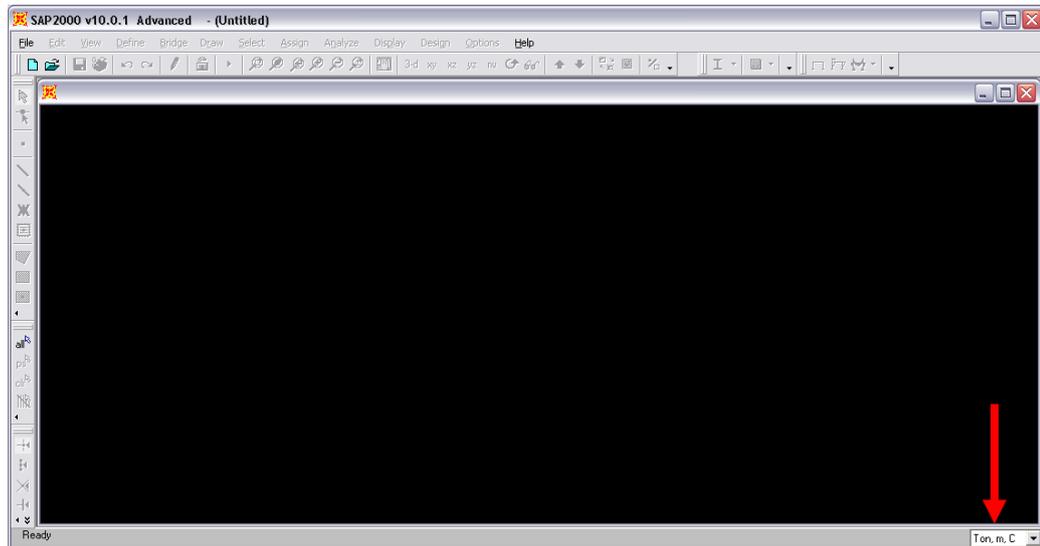
- Se dibujó la estructura en el programa Autocad 2005 teniendo en cuenta que se debe guardar las barras en un mismo layer y se ubicó el pie de la columna inicial en las coordenadas $X=0$, $Y=0$ y $Z=0$.



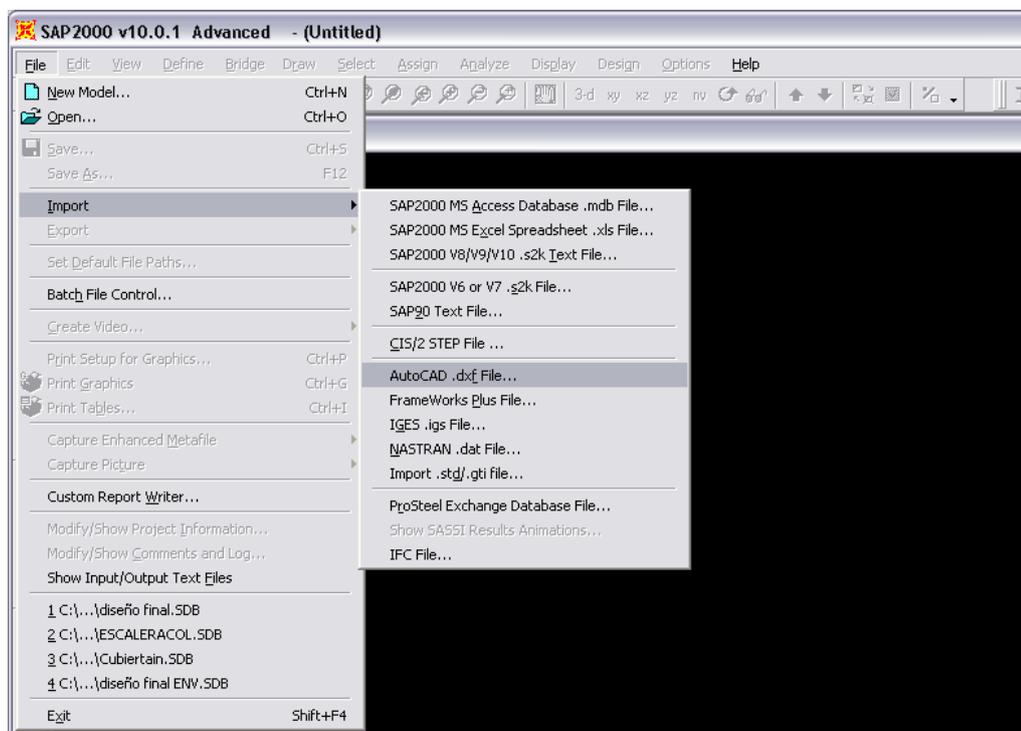
- Una vez dibujada la cubierta en Autocad, se debe guardar el archivo con la extensión (*.dxf) para que el programa SAP pueda importar el dibujo sin ningún inconveniente.



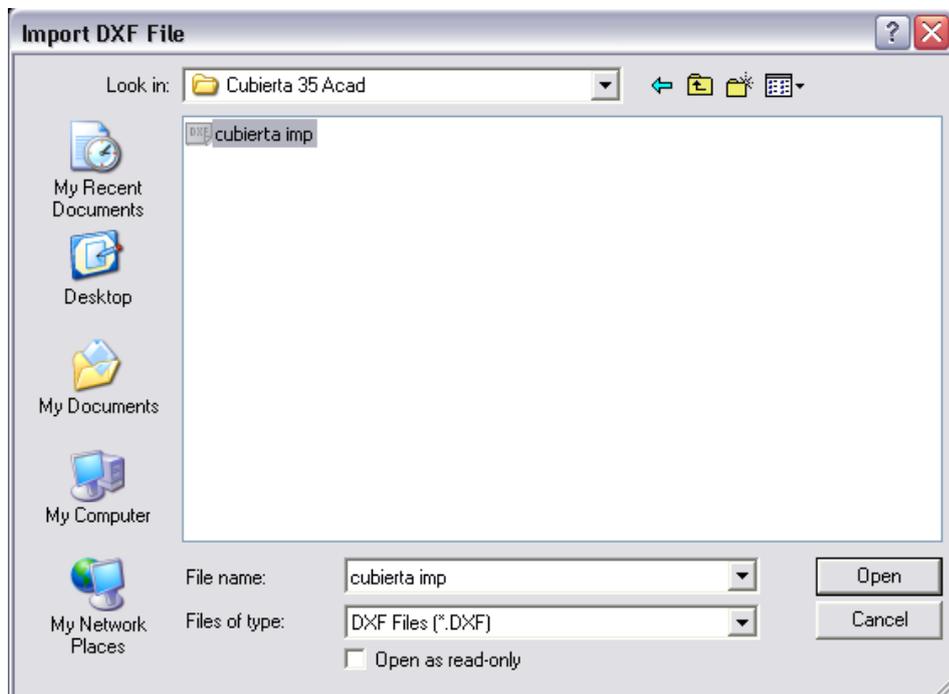
- Se debe tener en cuenta al iniciar el programa SAP 2000 la selección de unidades con las que se va a trabajar en el diseño para lo cual elegimos en la esquina inferior derecha las siguientes unidades: *T* (toneladas), *m* (metros) y *C* (Grados centígrados).



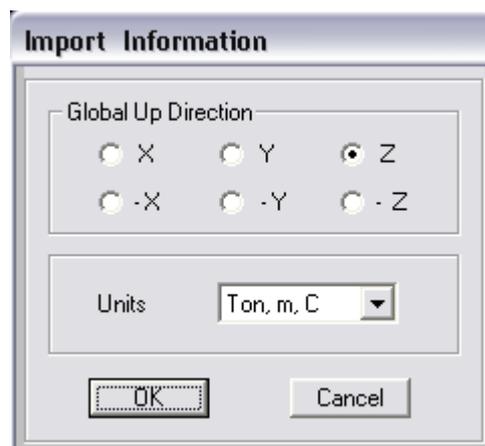
- Se importa el archivo en el menú *File/Import/AutoCAD.dxf file*.



- Se selecciona el archivo *Cubierta imp*, el que esta guardado con la extensión *dxf*.



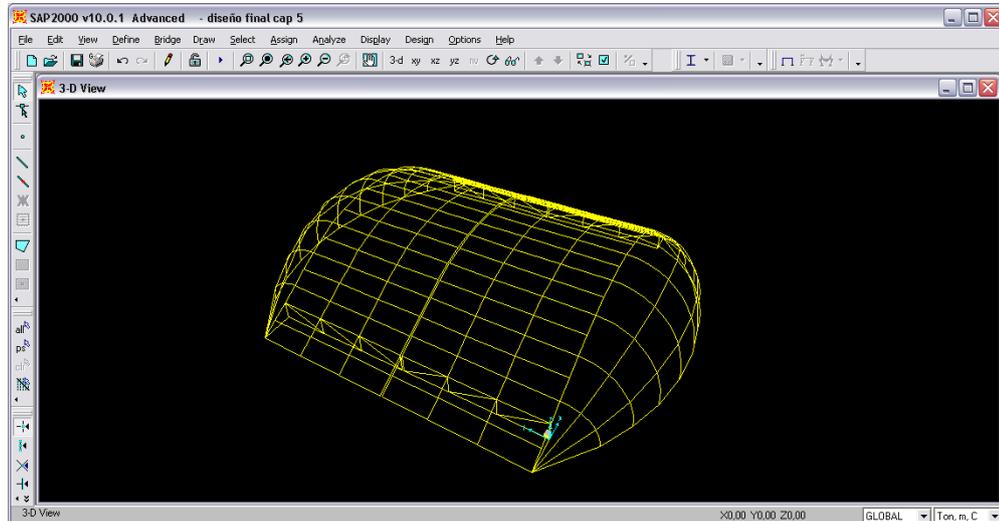
- De inmediato al abrir el archivo se despliega la pantalla *Import Information*, donde se selecciona como eje vertical de coordenadas el eje Z.



- Al seleccionar *OK*, aparece la ventana *DXF import*, en esta se selecciona en la opción *Frames* el layer donde se guardaron las barras en Autocad.



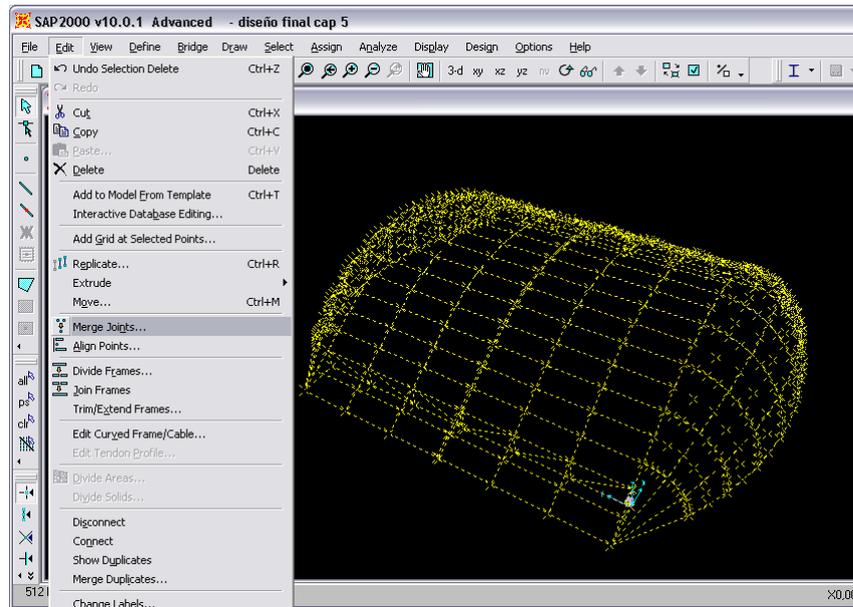
- Para poder visualizar la estructura se escoge el icono *3-d*.



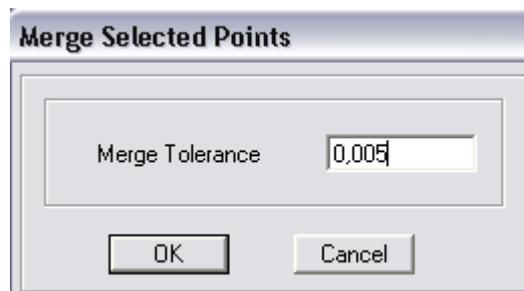
- Por problemas de aproximación de decimales entre los programas Autocad y SAP no existe una correcta importación de la estructura lo que produce que se importen demasiados puntos y existan varias barras sueltas que dan como resultado una estructura inestable. Para

solucionar este problema unimos todos los nudos de la estructura que tengan una separación menor a 5 mm. así:

Seleccionamos todos los nudos de la estructura y posteriormente se usa el menú *Edit / Merge Joints*.



- Al ser escogido este menú se despliega la pantalla *Merge Selected Points* y escogemos una tolerancia de 0.005 m con lo cual hacemos que se unan los puntos que están a una distancia menor a la dada.

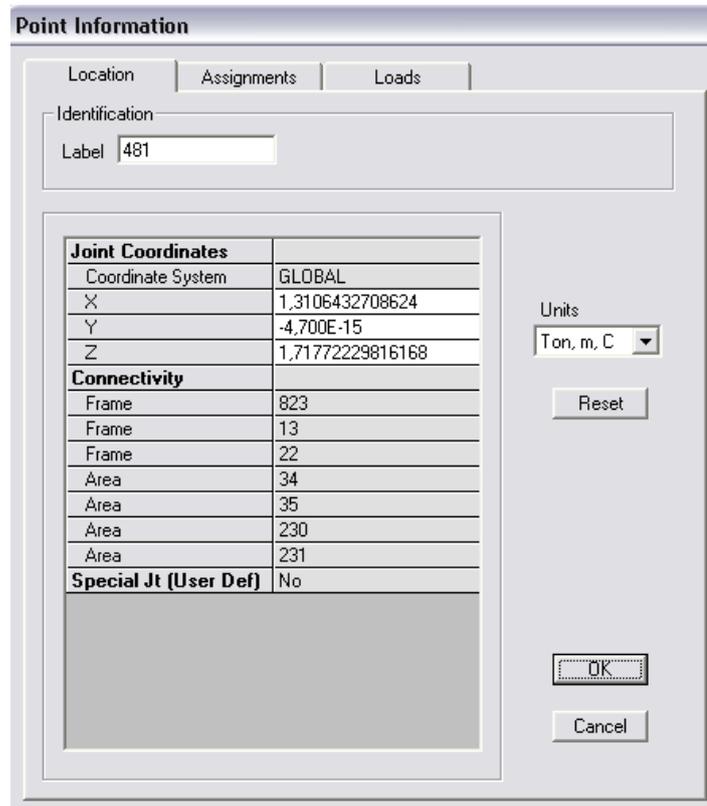


- Finalmente se comprobó que el número de barras y nudos sean los mismos que se tienen en la maqueta hecha a escala de la cubierta.

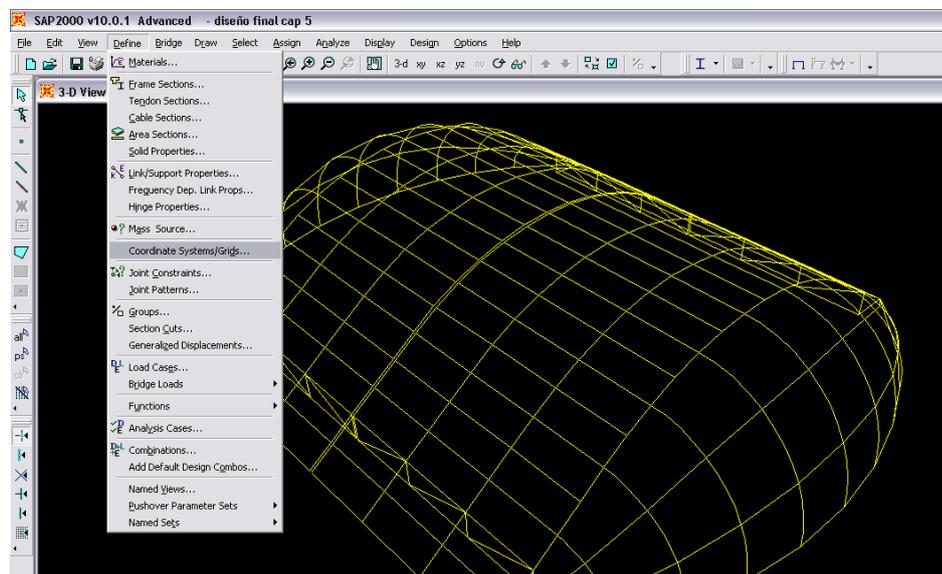
Edición de la grilla del modelo.

Para la edición de la grilla se procedió de la siguiente manera:

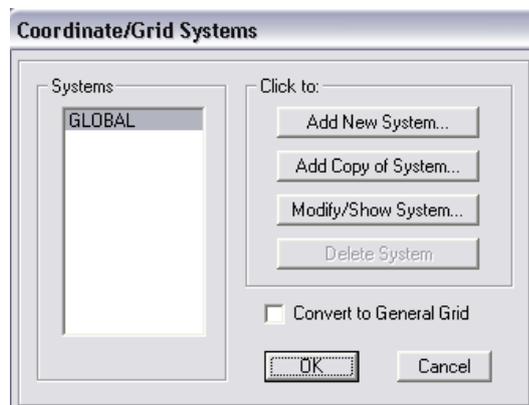
- Se tomó de referencia las coordenadas de los puntos donde se desea editar la grilla y se los copia.



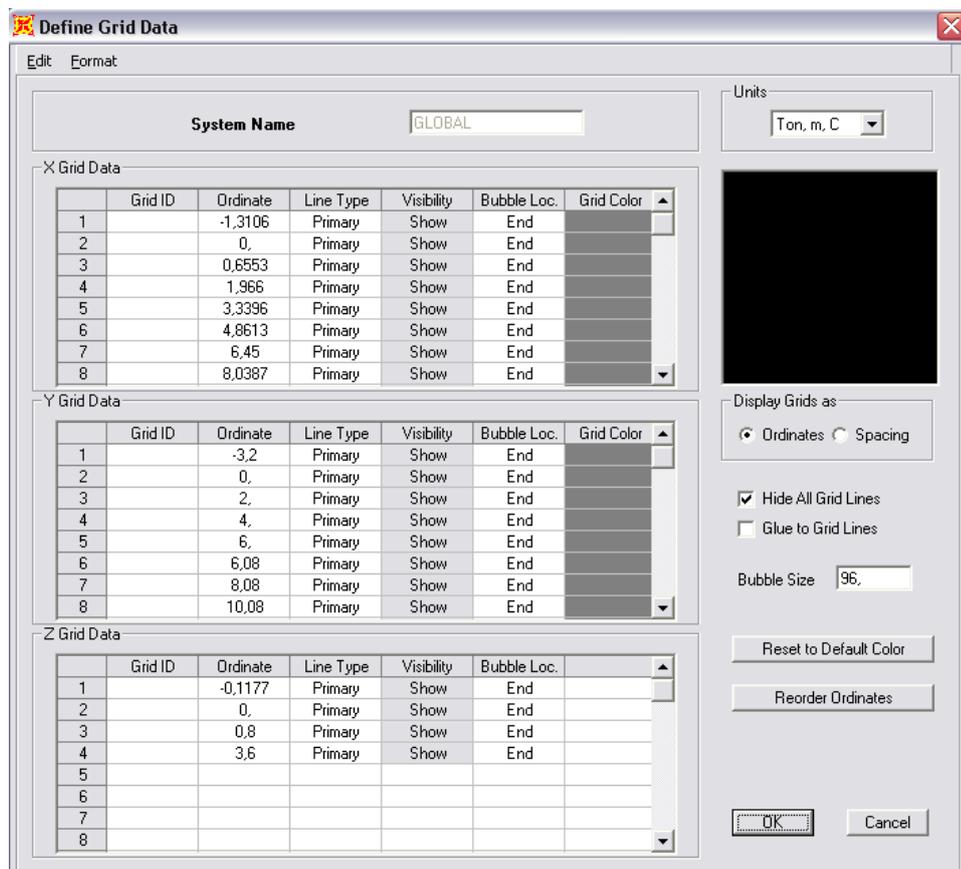
- Se selecciona el menú *Define/Coordinate Systems Grids*.



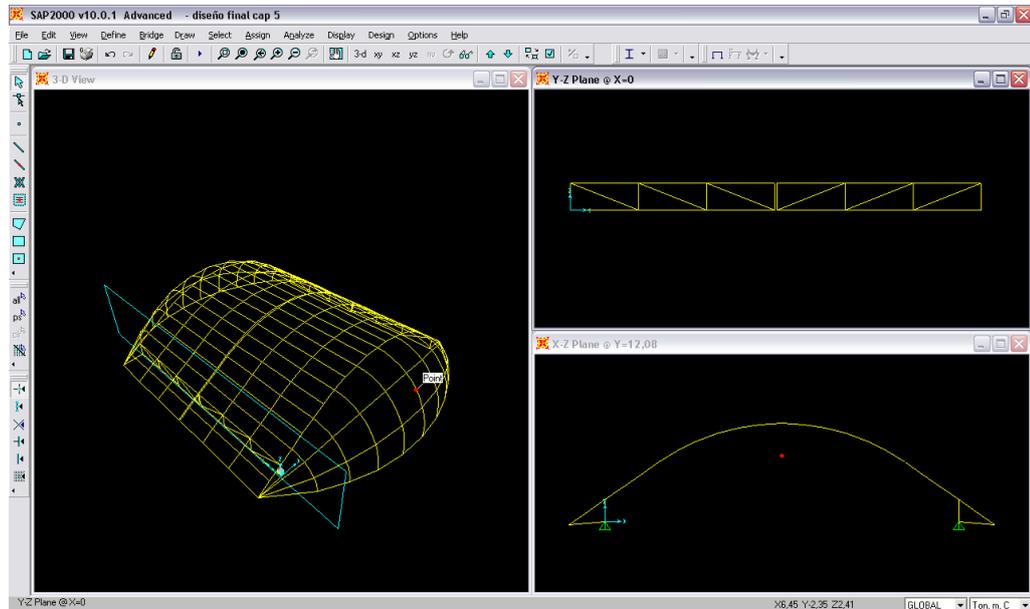
- Luego se despliega la pantalla *Coordinate/Grid Systems* y se hace un clic en el icono *Modify/Show System*.



- En la pantalla desplegada *Define Grid Data* se coloca los datos de coordenadas copiados que servirán para crear las grillas o redes en todos los ejes. Es importante poner todas las coordenadas para una buena visualización de la estructura en cualquier eje.



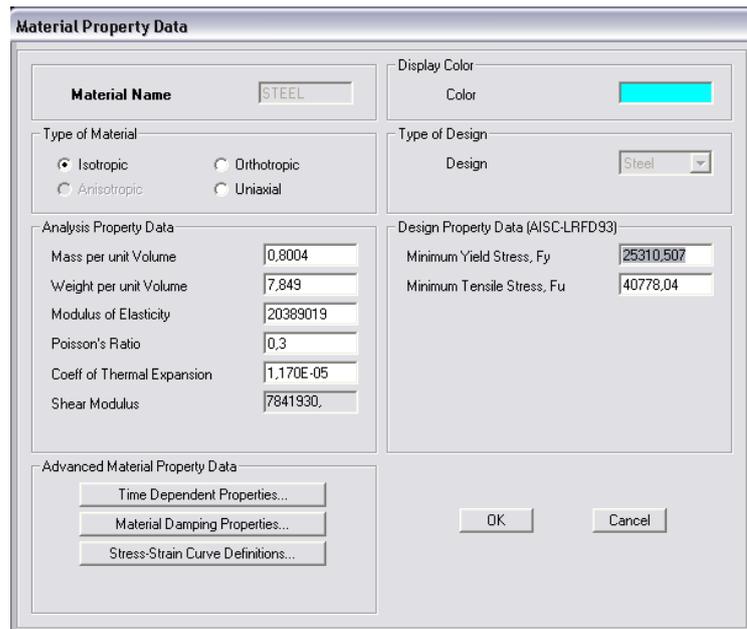
- Se puede trabajar con varias ventanas requeridas por el usuario las cuales se obtienen ingresando al *menú Options/Windows* y la opción deseada.



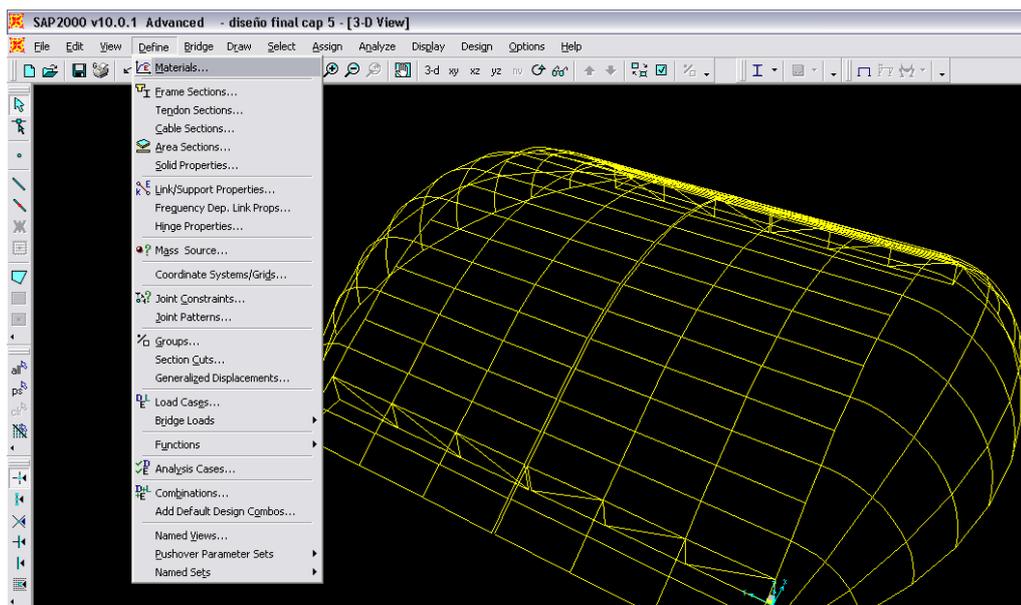
Definición de Materiales de la Estructura.

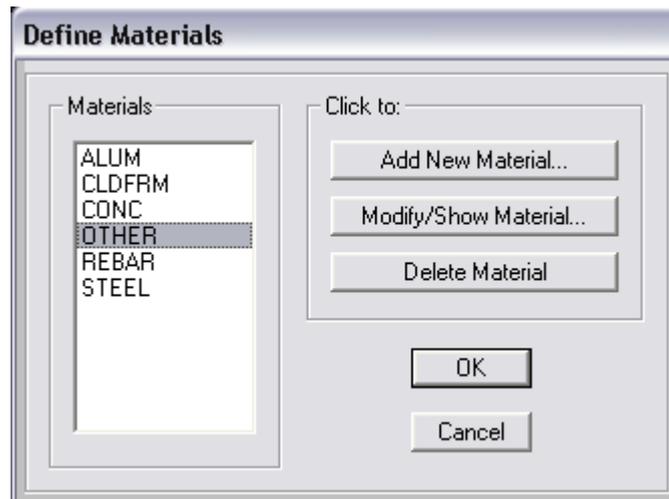
Como siguiente paso se debe definir los materiales con los que se va a construir la cubierta siendo estos el Acero A-36 y Policarbonato alveolar de 8 mm. de espesor para lo cual procedemos de la siguiente manera:

- Para el caso del Acero se tomó todas las propiedades que da por defecto el programa SAP 2000 que coinciden con las características del material que se comercializa en el Ecuador.

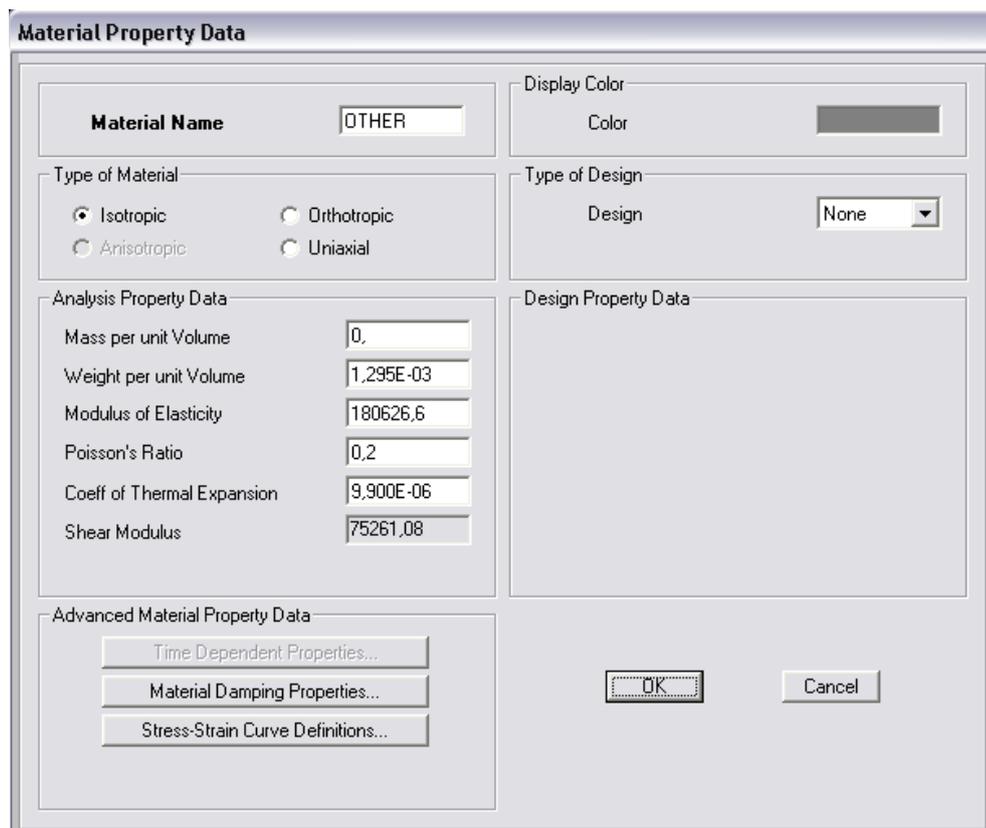


- En cambio para el Policarbonato, por ser un material que no consta con sus propiedades en SAP 2000 se procede a colocar los resultados obtenidos de los ensayos realizados, descritos en el Capítulo III. Para esto entramos al menú *Define/Materials* y escogemos *OTHER* y *Modify/Show Material*.





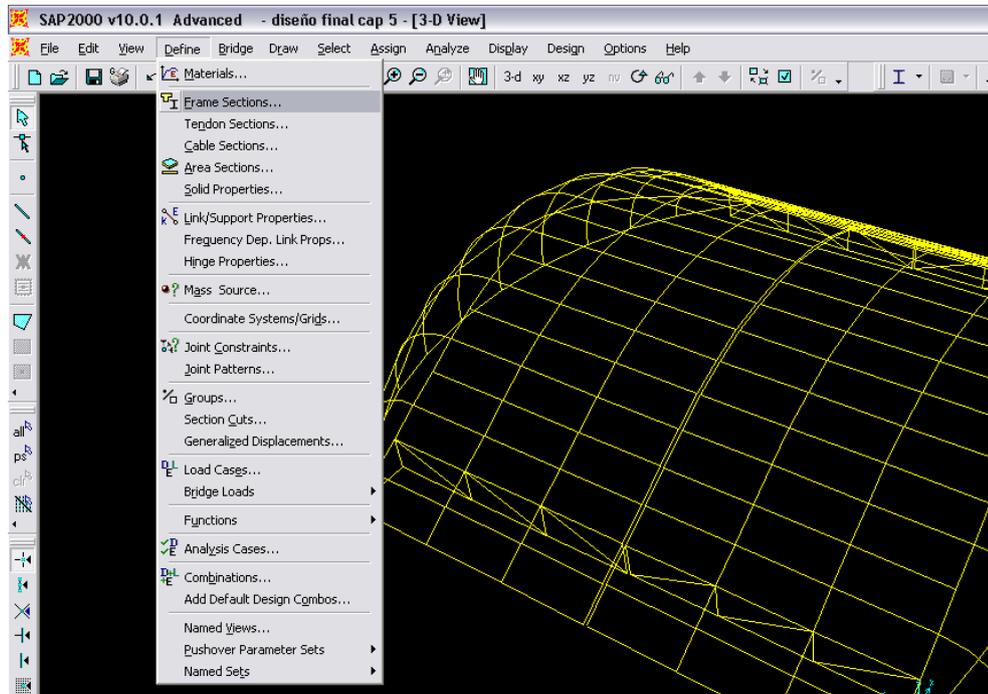
- En la pantalla desplegada *Material Property Data* colocamos las características del Policarbonato obtenidas en los ensayos.



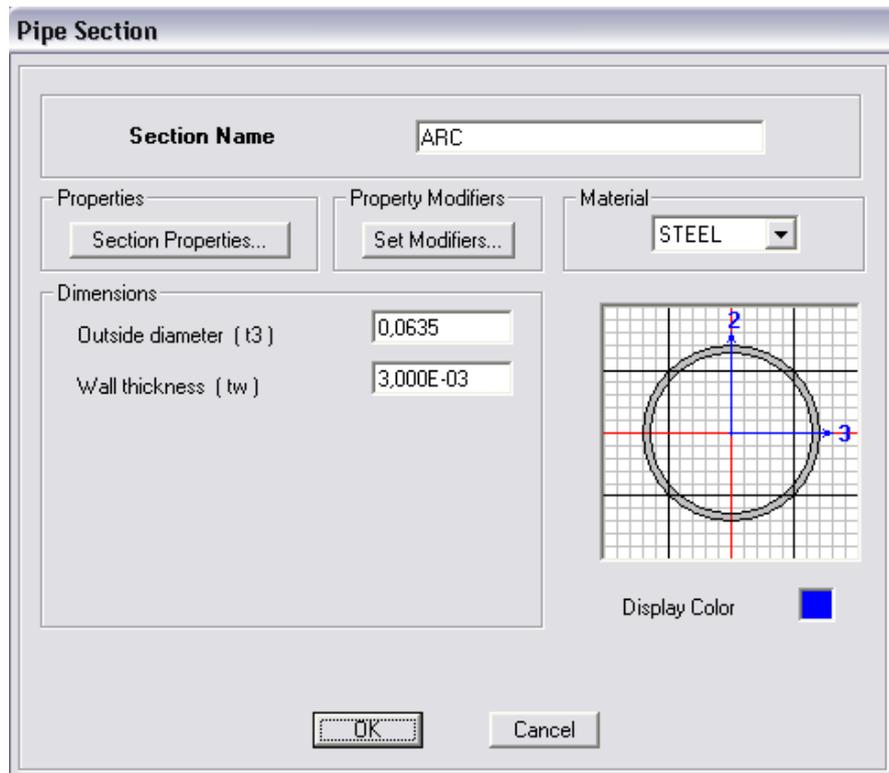
Definición de secciones de la Estructura

Para definir las secciones de las barras de la estructura procedemos de la siguiente manera:

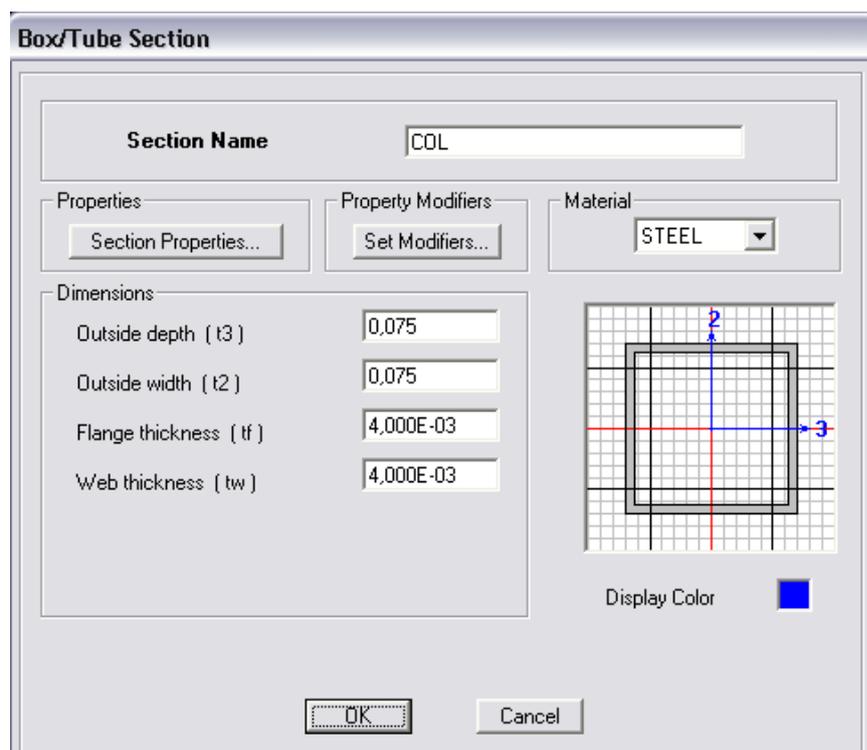
- Primeramente vamos al menú *Define/Frame Sections*



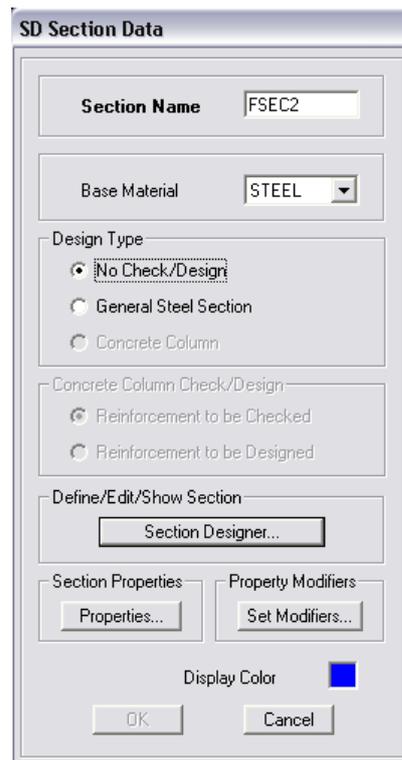
- Desplegada la Pantalla *Frame Properties* procedemos a borrar todas las secciones que nos viene por defecto para no tener secciones que no se vaya a utilizar en el diseño.
- Para el caso de los tubos estructurales se selecciona *Add Pipe*, luego *Add New Property*, y se va colocando el nombre del Perfil, sus dimensiones y material. En este paso debemos tomar en cuenta las unidades en que estamos trabajando para poner las dimensiones y espesores del tubo.



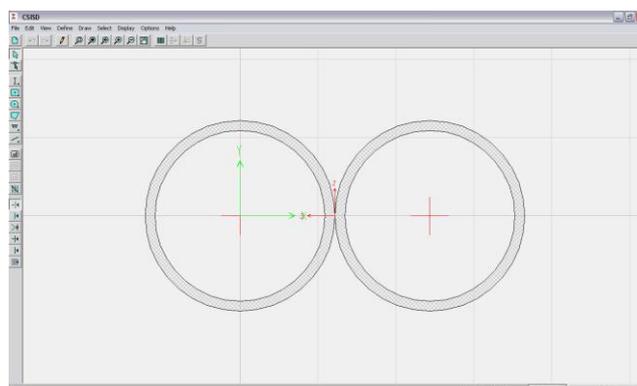
- Para las columnas de la estructura se selecciona *Add Rectangular*, luego *Add New Property*, y se va colocando el nombre del Perfil, sus dimensiones y material.



- Para el diseño de la cubierta se necesitaron secciones de geometría especial para lo cual se selecciona *Add SD Section* y luego *Add New Property* después de lo cual se despliega la pantalla *SD Section Data* en donde seleccionamos el material y hacemos clic en el icono *Section Designer*.



- En este momento se despliega una pantalla gráfica donde se procede a dibujar la geometría de la figura del perfil deseado teniendo el cuidado de guardar dicho archivo para tener a mano estas secciones especiales.



Definición de los Cables de la Estructura.

Se define las propiedades de los cables a ser utilizados de la siguiente manera:

- Se ingresa al menú *Define/Cable Sections/Add New Sections* en donde escoge el nombre, material y el diámetro del cable.

The image shows a software dialog box titled "Cable Section Data". It is used for defining cable properties. The dialog is organized into several sections:

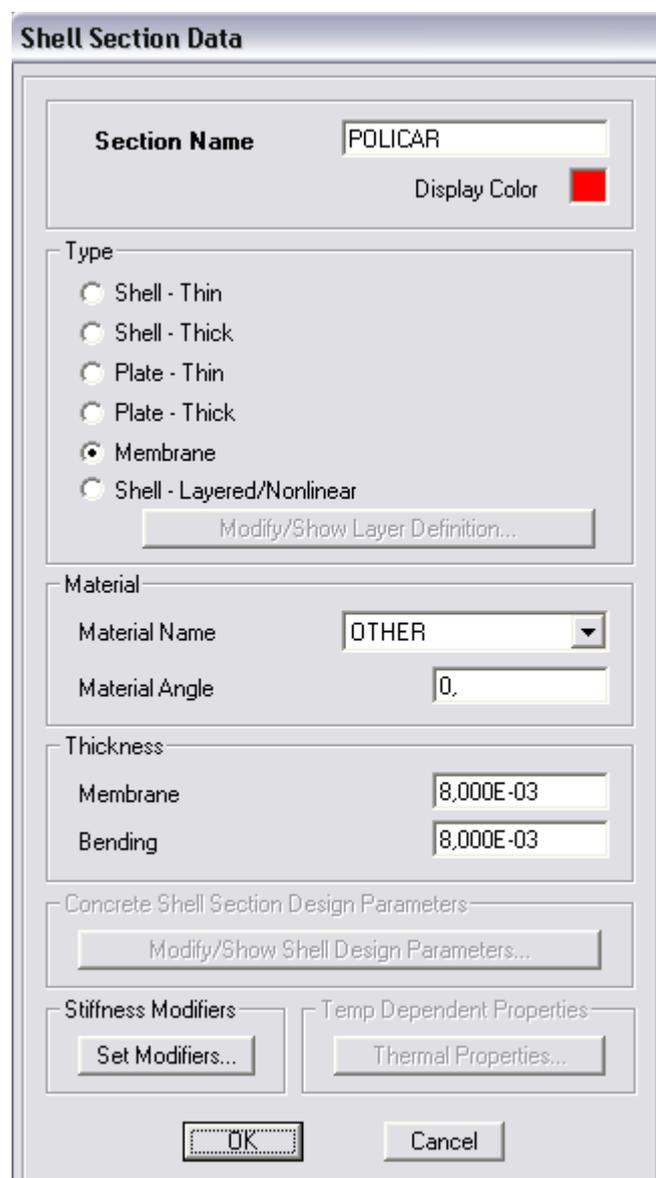
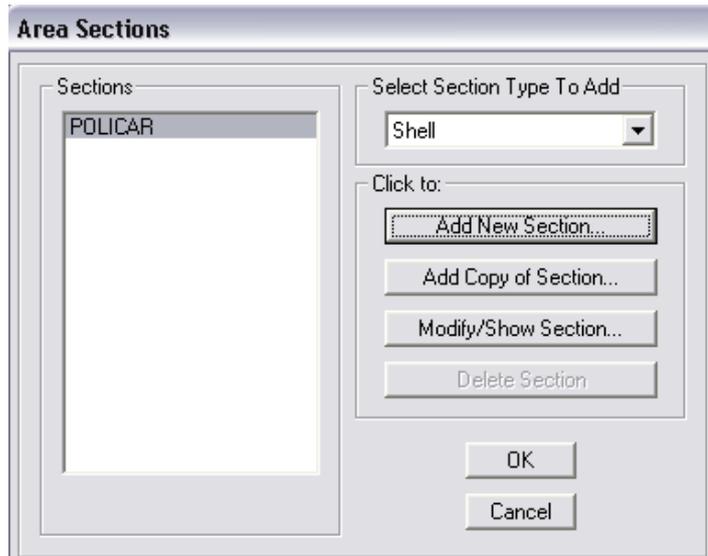
- Cable Section Name:** A text input field containing "CAB200".
- Cable Material:** A section containing a "Material Property" dropdown menu currently set to "STEEL".
- Cable Properties:** A section with two radio buttons: "Specify Cable Diameter" (which is selected) and "Specify Cable Area". Below these are five input fields: "Torsional Constant" (2,690E-09), "Moment of Inertia" (1,345E-09), and "Shear Area" (1,170E-04). There is also a button labeled "Modify/Show Cable Property Modifiers...".
- Units:** A section with a dropdown menu set to "Ton, m, C" and a "Display Color" checkbox.

At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Definición de las Áreas de Policarbonato de la Cubierta.

Posteriormente se define las áreas que van a representar al Policarbonato en la cubierta de esta forma:

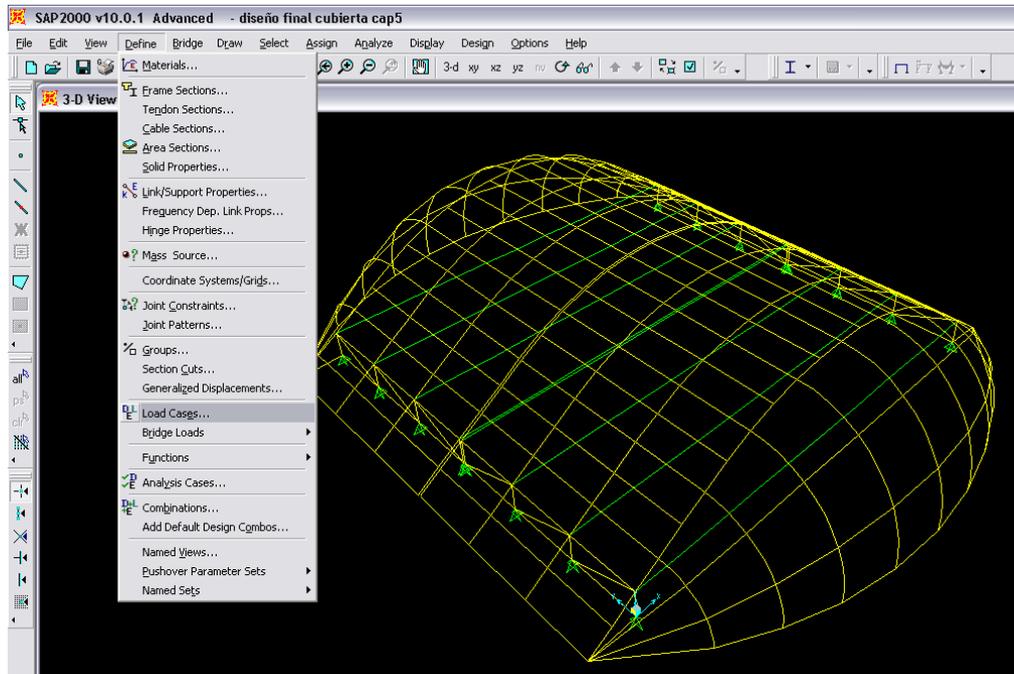
- Vamos al menú *Define/Area Sections* y en la pantalla *Area Section* seleccionamos la opción *Shell* y *Add New Section*. En la siguiente pantalla *Shell Section Data* colocamos el nombre de la sección, que sea de tipo membrana, el material previamente definido y los espesores del policarbonato.



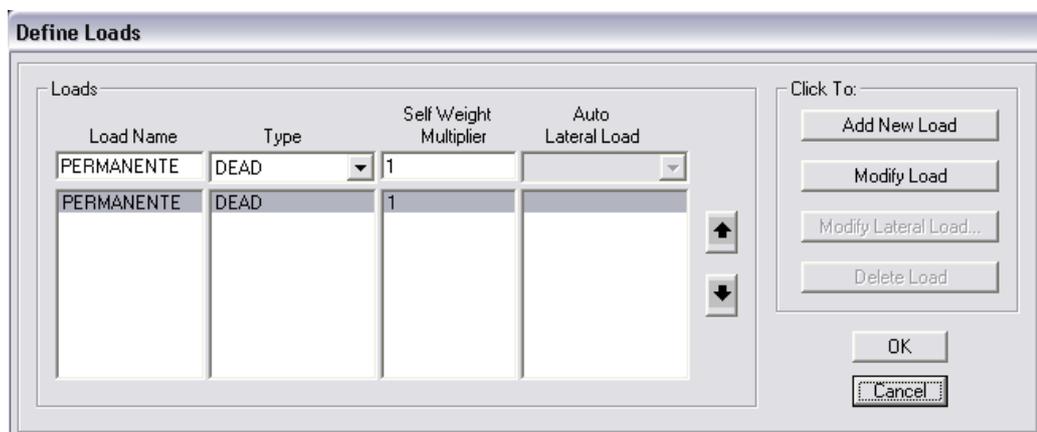
Definición de Cargas que intervienen en la Estructura.

En este momento se definirá las cargas que van a ser aplicadas en la estructura. Para esto realizamos el siguiente procedimiento:

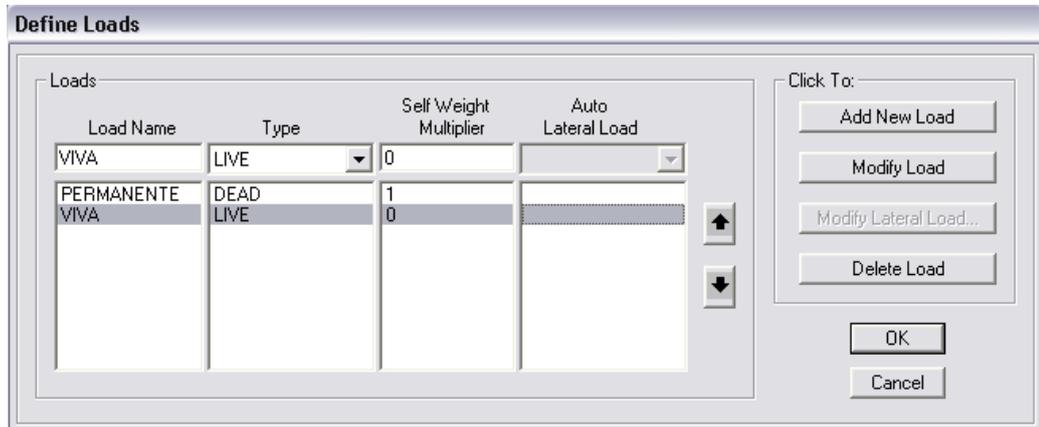
- Se ingresa al menú *Define/Load Cases*.



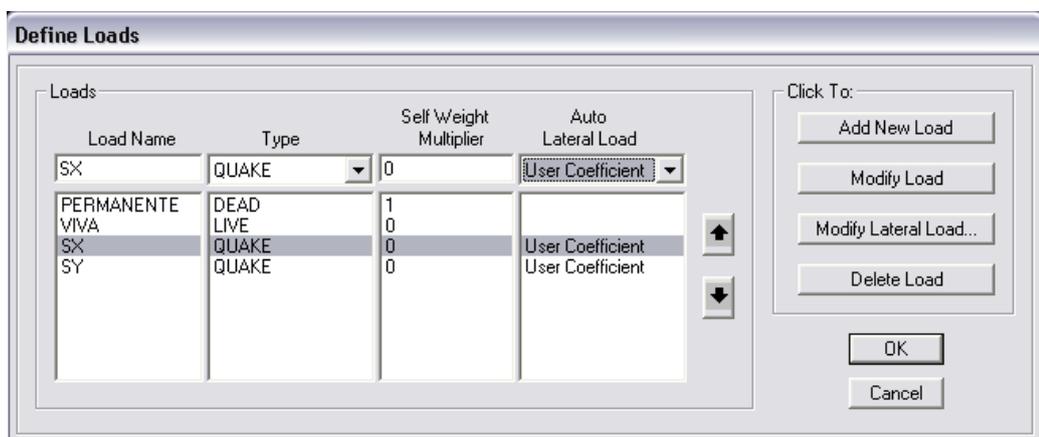
- Se despliega la pantalla *Define Loads*, en la cual colocamos el nombre de la carga en este caso *PERMANENTE*, El tipo *DEAD* y por último *Self Weight Multiplier* (multiplicador del peso propio) = 1.



- Para definir la carga viva en el programa se ingresa al menú *Define/Load Cases* y se despliega la pantalla *Define Loads*, en la cual colocamos el nombre de la carga en este caso *VIVA*, El tipo *LIVE* y por último *Self Weight Multiplier = 0*.



- Para definir la carga sísmica se ingresa al menú *Define/Load Cases* y se despliega la pantalla *Define Loads*, en la cual colocamos el nombre de la carga en este caso serán el sismo en las dos direcciones, por tanto escribimos *SX* y *SY*, El tipo *QUAKE*, el *Self Weight Multiplier = 0* y modificamos la casilla *Auto Lateral Load* donde colocamos *User Coefficient*.



- En la carga sísmica debemos ingresar en la misma pantalla anterior a *Modify Lateral Loads* donde escogemos la dirección global del sismo sea *X* o *Y* y cambiamos el valor del coeficiente basal en *Base Shear Coefficient*, *C* valor que fue calculado en el capítulo anterior.

User Defined Seismic Loading

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaphragms)

Override Diaph. Eccentricities

Other Factors

Base Shear Coefficient, C
 Building Height exp., K

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated
 User Specified

Max Z
 Min Z

- Para definir la carga de viento procedemos de la misma manera que en los casos anteriores, se ingresa al menú *Define/Load Cases* y se despliega la pantalla *Define Loads*, en la cual colocamos el nombre de la carga en este caso *VIENTO*, El tipo *WIND* y por último *Self Weight Multiplier* (multiplicador del peso propio) = 0. Este procedimiento se lo realiza cinco veces puesto que cada estado de carga representará las diferentes posiciones de apertura de la cubierta

Define Loads

Loads

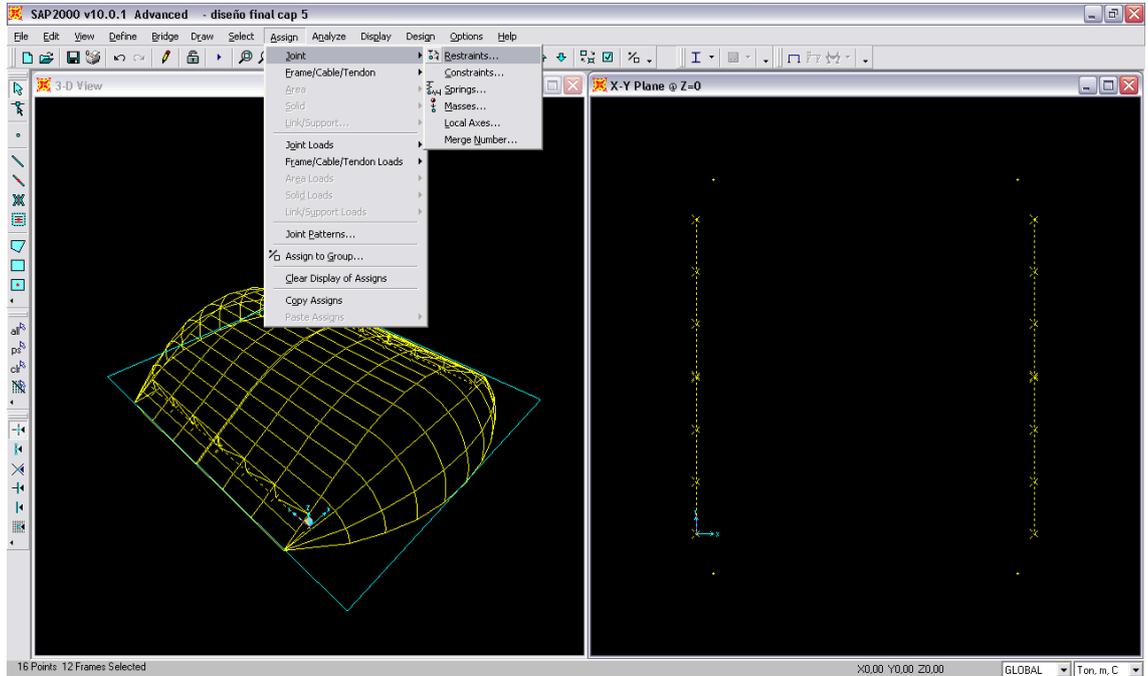
Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
VIENTO05	WIND	0	None
PERMANENTE	DEAD	1	
VIVA	LIVE	0	
SX	QUAKE	0	User Coefficient
SY	QUAKE	0	User Coefficient
VIENTO01	WIND	0	None
VIENTO02	WIND	0	None
VIENTO03	WIND	0	None
VIENTO04	WIND	0	None
VIENTO05	WIND	0	None

Click To:

Asignación de los Apoyos de la Estructura.

Para la asignación de los apoyos lo realizamos de la siguiente forma:

- Seleccionamos los nudos que tengan las mismas condiciones de apoyo y seleccionamos el menú *Assign/Joint/Restraints*.



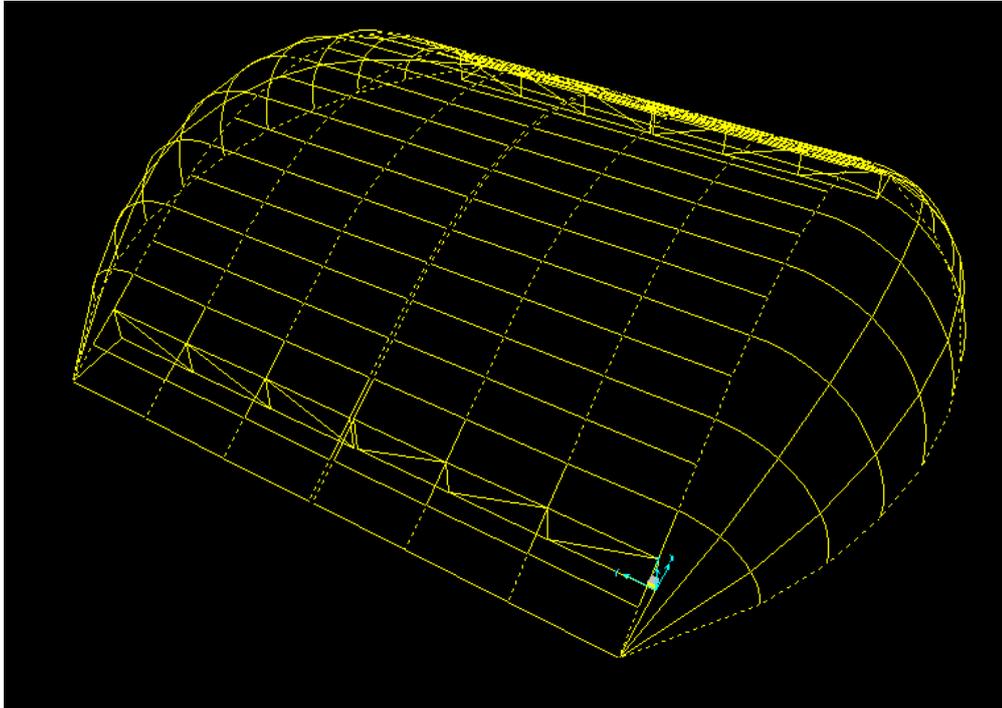
- En la pantalla *Joint Restraints* seleccionamos las condiciones de apoyo que en el caso de la cubierta móvil propuesta son los que se indican en el siguiente gráfico:



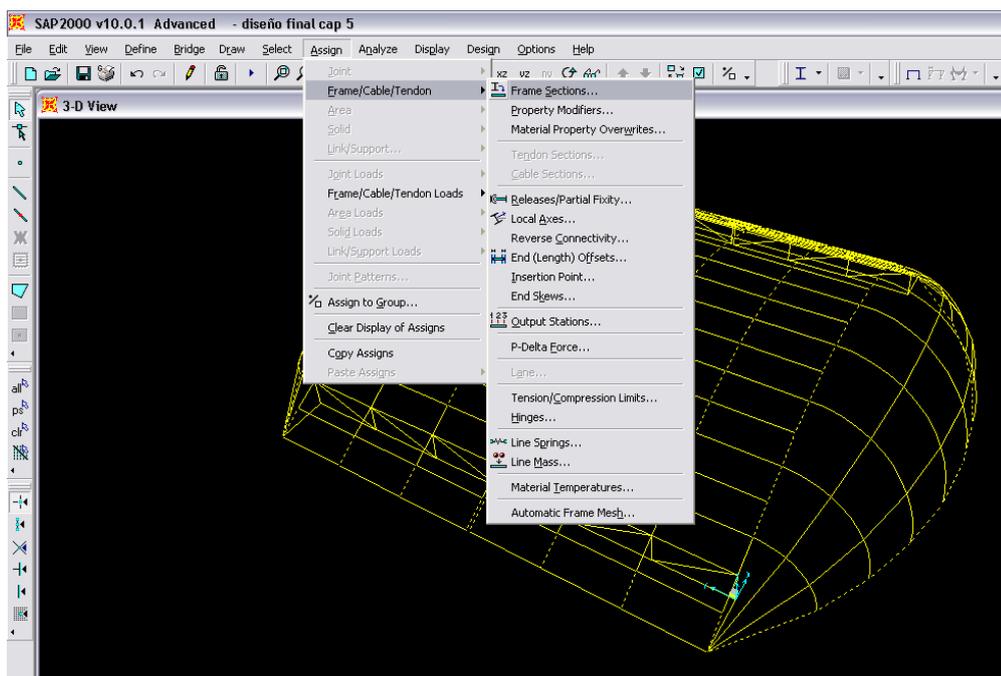
Asignación de los Perfiles en la Estructura.

Ya realizado el anterior trabajo procedemos a asignar los perfiles de las distintas barras de la estructura de la siguiente manera:

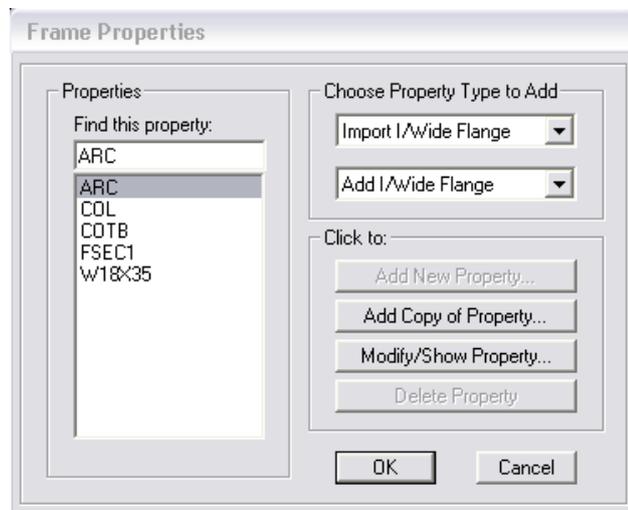
- Seleccionamos las barras que tienen el mismo perfil.



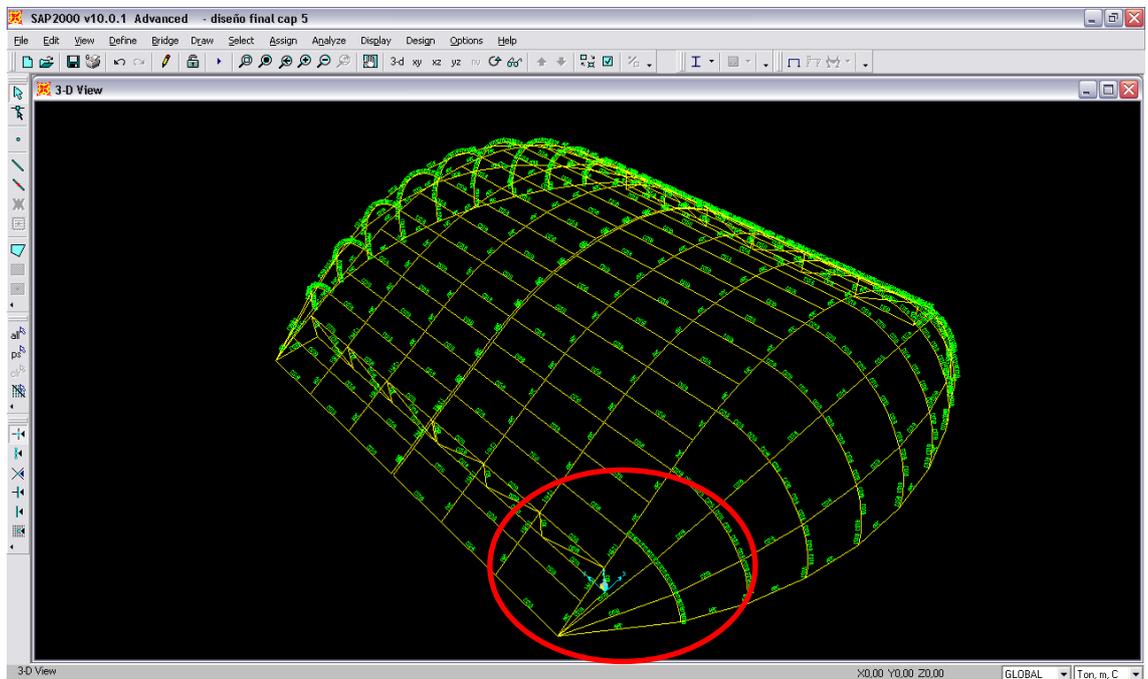
- Entramos en el menú *Assign/Frame,Cable,Tendon/Frame Sections*.

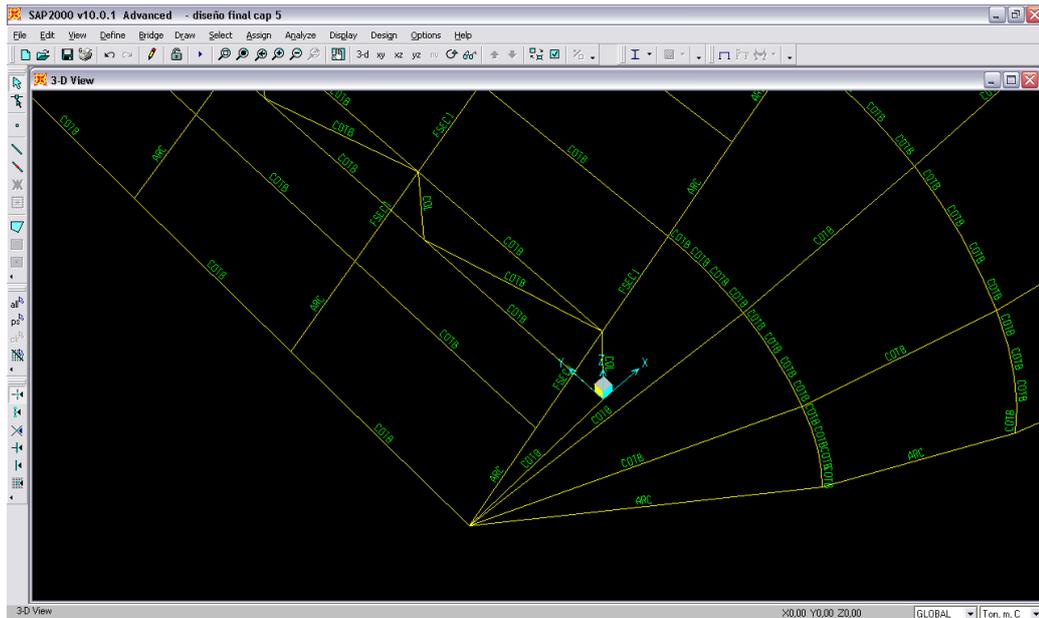


- Luego aparece la pantalla *Frame Properties* en la que se deberá escoger el perfil deseado y se dará clic en *OK*.



- Este mismo trabajo se realizará para todas las barras que componen la estructura dando como resultado las graficas que están a continuación:

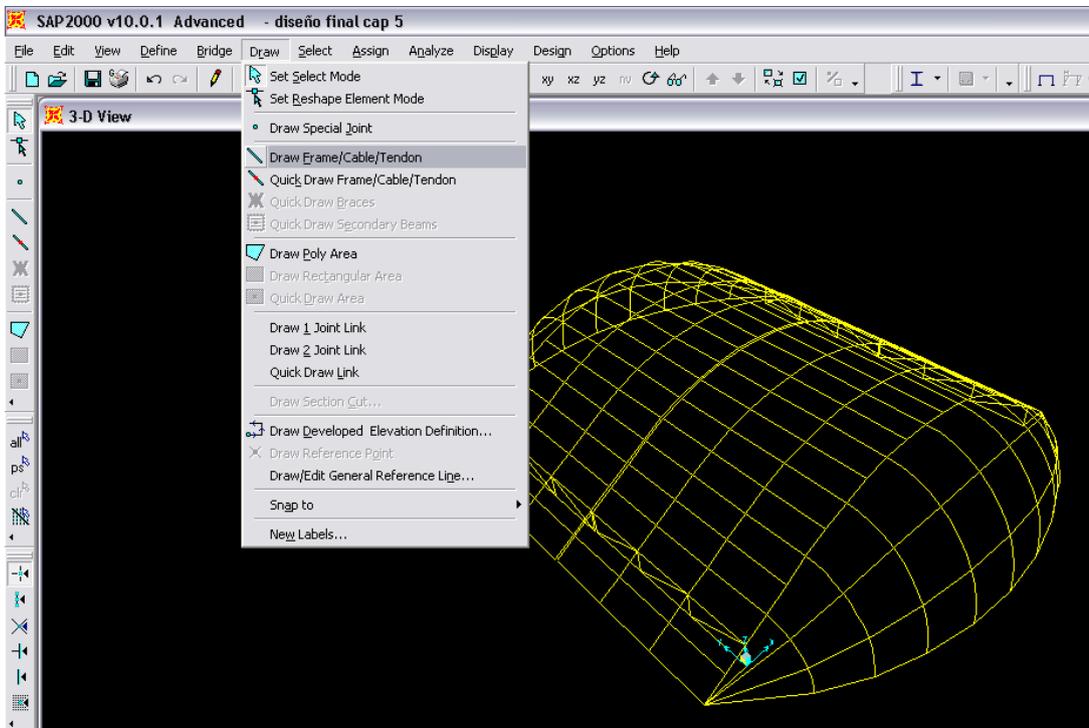




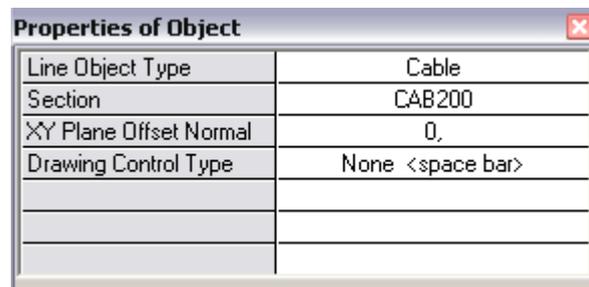
Asignación de los cables en la Estructura.

Para la asignación de los cables procedemos de la siguiente manera:

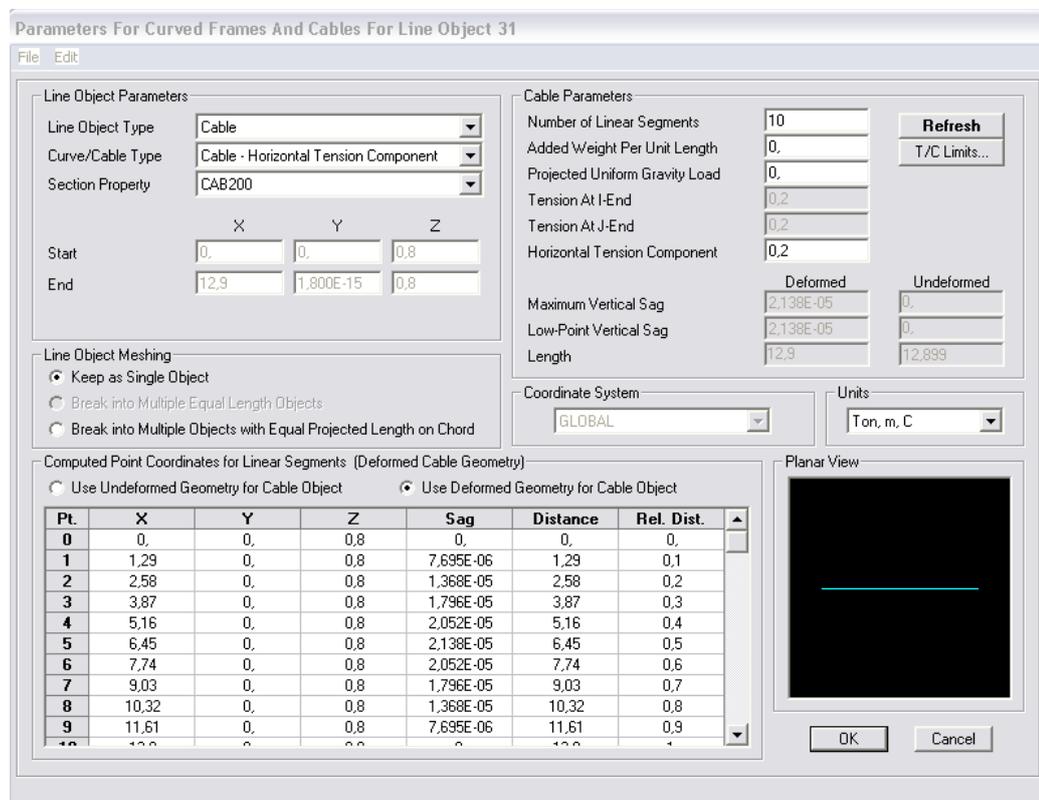
- Ingresamos al menú *Draw/Frame/Cable/Tendon*



- Al desplegarse la pantalla *Properties of Object* seleccionamos el tipo de objeto como *Cable* y la sección deseada del cable, luego de cual se procede a dibujar los cables desde los puntos deseados.



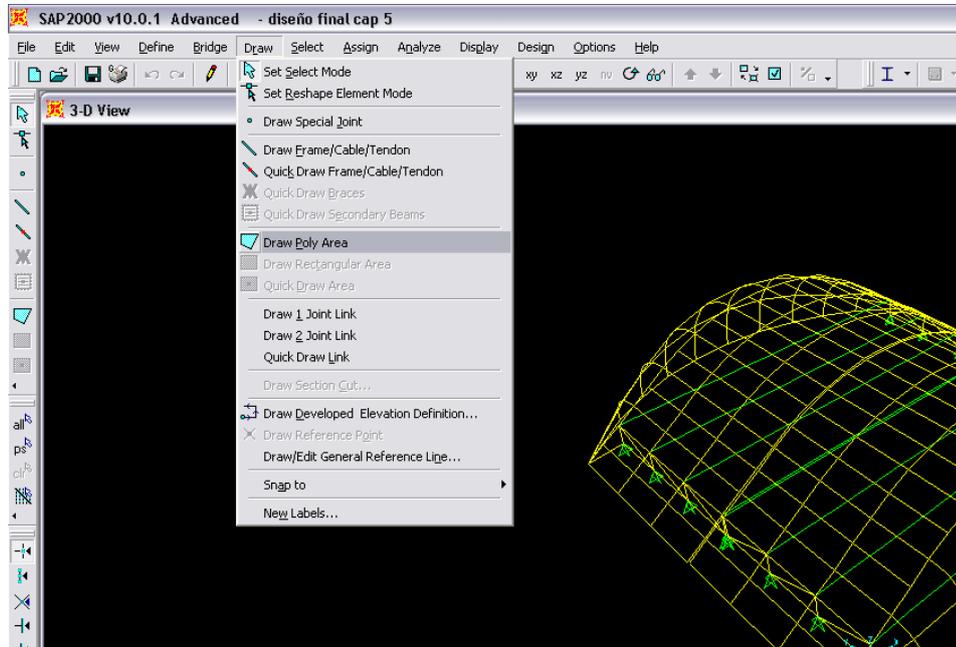
- Al ser dibujado el cable se despliega una pantalla en la cual escogemos la opción *Cable - Horizontal Tension Component* y seleccionamos *Use Deformed Geometry for Cable Object*. Adicionalmente en *Cable Parameters* asignamos la tensión horizontal de 200 Kg.



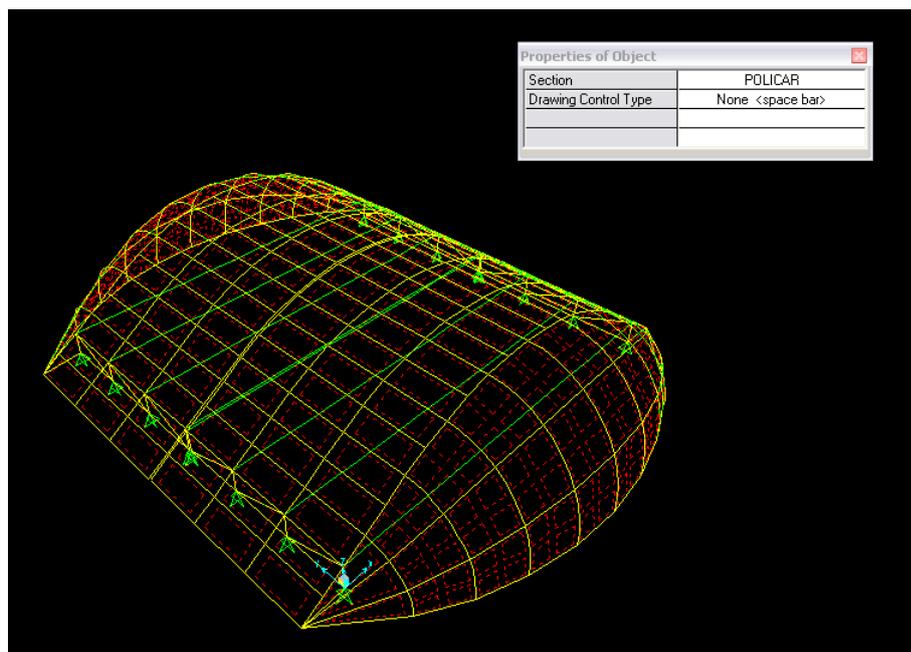
Asignación de las Áreas de Policarbonato de la Cubierta.

En la asignación de las áreas se procede como se detalla a continuación:

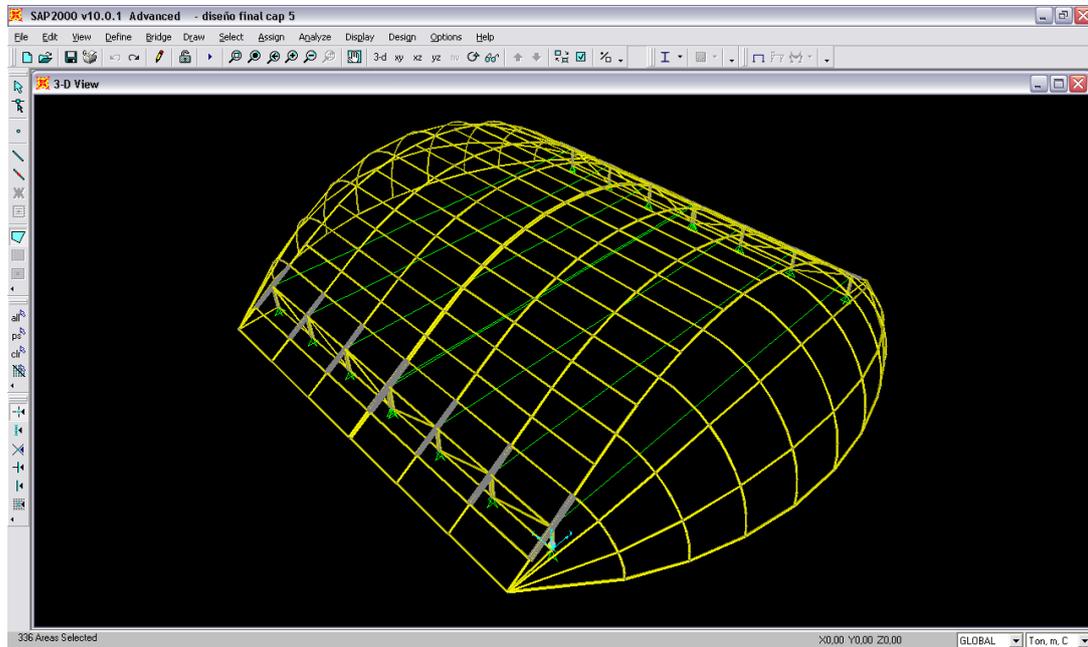
- Ingresamos al menú *Draw/Draw Poly Area*.



- En la pantalla *Properties of Object* seleccionamos la sección de área deseada y procedemos a dibujar las áreas tomando como referencia los nudos de la estructura.



De esta manera se concluye con la geometría de la cubierta mecanizada propuesta que contiene apoyos, nudos, barras, cables y áreas de policarbonato.



Asignación de Cargas que intervienen en la Estructura.

En este momento se colocarán todas las cargas calculadas en el capítulo anterior de esta tesis, las cuales se detalla a continuación:

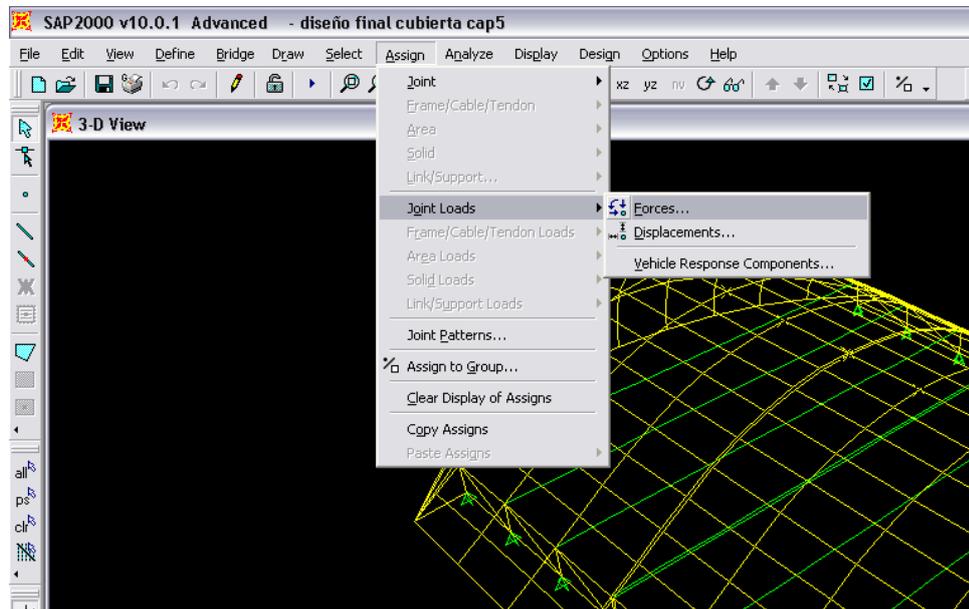
Carga Muerta

Al haber definido la carga muerta con el multiplicador del peso propio igual a 1, el programa SAP 2000 automáticamente calcula el peso propio de la estructura y la asigna como carga muerta.

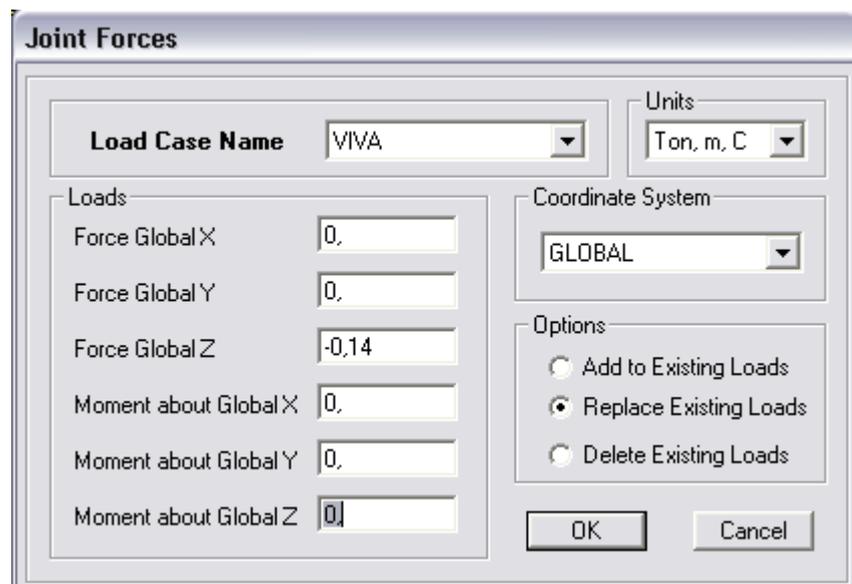
Carga Viva

Para asignar la carga viva se toma únicamente una carga de mantenimiento que incluye a una persona y su equipo de limpieza actuando como cargas puntuales en cada pórtico de la estructura. Se procedió de la siguiente manera para asignar dichas cargas:

- Seleccionamos los nudos donde van a ser colocadas las cargas.
- Entramos al menú *Assign/Joint Loads/Forces*



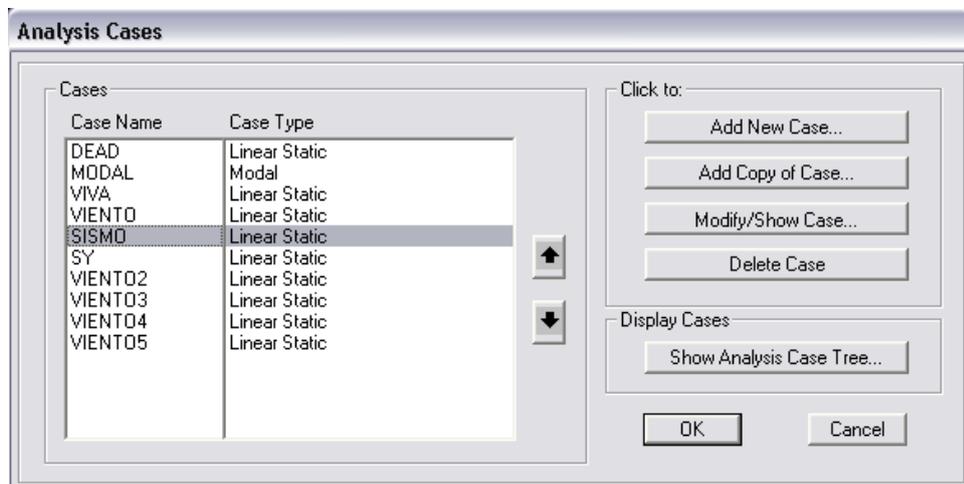
- Se despliega la pantalla *Joint Forces* en donde se escoge *Load Case Name VIVA* y en la casilla *Force Global Z* colocamos la magnitud de la fuerza que en el diseño es de 140 Kg.



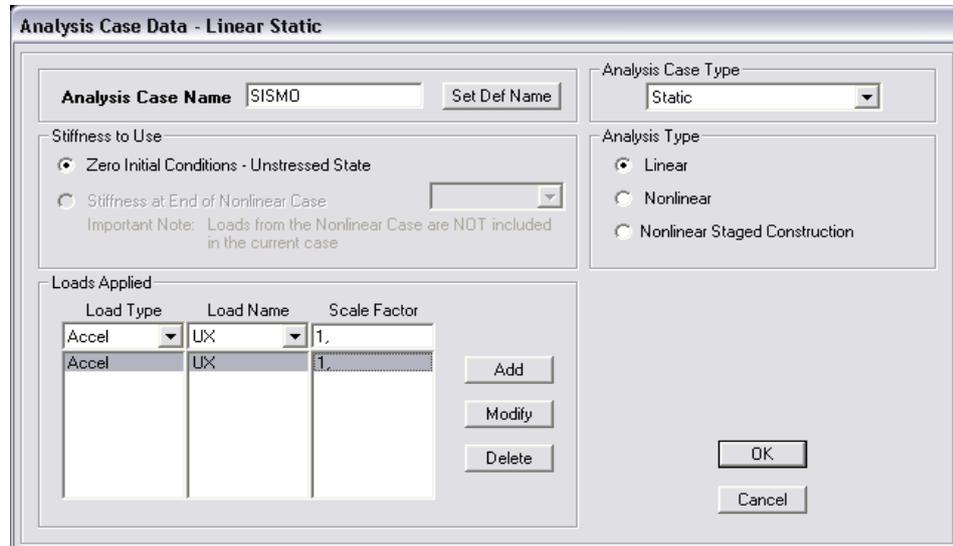
Carga de Sismo

El programa SAP 2000 calcula automáticamente las cargas sísmicas mediante el coeficiente del corte basal ingresado anteriormente. Se debe tomar en cuenta que para que se produzca un normal cálculo del programa en este tipo de estructuras se debe escoger la opción *ACCEL* que supone una carga proporcional a la masa de la estructura. Lo escrito se lo realiza de la siguiente manera:

- Entramos al menú *Define/Analysis Cases*, se despliega la pantalla donde seleccionamos el sismo requerido y hacemos clic en *Modify/Show Case*.



- En la nueva pantalla seleccionamos en *Loads Applied* la opción *Accel* en *Load Type* y *UX* o *UY* en *Load Name* según sea el caso en sismo en X o sismo en Y.



Carga de Viento

Como se vio en el capítulo IV estas cargas fueron calculadas según el código ASCE 7- 98. Según este código en las estructuras en arco las cargas de viento se aplican de la siguiente manera:

El primer cuarto del arco soporta una carga de barlovento, la mitad central del arco otra carga y el último cuarto del arco que soporta una carga de sotavento. Cabe anotar que barlovento se denomina a la parte del arco que recibe directamente la acción del viento.

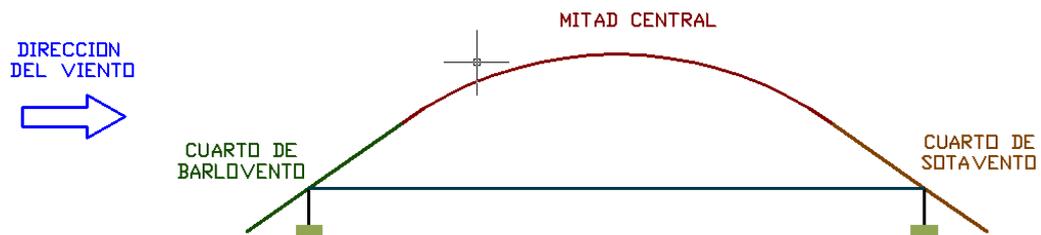


Figura 5.5: Distribución de la carga de Viento en estructuras en arco.

Para una mejor distribución de las cargas, estas se aplicaron directamente sobre las áreas que representan el policarbonato con lo cual obtenemos un modelo mas cercano a la realidad. El análisis de cargas obtenidas en el capítulo anterior se lo muestra en la siguiente tabla que servirá de base para la asignación de cargas y sus valores en cada uno de los estados de carga.

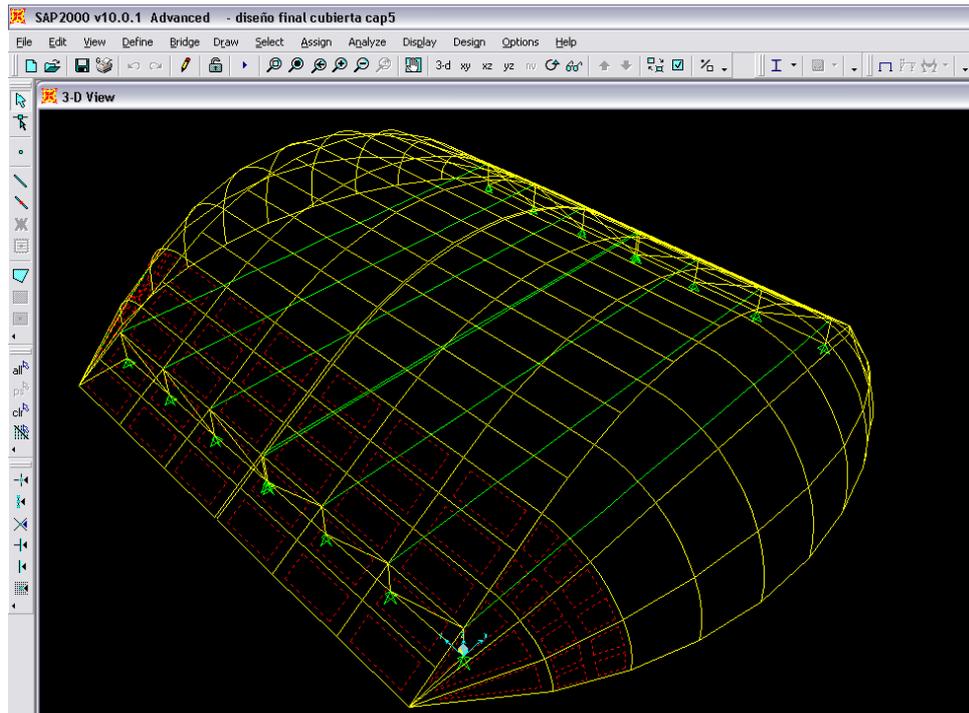
Tabla 5.1: Valores calculados para las diferentes cargas de viento.

CARGAS DE VIENTO			
Estado de Carga	Cuarto de Barlovento	Mitad Central	Cuarto de Sotavento
<i>Cubierta Parcialmente Cerrada</i>			
Viento 1	-46,114	-118,042	-86,218
Viento 2	50,018	-21,910	9,913
<i>Cubierta Cerrada</i>			
Viento 3	-13,779	-85,707	-53,883
Viento 4	17,683	-54,245	-22,422
<i>Cubierta Abierta</i>			
Viento 5	1,952	-69,976	-38,153

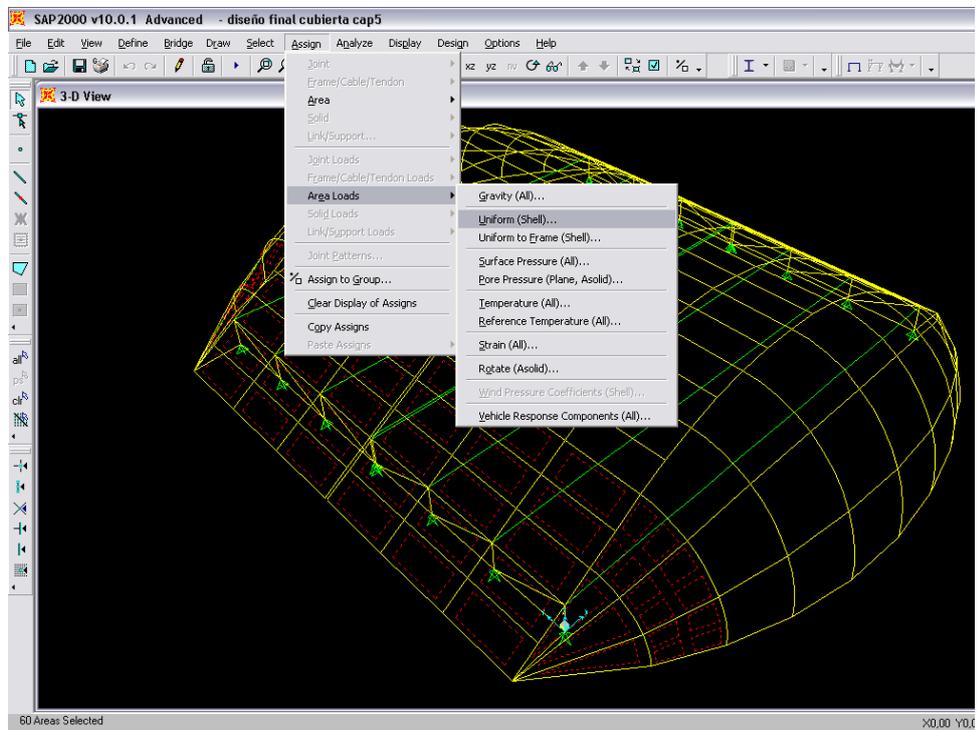
* Las cargas están en kg/m²

A continuación detallamos la manera de asignar las cargas de viento en la estructura propuesta en SAP 2000:

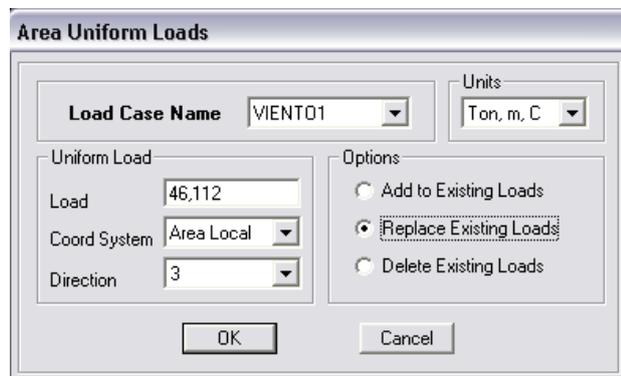
- Marcamos las shells que constituyen el cuarto de barlovento de la estructura.



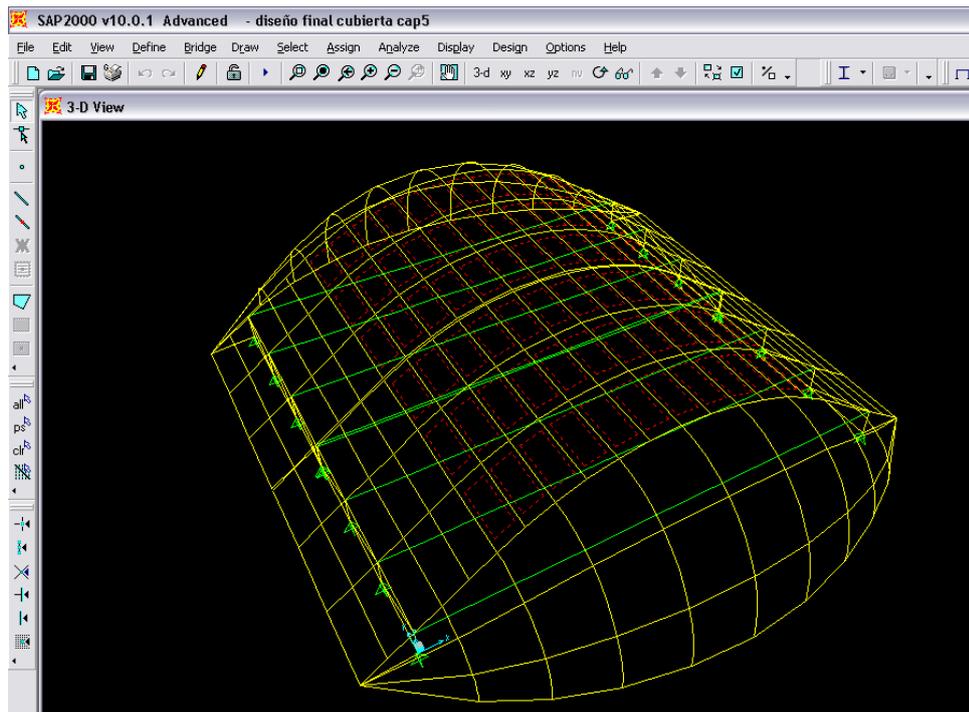
➤ Se ingresa al menú *Assign/Area Loads/Uniform Shell*.



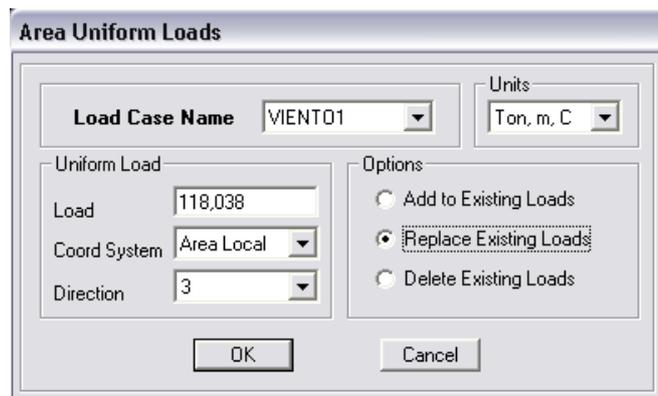
- En la pantalla desplegada *Area Uniform Loads* escogemos el *Load Case Name VIENTO1*, en la casilla *Load* ponemos el valor de la carga deseada tomando en cuenta el signo ya que debe estar concordante con las siguientes casillas. En la siguiente casilla *Coord System* escogemos *Area Local* y por último en la casilla *Direction* se coloca el número 3, que representa el eje perpendicular al área del modelo y damos un clic en OK.



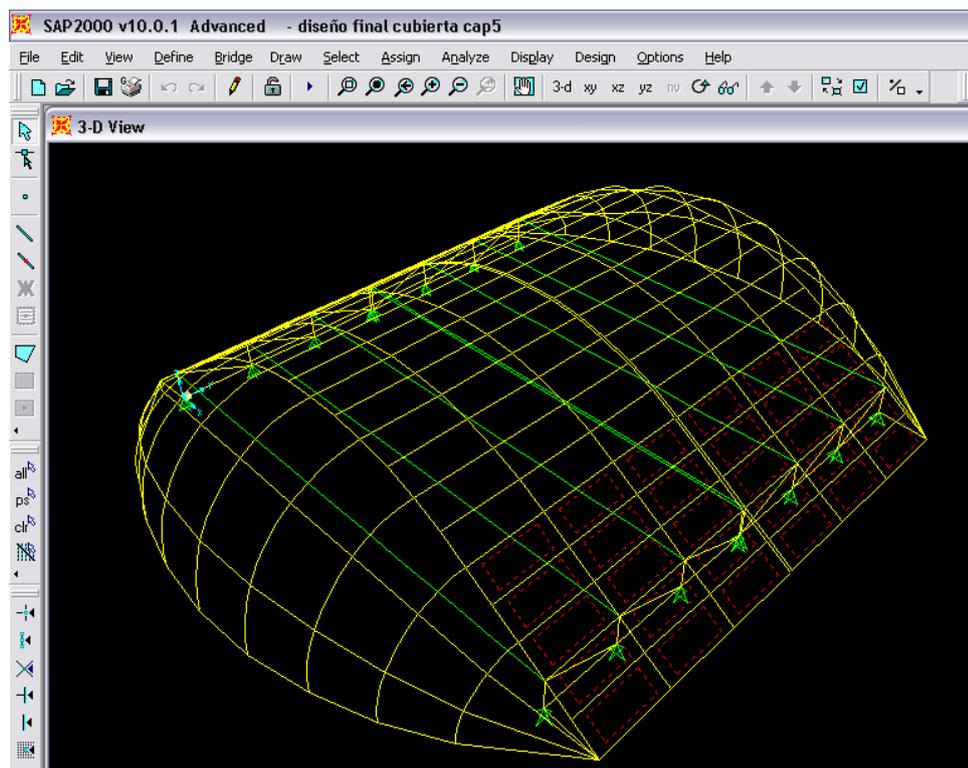
- A continuación marcamos las shells designadas como mitad central de la estructura.



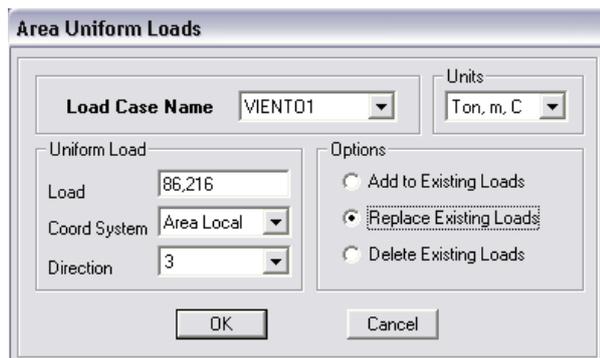
- Ingresamos al menú *Assign/Area Loads/Uniform Shell*. Luego en la pantalla desplegada *Area Uniform Loads* escogemos el *Load Case Name VIENTO1*, en la casilla *Load* ponemos el valor de la carga para la mitad central. En la siguiente casilla *Coord System* escogemos *Area Local*, en la casilla *Direction* se coloca el numero 3 y damos un clic en *OK*.



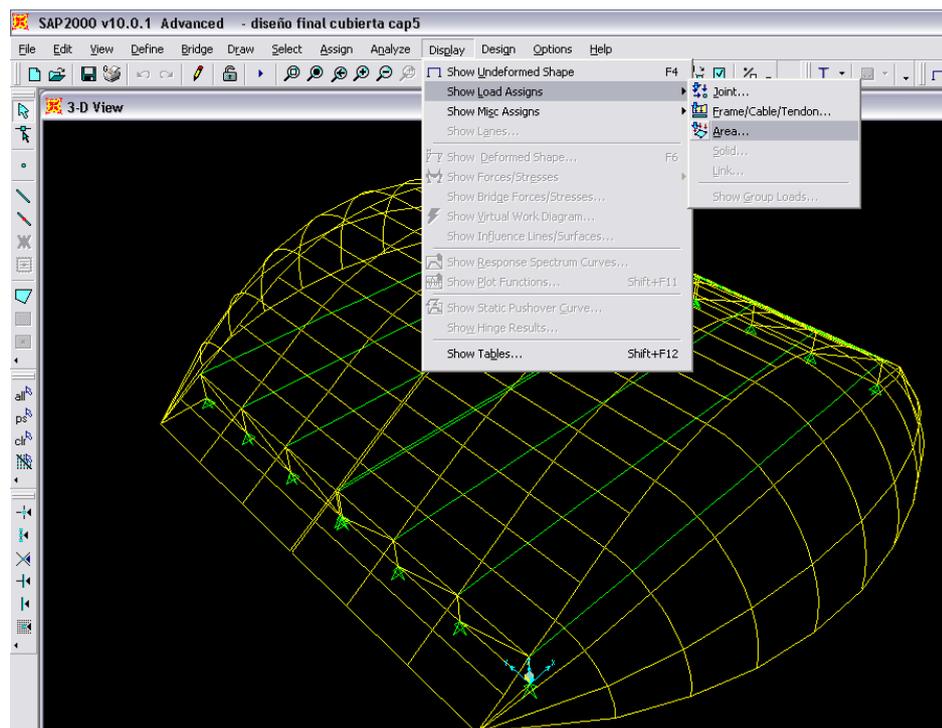
- Por último marcamos las shells designadas como cuarto de sotavento.



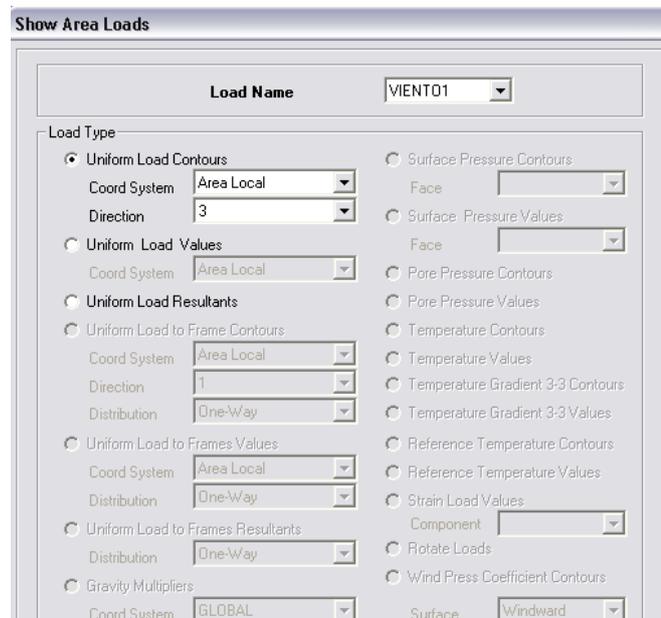
- Ingresamos al menú *Assign/Area Loads/Uniform Shell*. Luego en la pantalla desplegada *Area Uniform Loads* escogemos el *Load Case Name VIENTO1*, en la casilla *Load* ponemos el valor de la carga para el cuarto de sotavento. En la siguiente casilla *Coord System* escogemos *Area Local*, en la casilla *Direction* se coloca el numero 3 y damos un clic en *OK*.



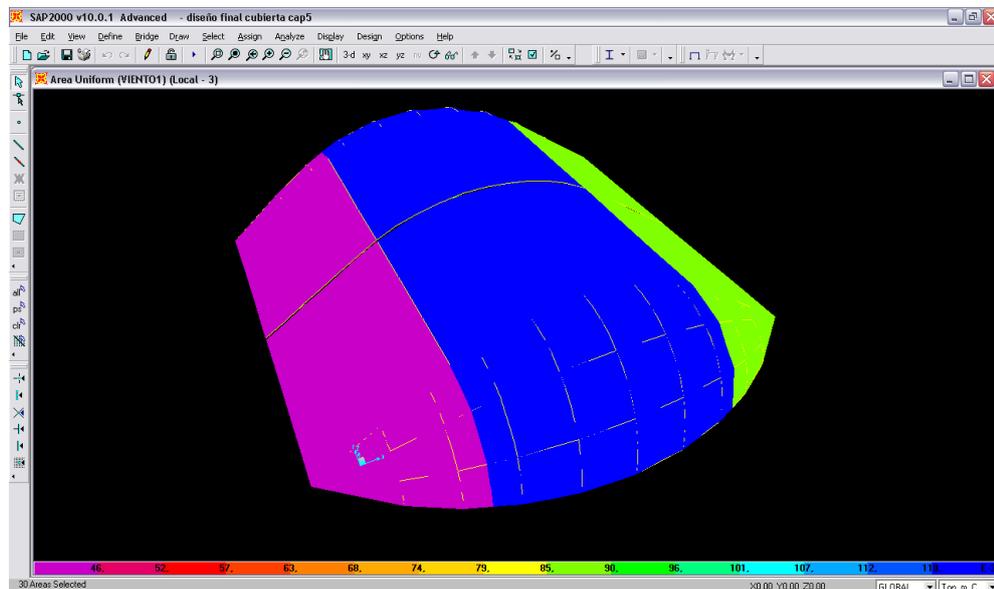
- Con esto se acabaría la asignación de cargas de viento en el primer estado *VIENTO1*. A manera de comprobación podemos ingresar en el menú *Display/Show Loads Assigns/Area*.



- En la pantalla desplegada *Show Area Loads* escogemos el nombre del Estado de Carga *VIENTO01*, hacemos un clic en *Uniform Load Contours*, en la casilla *Coord System* escogemos *Area Local* y por ultimo en la casilla *Direction* colocamos el numero 3.



- Realizado esto se acepta y se obtiene la pantalla en donde se muestra las cargas asignadas en la estructura y sus valores en un gráfico de colores.



- Para los estados de carga *VIENTO2* al *VIENTO5* se realiza idéntico procedimiento al anotado anteriormente y únicamente se varía los valores correspondientes a cada estado.

Con esto se termina la asignación de cargas de la estructura y esta se encuentra lista para ser corrida en SAP 2000.

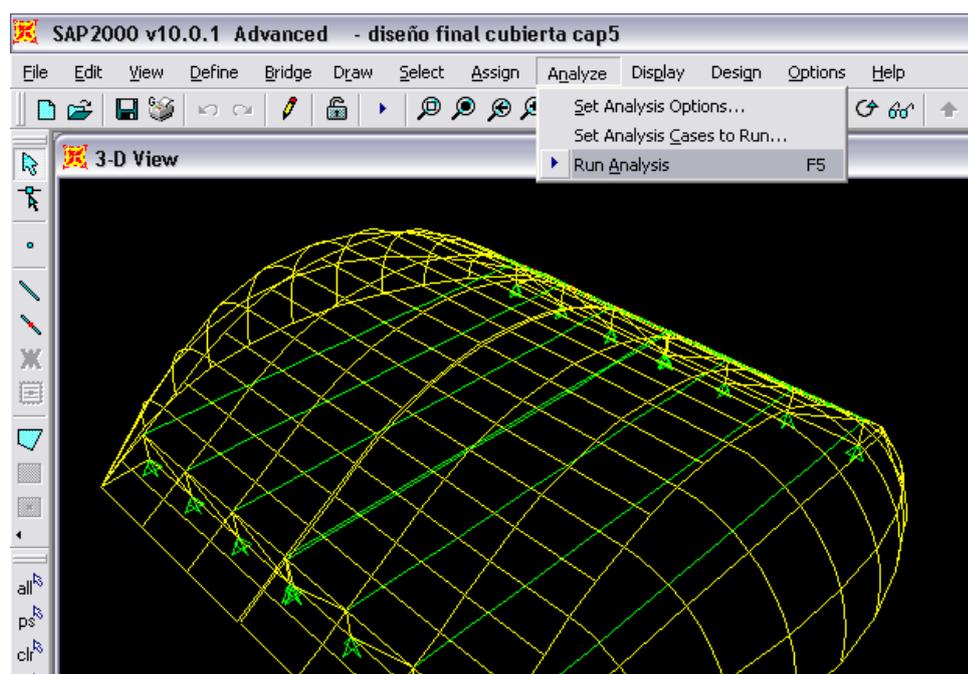
Análisis de la Estructura en SAP 2000.

Al ejecutarse la corrida de la estructura, el programa SAP 2000 encuentra múltiples resultados que sirven para el análisis de la misma como son fuerzas axiales, de corte y momentos de cada una de las barras.

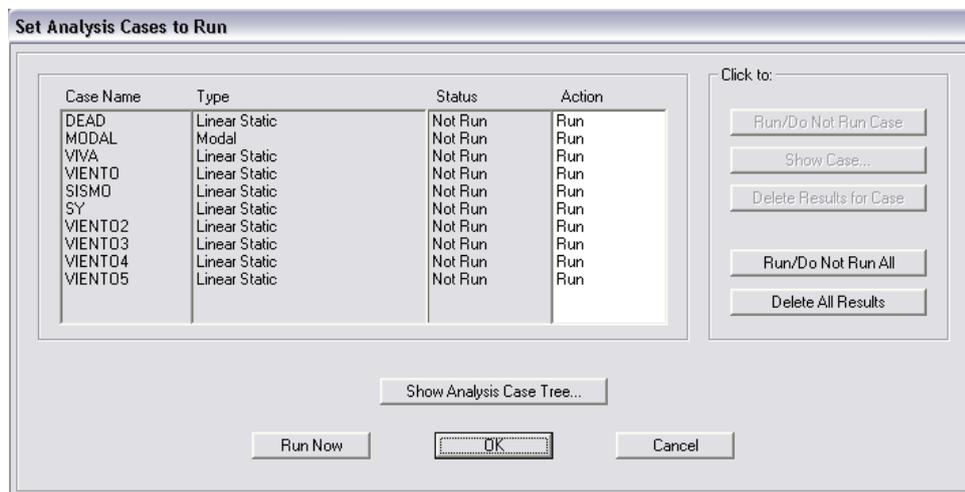
De la misma manera, el programa proporciona deformaciones de la estructura propios de cada estado de carga y que son importantes para ver el comportamiento de la misma.

Para el análisis de la estructura se procede de la siguiente manera:

- Ingresamos al menú *Analyze/Run Analysis*.



- Se despliega la pantalla *Set Analysis Cases to Run* en donde aparecen todos los estados de carga asignados a la estructura. Cabe anotar que SAP 2000 10.0.1 crea por defecto el estado de carga *MODAL* el cual permite ver los modos de vibración de la estructura que en concepto son los desplazamientos naturales de la misma cuando esta no tiene carga. Finalmente se comprueba que todos los estados de carga estén con la palabra *Run* lo cual nos indica que todos estos estados van a ser calculados y que van a ser utilizados en el análisis.

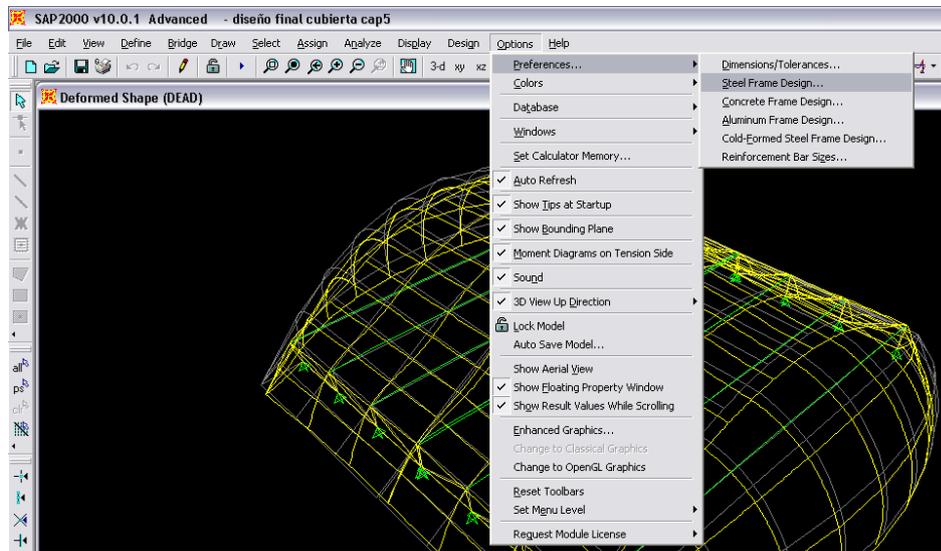


Diseño en acero estructural realizado por SAP 2000.

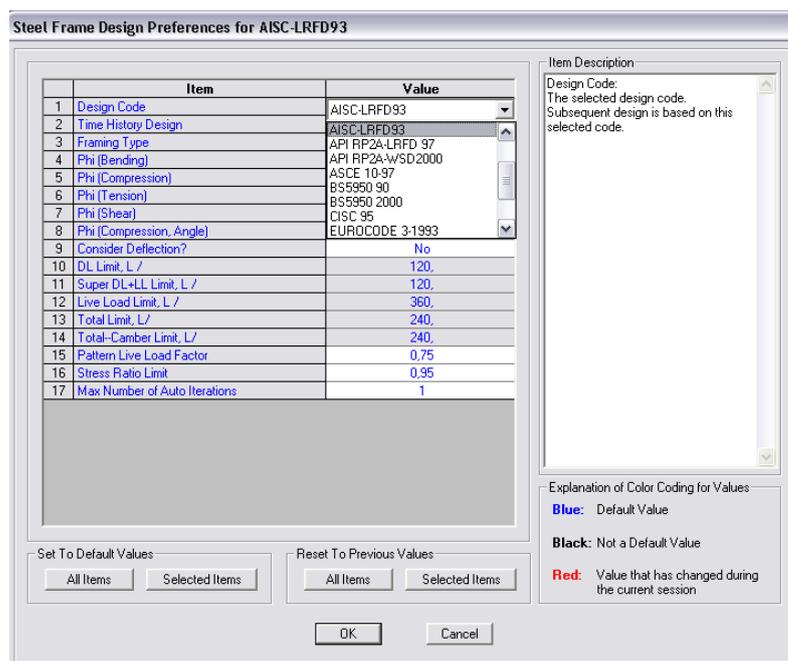
El programa SAP 2000 ayuda de una manera notable a los calculistas estructurales dando una herramienta con la cual puedan ver sus diseños y comprobar los mismos barra por barra en su comportamiento.

Para que SAP realice el diseño de la estructura debemos realizar lo siguiente:

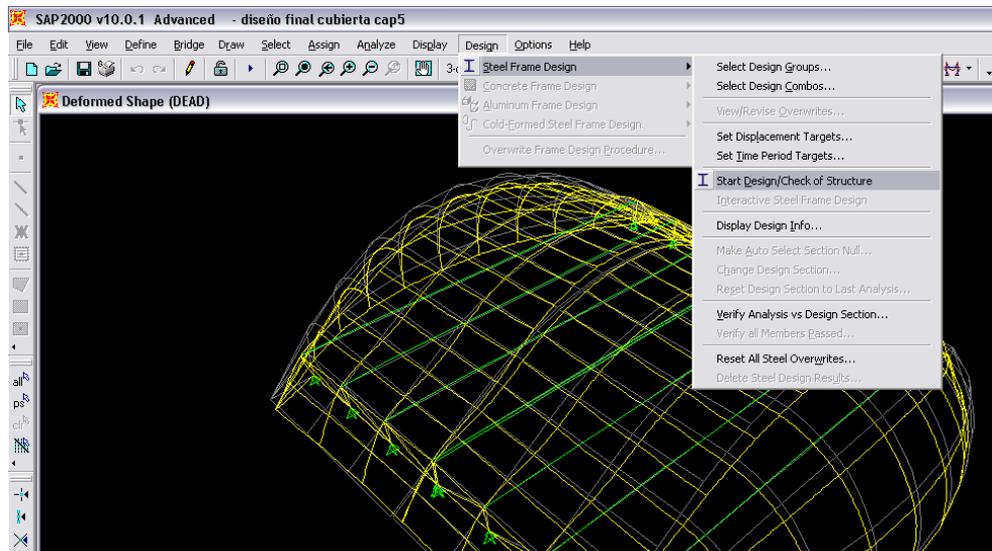
- Se debe seleccionar un código de referencia para el diseño para lo cual ingresamos al menú *Options/Preferences/Steel Frame Design*.



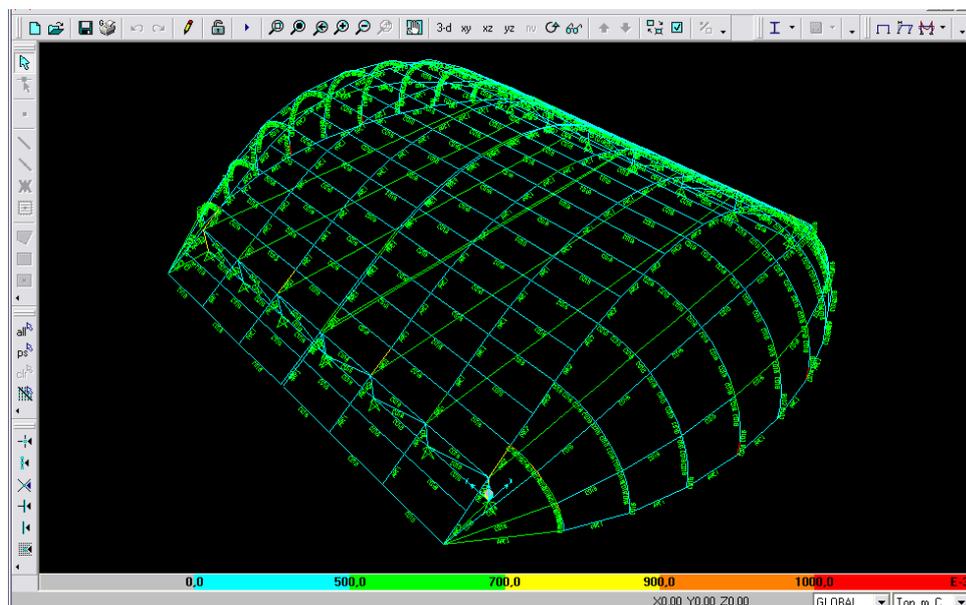
- Luego de lo cual se despliega la pantalla *Steel Frame Design Preferentes for AISC – LRDF93* en la cual en el casillero *Design Code* se escoge el *AISC – LRDF93* (American Institute of Steel Construction - Load and Resistance Factor Design) ya que en el Ecuador no existe un código de diseño en estructuras metálicas y para la tesis propuesta es el manual que se dispone para el diseño.



- Para obtener el diseño de la cubierta ingresamos al menú *Design/Steel Frame Design/Start Design*.



- Luego de esto SAP 2000 muestra una pantalla con la estructura en 3-D en la cual todas las barras tienen una coloración que con la ayuda de una escala que se encuentra en el inferior de la pantalla se puede saber ciertamente el comportamiento de cada una de las barras y si es que su sección, espesor y longitud están soportando correctamente las cargas asignadas a cada una de ellas.



5.3 DISEÑO DE LA CUBIERTA MECANIZADA.

Para el diseño de la Cubierta Mecanizada utilizaremos los datos obtenidos en el análisis hecho por el programa SAP 2000. Se comprobará el comportamiento de los perfiles de la estructura a los esfuerzos de compresión, tracción y flexión.

5.3.1 RESULTADOS DE LA ESTRUCTURA.

Deformaciones de la Estructura

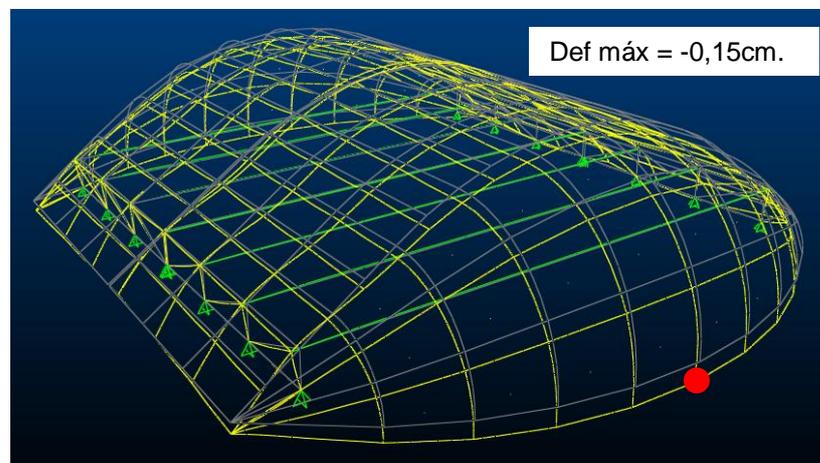


Figura 5.6: Deformación debida al peso propio de la estructura.

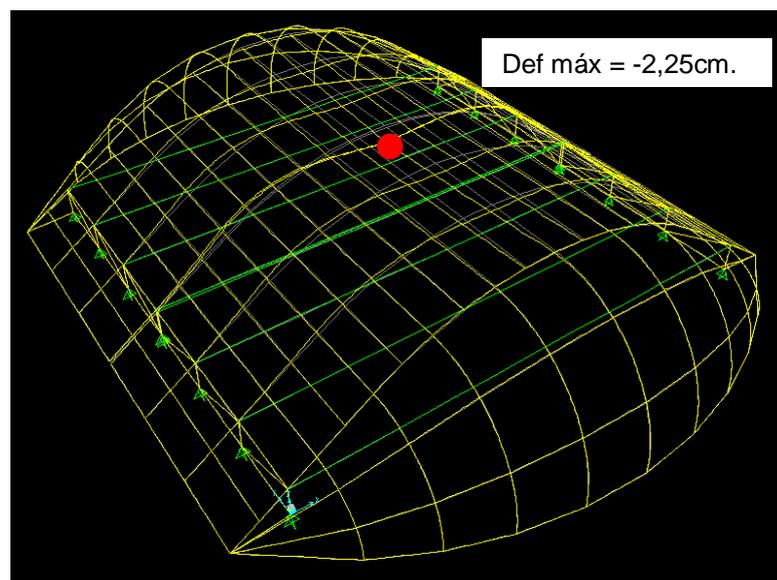


Figura 5.7: Deformación debida a la carga viva de la estructura.

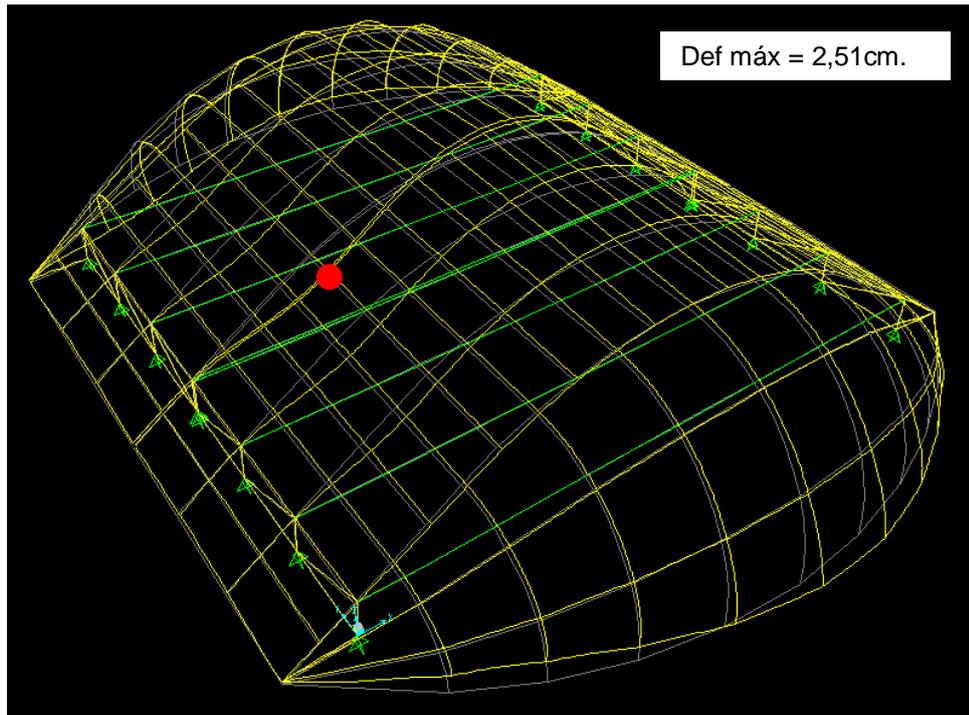


Figura 5.8: Deformación debida a la carga de viento de la estructura.

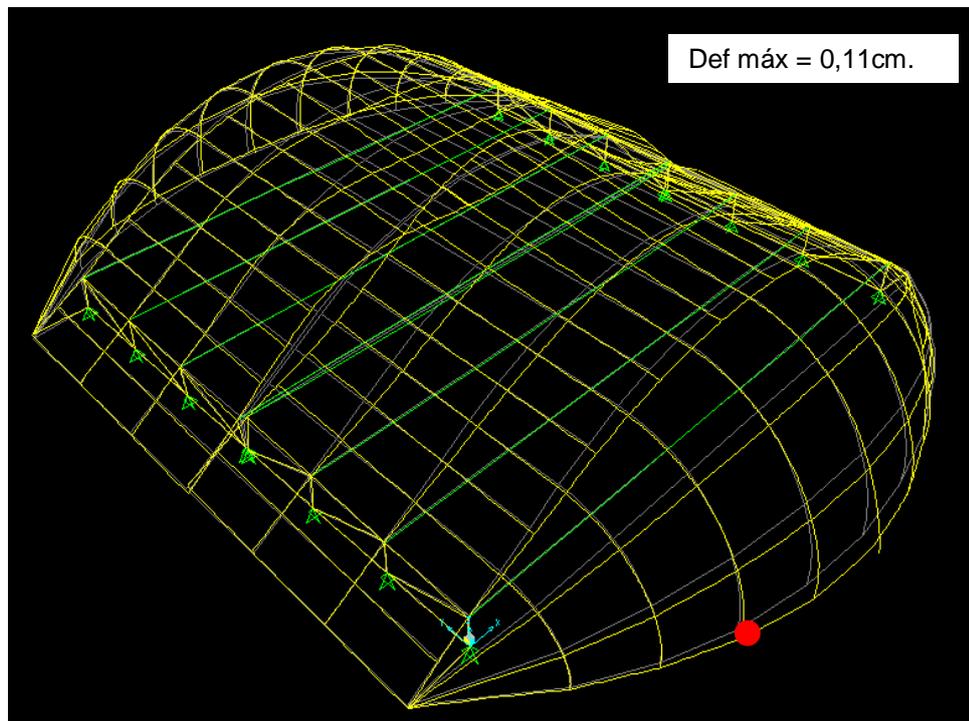
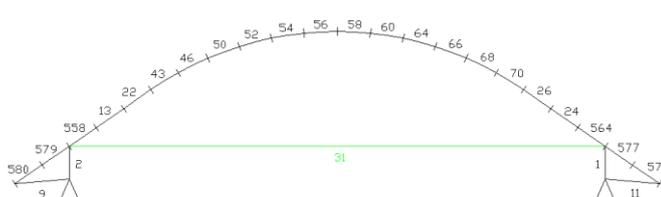
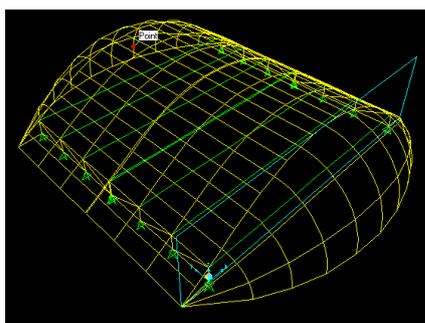


Figura 5.9: Deformación debida a la carga sísmica en el eje X de la estructura.

Resultados de cargas y momentos

Considerando que la estructura propuesta en la tesis por su geometría es simétrica en los dos sentidos se tomarán los pórticos más críticos para comprobar su diseño.

- Arco en el Plano X-Z, Y=0.



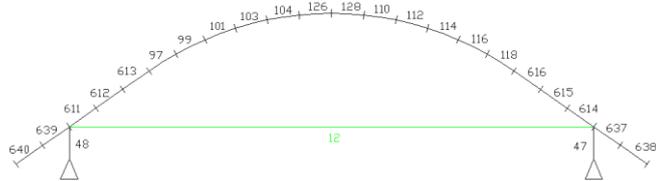
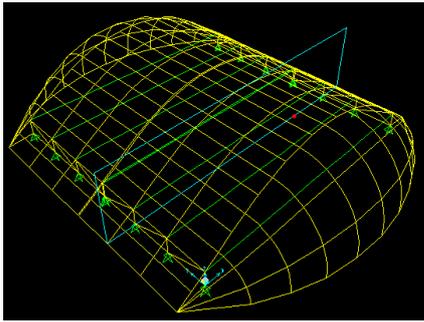
Frame	Station	OCase	StType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
13	0	ENV	Max	1,483	0,043	0,026	0,027	0,010	0,021
13	0,4	ENV	Max	1,484	0,045	0,026	0,027	0,001	0,012
13	0,8	ENV	Max	1,486	0,047	0,026	0,027	0,010	0,031
13	0	ENV	Min	-1,545	-0,054	-0,024	-0,030	-0,010	-0,021
13	0,4	ENV	Min	-1,543	-0,051	-0,024	-0,030	-0,001	-0,009
13	0,8	ENV	Min	-1,541	-0,048	-0,024	-0,030	-0,010	-0,023
22	0	ENV	Max	1,558	0,008	0,010	0,013	0,006	0,039
22	0,4	ENV	Max	1,559	0,011	0,010	0,013	0,003	0,040
22	0,8	ENV	Max	1,561	0,014	0,010	0,013	0,004	0,041
22	0	ENV	Min	-1,611	-0,011	-0,008	-0,012	-0,006	-0,032
22	0,4	ENV	Min	-1,609	-0,009	-0,008	-0,012	-0,003	-0,032
22	0,8	ENV	Min	-1,607	-0,007	-0,008	-0,012	-0,005	-0,034
24	0	ENV	Max	1,438	0,070	0,028	0,023	0,010	0,023
24	0,4	ENV	Max	1,440	0,072	0,028	0,023	0,002	0,008
24	0,8	ENV	Max	1,441	0,074	0,028	0,023	0,014	0,037
24	0	ENV	Min	-1,507	-0,077	-0,030	-0,024	-0,010	-0,023
24	0,4	ENV	Min	-1,506	-0,074	-0,030	-0,024	-0,001	-0,006
24	0,8	ENV	Min	-1,504	-0,071	-0,030	-0,024	-0,013	-0,036
26	0	ENV	Max	1,481	0,006	0,005	0,003	0,003	0,039
26	0,4	ENV	Max	1,482	0,009	0,005	0,003	0,002	0,042
26	0,8	ENV	Max	1,483	0,012	0,005	0,003	0,005	0,045
26	0	ENV	Min	-1,546	-0,010	-0,009	-0,006	-0,005	-0,039
26	0,4	ENV	Min	-1,544	-0,008	-0,009	-0,006	-0,003	-0,042
26	0,8	ENV	Min	-1,542	-0,006	-0,009	-0,006	-0,004	-0,046
43	0	ENV	Max	1,527	0,061	0,025	0,005	0,009	0,039
43	0,39	ENV	Max	1,528	0,064	0,025	0,005	0,003	0,040
43	0,78	ENV	Max	1,529	0,067	0,025	0,005	0,009	0,040
43	0	ENV	Min	-1,587	-0,062	-0,022	-0,006	-0,008	-0,034
43	0,39	ENV	Min	-1,585	-0,060	-0,022	-0,006	-0,004	-0,039
43	0,78	ENV	Min	-1,583	-0,058	-0,022	-0,006	-0,011	-0,045

Frame	Station	OCase	StType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
46	0	ENV	Max	1,549	0,048	0,022	0,020	0,010	0,034
46	0,40	ENV	Max	1,550	0,050	0,022	0,020	0,003	0,024
46	0,80	ENV	Max	1,551	0,053	0,022	0,020	0,009	0,012
46	0	ENV	Min	-1,590	-0,051	-0,017	-0,021	-0,011	-0,041
46	0,40	ENV	Min	-1,588	-0,048	-0,017	-0,021	-0,004	-0,027
46	0,80	ENV	Min	-1,587	-0,045	-0,017	-0,021	-0,012	-0,014
50	0	ENV	Max	1,674	0,042	0,019	0,019	0,005	0,013
50	0,40	ENV	Max	1,675	0,045	0,019	0,019	0,003	0,007
50	0,80	ENV	Max	1,676	0,049	0,019	0,019	0,009	0,022
50	0	ENV	Min	-1,708	-0,048	-0,016	-0,024	-0,006	-0,017
50	0,40	ENV	Min	-1,707	-0,046	-0,016	-0,024	-0,004	-0,014
50	0,80	ENV	Min	-1,706	-0,043	-0,016	-0,024	-0,011	-0,027
52	0	ENV	Max	1,615	0,049	0,021	0,017	0,011	0,021
52	0,40	ENV	Max	1,615	0,052	0,021	0,017	0,003	0,003
52	0,80	ENV	Max	1,616	0,054	0,021	0,017	0,005	0,018
52	0	ENV	Min	-1,613	-0,054	-0,019	-0,022	-0,011	-0,024
52	0,40	ENV	Min	-1,613	-0,051	-0,019	-0,022	-0,004	-0,008
52	0,80	ENV	Min	-1,612	-0,047	-0,019	-0,022	-0,007	-0,022
54	0	ENV	Max	1,771	0,042	0,019	0,012	0,007	0,020
54	0,40	ENV	Max	1,772	0,045	0,019	0,012	0,004	0,011
54	0,80	ENV	Max	1,772	0,047	0,019	0,012	0,010	0,020
54	0	ENV	Min	-1,798	-0,059	-0,015	-0,021	-0,006	-0,024
54	0,40	ENV	Min	-1,798	-0,055	-0,015	-0,021	-0,005	-0,009
54	0,80	ENV	Min	-1,797	-0,052	-0,015	-0,021	-0,013	-0,016
56	0	ENV	Max	1,656	0,049	0,017	0,005	0,010	0,021
56	0,40	ENV	Max	1,656	0,052	0,017	0,005	0,005	0,036
56	0,80	ENV	Max	1,656	0,055	0,017	0,005	0,008	0,051
56	0	ENV	Min	-1,668	-0,062	-0,021	-0,009	-0,012	-0,015
56	0,40	ENV	Min	-1,668	-0,059	-0,021	-0,009	-0,004	-0,013
56	0,80	ENV	Min	-1,668	-0,056	-0,021	-0,009	-0,003	-0,027
58	0	ENV	Max	1,760	0,053	0,015	0,013	0,008	0,051
58	0,40	ENV	Max	1,760	0,056	0,015	0,013	0,006	0,036
58	0,80	ENV	Max	1,759	0,060	0,015	0,013	0,010	0,022
58	0	ENV	Min	-1,756	-0,051	-0,011	-0,009	-0,007	-0,027
58	0,40	ENV	Min	-1,756	-0,049	-0,011	-0,009	-0,006	-0,015
58	0,80	ENV	Min	-1,756	-0,046	-0,011	-0,009	-0,011	-0,018
60	0	ENV	Max	1,658	0,053	0,022	0,021	0,013	0,019
60	0,40	ENV	Max	1,658	0,056	0,022	0,021	0,004	0,017
60	0,80	ENV	Max	1,657	0,060	0,022	0,021	0,007	0,026
60	0	ENV	Min	-1,701	-0,048	-0,028	-0,006	-0,016	-0,017
60	0,40	ENV	Min	-1,701	-0,046	-0,028	-0,006	-0,005	-0,015
60	0,80	ENV	Min	-1,702	-0,043	-0,028	-0,006	-0,005	-0,030
64	0	ENV	Max	1,652	0,041	0,003	0,018	0,004	0,025
64	0,40	ENV	Max	1,651	0,044	0,003	0,018	0,006	0,013
64	0,80	ENV	Max	1,650	0,047	0,003	0,018	0,008	0,013
64	0	ENV	Min	-1,642	-0,047	-0,008	-0,011	-0,007	-0,030
64	0,40	ENV	Min	-1,643	-0,045	-0,008	-0,011	-0,007	-0,016
64	0,80	ENV	Min	-1,644	-0,042	-0,008	-0,011	-0,008	-0,018

Frame	Station	OCase	StType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
66	0	ENV	Max	1,565	0,040	0,029	0,016	0,015	0,008
66	0,40	ENV	Max	1,564	0,042	0,029	0,016	0,004	0,011
66	0,80	ENV	Max	1,563	0,045	0,029	0,016	0,009	0,024
66	0	ENV	Min	-1,612	-0,045	-0,034	-0,011	-0,018	-0,019
66	0,40	ENV	Min	-1,613	-0,042	-0,034	-0,011	-0,005	-0,015
66	0,80	ENV	Min	-1,614	-0,039	-0,034	-0,011	-0,008	-0,031
68	0	ENV	Max	1,484	0,029	0,002	0,017	0,006	0,025
68	0,40	ENV	Max	1,483	0,032	0,002	0,017	0,005	0,013
68	0,80	ENV	Max	1,482	0,035	0,002	0,017	0,004	0,003
68	0	ENV	Min	-1,530	-0,035	-0,007	-0,014	-0,009	-0,032
68	0,40	ENV	Min	-1,532	-0,033	-0,007	-0,014	-0,006	-0,019
68	0,80	ENV	Min	-1,533	-0,031	-0,007	-0,014	-0,004	-0,018
70	0	ENV	Max	1,486	0,046	0,030	0,005	0,015	0,007
70	0,39	ENV	Max	1,485	0,049	0,030	0,005	0,003	0,023
70	0,78	ENV	Max	1,483	0,051	0,030	0,005	0,010	0,041
70	0	ENV	Min	-1,547	-0,057	-0,035	-0,004	-0,017	-0,018
70	0,39	ENV	Min	-1,549	-0,054	-0,035	-0,004	-0,004	-0,026
70	0,78	ENV	Min	-1,551	-0,051	-0,035	-0,004	-0,009	-0,043
564	0	ENV	Max	1,682	0,503	0,071	0,066	0,058	0,403
564	0,4	ENV	Max	1,685	0,508	0,071	0,066	0,053	0,200
564	0,8	ENV	Max	1,688	0,512	0,071	0,066	0,055	0,010
564	0	ENV	Min	-1,795	-0,571	-0,120	-0,077	-0,082	-0,442
564	0,4	ENV	Min	-1,791	-0,565	-0,120	-0,077	-0,055	-0,215
564	0,8	ENV	Min	-1,787	-0,560	-0,120	-0,077	-0,031	-0,003
577	0	ENV	Max	1,845	0,202	0,169	0,014	0,113	0,188
577	0,4	ENV	Max	1,841	0,207	0,169	0,014	0,046	0,106
577	0,8	ENV	Max	1,837	0,211	0,169	0,014	0,022	0,023
577	0	ENV	Min	-1,737	-0,239	-0,150	-0,012	-0,098	-0,212
577	0,4	ENV	Min	-1,740	-0,233	-0,150	-0,012	-0,038	-0,117
577	0,8	ENV	Min	-1,743	-0,228	-0,150	-0,012	-0,022	-0,025
578	0	ENV	Max	1,553	0,117	0,016	0,005	0,016	0,016
578	0,4	ENV	Max	1,551	0,119	0,016	0,005	0,010	0,037
578	0,8	ENV	Max	1,549	0,121	0,016	0,005	0,003	0,092
578	0	ENV	Min	-1,453	-0,142	-0,015	-0,001	-0,016	-0,019
578	0,4	ENV	Min	-1,454	-0,139	-0,015	-0,001	-0,010	-0,031
578	0,8	ENV	Min	-1,456	-0,136	-0,015	-0,001	-0,004	-0,079
579	0	ENV	Max	1,729	0,218	0,141	0,042	0,077	0,221
579	0,4	ENV	Max	1,725	0,223	0,141	0,042	0,021	0,133
579	0,8	ENV	Max	1,721	0,227	0,141	0,042	0,038	0,043
579	0	ENV	Min	-1,599	-0,253	-0,158	-0,047	-0,088	-0,239
579	0,4	ENV	Min	-1,602	-0,247	-0,158	-0,047	-0,025	-0,140
579	0,8	ENV	Min	-1,605	-0,241	-0,158	-0,047	-0,035	-0,042
580	0	ENV	Max	1,355	0,180	0,009	0,042	0,020	0,041
580	0,4	ENV	Max	1,353	0,182	0,009	0,042	0,017	0,038
580	0,8	ENV	Max	1,351	0,184	0,009	0,042	0,014	0,114
580	0	ENV	Min	-1,219	-0,195	-0,009	-0,048	-0,021	-0,039
580	0,4	ENV	Min	-1,221	-0,192	-0,009	-0,048	-0,018	-0,032
580	0,8	ENV	Min	-1,222	-0,189	-0,009	-0,048	-0,014	-0,105

Tabla 5.2: Resultados de fuerzas y momentos, Arco en el Plano X-Z, Y=0.

- Arco en el Plano X-Z, Y=4.



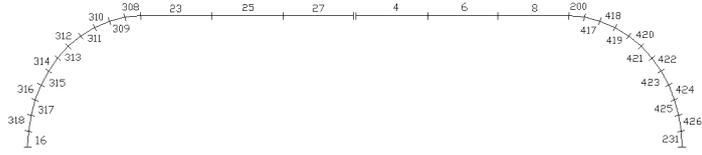
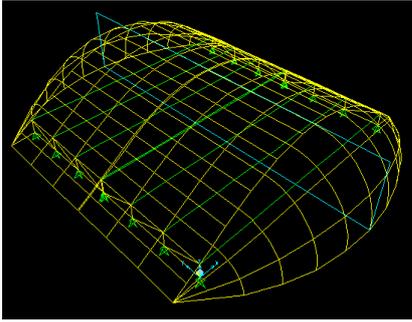
Frame	Station	OCase	StType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
97	0,00	ENV	Max	1,723	0,052	0,005	0,007	0,002	0,108
97	0,39	ENV	Max	1,723	0,054	0,005	0,007	0,001	0,090
97	0,78	ENV	Max	1,724	0,056	0,005	0,007	0,001	0,073
97	0,00	ENV	Min	-1,696	-0,040	-0,003	-0,006	-0,002	-0,109
97	0,39	ENV	Min	-1,695	-0,038	-0,003	-0,006	-0,001	-0,097
97	0,78	ENV	Min	-1,694	-0,037	-0,003	-0,006	-0,002	-0,086
99	0,00	ENV	Max	1,763	0,072	0,009	0,003	0,004	0,077
99	0,40	ENV	Max	1,764	0,074	0,009	0,003	0,001	0,048
99	0,80	ENV	Max	1,765	0,076	0,009	0,003	0,002	0,019
99	0,00	ENV	Min	-1,729	-0,071	-0,008	-0,004	-0,004	-0,090
99	0,40	ENV	Min	-1,728	-0,069	-0,008	-0,004	-0,001	-0,063
99	0,80	ENV	Min	-1,727	-0,068	-0,008	-0,004	-0,003	-0,050
101	0,00	ENV	Max	1,793	0,039	0,008	0,006	0,003	0,023
101	0,40	ENV	Max	1,794	0,040	0,008	0,006	0,000	0,013
101	0,80	ENV	Max	1,794	0,042	0,008	0,006	0,003	0,008
101	0,00	ENV	Min	-1,754	-0,047	-0,009	-0,008	-0,004	-0,051
101	0,40	ENV	Min	-1,753	-0,045	-0,009	-0,008	0,000	-0,044
101	0,80	ENV	Min	-1,752	-0,043	-0,009	-0,008	-0,003	-0,037
103	0,00	ENV	Max	1,815	0,019	0,005	0,010	0,002	0,006
103	0,40	ENV	Max	1,815	0,021	0,005	0,010	0,000	0,015
103	0,80	ENV	Max	1,815	0,022	0,005	0,010	0,003	0,024
103	0,00	ENV	Min	-1,776	-0,044	-0,006	-0,013	-0,002	-0,038
103	0,40	ENV	Min	-1,775	-0,042	-0,006	-0,013	0,000	-0,023
103	0,80	ENV	Min	-1,775	-0,040	-0,006	-0,013	-0,002	-0,026
104	0,00	ENV	Max	1,830	0,008	0,001	0,010	0,000	0,024
104	0,40	ENV	Max	1,830	0,010	0,001	0,010	0,001	0,035
104	0,80	ENV	Max	1,830	0,011	0,001	0,010	0,002	0,049
104	0,00	ENV	Min	-1,793	-0,071	-0,005	-0,012	-0,002	-0,027
104	0,40	ENV	Min	-1,793	-0,069	-0,005	-0,012	-0,001	-0,028
104	0,80	ENV	Min	-1,793	-0,067	-0,005	-0,012	-0,001	-0,033
110	0,00	ENV	Max	1,873	0,067	0,005	0,008	0,002	0,049
110	0,40	ENV	Max	1,873	0,069	0,005	0,008	0,000	0,037
110	0,80	ENV	Max	1,872	0,071	0,005	0,008	0,001	0,026
110	0,00	ENV	Min	-1,829	-0,010	-0,004	-0,003	-0,002	-0,034
110	0,40	ENV	Min	-1,829	-0,008	-0,004	-0,003	0,000	-0,030
110	0,80	ENV	Min	-1,829	-0,007	-0,004	-0,003	-0,002	-0,029
112	0,00	ENV	Max	1,907	0,040	0,006	0,010	0,003	0,026
112	0,40	ENV	Max	1,907	0,042	0,006	0,010	0,000	0,021
112	0,80	ENV	Max	1,907	0,044	0,006	0,010	0,002	0,014
112	0,00	ENV	Min	-1,852	-0,016	-0,005	-0,006	-0,002	-0,029
112	0,40	ENV	Min	-1,853	-0,015	-0,005	-0,006	0,000	-0,028
112	0,80	ENV	Min	-1,854	-0,013	-0,005	-0,006	-0,002	-0,038

Frame	Station	OCase	StType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
114	0,00	ENV	Max	1,954	0,026	0,007	0,008	0,003	0,015
114	0,40	ENV	Max	1,953	0,028	0,007	0,008	0,000	0,006
114	0,80	ENV	Max	1,952	0,030	0,007	0,008	0,002	0,002
114	0,00	ENV	Min	-1,887	-0,024	-0,006	-0,006	-0,003	-0,037
114	0,40	ENV	Min	-1,888	-0,023	-0,006	-0,006	0,000	-0,044
114	0,80	ENV	Min	-1,889	-0,021	-0,006	-0,006	-0,003	-0,051
116	0,00	ENV	Max	1,993	0,030	0,006	0,005	0,002	0,001
116	0,40	ENV	Max	1,992	0,031	0,006	0,005	0,000	0,015
116	0,80	ENV	Max	1,991	0,033	0,006	0,005	0,003	0,028
116	0,00	ENV	Min	-1,919	-0,038	-0,007	-0,004	-0,003	-0,050
116	0,40	ENV	Min	-1,920	-0,036	-0,007	-0,004	-0,001	-0,047
116	0,80	ENV	Min	-1,921	-0,034	-0,007	-0,004	-0,003	-0,045
118	0,00	ENV	Max	1,996	0,060	0,006	0,003	0,003	0,027
118	0,39	ENV	Max	1,995	0,061	0,006	0,003	0,001	0,034
118	0,78	ENV	Max	1,994	0,063	0,006	0,003	0,003	0,050
118	0,00	ENV	Min	-1,924	-0,069	-0,008	-0,004	-0,004	-0,045
118	0,39	ENV	Min	-1,925	-0,067	-0,008	-0,004	-0,001	-0,041
118	0,78	ENV	Min	-1,926	-0,065	-0,008	-0,004	-0,002	-0,060
126	0,00	ENV	Max	1,842	0,004	0,002	0,006	0,001	0,048
126	0,40	ENV	Max	1,842	0,005	0,002	0,006	0,001	0,087
126	0,80	ENV	Max	1,842	0,007	0,002	0,006	0,002	0,126
126	0,00	ENV	Min	-1,806	-0,099	-0,003	-0,007	-0,001	-0,033
126	0,40	ENV	Min	-1,806	-0,097	-0,003	-0,007	0,000	-0,034
126	0,80	ENV	Min	-1,806	-0,094	-0,003	-0,007	0,000	-0,035
128	0,00	ENV	Max	1,851	0,094	0,003	0,005	0,002	0,126
128	0,40	ENV	Max	1,851	0,097	0,003	0,005	0,001	0,087
128	0,80	ENV	Max	1,851	0,099	0,003	0,005	0,001	0,048
128	0,00	ENV	Min	-1,813	-0,007	-0,003	-0,003	-0,002	-0,035
128	0,40	ENV	Min	-1,813	-0,005	-0,003	-0,003	-0,001	-0,034
128	0,80	ENV	Min	-1,813	-0,004	-0,003	-0,003	-0,001	-0,034
611	0,00	ENV	Max	1,746	0,247	0,043	0,003	0,017	0,267
611	0,40	ENV	Max	1,748	0,251	0,043	0,003	0,009	0,167
611	0,80	ENV	Max	1,750	0,254	0,043	0,003	0,013	0,066
611	0,00	ENV	Min	-1,761	-0,283	-0,031	-0,002	-0,013	-0,288
611	0,40	ENV	Min	-1,758	-0,280	-0,031	-0,002	-0,008	-0,176
612	0,00	ENV	Max	1,613	0,157	0,007	0,006	0,002	0,071
612	0,40	ENV	Max	1,614	0,159	0,007	0,006	0,001	0,016
612	0,80	ENV	Max	1,615	0,161	0,007	0,006	0,003	0,066
612	0,00	ENV	Min	-1,612	-0,167	-0,005	-0,005	-0,002	-0,068
612	0,40	ENV	Min	-1,611	-0,166	-0,005	-0,005	-0,001	-0,012
612	0,80	ENV	Min	-1,610	-0,164	-0,005	-0,005	-0,003	-0,058
613	0,00	ENV	Max	1,665	0,066	0,005	0,009	0,001	0,063
613	0,40	ENV	Max	1,666	0,068	0,005	0,009	0,000	0,084
613	0,80	ENV	Max	1,667	0,070	0,005	0,009	0,002	0,106
613	0,00	ENV	Min	-1,651	-0,058	-0,003	-0,008	-0,001	-0,055
613	0,40	ENV	Min	-1,649	-0,056	-0,003	-0,008	0,000	-0,080
613	0,80	ENV	Min	-1,648	-0,055	-0,003	-0,008	-0,002	-0,108
614	0,00	ENV	Max	2,082	0,322	0,034	0,003	0,024	0,318
614	0,40	ENV	Max	2,084	0,326	0,034	0,003	0,011	0,189
614	0,80	ENV	Max	2,086	0,329	0,034	0,003	0,010	0,058
614	0,00	ENV	Min	-2,044	-0,306	-0,053	-0,004	-0,033	-0,290
614	0,40	ENV	Min	-2,042	-0,303	-0,053	-0,004	-0,012	-0,168
614	0,80	ENV	Min	-2,040	-0,301	-0,053	-0,004	-0,005	-0,047

Frame	Station	OCase	StType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
615	0,00	ENV	Max	1,907	0,157	0,007	0,001	0,002	0,063
615	0,40	ENV	Max	1,908	0,159	0,007	0,001	0,001	0,016
615	0,80	ENV	Max	1,909	0,161	0,007	0,001	0,005	0,063
615	0,00	ENV	Min	-1,861	-0,143	-0,010	-0,005	-0,003	-0,052
615	0,40	ENV	Min	-1,859	-0,142	-0,010	-0,005	0,000	-0,005
615	0,80	ENV	Min	-1,858	-0,140	-0,010	-0,005	-0,003	-0,066
616	0,00	ENV	Max	1,955	0,034	0,008	0,002	0,003	0,061
616	0,40	ENV	Max	1,956	0,035	0,008	0,002	0,000	0,054
616	0,80	ENV	Max	1,957	0,037	0,008	0,002	0,004	0,049
616	0,00	ENV	Min	-1,896	-0,022	-0,011	-0,004	-0,004	-0,063
616	0,40	ENV	Min	-1,895	-0,020	-0,011	-0,004	0,000	-0,060
616	0,80	ENV	Min	-1,894	-0,019	-0,011	-0,004	-0,003	-0,059
637	0,00	ENV	Max	0,153	0,244	0,108	0,004	0,057	0,245
637	0,40	ENV	Max	0,150	0,246	0,108	0,004	0,013	0,147
637	0,80	ENV	Max	0,148	0,249	0,108	0,004	0,030	0,048
637	0,00	ENV	Min	-0,120	-0,247	-0,105	-0,005	-0,053	-0,244
637	0,40	ENV	Min	-0,122	-0,244	-0,105	-0,005	-0,012	-0,146
637	0,80	ENV	Min	-0,124	-0,240	-0,105	-0,005	-0,030	-0,050
638	0,00	ENV	Max	0,031	0,074	0,017	0,003	0,005	0,054
638	0,40	ENV	Max	0,030	0,076	0,017	0,003	0,002	0,024
638	0,80	ENV	Max	0,028	0,077	0,017	0,003	0,009	0,007
638	0,00	ENV	Min	-0,019	-0,080	-0,017	-0,003	-0,005	-0,055
638	0,40	ENV	Min	-0,020	-0,078	-0,017	-0,003	-0,002	-0,024
638	0,80	ENV	Min	-0,021	-0,076	-0,017	-0,003	-0,009	-0,007
639	0,00	ENV	Max	0,176	0,134	0,125	0,006	0,060	0,134
639	0,40	ENV	Max	0,174	0,137	0,125	0,006	0,009	0,080
639	0,80	ENV	Max	0,171	0,139	0,125	0,006	0,042	0,026
639	0,00	ENV	Min	-0,141	-0,178	-0,132	-0,006	-0,064	-0,174
639	0,40	ENV	Min	-0,142	-0,175	-0,132	-0,006	-0,011	-0,104
639	0,80	ENV	Min	-0,144	-0,171	-0,132	-0,006	-0,041	-0,035
640	0,00	ENV	Max	0,035	0,040	0,023	0,005	0,007	0,029
640	0,40	ENV	Max	0,033	0,041	0,023	0,005	0,002	0,013
640	0,80	ENV	Max	0,032	0,043	0,023	0,005	0,011	0,006
640	0,00	ENV	Min	-0,022	-0,058	-0,023	-0,004	-0,007	-0,039
640	0,40	ENV	Min	-0,023	-0,056	-0,023	-0,004	-0,002	-0,016
640	0,80	ENV	Min	-0,024	-0,055	-0,023	-0,004	-0,011	-0,005

Tabla 5.3: Resultados de fuerzas y momentos, Arco en el Plano X-Z, Y=4.

- Arco en el Plano Y-Z, X=6,45.



Frame	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
4	0,00	0,03250	0,00054	0,00010	0,00220	0,00011	0,00497
4	0,50	0,03250	0,00270	0,00010	0,00220	0,00006	0,00417
4	1,00	0,03250	0,00480	0,00010	0,00220	0,00001	0,00231
4	1,50	0,03250	0,00690	0,00010	0,00220	0,00004	0,00093
4	2,00	0,03250	0,00900	0,00010	0,00220	0,00010	0,00096
4	0,00	-0,06660	-0,00560	-0,00010	-0,00220	-0,00011	-0,00392
4	0,50	-0,06660	-0,00400	-0,00010	-0,00220	-0,00006	-0,00150
4	1,00	-0,06660	-0,00240	-0,00010	-0,00220	-0,00001	0,00011
4	1,50	-0,06660	-0,00085	-0,00010	-0,00220	-0,00004	-0,00061
4	2,00	-0,06660	0,00075	-0,00010	-0,00220	-0,00009	-0,00459
6	0,00	0,07600	-0,00100	0,00027	0,00171	0,00026	0,00162
6	0,50	0,07600	0,00059	0,00027	0,00171	0,00012	0,00270
6	1,00	0,07600	0,00240	0,00027	0,00171	0,00001	0,00305
6	1,50	0,07600	0,00460	0,00027	0,00171	0,00015	0,00333
6	2,00	0,07600	0,00670	0,00027	0,00171	0,00028	0,00269
6	0,00	-0,19150	-0,00610	-0,00027	-0,00171	-0,00026	-0,00369
6	0,50	-0,19150	-0,00400	-0,00027	-0,00171	-0,00012	-0,00194
6	1,00	-0,19150	-0,00220	-0,00027	-0,00171	-0,00001	-0,00146
6	1,50	-0,19150	-0,00059	-0,00027	-0,00171	-0,00015	-0,00295
6	2,00	-0,19150	0,00100	-0,00027	-0,00171	-0,00028	-0,00523
8	0,00	0,08810	0,01080	0,00016	0,00098	0,00019	0,01082
8	0,50	0,08810	0,01290	0,00016	0,00098	0,00011	0,00529
8	1,00	0,08810	0,01500	0,00016	0,00098	0,00003	0,00703
8	1,50	0,08810	0,01710	0,00016	0,00098	0,00005	0,01249
8	2,00	0,08810	0,01930	0,00016	0,00098	0,00013	0,01716
8	0,00	-0,26580	-0,01490	-0,00016	-0,00098	-0,00019	-0,00629
8	0,50	-0,26580	-0,01330	-0,00016	-0,00098	-0,00011	-0,00093
8	1,00	-0,26580	-0,01170	-0,00016	-0,00098	-0,00003	-0,00530
8	1,50	-0,26570	-0,01010	-0,00016	-0,00098	-0,00005	-0,01313
8	2,00	-0,26570	-0,00850	-0,00016	-0,00098	-0,00013	-0,02222
16	0,00	0,00210	0,00001	0,00008	0,00000	0,00003	0,00002
16	0,22	0,00110	0,00004	0,00008	0,00000	0,00002	0,00001
16	0,43	0,00000	0,00008	0,00008	0,00000	0,00000	0,00000
16	0,00	0,00140	-0,00017	-0,00008	0,00000	-0,00003	-0,00005
16	0,22	0,00068	-0,00013	-0,00008	0,00000	-0,00002	-0,00002
16	0,43	0,00000	-0,00008	-0,00008	0,00000	0,00000	0,00000

Frame	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
23	0,00	0,08800	0,00710	0,00015	0,00099	0,00012	0,01512
23	0,50	0,08800	0,00870	0,00015	0,00099	0,00004	0,01116
23	1,00	0,08800	0,01030	0,00015	0,00099	0,00004	0,00640
23	1,50	0,08800	0,01190	0,00015	0,00099	0,00011	0,00515
23	2,00	0,08800	0,01350	0,00015	0,00099	0,00019	0,01054
23	0,00	-0,27060	-0,01820	-0,00015	-0,00099	-0,00012	-0,02038
23	0,50	-0,27060	-0,01610	-0,00015	-0,00099	-0,00004	-0,01194
23	1,00	-0,27060	-0,01400	-0,00015	-0,00099	-0,00004	-0,00472
23	1,50	-0,27060	-0,01190	-0,00015	-0,00099	-0,00011	-0,00088
23	2,00	-0,27060	-0,00970	-0,00015	-0,00099	-0,00019	-0,00581
25	0,00	0,07880	-0,00120	0,00027	0,00170	0,00028	0,00234
25	0,50	0,07880	0,00044	0,00027	0,00170	0,00015	0,00303
25	1,00	0,07880	0,00200	0,00027	0,00170	0,00001	0,00283
25	1,50	0,07880	0,00390	0,00027	0,00170	0,00012	0,00259
25	2,00	0,07880	0,00600	0,00027	0,00170	0,00026	0,00155
25	0,00	-0,20300	-0,00650	-0,00027	-0,00171	-0,00028	-0,00491
25	0,50	-0,20300	-0,00440	-0,00027	-0,00171	-0,00015	-0,00268
25	1,00	-0,20300	-0,00230	-0,00027	-0,00171	-0,00001	-0,00127
25	1,50	-0,20300	-0,00043	-0,00027	-0,00171	-0,00012	-0,00187
25	2,00	-0,20300	0,00120	-0,00027	-0,00171	-0,00026	-0,00364
27	0,00	0,03260	-0,00066	0,00011	0,00219	0,00010	0,00105
27	0,50	0,03260	0,00093	0,00011	0,00219	0,00005	0,00098
27	1,00	0,03260	0,00250	0,00011	0,00219	0,00001	0,00230
27	1,50	0,03260	0,00410	0,00011	0,00219	0,00006	0,00424
27	2,00	0,03260	0,00570	0,00011	0,00219	0,00011	0,00511
27	0,00	-0,07090	-0,00920	-0,00011	-0,00219	-0,00010	-0,00476
27	0,50	-0,07090	-0,00710	-0,00011	-0,00219	-0,00005	-0,00070
27	1,00	-0,07090	-0,00490	-0,00011	-0,00219	-0,00001	0,00012
27	1,50	-0,07090	-0,00280	-0,00011	-0,00219	-0,00006	-0,00154
27	2,00	-0,07090	-0,00070	-0,00011	-0,00219	-0,00011	-0,00400
200	0,00	0,07840	0,07340	0,00250	0,00006	0,00007	0,00158
200	0,23	0,07850	0,07430	0,00250	0,00006	0,00064	0,01704
200	0,45	0,07860	0,07520	0,00250	0,00006	0,00121	0,03576
200	0,00	-0,06580	-0,08450	-0,00250	-0,00006	-0,00007	-0,00287
200	0,23	-0,06580	-0,08330	-0,00250	-0,00006	-0,00064	-0,01620
200	0,45	-0,06570	-0,08210	-0,00250	-0,00006	-0,00121	-0,03312
231	0,00	0,00210	0,00001	0,00008	0,00000	0,00003	0,00002
231	0,22	0,00110	0,00004	0,00008	0,00000	0,00002	0,00001
231	0,43	0,00000	0,00008	0,00008	0,00000	0,00000	0,00000
231	0,00	0,00140	-0,00017	-0,00008	0,00000	-0,00003	-0,00005
231	0,22	0,00068	-0,00013	-0,00008	0,00000	-0,00002	-0,00002
231	0,43	0,00000	-0,00008	-0,00008	0,00000	0,00000	0,00000
308	0,00	0,07760	0,07470	0,00190	0,00005	0,00078	0,02908
308	0,23	0,07750	0,07560	0,00190	0,00005	0,00035	0,01206
308	0,45	0,07740	0,07660	0,00190	0,00005	0,00008	0,00359
308	0,00	-0,06400	-0,06780	-0,00190	-0,00005	-0,00078	-0,02679
308	0,23	-0,06410	-0,06710	-0,00190	-0,00005	-0,00035	-0,01152
308	0,45	-0,06410	-0,06640	-0,00190	-0,00005	-0,00008	-0,00517
309	0,00	0,07870	0,08360	0,00190	0,00005	0,00009	0,00359
309	0,23	0,07850	0,08450	0,00190	0,00005	0,00052	0,01945
309	0,45	0,07820	0,08550	0,00190	0,00005	0,00095	0,03514
309	0,00	-0,06530	-0,07040	-0,00190	-0,00005	-0,00009	-0,00517
309	0,23	-0,06550	-0,06970	-0,00190	-0,00005	-0,00052	-0,02421
309	0,45	-0,06570	-0,06900	-0,00190	-0,00005	-0,00095	-0,04345

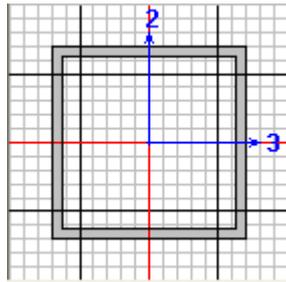
Frame	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
310	0,00	0,35420	0,06570	0,00310	0,00035	0,00144	0,03637
310	0,23	0,35390	0,06640	0,00310	0,00035	0,00074	0,02142
310	0,45	0,35360	0,06700	0,00310	0,00035	0,00004	0,00631
310	0,00	-0,40660	-0,08040	-0,00310	-0,00035	-0,00144	-0,04450
310	0,23	-0,40700	-0,07960	-0,00310	-0,00035	-0,00074	-0,02638
310	0,45	-0,40740	-0,07870	-0,00310	-0,00035	-0,00004	-0,00846
311	0,00	0,33950	0,11950	0,00310	0,00034	0,00009	0,00631
311	0,23	0,33910	0,12010	0,00310	0,00034	0,00061	0,02431
311	0,45	0,33870	0,12070	0,00310	0,00034	0,00131	0,05453
311	0,00	-0,39090	-0,13910	-0,00310	-0,00034	-0,00009	-0,00846
311	0,23	-0,39140	-0,13830	-0,00310	-0,00034	-0,00061	-0,02219
311	0,45	-0,39190	-0,13750	-0,00310	-0,00034	-0,00131	-0,04846
312	0,00	0,26370	0,10930	0,00055	0,00181	0,00022	0,05842
312	0,23	0,26310	0,10980	0,00055	0,00181	0,00034	0,03362
312	0,45	0,26250	0,11040	0,00055	0,00181	0,00047	0,00871
312	0,00	-0,28440	-0,09900	-0,00056	-0,00181	-0,00022	-0,05154
312	0,23	-0,28490	-0,09820	-0,00056	-0,00181	-0,00034	-0,02923
312	0,45	-0,28530	-0,09750	-0,00056	-0,00181	-0,00047	-0,00709
313	0,00	0,27320	0,07170	0,00055	0,00186	0,00022	0,00871
313	0,23	0,27250	0,07230	0,00055	0,00186	0,00034	0,00690
313	0,45	0,27180	0,07300	0,00055	0,00186	0,00047	0,02077
313	0,00	-0,29760	-0,06200	-0,00056	-0,00186	-0,00022	-0,00709
313	0,23	-0,29810	-0,06150	-0,00056	-0,00186	-0,00034	-0,00760
313	0,45	-0,29870	-0,06100	-0,00056	-0,00186	-0,00047	-0,02406
314	0,00	0,86800	0,05370	0,00440	0,00160	0,00197	0,02267
314	0,23	0,86740	0,05420	0,00440	0,00160	0,00098	0,01046
314	0,45	0,86680	0,05470	0,00440	0,00160	0,00003	0,00420
314	0,00	-0,98910	-0,06450	-0,00440	-0,00160	-0,00197	-0,02618
314	0,23	-0,98990	-0,06400	-0,00440	-0,00160	-0,00098	-0,01164
314	0,45	-0,99070	-0,06360	-0,00440	-0,00160	-0,00003	-0,00369
315	0,00	0,85390	0,15830	0,00440	0,00159	0,00021	0,00420
315	0,23	0,85330	0,15880	0,00440	0,00159	0,00120	0,04431
315	0,45	0,85270	0,15920	0,00440	0,00159	0,00219	0,08542
315	0,00	-0,97590	-0,18200	-0,00440	-0,00159	-0,00021	-0,00369
315	0,23	-0,97680	-0,18160	-0,00440	-0,00159	-0,00120	-0,03812
315	0,45	-0,97760	-0,18130	-0,00440	-0,00159	-0,00219	-0,07414
316	0,00	0,18260	0,10240	0,00150	0,00096	0,00069	0,09518
316	0,23	0,18170	0,10270	0,00150	0,00096	0,00034	0,07195
316	0,45	0,18080	0,10290	0,00150	0,00096	0,00001	0,04866
316	0,00	-0,13830	-0,09040	-0,00150	-0,00096	-0,00069	-0,08251
316	0,23	-0,13890	-0,09000	-0,00150	-0,00096	-0,00034	-0,06207
316	0,45	-0,13960	-0,08970	-0,00150	-0,00096	-0,00001	-0,04172
317	0,00	0,16840	0,12180	0,00150	0,00096	0,00011	0,04866
317	0,23	0,16750	0,12200	0,00150	0,00096	0,00046	0,02103
317	0,45	0,16660	0,12220	0,00150	0,00096	0,00080	0,00537
317	0,00	-0,12890	-0,10400	-0,00150	-0,00096	-0,00011	-0,04172
317	0,23	-0,12960	-0,10380	-0,00150	-0,00096	-0,00046	-0,01817
317	0,45	-0,13030	-0,10360	-0,00150	-0,00096	-0,00080	-0,00668
318	0,00	0,00430	-0,00021	0,00024	0,00000	0,00014	-0,00003
318	0,23	0,00320	-0,00010	0,00024	0,00000	0,00009	0,00001
318	0,45	0,00210	0,00002	0,00024	0,00000	0,00003	0,00002
318	0,00	0,00270	-0,00083	-0,00024	0,00000	-0,00014	-0,00036
318	0,23	0,00200	-0,00068	-0,00024	0,00000	-0,00009	-0,00019
318	0,45	0,00130	-0,00052	-0,00024	0,00000	-0,00003	-0,00005

Frame	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
417	0,00	0,08010	0,09050	0,00250	0,00005	0,00007	0,00158
417	0,23	0,07980	0,09140	0,00250	0,00005	0,00051	0,01779
417	0,45	0,07960	0,09240	0,00250	0,00005	0,00108	0,03490
417	0,00	-0,06740	-0,07660	-0,00250	-0,00005	-0,00007	-0,00287
417	0,23	-0,06760	-0,07590	-0,00250	-0,00005	-0,00051	-0,02256
417	0,45	-0,06770	-0,07520	-0,00250	-0,00005	-0,00108	-0,04337
418	0,00	0,35880	0,06450	0,00310	0,00036	0,00143	0,03590
418	0,23	0,35850	0,06520	0,00310	0,00036	0,00074	0,02121
418	0,45	0,35830	0,06590	0,00310	0,00036	0,00004	0,00637
418	0,00	-0,41210	-0,07940	-0,00310	-0,00036	-0,00143	-0,04415
418	0,23	-0,41250	-0,07850	-0,00310	-0,00036	-0,00074	-0,02627
418	0,45	-0,41290	-0,07760	-0,00310	-0,00036	-0,00004	-0,00860
419	0,00	0,34430	0,11900	0,00310	0,00035	0,00009	0,00637
419	0,23	0,34390	0,11960	0,00310	0,00035	0,00060	0,02413
419	0,45	0,34350	0,12030	0,00310	0,00035	0,00130	0,05427
419	0,00	-0,39650	-0,13890	-0,00310	-0,00035	-0,00009	-0,00860
419	0,23	-0,39700	-0,13800	-0,00310	-0,00035	-0,00060	-0,02202
419	0,45	-0,39750	-0,13720	-0,00310	-0,00035	-0,00130	-0,04816
420	0,00	0,26360	0,10920	0,00055	0,00181	0,00021	0,05827
420	0,23	0,26300	0,10970	0,00055	0,00181	0,00034	0,03351
420	0,45	0,26240	0,11030	0,00055	0,00181	0,00046	0,00862
420	0,00	-0,28490	-0,09880	-0,00055	-0,00181	-0,00021	-0,05136
420	0,23	-0,28540	-0,09810	-0,00055	-0,00181	-0,00034	-0,02910
420	0,45	-0,28580	-0,09730	-0,00055	-0,00181	-0,00046	-0,00699
422	0,00	0,86760	0,05380	0,00440	0,00160	0,00197	0,02269
422	0,23	0,86700	0,05430	0,00440	0,00160	0,00098	0,01046
422	0,45	0,86640	0,05480	0,00440	0,00160	0,00003	0,00420
422	0,00	-0,98890	-0,06450	-0,00440	-0,00160	-0,00197	-0,02618
422	0,23	-0,98970	-0,06400	-0,00440	-0,00160	-0,00098	-0,01163
422	0,45	-0,99050	-0,06360	-0,00440	-0,00160	-0,00003	-0,00369
423	0,00	0,85360	0,15840	0,00440	0,00159	0,00021	0,00420
423	0,23	0,85290	0,15880	0,00440	0,00159	0,00120	0,04434
423	0,45	0,85230	0,15920	0,00440	0,00159	0,00219	0,08545
423	0,00	-0,97570	-0,18200	-0,00440	-0,00159	-0,00021	-0,00369
423	0,23	-0,97650	-0,18160	-0,00440	-0,00159	-0,00120	-0,03814
423	0,45	-0,97740	-0,18130	-0,00440	-0,00159	-0,00219	-0,07417
424	0,00	0,18230	0,10240	0,00150	0,00096	0,00069	0,09519
424	0,23	0,18140	0,10270	0,00150	0,00096	0,00034	0,07195
424	0,45	0,18050	0,10300	0,00150	0,00096	0,00001	0,04865
424	0,00	-0,13800	-0,09040	-0,00150	-0,00096	-0,00069	-0,08251
424	0,23	-0,13860	-0,09000	-0,00150	-0,00096	-0,00034	-0,06208
424	0,45	-0,13930	-0,08970	-0,00150	-0,00096	-0,00001	-0,04172
425	0,00	0,16810	0,12180	0,00150	0,00096	0,00011	0,04865
425	0,23	0,16720	0,12200	0,00150	0,00096	0,00046	0,02103
425	0,45	0,16620	0,12220	0,00150	0,00096	0,00080	0,00537
425	0,00	-0,12860	-0,10400	-0,00150	-0,00096	-0,00011	-0,04172
425	0,23	-0,12930	-0,10380	-0,00150	-0,00096	-0,00046	-0,01817
425	0,45	-0,13000	-0,10360	-0,00150	-0,00096	-0,00080	-0,00668
426	0,00	0,00430	-0,00021	0,00024	0,00000	0,00014	-0,00003
426	0,23	0,00320	-0,00010	0,00024	0,00000	0,00009	0,00001
426	0,45	0,00210	0,00002	0,00024	0,00000	0,00003	0,00002
426	0,00	0,00270	-0,00083	-0,00024	0,00000	-0,00014	-0,00036
426	0,23	0,00200	-0,00068	-0,00024	0,00000	-0,00009	-0,00019
426	0,45	0,00130	-0,00052	-0,00024	0,00000	-0,00003	-0,00005

Tabla 5.4: Resultados de fuerzas y momentos, Arco en el Plano Y-Z, X=6,45.

5.3.2 COMPROBACIÓN DE LA COMPACIDAD DE LAS SECCIONES.

Tubo cuadrado de 3" x 4mm



$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda = \frac{7,62cm}{0,4cm}$$

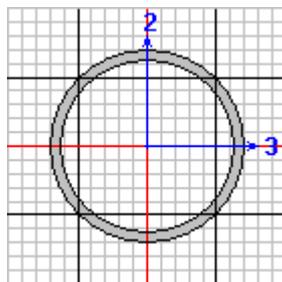
$$\lambda = 19,05$$

$$\lambda_r = 1,49 * \sqrt{\frac{2038901,916 \frac{kg}{cm^2}}{2531,051 \frac{kg}{cm^2}}}$$

$$\lambda_r = 42,289$$

19,05 < 42,289 Sección Compacta

Tubo de 2" x 3mm



$$\lambda = \frac{D}{t} \leq \lambda_r = 0,11 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

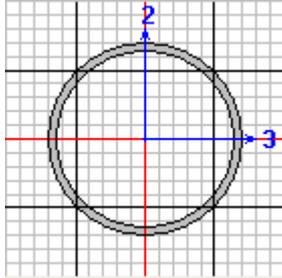
$$\lambda = \frac{5,08cm}{0,3cm}$$

$$\lambda = 16,93$$

$$\lambda_r = 88,611$$

16,93 < 88,611 Sección Compacta

Tubo de 2 1/2" x 3mm



$$\lambda = \frac{D}{t} \leq \lambda_r = 0,11 \frac{E}{F_y}$$

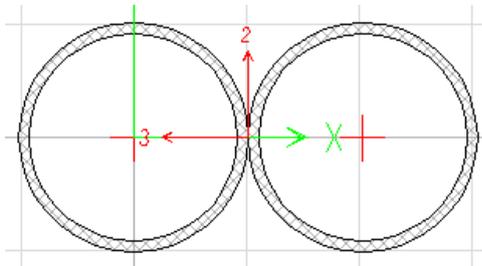
$$\lambda = \frac{6,35cm}{0,3cm}$$

$$\lambda = 21,16$$

$$\lambda_r = 88,611$$

21,16 < 88,611 Sección Compacta

Tubo doble de 2 1/2" x 3mm



$$\lambda = \frac{D}{t} \leq \lambda_r = 0,11 \frac{E}{F_y}$$

$$\lambda = \frac{6,35cm}{0,3cm}$$

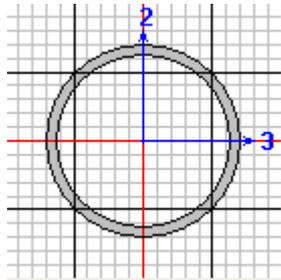
$$\lambda = 21,16$$

$$\lambda_r = 88,611$$

21,16 < 88,611

Esta sección por estar conformada por dos secciones compactas tiene la misma propiedad.

Tubo de 3" x 4mm



$$\lambda = \frac{D}{t} \leq \lambda_r = 0,11 \frac{E}{F_y}$$

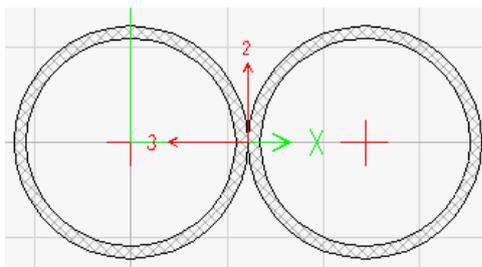
$$\lambda = \frac{7,62cm}{0,4cm}$$

$$\lambda = 19,05$$

$$\lambda_r = 88,611$$

19,05 < 88,611 Sección Compacta

Tubo doble de 3" x 4mm



$$\lambda = \frac{D}{t} \leq \lambda_t = 0,11 \frac{E}{F_y}$$

$$\lambda = \frac{7,62cm}{0,4cm}$$

$$\lambda = 19,05$$

$$\lambda_r = 88,611$$

19,05 < 88,611

Esta sección por estar conformada por dos secciones compactas tiene la misma propiedad.

5.3.3 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CRÍTICOS.

Sección COL: Tubo cuadrado de 3" x 4mm

Frame : 2	Design Sect: COL						Units Kgf, cm, C	
X Mid : 0.000	Design Type: Column							
Y Mid : 0.000	Frame Type: Moment Resisting Frame							
Z Mid : 40.000	Sect Class: Compact							
Length : 80.000	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3							
Loc : 80.000	RLLF : 1.000							
Area : 11.360	SMajor : 25.532	rMajor : 2.903	AUMajor					
IMajor : 95.746	SMinor : 25.532	rMinor : 2.903	AUMinor					
IMinor : 95.746	ZMajor : 30.278	E : 2038901.900						
Ixy : 0.000	ZMinor : 30.278	Fy : 2531.051						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
80.000	-3000.073	29361.430	-8350.412	-384.605	104.910	-1180.614		
PHM DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation (H1-1a)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
	0.719	= 0.233	+ 0.378	+ 0.108	0.950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
Axial	-3000.073	12855.124	25877.462					
MOMENT DESIGN								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	29361.430	68971.638	0.581	1.000	1.000	1.000	1.000	1.722
Minor Moment	-8350.412	68971.638	0.598	1.000	1.000	4.009	1.000	
SHEAR DESIGN								
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion			
Major Shear	384.605	8200.604	0.047	OK	0.000			
Minor Shear	104.910	8200.604	0.013	OK	0.000			

Simbología del diseño de momentos:

Cm = Coeficiente de momento.

$$Cm = 0,6 - 0,4 \frac{Ma}{Mb}$$

Ma = Momento menor.

Mb = Momento mayor.

B1 = Coeficiente de magnificación de momentos para momentos que no causan desplazamientos laterales.

$$B1 = \frac{Cm}{\left(1 - \frac{Pu}{Pe}\right)} \geq 1$$

P_u = Fuerza axial factorada.

P_e = Carga de pandeo de Euler.

B_2 = Coeficiente de magnificación de momentos para momentos que causan desplazamientos laterales.

$B_2 = 1,0$ (su análisis incluye el efecto $P-\Delta$)

K = Factor de longitud efectiva.

C_b = Coeficiente de pandeo.

Datos:

$P = -3000,073$ kg

$M = 29361,43$ kg-cm

$L = 80$ cm

$r = 2,903$ cm

$K = 4,009$

$E = 2038901,916$ kg/cm²

$F_y = 2531,051$ kg/cm²

$A = 11,36$ cm²

$S_x = 25,532$ cm³

$Z_x = 30,278$ cm³

Diseño a Compresión

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{parámetro de esbeltez}$$

$$\lambda_c = \frac{4,009 * 80}{2,903 * \pi} \sqrt{\frac{2531,051}{2038901,916}}$$

$$\lambda_c = 1,239 < 1,5 \quad \text{falla plástica}$$

$$P_n = 0,658^{\lambda_c^2} F_y * A$$

$$P_n = 0,658^{1,535} * 2531,051 * 11,36$$

$$P_n = 15122,409 \text{ kg}$$

$$P_u = \phi_c * P_n \quad \phi_c = 0,85$$

$$P_u = 12854,048 \text{ kg}$$

$$3000,073 \text{ kg} < 12854,048 \text{ kg} \quad \text{CUMPLE}$$

Diseño a Flexión

$$L_p = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p = 1,76 * 2,903 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$L_p = 145,013 \text{ cm}$$

$$80 \text{ cm} < 145,013 \text{ cm} \quad \text{no existe Pandeo lateral torsional}$$

$$M_y = F_y * S_x$$

$$M_y = 2531,051 * 25,532$$

$$M_y = 64622,794 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_n = M_p = F_y * Z_x \leq 1,5 M_y$$

$$1,5 M_y = 96934,191 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_p = 2531,051 * 30,278$$

$$M_p = 76635,162 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_n = 76635,162 \text{ kg} - \text{cm}$$

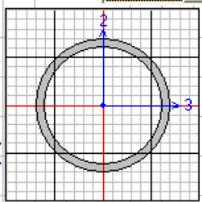
$$M_u \leq \phi * M_n$$

$$M_u = 0,9 * 76635,162$$

$$M_u = 68971,646 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$29361,43 \text{ kg} - \text{cm} < 68971,646 \text{ kg} - \text{cm} \quad \text{CUMPLE}$$

Sección COTB: Tubo de 2" x 3mm

Frame : 404	Design Sect: COTB							
X Mid : 65.532	Design Type: Brace							
Y Mid : -9.540	Frame Type: Moment Resisting Frame							
Z Mid : 125.357	Sect Class: Compact							
Length : 19.110	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3							
Loc : 0.000	RLLF : 1.000							
Area : 4.505	SMajor : 5.086	rMajor : 1.693	AUMajor					
IMajor : 12.917	SMinor : 5.086	rMinor : 1.693	AUMinor					
IMinor : 12.917	ZMajor : 6.864	E : 2038901.900						
Ixy : 0.000	ZMinor : 6.864	Fy : 2531.051						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
0.000	578.593	-11970.205	-7325.682	-390.234	-220.829	1497.305		
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
(H1-1b)	0.926	= 0.028	+ 0.766	+ 0.469	0.950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
Axial	578.593	9436.409	10262.245					
MOMENT DESIGN								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-11970.205	15634.725	1.000	1.000	1.000	1.000	1.997	1.000
Minor Moment	-7325.682	15634.725	1.000	1.000	1.000	1.000	1.997	1.000
SHEAR DESIGN								
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion			
Major Shear	390.234	3086.748	0.126	OK	0.000			
Minor Shear	220.829	3086.748	0.072	OK	0.000			

Datos:

$P = 578,593 \text{ kg}$
 $M = 11970,205 \text{ kg-cm}$
 $L = 19,11 \text{ cm}$
 $r = 1,693 \text{ cm}$
 $K = 1$
 $E = 2038901,916 \text{ kg/cm}^2$
 $F_y = 2531,051 \text{ kg/cm}^2$
 $A = 4,505 \text{ cm}^2$
 $S_x = 5,086 \text{ cm}^3$
 $Z_x = 6,864 \text{ cm}^3$

Diseño a Tensión

$$P_n = F_y * A$$

$$P_n = 2531,051 * 4,505$$

$$P_n = 11402,384 \text{ kg}$$

$$P_u \leq \phi * P_n$$

$$Pu = 0,9 * 11402,384$$

$$Pu = 10262,146 \text{ kg}$$

$$578,593 \text{ kg} < 10262,146 \text{ kg} \quad \text{CUMPLE}$$

Diseño a Flexión

$$Lp = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$Lp = 1,76 * 1,693 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$Lp = 84,57 \text{ cm}$$

$$19,11 \text{ cm} < 84,57 \text{ cm} \quad \text{no existe Pandeo lateral torsional}$$

$$My = Fy * Sx$$

$$My = 2531,051 * 5,086$$

$$My = 12872,925 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$Mn = Mp = Fy * Zx \leq 1,5My$$

$$1,5My = 19309,388 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$Mp = 2531,051 * 6,864$$

$$Mp = 17373,134 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$Mn = 17373,134 \text{ kg} - \text{cm}$$

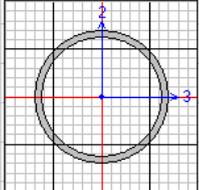
$$Mu \leq \phi * Mn$$

$$Mu = 0,9 * 17373,134$$

$$Mu = 15635,821 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$11970,205 \text{ kg-cm} < 15635,821 \text{ kg-cm} \quad \text{CUMPLE}$$

Sección ARC1: Tubo de 2 1/2" x 3mm

Frame		Design Sect:		Units				
Frame	: 136	Design Sect:	ARC1	Kgf, cm, C				
X Mid	: 605.071	Design Type:	Brace					
Y Mid	: 600.000	Frame Type:	Moment Resisting Frame					
Z Mid	: 357.944	Sect Class:	Compact					
Length	: 79.965	Major Axis:	0.000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc	: 79.965	RLLF	: 1.000					
Area	: 5.702	SMajor	: 8.237	rMajor	: 2.142			
IMajor	: 26.153	SMinor	: 8.237	rMinor	: 2.142			
IMinor	: 26.153	ZMajor	: 10.990	E	: 2038901.900			
Ixy	: 0.000	ZMinor	: 10.990	Fy	: 2531.051			
								
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
79.965	-159.955	14856.527	238.737	-102.673	-2.810	-234.259		
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation (H1-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
	0.601	= 0.007	+ 0.593	+ 0.010	0.950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
Axial	-159.955	11399.126	12988.825					
MOMENT DESIGN								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	14856.527	25034.053	0.774	1.000	1.000	1.000	1.000	1.289
Minor Moment	238.737	25034.053	0.624	1.000	1.000	1.000	1.000	
SHEAR DESIGN								
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion			
Major Shear	102.673	3903.030	0.026	OK	0.000			
Minor Shear	2.810	3903.030	0.001	OK	0.000			

Datos:

P = -159,955 kg
 M = 14856,527 kg-cm
 L = 80 cm
 r = 2,142 cm
 K = 1
 E = 2038901,916 kg/cm²
 Fy = 2531,051 kg/cm²
 A = 5,702 cm²
 Sx = 8,237 cm³
 Zx = 10,99 cm³

Diseño a Compresión

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{parámetro de esbeltez}$$

$$\lambda_c = \frac{1 * 80}{2,142 * \pi} \sqrt{\frac{2531,051}{2038901,916}}$$

$$\lambda_c = 0,418 < 1,5 \quad \text{falla plástica}$$

$$Pn = 0,658^{\lambda c^2} Fy * A$$

$$Pn = 0,658^{0,175} * 2531,051 * 5,702$$

$$Pn = 13410,235kg$$

$$Pu = \phi c * Pn \quad \phi c = 0,85$$

$$Pu = 11398,7kg$$

$$159,955 kg < 11398,7 kg \quad \text{CUMPLE}$$

Diseño a Flexión

$$Lp = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$Lp = 1,76 * 2,142 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$Lp = 106,1cm$$

$$80 cm < 106,1 cm \quad \text{no existe Pandeo lateral torsional}$$

$$My = Fy * Sx$$

$$My = 2531,051 * 8,239$$

$$My = 20853,329kg - cm$$

$$Mn = Mp = Fy * Zx \leq 1,5My$$

$$1,5My = 31279,994kg - cm$$

$$Mp = 2531,051 * 10,99$$

$$Mp = 27816,25kg - cm$$

$$Mn = 27816,25kg - cm$$

$$Mu \leq \phi * Mn$$

$$Mu = 0,9 * 27816,25$$

$$Mu = 25034,625kg - cm$$

$$14856,527 kg-cm < 25034,625 kg-cm \quad \text{CUMPLE}$$

Sección ARD1: Tubo doble de 2 ½" x 3mm

Frame : 614	Design Sect: ARD1	Units: Kgf. cm. C						
X Mid : 1257.234	Design Type: Brace							
Y Mid : 400.000	Frame Type : Moment Resisting Frame							
Z Mid : 102.943	Sect Class : Non-Compact							
Length : 80.000	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3							
Loc : 0.000	RLLF : 1.000							
Area : 11.404	SMajor : 16.474	rMajor : 2.142	AUMajor					
IMajor : 52.305	SMinor : 26.341	rMinor : 3.830	AUMinor					
IMinor : 167.264	ZMajor : 21.442	E : 2038901.900						
Ixy : 0.000	ZMinor : 35.615	Fy : 2531.051						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
0.000	1989.539	31839.660	-3324.039	321.981	-52.773	233.548		
PMH DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
(H1-1b)	0.942	= 0.038	+ 0.848	+ 0.055	0.950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
Axial	1989.539	22796.775	25977.649					
MOMENT DESIGN								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	31839.660	37526.965	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.483
Minor Moment	-3324.039	60003.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
SHEAR DESIGN								
	Uu Force	phi*Un Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion			
Major Shear	321.981	2523.230	0.128	OK	0.000			
Minor Shear	52.773	4328.978	0.012	OK	0.000			

Datos:

P = 1989,539 kg
 M = 31839,66 kg-cm
 L = 80 cm
 r = 2,142 cm
 K = 1
 E = 2038901,916 kg/cm²
 Fy = 2531,051 kg/cm²
 A = 11,404 cm²
 Sx = 16,474 cm³
 Zx = 21,442 cm³

Diseño a Tensión

$$P_n = F_y * A$$

$$P_n = 2531,051 * 11,404$$

$$P_n = 28864,106 \text{ kg}$$

$$P_u \leq \phi * P_n$$

$$Pu = 0,9 * 28864,106$$

$$Pu = 25977,695kg$$

$$1989,539 kg < 25977,695 kg \quad \text{CUMPLE}$$

Diseño a Flexión

$$Lp = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$Lp = 1,76 * 2,142 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$Lp = 107,0cm$$

$$80 cm < 107,0 cm \quad \text{no existe Pandeo lateral torsional}$$

$$My = Fy * Sx$$

$$My = 2531,051 * 16,474$$

$$My = 41696,534kg - cm$$

$$Mn = Mp = Fy * Zx \leq 1,5My$$

$$1,5My = 62544,801kg - cm$$

$$Mp = 2531,051 * 21,442$$

$$Mp = 54270,796kg - cm$$

$$Mn = 54270,796kg - cm$$

$$Mu \leq \phi * Mn$$

$$Mu = 0,9 * 54270,796$$

$$Mu = 48843,716kg - cm$$

$$31839,66 kg-cm < 48843,716 kg-cm \quad \text{CUMPLE}$$

$$Pu = 0,9 * 22964,226$$

$$Pu = 20667,803kg$$

$$1351,237 kg < 20667,803 kg \quad \text{CUMPLE}$$

Diseño a Flexión

$$Lp = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$Lp = 1,76 * 2,557 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$Lp = 127,729cm$$

$$80 cm < 127,729 cm \quad \text{no existe Pandeo lateral torsional}$$

$$My = Fy * Sx$$

$$My = 2531,051 * 15,565$$

$$My = 39395,809kg - cm$$

$$Mn = Mp = Fy * Zx \leq 1,5My$$

$$1,5My = 59093,714kg - cm$$

$$Mp = 2531,051 * 20,873$$

$$Mp = 52830,628kg - cm$$

$$Mn = 52830,628kg - cm$$

$$Mu \leq \phi * Mn$$

$$Mu = 0,9 * 52830,628$$

$$Mu = 47547,565kg - cm$$

$$11404,793 kg-cm < 47547,565 kg-cm \quad \text{CUMPLE}$$

Sección ARD2: Tubo doble de 3" x 4mm

Frame : 558	Design Sect: ARD2	Units: Kgf, cm, C
X Mid : 32.766	Design Type: Brace	
Y Mid : 0.000	Frame Type : Moment Resisting Frame	
Z Mid : 102.943	Sect Class : Non-Compact	
Length : 80.000	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3	
Loc : 0.000	RLLF : 1.000	
Area : 18.146	SMajor : 31.129	rMajor : 2.557
IMajor : 118.602	SMinor : 50.132	rMinor : 4.588
IMinor : 382.009	ZMajor : 40.724	E : 2038901.900
Ixy : 0.000	ZMinor : 68.004	Fy : 2531.051
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS		
Location	Pu	Mu33
0.000	-2002.950	-53717.296
		Mu22
		-332.890
		Uu2
		-708.726
		Uu3
		141.160
		Tu
		11587.047
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO		
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio
(H1-1b)	0.826	0.058
		MMajor Ratio
		0.766
		MMinor Ratio
		0.003
		Ratio Limit
		0.950
		Status Check
		OK
AXIAL FORCE DESIGN		
	Pu	phi*Pnc
	Force	Capacity
Axial	-2002.950	17313.631
		phi*Pnt
		Capacity
		41335.235
MOMENT DESIGN		
	Mu	phi*Mn
	Moment	Capacity
Major Moment	-54288.553	70910.541
Minor Moment	-332.890	114198.893
		Cm
		Factor
		1.000
		B1
		Factor
		1.093
		B2
		Factor
		1.000
		K
		Factor
		1.000
		L
		Factor
		3.971
		Cb
		Factor
		1.724
SHEAR DESIGN		
	Uu	phi*Un
	Force	Capacity
Major Shear	708.726	15073.532
Minor Shear	141.160	13284.552
		Stress Ratio
		0.047
		Status Check
		OK
		Tu
		Torsion
		0.000
		0.000

Datos:

P = -2002,95 kg
 M = 53717,296 kg-cm
 L = 80 cm
 r = 2,557 cm
 K = 3,971
 E = 2038901,916 kg/cm²
 Fy = 2531,051 kg/cm²
 A = 18,146 cm²
 Sx = 31,129 cm³
 Zx = 40,724 cm³

Diseño a Compresión

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{parámetro de esbeltez}$$

$$\lambda_c = \frac{3,971 * 80}{2,557 * \pi} \sqrt{\frac{2531,051}{2038901,916}}$$

$$\lambda_c = 1,393 < 1,5 \quad \text{falla plástica}$$

$$Pn = 0,658^{\lambda c^2} Fy * A$$

$$Pn = 0,658^{1,94} * 2531,051 * 18,146$$

$$Pn = 20378,818kg$$

$$Pu = \phi c * Pn \quad \phi c = 0,85$$

$$Pu = 17321,995kg$$

$$2002,95 kg < 17321,995 kg \quad \text{CUMPLE}$$

Diseño a Flexión

$$Lp = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$Lp = 1,76 * 2,557 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$Lp = 127,729cm$$

$$80 cm < 127,729 cm \quad \text{no existe Pandeo lateral torsional}$$

$$My = Fy * Sx$$

$$My = 2531,051 * 31,129$$

$$My = 78789,087kg - cm$$

$$Mn = Mp = Fy * Zx \leq 1,5My$$

$$1,5My = 118183,631kg - cm$$

$$Mp = 2531,051 * 40,724$$

$$Mp = 103074,521kg - cm$$

$$Mn = 103074,521kg - cm$$

$$Mu \leq \phi * Mn$$

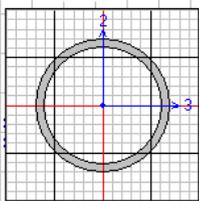
$$Mu = 0,9 * 103074,521$$

$$Mu = 92767,069kg - cm$$

$$53717,296 kg - cm < 92767,069 kg - cm \quad \text{CUMPLE}$$

Caso especial, Tubo de 2" x 3mm

Frame	: 379	Design Sect:	COTB				Units: <input type="text" value="Kgf, cm, C"/>	
X Mid	: 486.127	Design Type:	Column					
Y Mid	: -307.322	Frame Type:	Moment Resisting Frame					
Z Mid	: 9.938	Sect Class:	Compact					
Length	: 43.482	Major Axis:	0.000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc	: 0.000	RLLF	: 1.000					
Area	: 4.505	SMajor	: 5.086	rMajor	: 1.693	AUMajor	:	
IMajor	: 12.917	SMinor	: 5.086	rMinor	: 1.693	AUMinor	:	
IMinor	: 12.917	ZMajor	: 6.864	E	: 2038901.900			
Ixy	: 0.000	ZMinor	: 6.864	Fy	: 2531.051			



DESIGN MESSAGES

kl/r > 200 (AISC-LRFD B7, AISC-LRFD SAM 4)

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
0.000	-23.864	-4001.289	-913.298	-50.336	13.193	1122.452

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (H1-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0.277	= 0.015	+ 0.256	+ 0.058	0.950	OK

AXIAL FORCE DESIGN			
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-23.864	804.642	10262.245

MOMENT DESIGN								
	Mu	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-4001.258	15634.725	1.000	1.001	1.000	5.651	1.997	1.000
Minor Moment	-913.293	15634.725	1.000	1.001	1.000	2.152	1.997	

Datos:

$P = -23,864 \text{ kg}$
 $M = 4001,289 \text{ kg-cm}$
 $L = 43,482 \text{ cm}$
 $r = 1,693 \text{ cm}$
 $K = 5,651$
 $E = 2038901,916 \text{ kg/cm}^2$
 $Fy = 2531,051 \text{ kg/cm}^2$
 $A = 4,505 \text{ cm}^2$
 $Sx = 5,086 \text{ cm}^3$
 $Zx = 6,864 \text{ cm}^3$

Diseño a Compresión

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{Fy}{E}} \quad \text{parámetro de esbeltez}$$

$$\lambda_c = \frac{5,651 * 43,482}{1,693 * \pi} \sqrt{\frac{2531,051}{2038901,916}}$$

$$\lambda_c = 1,628 > 1,5 \quad \text{falla elástica}$$

$$Pn = \frac{0,877}{\lambda_c^2} Fy * A$$

$$Pn = \frac{0,877}{2,649} * 2531,051 * 4,505$$

$$Pn = 3774,968kg$$

$$Pu = \phi_c * Pn \quad \phi_c = 0,85$$

$$Pu = 3208,723kg$$

23,864 kg < 3208,723 kg CUMPLE

Diseño a Flexión

$$Lp = 1,76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$Lp = 1,76 * 1,693 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$Lp = 84,57cm$$

43,482 cm < 84,57 cm no existe Pandeo lateral torsional

$$My = Fy * Sx$$

$$My = 2531,051 * 5,086$$

$$My = 12872,925kg - cm$$

$$Mn = Mp \leq 1,5My$$

$$Mn = 1,5 * 12872,925$$

$$Mn = 19309,399kg - cm$$

$$Mu \leq \phi * Mn$$

$$Mu = 17378,449kg - cm$$

4001,289 kg-cm < 17378,449 kg-cm CUMPLE

Nota: El código AISC LRFD recomienda que la esbeltez sea menor a 200 para que el material tenga una falla plástica y desarrolle las propiedades mecánicas del mismo. Al ser mayor tiene una falla elástica y no se aprovechan las características del material. Se puede pasar por alto esta recomendación ya que el elemento resiste las cargas de compresión y flexión.

Cables pre-esforzados

T = 2,347 Ton

Torón estructural ASTM A586

Tirantes de cables (trabajo estático) F.S.= 3-4

F.S. = 4

$$F_{Pu} = 15500 \frac{kg}{cm^2} \quad (\text{resistencia nominal})$$

$$F_t = \frac{F_{Pu}}{F.S.} = 3875 \frac{kg}{cm^2} \quad (\text{resistencia admisible a la tensión})$$

$$T = \phi * A_s * f_s$$

$$A_{s_{acero}} = \frac{T}{\phi * f_s} = \frac{2347kg}{0,9 * 3875 \frac{kg}{cm^2}} = 0,673cm^2 \quad (\text{acero sólido})$$

$$\gamma_{acero} = 7500 \frac{kg}{m^3} \quad \gamma_{cable} = 4500 \frac{kg}{m^3}$$

$$A_{s_{cable}} = \frac{\gamma_{acero} * A_{s_{acero}}}{\gamma_{cable}} = \frac{7500 * 0,673}{4500} = 1,122cm^2 \quad (\text{cable de acero})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}} \quad D = 1,195cm$$

$$\phi_{CABLE} = \frac{1}{2} pu \lg$$

5.4 DISEÑO DEL DISPOSITIVO MÓVIL.

El dispositivo móvil va a ser el conjunto de piezas de acero que permitirán la apertura y cierre de la cubierta mecanizada sobre el riel metálico. Este dispositivo debe soportar las cargas provenientes de la estructura y permitir el fácil y seguro desplazamiento de la estructura.

De manera general el dispositivo cuenta con tres rodamientos, un principal en la parte superior el que le da moviendo al dispositivo y soporta las cargas de la estructura en sentido de la gravedad y dos secundarios en la parte inferior que soportarán la carga vertical que se encuentra en sentido contrario a la gravedad producida por la acción del viento. Todo el conjunto de piezas se acoplarán en un solo soporte el cual irá soldado a las columnas de la cubierta mecanizada.

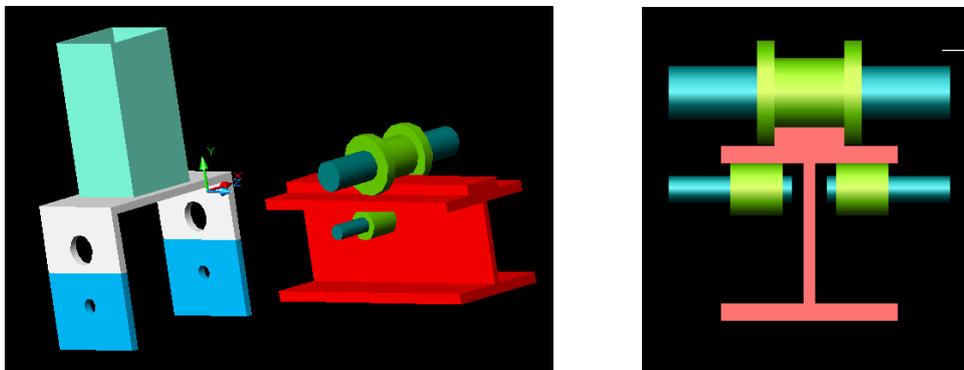


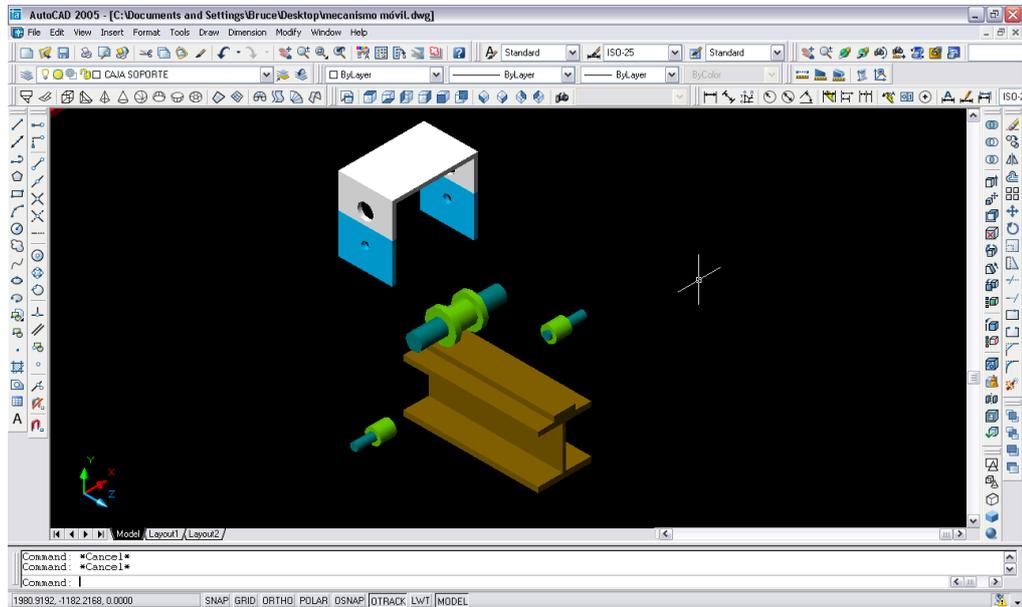
Figura 5.10: Esquema del dispositivo móvil.

Para el diseño de este dispositivo se utilizó el programa ALGOR que utiliza el análisis por elementos finitos. A continuación se describe el diseño del soporte del dispositivo móvil en el mencionado programa.

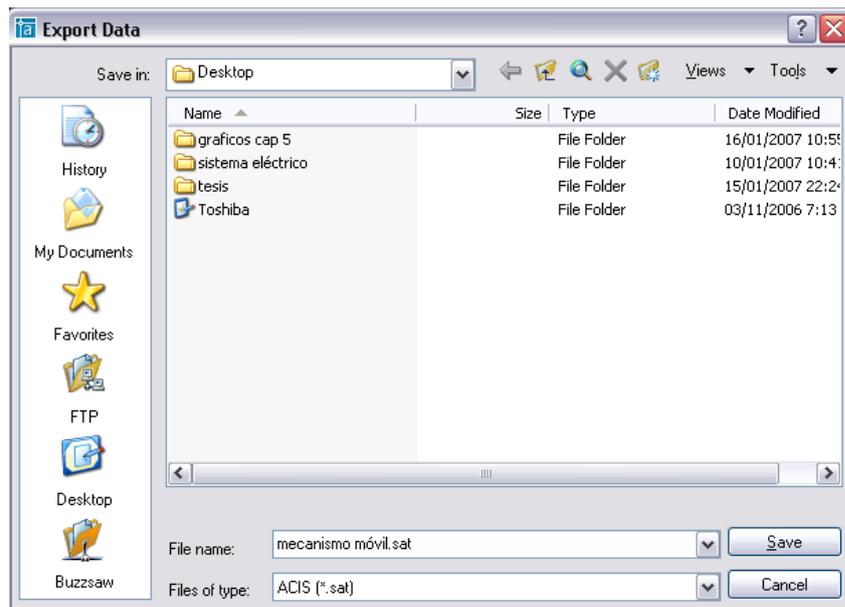
Importación del Modelo del dispositivo

Para la importación del dispositivo se procedió de la siguiente manera:

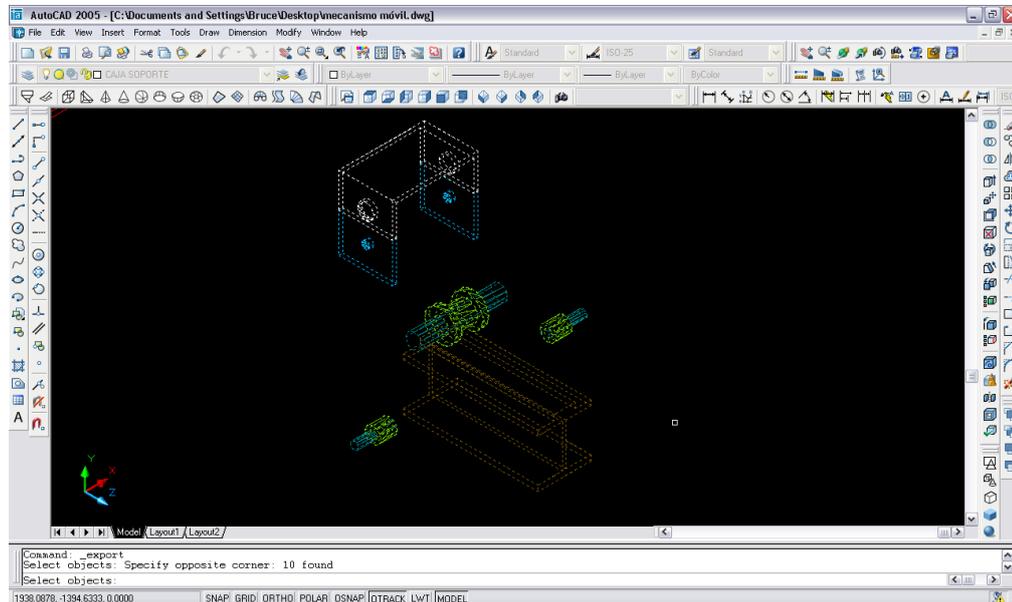
- Se dibujó el dispositivo en el programa AutoCAD 2005 tomando en cuenta que cada pieza del conjunto se debe dibujar como sólidos.



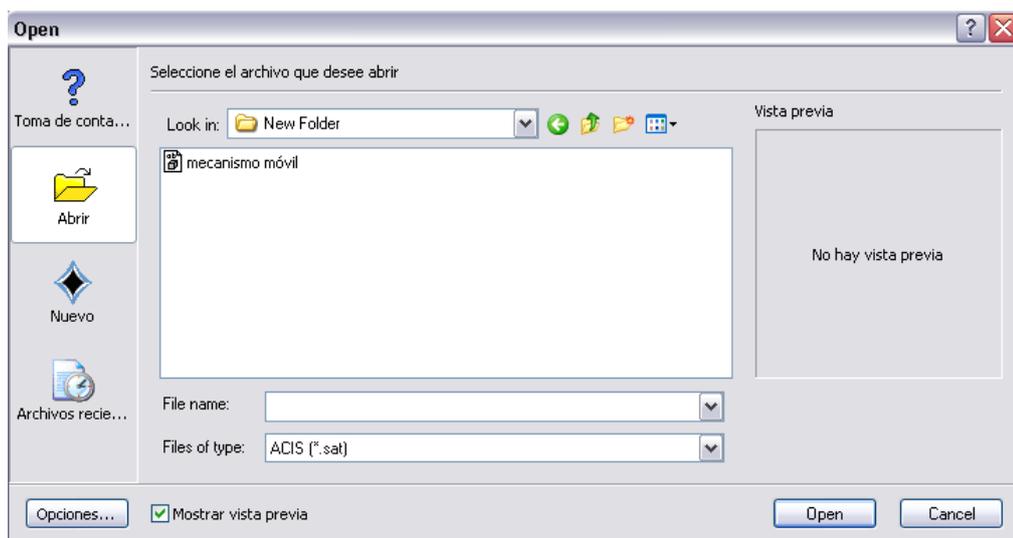
- A continuación ingresamos en AutoCAD al menú *File/export* y guardamos el dibujo como tipo de archivo ACIS (*.sat).



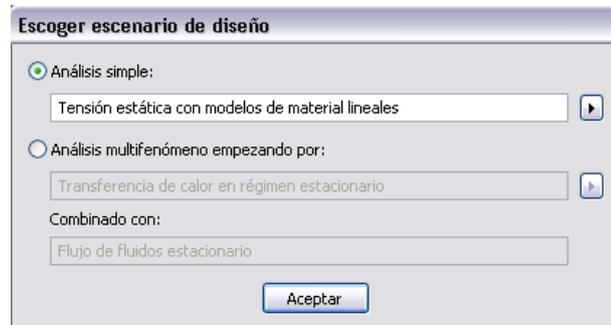
- En la misma pantalla seleccionamos todos los sólidos dibujados que deseamos se exporten y presionamos un enter.



- Luego abrimos el programa ALGOR, entramos al menú *Archivo/Abrir* y seleccionamos el archivo requerido.



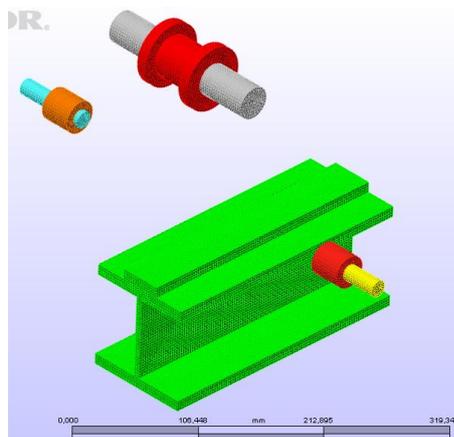
- Escogemos el tipo de análisis que se va a realizar, en este caso se escoge *Análisis simple: Tensión estática con modelos de material lineales*.



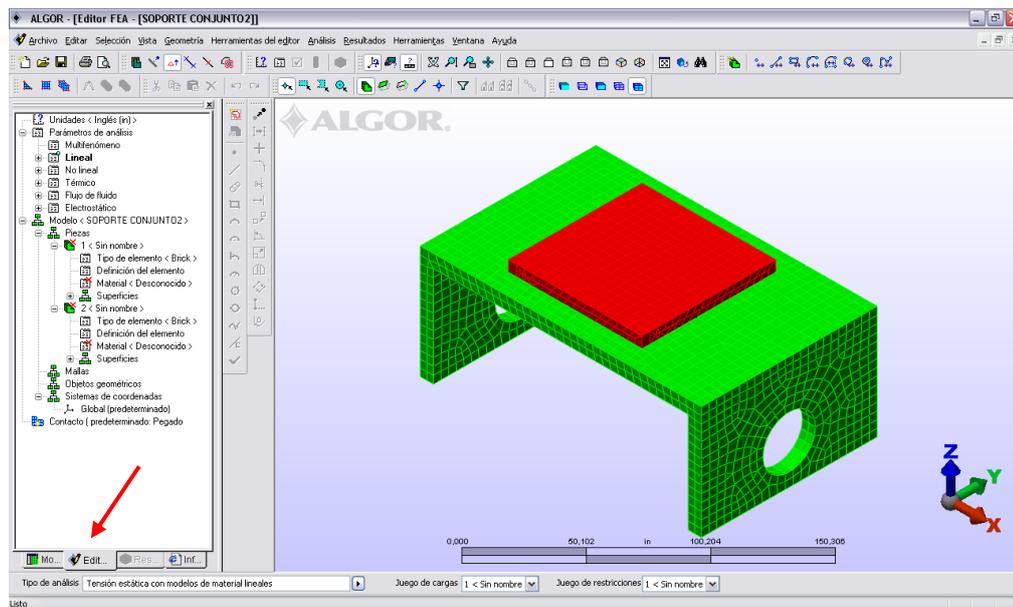
- Para que el programa divida las piezas en elementos pequeños para el cálculo entramos al menú *Malla/Opciones de Mallado del Modelo* y luego se despliega la pantalla *Opciones de mallado del modelo* y seleccionamos el tipo y tamaño de mallado.



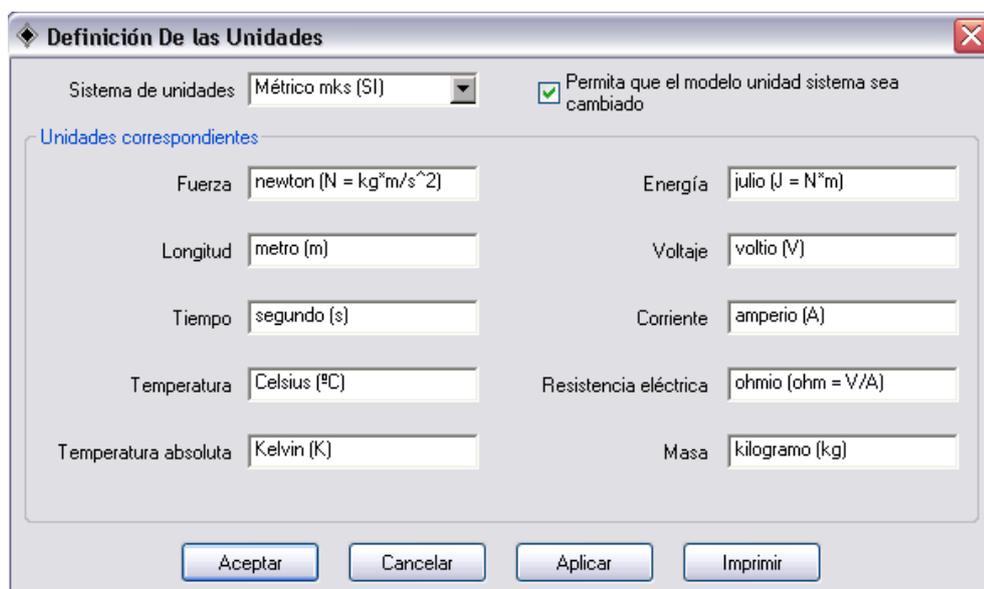
- Para generar el mallado ingresamos al menú *Malla/Generar malla* con lo cual inmediatamente el programa genera la malla.



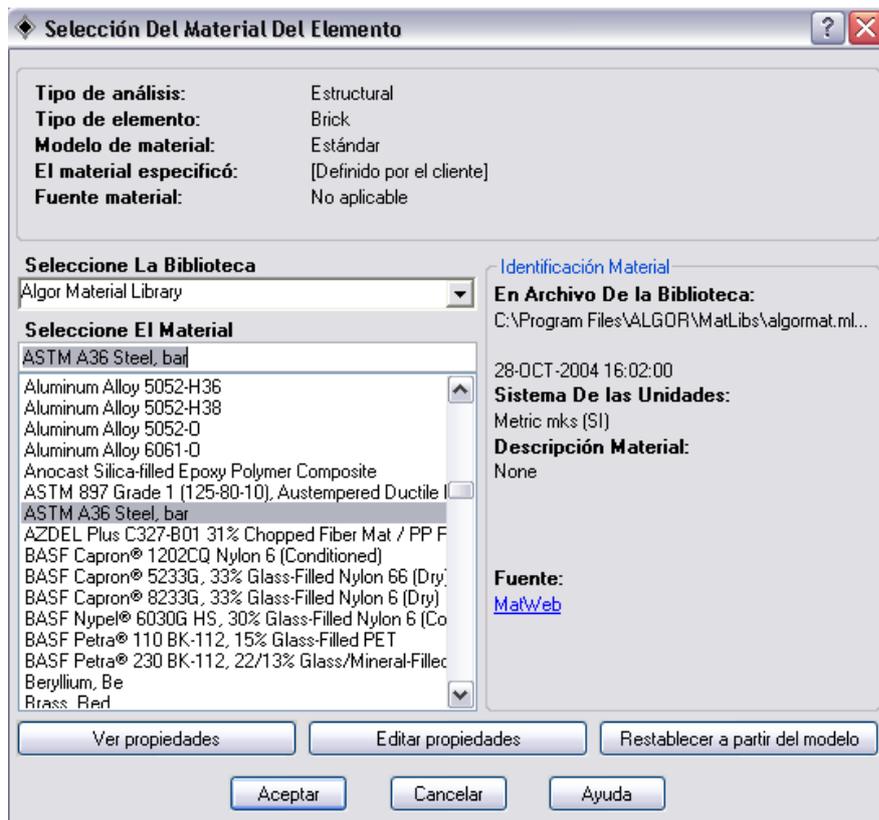
- Ingresamos al *menú de edición FEA* haciendo clic en la pestaña *Edit*.



- Para colocar las unidades en las que se va a trabajar hacemos un clic derecho en *Unidades* del menú de edición FEA. Activamos el casillero *Permita que el modelo unidad sistema sea cambiado* y seleccionamos las unidades deseadas.

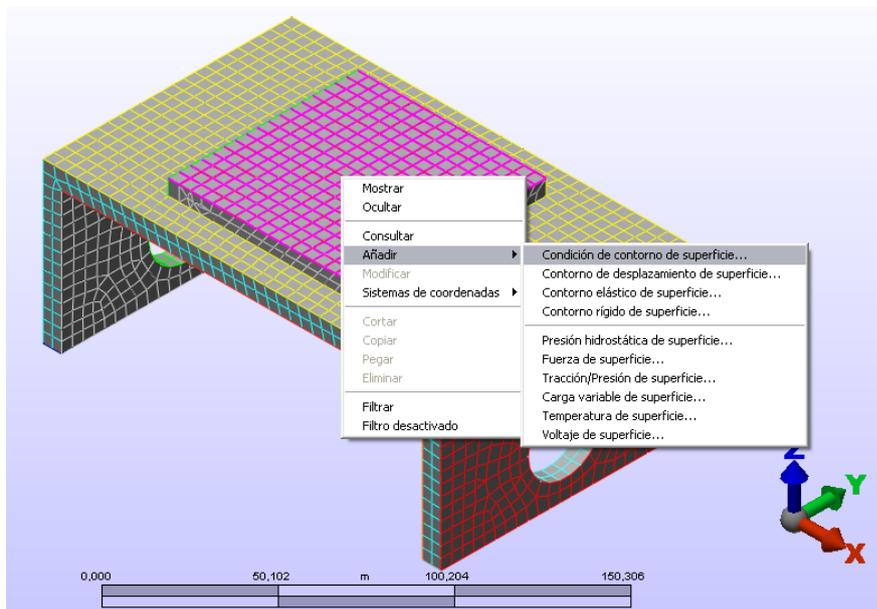


- Se debe seleccionar el material de cada pieza haciendo un clic derecho en *Modelo/Piezas/Material* del menú de edición FEA. En la pantalla desplegada *Selección Del Material del Elemento* escogemos el material deseado.



- Al ser importadas las piezas, el programa asume como que estuvieran libres de cualquier restricción pudiendo moverse libremente en el espacio. Por esto se deben asignar las restricciones necesarias de acuerdo al modelo de diseño, para lo cual se seleccionamos las superficies o puntos donde van aplicadas las restricciones.

- Hacemos clic derecho sobre las superficies seleccionadas y escogemos el menú *Añadir/Condición de contorno de superficie*



- En la pantalla que se despliega escogemos los grados de libertad requeridos por cada pieza.

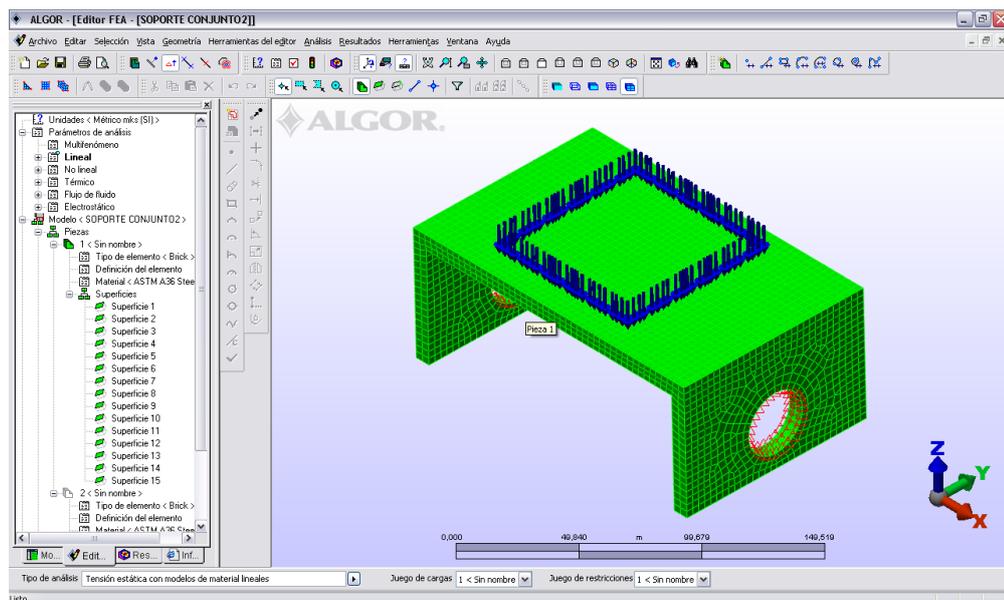


- A continuación se asigna las cargas que soportan la pieza para lo cual seleccionamos los puntos o superficies donde van a ser aplicadas las cargas.

- Hacemos clic derecho sobre las superficies seleccionadas y escogemos el menú *Añadir/Fuerzas*. En la pantalla desplegada seleccionamos la magnitud y dirección de la fuerza requerida.



- Una vez colocadas todas las cargas y restricciones, procedemos a comprobar el modelo para lo que ingresamos al menú *Análisis/Comprobar modelo*, donde se indicara si el modelo esta o no en equilibrio para su respectivo análisis.



- Se realiza finalmente el análisis donde el programa nos da como resultados la tensión, el desplazamiento y deformación unitaria de cada punto de la pieza.

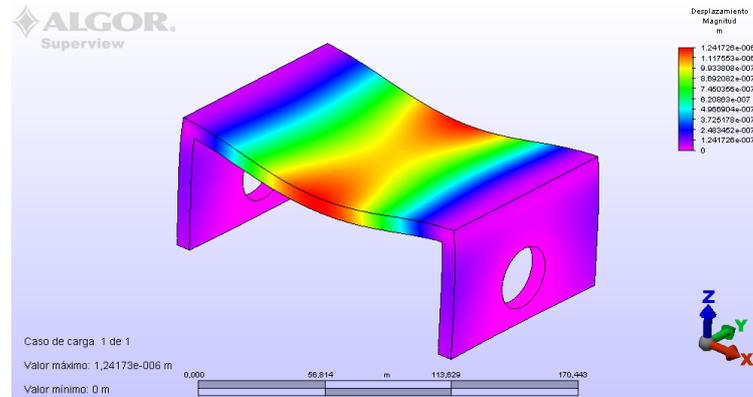


Figura 5.11: Desplazamientos de los diferentes puntos del soporte.

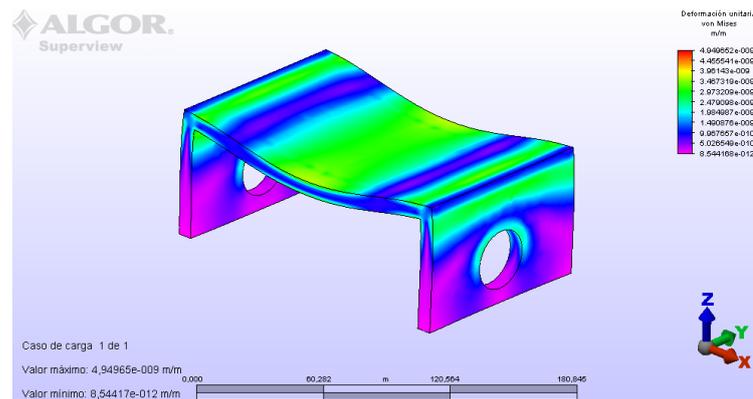


Figura 5.12: Deformaciones unitarias del soporte.

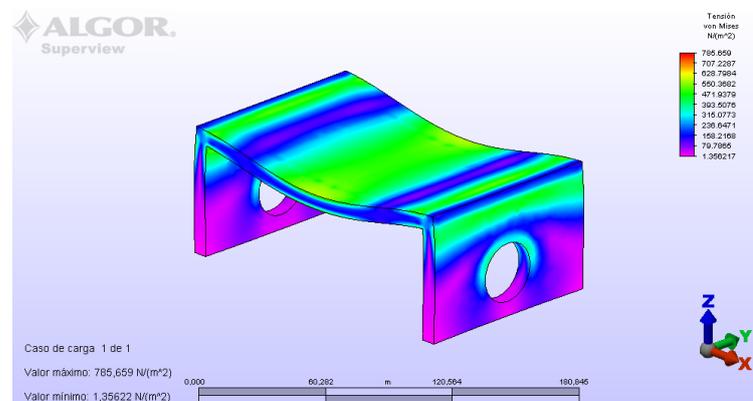


Figura 5.13: Tensiones que resiste el soporte.

- Con los resultados obtenidos y las características del material de la pieza se comprueba que esta cumpla la tensión, desplazamiento y deformación permitidos para la misma.

Predimensionamiento de los ejes de los rodamientos.

Los ejes de los rodamientos van a ser de acero de transmisión SAE 1018 que tiene un límite de fluencia mayor que el acero A-36 y es necesario debido al trabajo que van a realizar.

Resistencia a la tensión (S_y) = 82070 psi.

Carga que actúa sobre el eje (P) = 2943 kg.

Longitud del eje = 16 cm.

Factor de seguridad (FS) = 1,5

$$M = \frac{P * L}{4} = \frac{2943 * 0,16}{4} = 117,72 \text{ kg} - m$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{I/C} \quad I = \frac{\pi * r^4}{4}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{4M}{\pi * r^3} \leq \frac{S_y}{FS} \quad r = \sqrt[3]{\frac{4M * FS}{\pi * S_y}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 * 117,72 * 1,5}{\pi * 57822161,1}} \quad r = 1,572 \text{ cm}$$

Asumimos un eje de 3cm de diámetro.

Dimensiones finales del dispositivo móvil.

Luego de diseñar las diferentes piezas en ALGOR las piezas componentes tiene las siguientes propiedades:

➤ Rodamiento superior

Material: Acero SAE 1018, ruedas vulcanizadas.

Dimensiones:

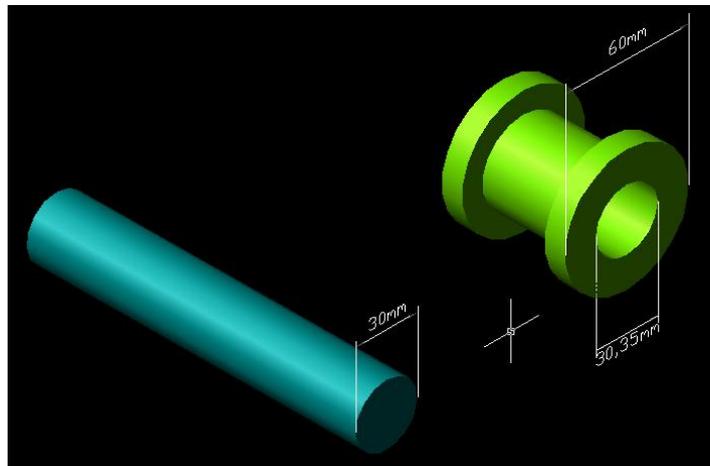
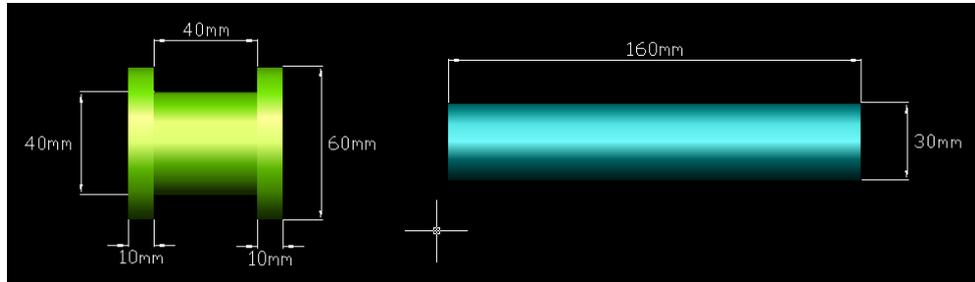
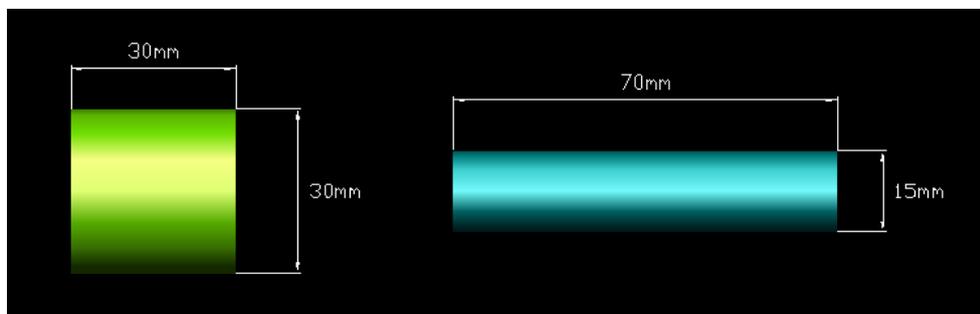


Figura 5.14: Dimensiones del rodamiento superior del dispositivo móvil.

➤ Rodamiento inferior

Material: Acero SAE 1018, ruedas vulcanizadas.



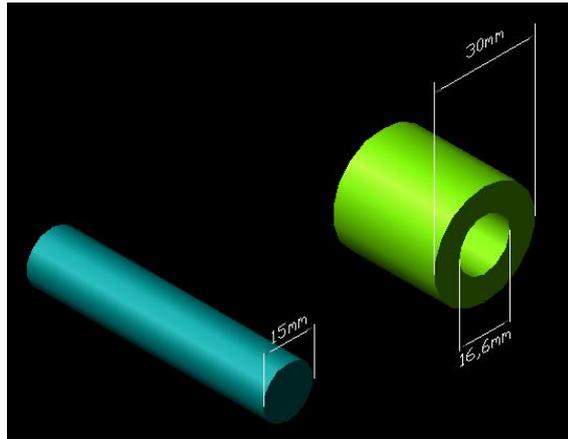


Figura 5.15: Dimensiones del rodamiento inferior del dispositivo móvil.

➤ Soporte

Material: Acero A-36

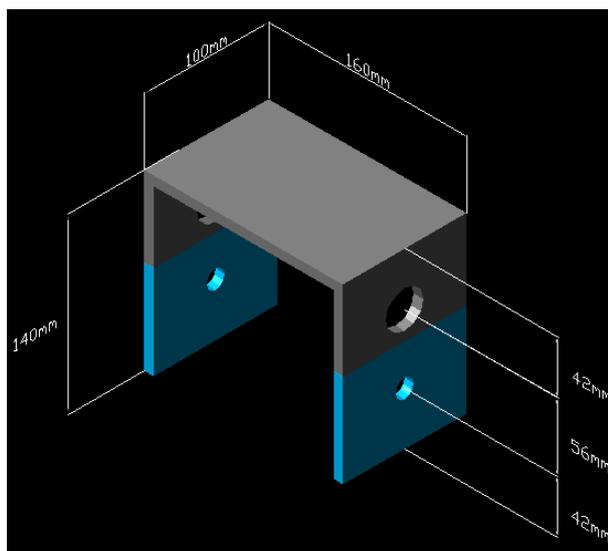
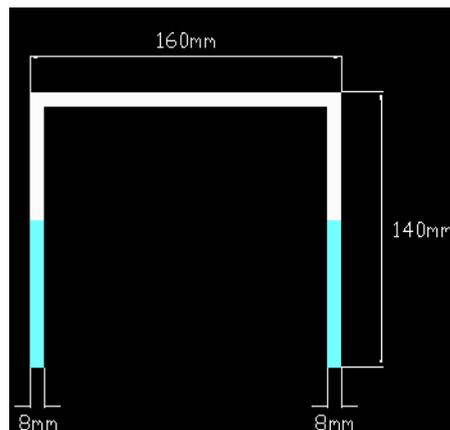


Figura 5.16: Dimensiones del soporte del dispositivo móvil.

5.5 DISEÑO DEL RIEL.

El riel sobre la cual se va a mover la cubierta mecanizada es una viga I de acero A-36. Se seleccionó una viga de IPAC HEB 100 que tiene las siguientes dimensiones:

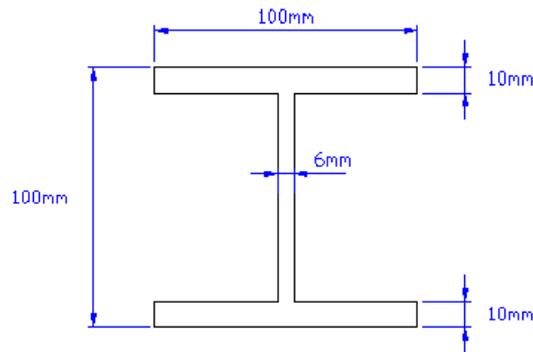


Figura 5.17: Dimensiones de la viga I de IPAC HEB 100.

5.5.1 COMPROBACIÓN DE LA COMPACIDAD DE LA VIGA.

Alma

$$\lambda_{ALMA} = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda_r = 1,49 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{ALMA} = \frac{100mm}{6mm}$$

$$\lambda_r = 1,49 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$\lambda_{ALMA} = 16,67$$

$$\lambda_r = 42,28$$

$$16,67 < 42,28 \quad \text{Alma Compacta}$$

Patines

$$\lambda_{PATINES} = \frac{bf}{2tf}$$

$$\lambda_r = 0,56 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{PATINES} = \frac{100mm}{2*10mm} \quad \lambda_r = 0,56 * \sqrt{\frac{2038901,916}{2531,051}}$$

$$\lambda_{PATINES} = 5 \quad \lambda_r = 15,894$$

5 < 15,894 Patines Compactos

Por tener todos sus elementos compactos, la viga es compacta.

5.5.2 COMPROBACIÓN DEL ALMA.

Los apoyos sobre los que descansa la cubierta mecanizada transmiten todas las cargas a la viga I. El alma de la viga debe soportar las cargas verticales que van a comprimir su sección, por lo que se debe comprobar que la viga seleccionada soporte los esfuerzos a los que va a ser sometida.

P = 1430 kg.

K = 0,5 (se considera el alma empotrada en sus extremos).

tw = 6mm.

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad A = b * h$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} \quad \text{radio de giro}$$

$$r = \sqrt{\frac{8^2}{12}} = 2,309cm$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{parámetro de esbeltez}$$

$$\lambda_c = \frac{0,5 * 8}{\pi * 2,309} \sqrt{\frac{2531,051}{2038901,916}}$$

$$\lambda_c = 0,019 < 1,5 \quad \text{falla plástica}$$

$$P_n = 0,658^{\lambda_c^2} F_y * A$$

$$A = t_w * \text{ancho.coop} \quad \text{se considera un ancho cooperante de 6cm.}$$

$$P_n = 0,658^{0,000377} * 2531,051 * (0,6 * 6)$$

$$P_n = 9100,345 \text{kg}$$

$$P_u = \phi_c * P_n \quad \phi_c = 0,85$$

$$P_u = 7735,293 \text{kg}$$

$$1430 \text{ kg} < 7735,293 \text{ kg} \quad \text{CUMPLE}$$

5.5.3 COMPROBACIÓN DE LOS PATINES.

Los patines de la viga deben soportar la carga vertical ascendente de los apoyos, para ello los patines no pueden tener una deformación mayor que la holgura de los ejes del mecanismo móvil. El pasador más pequeño tiene un diámetro de 1,5cm. Por lo que la holgura debe ser de 1/16".

Para determinar la deformaciones que se presentan en el patín y poder compararlas con la holgura se graficó la pieza en el programa ALGOR y se establecieron las restricciones de movimiento y las cargas que debe soportar. Las cargas son transmitidas por las ruedas inferiores del mecanismo móvil, cada una con una fuerza de 1,635 Ton.

Se debe tener en cuenta las unidades en las que se está trabajando para tener coherencia en los resultados.

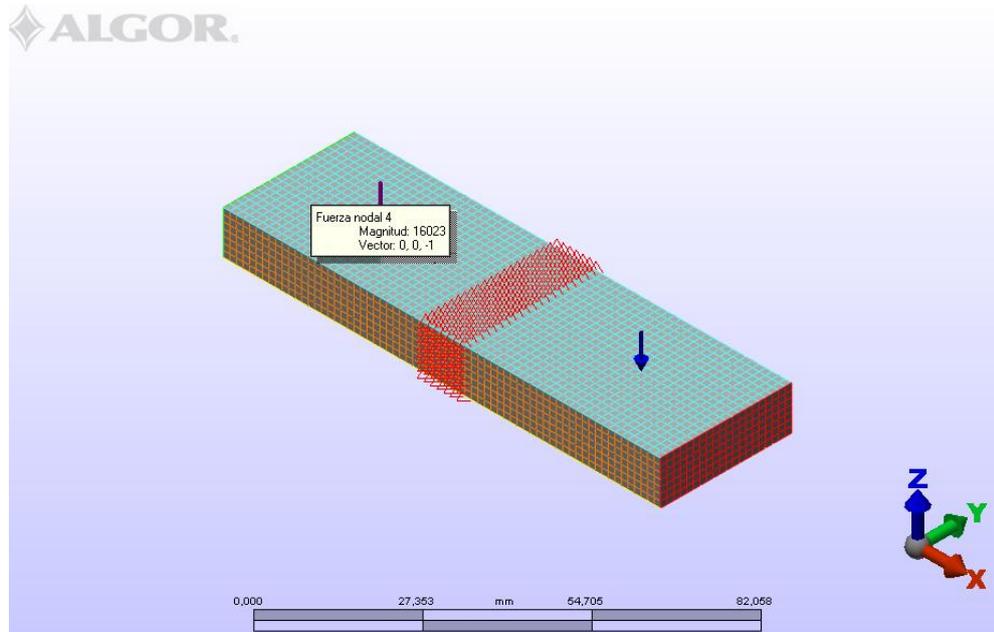


Figura 5.18: Restricciones y cargas sobre los patines de la viga I HEB 100.

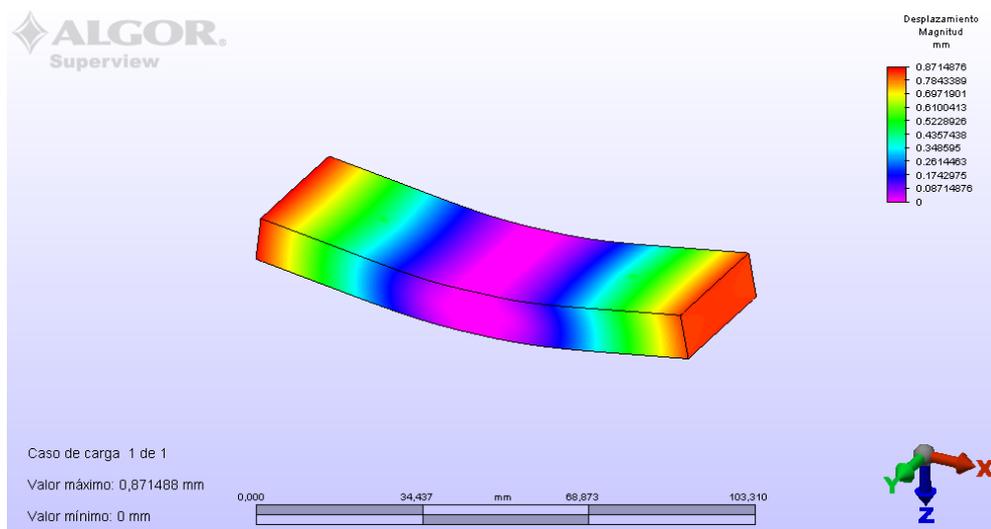


Figura 5.19: Deformaciones del patín de la viga I HEB 100.

Holgura = 1,588mm.

Deformación máxima = 0,871mm.

$0,871mm < 1,588mm$ CUMPLE

5.6 DISEÑO DEL ANCLAJE DEL RIEL.

Las vigas I que actúan como riel para que la cubierta pueda abrirse o cerrarse deben ser ancladas a la losa de cubierta de Edificio Central de la ESPE, para lo cual se utilizará anclajes mecánicos para unir el acero y el concreto. A continuación se describen algunos de los parámetros más importantes para la selección y diseño de este tipo de anclajes.

5.6.1 CARGA PERMITIDA.

Es la carga estática máxima que puede imponerse a una conexión. Las cargas que exceden la carga permitida pueden causar deformaciones inaceptables. Las cargas permitidas se basan en la carga última de diseño con un factor de seguridad de cuatro.

La carga permitida es la carga estática máxima a la que se puede someter un anclaje. En el caso de los anclajes se utiliza el método de prueba de carga en concreto y pruebas de carga estática en elementos de acero.

5.6.2 CARGA DE DISEÑO.

La carga máxima calculada que se impone a una conexión durante la vida útil de la estructura. Una conexión puede estar sometida a varias cargas de diseño actuando en direcciones diferentes.

5.6.3 SELECCIÓN DEL ANCLAJE

Existen varias opciones para anclajes en hormigón y todas ellas pueden funcionar de manera correcta, para seleccionar la mejor existen tres criterios principales a tomarse en consideración:

- El tipo de material base al cual se va a anclar.
- La capacidad de carga.
- El tipo de carga: dinámica o estática.

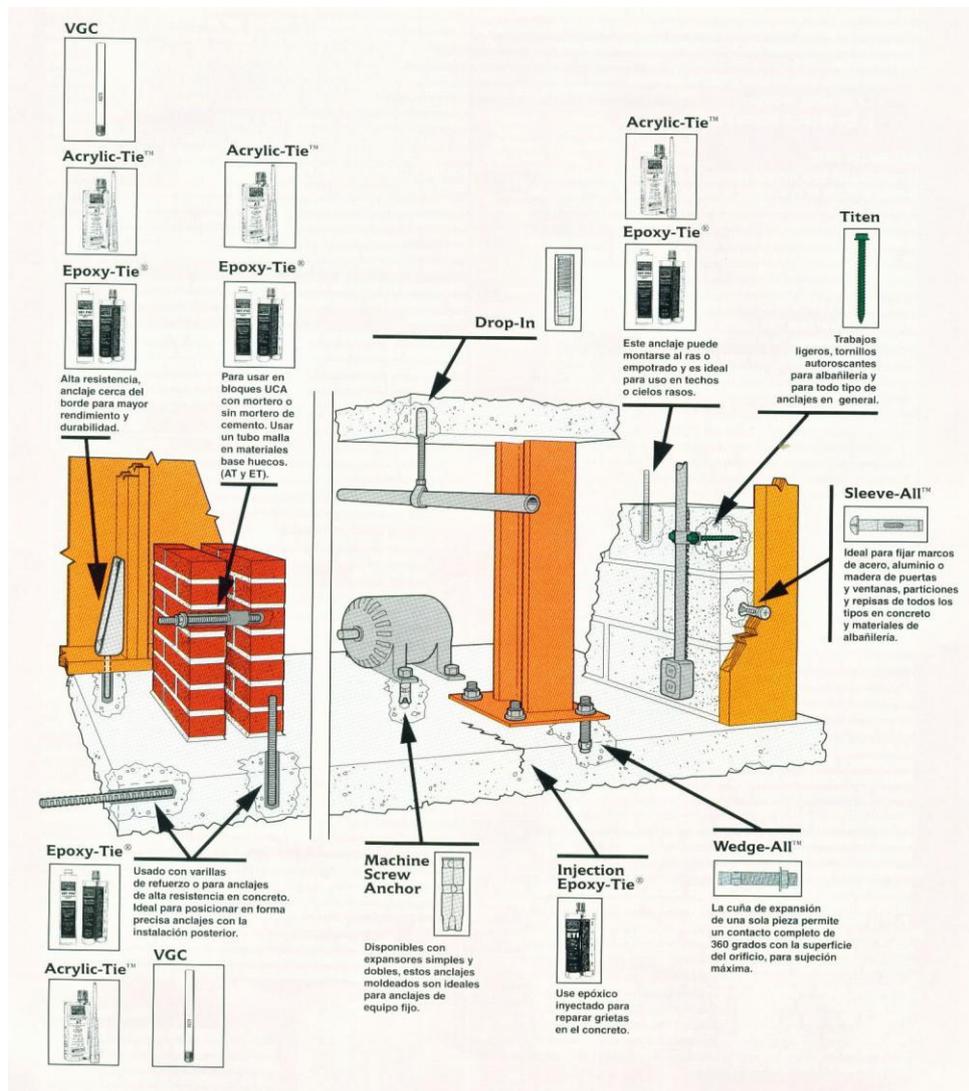


Figura 5.20: Aplicaciones de los sistemas de anclaje en concreto.

MATERIAL BASE.

El material base determinará el tipo de anclaje que se debe utilizar. Generalmente las bases con materiales sólidos como el concreto o la piedra tienen mayor capacidad de carga debido a la resistencia del material y a su masa. Las bases con materiales huecos tienen mucha menor masa para el anclaje y por lo tanto no proveen la resistencia del concreto.

En el caso de esta tesis el anclaje se lo debe realizar en concreto estructural ya que el riel de acero se ancla en las vigas de la losa de cubierta del Edificio Central de la ESPE.

5.6.4 CRITERIOS DE DISEÑO.

Muchos son los factores que influyen en la capacidad de carga de los anclajes mecánicos y químicos instalados en concreto entre los que se puede mencionar:

Separación de los anclajes: La distancia entre los anclajes medida entre sus líneas de eje. Conforme la separación entre los anclajes disminuye acortándose de la separación crítica, su eficiencia se reduce y sus capacidades disminuyen linealmente. La separación no debe ser menor a la separación crítica.

Distancia del borde: La distancia desde la línea del eje de un anclaje hasta el borde más cercano del concreto.

Dimensión del orificio: La relación entre el diámetro del orificio y el tamaño del anclaje.

Diámetro del anclaje.

Profundidad del empotramiento: La distancia desde la superficie del material base hasta el extremo empotrado del anclaje.

5.6.5 MODALIDADES DE FALLA DE LOS ANCLAJES.

Existen básicamente cinco tipos de fallas que se pueden dar en los anclajes:

CONO DE FALLA DEL CONCRETO.

Este tipo de falla usualmente ocurre en anclajes instalados con poco empotramiento. Las fallas tipo cono son comunes en los grupos de anclajes con poca separación entre si, o en anclajes individuales cerca del borde. La falla de cono generalmente comienza en la base de la cabeza del anclaje o mecanismo de expansión y avanza hacia la superficie de concreto en un ángulo de 30 a 45 grados.

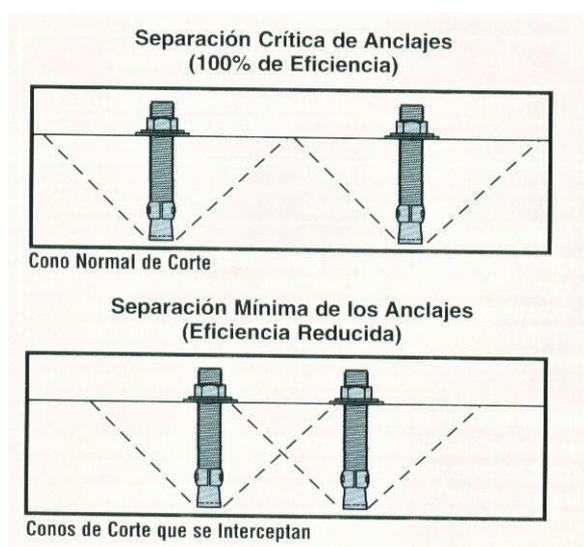


Figura 5.21: Cono de falla del concreto.

FISURA EN EL CONCRETO.

Cuando el miembro de concreto se dobla bajo la carga aplicada se producirán fallas como fisuras o fracturas del concreto. Este tipo de fallas es común en los anclajes empotrados profundamente, losas y vigas delgadas o cuando los anclajes se instalan cerca de un extremo o borde.

DESLIZAMIENTO DEL ANCLAJE.

En los anclajes mecánicos se producen fallas de deslizamiento del anclaje como resultado de una acción de acuñaamiento. La falla de deslizamiento de un anclaje adhesivo indica una adhesión inadecuada del adhesivo a la superficie o al borde del material base.

FALLA DE ADHESIÓN.

Esta modalidad de falla es común en los anclajes adhesivos y de mortero de cemento. Podría formarse un cono de poca profundidad en la superficie del material base y por tanto el adhesivo y el material base fallarán en la línea de adhesión o cerca de esta.

FALLA DEL ACERO.

Se producirán fallas en el anclaje cuando la profundidad del empotramiento sea suficiente para desarrollar toda la capacidad del material del anclaje.

5.6.6 DISTANCIA DEL BORDE.

Similar a los requisitos de separación de los anclajes entre si, la tolerancia de carga del anclaje disminuye linealmente conforme a la

distancia al borde disminuye hasta llegar a la distancia mínima de borde.

5.6.7 CARGAS APLICADAS EN LOS ANCLAJES.

Existen tres distintas cargas que pueden aplicarse a un anclaje:

- **Cargas de tensión.-** Son las cargas que se aplican en forma paralela a la longitud de los anclajes. Estas cargas crean tensión en el anclaje y en el material base.
- **Cargas de corte.-** Son las cargas que se aplican perpendicularmente a la longitud del anclaje. En bases con materiales de alta tolerancia a la compresión generalmente el factor limitante es la resistencia del anclaje, excepto a distancias limitadas desde los bordes.
- **Cargas combinadas.-** Cargas que actúan tanto en tensión como en corte. Cuando se encuentren cargas combinadas se debe hacer los cálculos para determinar el tamaño necesario del anclaje que proveerá la resistencia requerida para la carga.

Adicionalmente estas cargas pueden clasificarse también como estáticas y dinámicas. Las cargas estáticas son aquellas que se mantienen constantes, cargas sin movimiento. Las cargas dinámicas se crean por el movimiento o vibración en este caso de esta tesis se producen por la acción del viento y los sismos. Las condiciones de carga dinámica podrían hacer que los anclajes mecánicos se suelten. El movimiento de los anclajes podría pulverizar el material base

alrededor del mecanismo de expansión perdiendo su resistencia a carga.

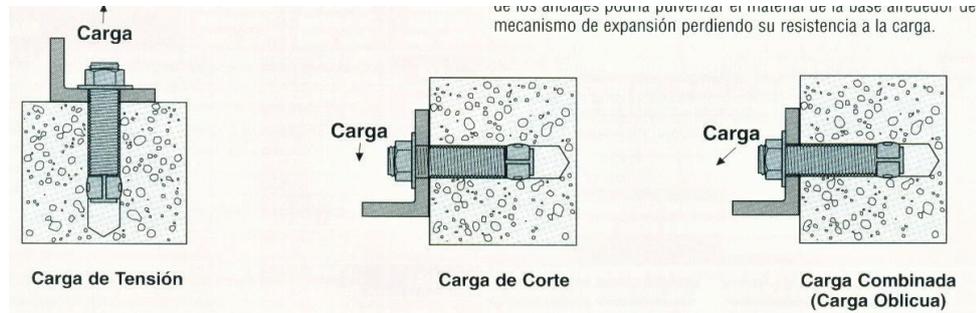


Figura 5.22: Tipos de carga sobre los anclajes mecánicos.

5.6.8 RESISTENCIA A LA CARGA.

La resistencia a la carga de un anclaje está influenciada tanto por la fuerza de expansión del anclaje como por el tipo de material base. En algunos casos aún el anclaje más pequeño puede exceder la capacidad de material base.

Generalmente cuando se instala un anclaje en una base de material sólido la fuerza de sujeción del anclaje aumenta con la profundidad del empotramiento del mismo, hasta el punto donde se alcanza ya sea la fuerza máxima del material base o del anclaje.

Las cargas se transfieren del anclaje al material base, el que debe tener la fuerza necesaria para resistir la carga. Esto hace que la distancia a los bordes y la separación de los anclajes sean importantes.

5.6.9 ESPESOR DEL MATERIAL BASE.

Cuando se usan anclajes específicamente diseñados para bases de material sólido es recomendable que el espesor del material base sea el 125% de la profundidad del empotramiento del anclaje.

5.6.10 CARGA DE AJUSTE DEL ANCLAJE.

Una recomendación práctica para la carga de ajuste es ajustar los anclajes de 3 a 5 vueltas más de lo que se ajusta con los dedos. Se ha encontrado que esta cantidad de ajuste se aproxima mucho al torque necesario para un buen anclaje.

5.6.11 INSTALACIÓN DE LOS ANCLAJES.

Los anclajes están diseñados para instalarse perpendicularmente a la superficie. Las desviaciones pueden dar como resultado el doblamiento de los anclajes, reduciendo así la capacidad efectiva de los mismos.

El orificio se debe perforar con $\frac{1}{2}$ " más de profundidad que el empotramiento requerido y ser limpiado posteriormente con aire comprimido. La broca con la que se taladra el material base debe ser del mismo diámetro que la del anclaje requerido.

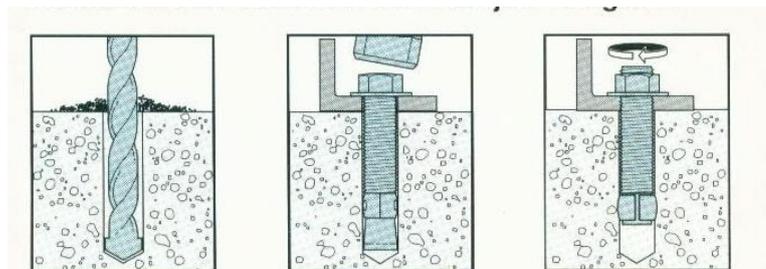


Figura 5.23: Secuencia de instalación de los anclajes mecánicos.

5.6.12 DISEÑO DEL ANCLAJE.

Tomando en consideración todos los parámetros anteriormente descritos el anclaje seleccionado es el anclaje de cuña Wedge All, posee una cuña de una sola pieza que asegura una capacidad de agarre uniforme que aumenta conforme se le aplica tensión.



Figura 5.24: Anclaje de cuña Wedge All de Strong-Tie Anchor Systems.

DATOS:

Fuerza de tensión = 3170 kg.

Fuerza de corte = 3610 kg.

H losa cubierta = 30 cm.

$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

S = 0,50 m (Separación entre anclajes)

SELECCIÓN DEL ANCLAJE.

Se seleccionaron anclajes de 3/4", con un empotramiento medio.

Profundidad del empotramiento: 5" (127 mm.)

Separación crítica: 20" (508 mm.)

Separación seleccionada: 0,50 m.

Tamaño	Profun. de Empotr.	Separación Crítica	Carga de Tensión						Carga de Corte			Torque de Instal.
			Concreto f'c >= 2000 PSI (13.8 MPa)			Concreto f'c >= 4000 PSI (27.6 MPa)			Concreto f'c >= 2000 PSI (13.8 MPa)			
			Ultima Lbs. (Kg.)	Desv. Estd. Lbs. (Kg.)	Permitida Lbs. (Kg.)	Ultima Lbs. (Kg.)	Desv. Estd. Lbs. (Kg.)	Permitida Lbs. (Kg.)	Ultima Lbs. (Kg.)	Desv. Estd. Lbs. (Kg.)	Permitida Lbs. (Kg.)	
1/4 (6.4)	1 1/8 (28.6)	4 1/2 (114.3)	680 (308)	167 (76)	170 (77)	960 (435)	233 (106)	240 (109)	920 (417)	47 (21)	230 (104)	8 (10.8)
	2 1/4 (57.2)	9 (228.6)	1,920 (871)	286 (130)	480 (218)	2,320 (1,052)	105 (48)	580 (263)	•	•	230 (104)	
3/8 (9.5)	1 3/4 (44.5)	7 (177.8)	1,560 (708)	261 (118)	390 (177)	2,880 (1,306)	588 (267)	720 (327)	2,280 (1,034)	96 (44)	570 (259)	30 (40.7)
	2 5/8 (66.7)	10 1/2 (266.7)	3,360 (1,524)	464 (210)	840 (381)	5,440 (2,468)	553 (251)	1,360 (617)	4,220 (1,914)	384 (174)	1,055 (479)	
	3 3/8 (85.7)	13 1/2 (342.9)	3,680 (1,669)	585 (265)	920 (417)	5,440 (2,468)	318 (144)	1,360 (617)	•	•	1,055 (479)	
1/2 (12.7)	2 1/4 (57.2)	9 (228.6)	3,280 (1,488)	871 (395)	820 (372)	5,280 (2,395)	849 (385)	1,320 (599)	6,560 (2,976)	850 (386)	1,640 (744)	60 (81.3)
	3 3/8 (85.7)	13 1/2 (342.9)	6,040 (2,740)	654 (297)	1,510 (685)	9,840 (4,463)	1,303 (591)	2,460 (1,116)	8,160 (3,701)	880 (399)	2,040 (925)	
	4 1/2 (114.3)	18 (457.2)	6,960 (3,157)	839 (381)	1,740 (789)	11,840 (5,371)	2,462 (1,117)	2,960 (1,343)	•	•	2,040 (925)	
	2 3/4 (69.9)	11 (279.4)	4,520 (2,050)	120 (54)	1,130 (513)	8,600 (3,901)	729 (331)	2,150 (975)	8,720 (3,955)	1,699 (771)	2,180 (989)	
5/8 (15.9)	4 1/2 (114.3)	18 (457.2)	8,200 (3,719)	612 (278)	2,050 (930)	15,720 (7,130)	1,224 (555)	3,930 (1,783)	12,570 (5,702)	396 (180)	3,140 (1,424)	90 (122.0)
	5 1/2 (139.7)	22 (558.8)	8,200 (3,719)	639 (290)	2,050 (930)	15,720 (7,130)	1,116 (506)	3,930 (1,783)	•	•	3,140 (1,424)	
	3 3/8 (85.7)	13 1/2 (342.9)	6,760 (3,066)	1,452 (659)	1,690 (767)	9,960 (4,518)	1,324 (601)	2,490 (1,129)	11,360 (5,153)	792 (359)	2,840 (1,288)	
3/4 (19.1)	5 (127.0)	20 (508.0)	10,040 (4,554)	544 (247)	2,510 (1,139)	15,760 (7,149)	1,550 (703)	3,940 (1,787)	18,430 (8,360)	1,921 (871)	4,605 (2,089)	150 (203.4)
	6 3/4 (171.5)	27 (685.8)	10,040 (4,554)	1,588 (720)	2,510 (1,139)	17,000 (7,711)	1,668 (757)	4,250 (1,928)	•	•	4,605 (2,089)	
7/8 (22.2)	3 7/8 (98.4)	15 1/2 (393.7)	7,480 (3,393)	821 (372)	1,870 (848)	10,720 (4,863)	1,253 (568)	2,680 (1,216)	13,760 (6,241)	2,059 (934)	3,440 (1,560)	200 (271.2)
	7 7/8 (200.0)	31 1/2 (800.1)	17,040 (7,729)	1,566 (710)	4,260 (1,932)	20,320 (9,217)	2,401 (1,089)	5,080 (2,304)	22,300 (10,115)	477 (216)	5,575 (2,529)	
1 (25.4)	4 1/2 (114.3)	18 (457.2)	15,400 (6,985)	2,440 (1,107)	3,850 (1,746)	15,680 (7,112)	1,876 (851)	3,920 (1,778)	22,519 (10,214)	1,156 (524)	5,630 (2,554)	300 (406.7)
	9 (228.6)	36 (914.4)	20,760 (9,417)	3,116 (1,413)	5,190 (2,354)	30,080 (13,644)	1,612 (731)	7,520 (3,411)	25,380 (11,512)	729 (331)	6,345 (2,878)	
1 1/4 (31.8)	5 5/8 (142.9)	22 1/2 (571.5)	15,160 (6,876)	1,346 (611)	3,790 (1,719)	24,760 (11,231)	625 (283)	6,190 (2,808)	29,320 (13,299)	2,099 (952)	7,330 (3,325)	400 (542.3)
	9 1/2 (241.3)	38 (965.2)	20,160 (9,144)	3,250 (1,474)	5,040 (2,286)	48,920 (22,190)	1,693 (768)	12,230 (5,547)	•	•	7,330 (3,325)	
1 1/2 (38.1)	9 1/2 (241.3)	38 (965.2)	•	•	5,040 (2,286)	•	•	12,230 (5,547)	•	•	7,330 (3,325)	400 (542.3)

Figura 5.25: Tabla de cargas de tensión y corte para anclajes Wedge All.

VERIFICACIÓN POR TENSIÓN.

Por ser una losa continua en todas las direcciones del empotramiento los factores de ajuste por separación de anclajes y por distancia del borde son 1.

Tensión permitida por anclaje = 1463 kg.

1463 kg. * 4 anclajes = 5852 kg.

5852 kg. > 3170 kg. **CUMPLE**

VERIFICACIÓN POR CORTE.

Corte permitido por anclaje = 2089 kg.

2089 kg. * 4 anclajes = 8356 kg.

8356 kg. > 3610 kg. *CUMPLE*

VERIFICACIÓN DE CARGAS COMBINADAS DE TENSIÓN Y CORTE.

Para que el anclaje resista las fuerzas combinadas debe cumplir con la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Tensión Aplicada}}{\text{Tensión Permitida}} + \frac{\text{Corte Aplicado}}{\text{Corte Permitido}} \leq 1,0$$

$$\frac{3170}{5852} + \frac{3610}{8356} \leq 1,0$$

$$0,97 < 1,0 \quad \text{CUMPLE}$$

CAPÍTULO 6

MECANISMOS DE CONTROL

AUTOMATIZACIÓN

Las cubiertas mecanizadas como las de esta tesis cubren grandes espacios y tienen como principal objetivo el de poder controlar las condiciones medio ambientales y brindar en su interior todas las comodidades para el normal desarrollo de las actividades para las que fue diseñada la instalación.

Para un eficiente desempeño de este tipo de cubiertas se pueden implementar sistemas automatizados que controlen determinadas condiciones y acciones de la estructura.

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte Operativa.
- Parte de Mando.

La **Parte Operativa** es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos.

La **Parte de Mando** suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban aparatos electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada).

5.1.5 PARTE OPERATIVA

Detectores y Captadores

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir, lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados precisan de los transductores para adquirir información de:

- La variación de ciertas magnitudes físicas del sistema.
- El estado físico de sus componentes

Los dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas se denominan transductores.

Los transductores se pueden clasificar en función del tipo de señal que transmiten en:

- *Transductores todo o nada*: Suministran una señal binaria claramente diferenciados. Los finales de carrera son transductores de este tipo.
- *Transductores numéricos*: Transmiten valores numéricos en forma de combinaciones binarias. Los codificadores son transductores de este tipo.
- *Transductores analógicos*: Suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física medida.

Accionadores

El accionador es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso. Estos pueden ser clasificados en eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Los accionadores son gobernados por la parte de mando, sin embargo, pueden estar bajo el control directo de la misma o bien

requerir algún preaccionamiento para amplificar la señal de mando. Esta preamplificación se traduce en establecer o interrumpir la circulación de energía desde la fuente al accionador.

5.1.6 PARTE MANDO

Tecnologías cableadas

Con este tipo de tecnología, el automatismo se realiza interconectando los distintos elementos que lo integran. Su funcionamiento es establecido por los elementos que lo componen y por la forma de conectarlos. Esta fue la primera solución que se utilizó para crear autómatas industriales.

Los dispositivos que se utilizan en las tecnologías cableadas para la realización del automatismo son:

- Relés electromagnéticos.
- Módulos lógicos neumáticos.
- Tarjetas electrónicas.

Tecnologías programadas

Los avances en el campo de los microprocesadores de los últimos años han favorecido la generalización de las tecnologías programadas en la realización de automatismos. Los equipos realizados para este fin son:

- Los ordenadores.
- Los autómatas programables.

El ordenador, como parte de mando de un automatismo presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones de proceso.

Un autómata programable es un elemento robusto diseñado especialmente para trabajar con casi todos los elementos del ordenador.

CLIMA

Como se dijo anteriormente lo que pretenden las cubiertas móviles es controlar las condiciones medio ambientales y para entenderlas de mejor manera a continuación se describen algunos fenómenos atmosféricos que van a ser de gran ayuda para la implementación del sistema automatizado.

6.2.1 PRESIÓN BAROMÉTRICA

El peso del aire de la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la tierra. Esta presión es conocida como presión atmosférica.

Generalmente, cuanto más aire hay sobre una zona más alta es la presión, esto significa que la presión atmosférica cambia con la altitud. Por ejemplo, la presión atmosférica es mayor en la costa que en la sierra ecuatoriana. Para compensar esta diferencia y facilitar la comparación entre localizaciones con diferentes altitudes,

la presión atmosférica es normalmente ajustada a la equivalente al nivel del mar.

Este ajuste es conocido como presión barométrica. La presión barométrica también cambia con las condiciones meteorológicas locales, haciendo que la presión barométrica sea una herramienta extremadamente importante en las previsiones del tiempo. Zonas con altas presiones son generalmente asociadas con el "buen" tiempo mientras que zonas con bajas presiones son asociadas con "mal" tiempo. Para la previsión del tiempo, sin embargo, el valor absoluto de la presión barométrica es menos importante que el cambio en la presión barométrica. En general, una subida de la presión indica mejoras en las condiciones del tiempo y una caída indica un deterioro de las mismas.

El instrumento utilizado para medir la presión atmosférica se denomina barómetro y son aparatos fundamentales en las predicciones meteorológicas.



Fotografía 6.1: Barómetro.

6.2.2 LLUVIA Y GRANIZO

Este fenómeno atmosférico está íntimamente ligado con la presión barométrica, una baja en esta presión es un indicador de lluvia, que consiste en la precipitación de gotas de agua desde las nubes.

Las gotas pequeñas son generalmente esféricas y las de mayor diámetro son achatadas. Su tamaño varía entre los 0,5 y los 6,35mm.

La intensidad de las lluvias se mide en mm de agua caída, es decir, la altura de agua caída recogida en una superficie plana y medida en milímetros.

Clasificación de la lluvia

- La llovizna es cuando apenas se alcanzan a ver las gotas. En una llovizna la pluviosidad es casi insignificante y se ve como si las gotas flotaran en el aire.
- La lluvia propiamente dicha.
- En el chubasco el viento, las gotas y la intensidad, son mayores que las de la lluvia propiamente dicha.
- La tormenta se caracteriza por una pluviosidad alta, las gotas son grandes y el viento es intenso; incluye la posibilidad de que se precipite granizo.
- La tromba es más fuerte que la tormenta. Tiene viento intenso, gotas grandes, pluviosidad suficientemente alta para inundar y causar grandes estragos.
- El granizo es un tipo de precipitación que consiste en partículas irregulares de hielo. El granizo se produce en tormentas

intensas en las que se producen gotas de agua sobre enfriadas, es decir, aún líquidas pero a temperaturas por debajo de su punto normal de congelamiento.

6.2.3 HUMEDAD AMBIENTAL

La humedad ambiental es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se diferencian dos tipos de humedad:

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se expresa en gramos. A mayor temperatura, mayor cantidad de vapor de agua permite acumular el aire.

La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa en tanto por ciento.

6.2.4 VIENTO

El viento es un agente medio ambiental muy importante en el estudio de cubiertas de gran tamaño y especialmente cuando estas son mecanizadas y se pueden mover. Los efectos del viento pueden dificultar la movilidad de la cubierta e influyen directamente en el diseño de los motores por lo que es necesario establecer rangos de velocidades de viento en los cuales la operación es segura y económica.

Tabla 6.1: Tabla de Estimación de la velocidad del viento de Beaufort.

ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO SOBRE EL SUELO TERRESTRE			
Especificación para determinar la velocidad.	Descripción	Velocidad equival. (km/h)	Número de Beaufort
La acción del viento se percibe sobre la cara, se escucha el susurrar de las hojas de las plantas, las veletas comunes se mueven.	Brisa suave	6 – 11	2
Las hojas y pequeñas ramas están moviéndose continuamente, el viento extiende las banderas hechas de tejido suave.	Brisa leve	12 – 19	3
Se levantan polvo y papeles sueltos, las pequeñas ramas de los árboles se mueven.	Brisa moderada	20 – 28	4
En los árboles pequeños todo el ramaje empieza a mecerse y se forman pequeñas crestas en las ondas de agua de lagunas.	Viento moderado	29 – 38	5
Se mueven las ramas de los grandes árboles, se escucha el silbido del viento.	Viento fuerte	39 – 49	6
Las copas de los árboles se mueven totalmente, se comienza a sentir dificultad en la marcha personal contra el viento.	Viento muy fuerte	50 – 61	7
Se rompen las ramitas de los árboles, dificultad en el avance personal.	Temporal	62 – 74	8
Ocurren pequeños daños en las estructuras, son arrancadas algunas tejas de los techos.	Temporal fuerte	75 – 88	9
Se ven árboles con raíces arrancadas del suelo, ocurren daños estructurales considerables.	Temporal muy fuerte	89 – 102	10
Daños generales por doquier.	Tempestad	103 – 117	11
Sin especificación.	Huracán	118 o más.	12

MECANISMOS DE CONTROL

Se puede encontrar una gran variedad de estos mecanismos que sirven para medir y controlar un sinnúmero de variables. Todos estos artefactos tienen como objetivo principal hacer más fácil la realización de ciertos trabajos, automatizar ciertos procesos y realizar acciones que el hombre no puede ejecutar.

Debido a que el objetivo de la cubierta mecanizada es el de controlar los fenómenos ambientales para hacer más cómodo y agradable el desarrollo de las actividades dentro de la misma se implementarán controles de temperatura y humedad, además de un anemómetro para controlar la apertura y cierre de la cubierta dentro de parámetros de velocidad de viento establecidos. El sistema contará además con un control manual para el cierre y apertura.

6.3.1 CONMUTADOR DE VELOCIDAD DEL VIENTO

Este switch o conmutador (dispositivo de los aparatos eléctricos que sirve para que una corriente cambie de conductor) es un artefacto que utiliza la velocidad del viento para actuar sobre un conmutador eléctrico a una determinada tasa de velocidad. El conmutador eléctrico puede ser usado para encender o apagar motores, bombas, abrir o cerrar válvulas, encender lámparas de aviso, encender alarmas, etc.



Fotografía 6.2: Conmutador de velocidad de viento.

El sensor de viento se debe colocar en la ubicación donde se desea controlar su velocidad, en este caso debe ser situado en la parte más alta de la cubierta. Se establece una velocidad límite dentro de

la cual puede funcionar la cubierta, pasada ésta el conmutador detiene los motores por ser una situación extrema e insegura para el funcionamiento del mecanismo. Con este control se optimiza el funcionamiento de los motores y se asegura la integridad de todo el sistema.

Características

Servicio: Aire limpio y compatibles, no gases combustibles.

Precisión: $\pm 3\%$ de 0 a 50°C

Tiempo de respuesta: 1,5 segundos.

Límites de temperatura: de 0 a 60°C

Límite de presión: 100 psi.

Actualización de la pantalla: Opcional de 0,5 a 15 seg.

Consumo eléctrico: 300 mA max.

Peso: 357,2 g.

6.3.2 CONMUTADOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

Este conmutador mide simultáneamente temperatura y humedad.

Tiene una pantalla roja de tres dígitos para indicar la temperatura y otra verde para indicar la humedad. Este dispositivo soporta dos señales para control de temperatura y dos para control de humedad.

La unidad ofrece 61 parámetros programables para temperatura y humedad incluyendo valores límites, diferenciales, actuadores directos y en reversa, ciclos de tiempo, alarmas, entre otros.



Fotografía 6.3: Conmutador de temperatura y humedad.



Fotografía 6.4: Censor de humedad.

Características

Rango de medida: Humedad: de 0 a 100% (humedad relativa)

Temperatura: de -50 a 150°C

Temperatura de almacenaje: de -20 a 80°C

Temperatura de operación: de 0 a 70°C

Pantallas: 2 pantallas de 3 dígitos de ½”.

Resolución: 0,1°

Precisión: Humedad: ±3%

Temperatura: ±0,5%

Peso: 530 g.

6.3.3 INTERRUPTOR MANUAL

Además de los controles anteriormente descritos se colocará un interruptor manual que abrirá o cerrará la cubierta en cualquier momento de ser necesario. Este interruptor puede abrir o cerrar las dos secciones de la cubierta simultánea o independientemente y con cualquier porcentaje de apertura.



Fotografía 6.5: Interruptor manual.

Este interruptor consta de un seguro giratorio de color rojo que activa los pulsadores para la apertura. Al presionar los interruptores verdes superiores se abre la cubierta (uno para cada sección de la cubierta) y los inferiores ocasionarán el cierre de la cubierta.

MOTORES Y REDUCTORES DE VELOCIDAD

MOTORES

Los motores se ubican en la cubierta móvil y son los encargados de transmitir la fuerza para abrir o cerrar la cubierta. Debido a que se

dispone de controles de velocidad de viento no se calculan los motores para la velocidad de viento de diseño (120 km/h) sino solamente con una velocidad de 35 km/h, esto ayuda a tener motores más pequeños que realicen el trabajo adecuadamente ya que con vientos superiores no entrará en funcionamiento la cubierta.

Diseño del Motor

Carga Muerta = 700,178 Kg.

Carga Viento a 35 Km/h = 302,966 Kg.

Carga Total = 1003,144 Kg = 9837,48 N.

$$f = \mu \cdot N = 0,05 \cdot 9837,48 N$$

$$f = 491,87 N$$

$$T = f \cdot r$$

T= Torque de la rueda

f = fuerza de fricción

r = radio de la rueda

$$T = 491,87 N \cdot \frac{0,06}{2} = 14,75 N - m$$

$$RPM_{REDUCTOR} = \frac{RPM_{MOTOR}}{i} = \frac{1750}{80} = 21,87 RPM \approx 22 RPM$$

i = eficiencia del Motoreductor

P = Potencia del Motor

$$P[KW] = \frac{T \cdot RPM}{9550}$$

$$P[KW] = \frac{14,75 N - m \cdot 22 RPM}{9550} = 0,034 KW$$

Comprobación:

$$T_{REAL1/3HP} = \frac{9550 * P}{RPM} * \eta_{MOTOR} * \eta_{REDUCTOR}$$

$$T_{REAL1/3HP} = \frac{9550 * 0,25KW}{22RPM} * 0,65 * 0,52$$

$$T_{REAL1/3HP} = 36,48N - m$$

Con el Torque real del motor de 1/3 HP cumple con el requerimiento de cargas y por lo tanto se elige un motor con una potencia de 1/3 HP con un motoreductor de marca Motovario NMRV 040 de $i=80$.

Con estas características de motor y motoreductor se tiene una velocidad de apertura de la cubierta como se detalla a continuación:

$$V = \pi * \phi * RPM$$

$$V = \pi * 0,06m * 22$$

$$V = 4,14m / \text{min}$$

Se seleccionaron motores eléctricos Eberle, que son máquinas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. A continuación se presentan algunas características de dichos motores.

Características

Motor trifásico, asíncrono de inducción.

Totalmente cerrados, ventilación exterior.

Potencias: 1/12 a 500 CV.

Frecuencias: 50 y/o 60 Hz.

Velocidades: II, IV; VI y VIII polos.

Rodamientos dimensionados para 20.000 horas de uso en condiciones normales de funcionamiento.

Lubricados con grasa sintética.

Con alemites para reengrase.

Características Constructivas

Carcasas.- Dependiendo del tamaño las carcasas son fabricadas en una aleación de aluminio inyectado a presión, proporcionando unidades compactas, livianas y de elevada resistencia mecánica o de fundición de hierro gris, de construcción sólida y robusta.

Rotor.- El rotor está construido por chapas, jaula rotórica y el eje. Las chapas son de acero de bajo tenor de carbono o por chapa de hierro silicio, estampadas con herramientas progresivas de gran precisión. Los ejes son de acero SAE 1045/1060, siendo mecanizados y rectificados. El conjunto es balanceado dinámicamente, formando una unidad rígida y compacta.

Sistema de Ventilación.- El sistema de ventilación fue proyectado para obtener un enfriamiento máximo asociado a un reducido nivel de ruido. El material de los ventiladores varía según el tamaño, puede ser de nylon, fundición de hierro, fundición de hierro con rejilla de chapa de acero SAE 1010.

Protección Mecánica.- Son protegidos contra la penetración de polvo y agua a presión en todas las direcciones. Para ello poseen

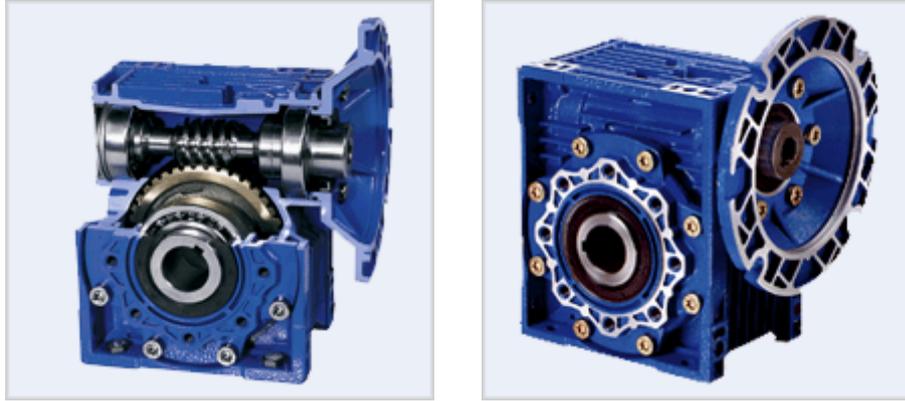
juntas de goma sintética entra la carcasa y la caja de bornes y a su vez entre la tapa y la caja de bornes.

Tratamientos Especiales y Pintura.- Los componentes de fundición de hierro reciben una primer base alquídica (anticorrosiva) por inmersión. Los materiales de aluminio son sometidos a un proceso de anodización. Los de chapa de acero son fosfatizados en caliente, lo que permite una optima fijación de la pintura exterior final. El acabado final exterior se obtiene con dos manos de pintura alquídica (clase térmica 150°C) del color gris.

Chapa de Características.- La placa de identificación es fabricada en aluminio y se encuentra remachada a la carcasa. Se encuentran en esta placa las principales especificaciones que permiten identificar el motor, además poseen el esquema de conexiones, también se encuentran impresos los tipos de rodamientos utilizados y se señala el tipo de lubricante y los periodos de relubricaciones recomendados para los mismos.

REDUCTORES DE VELOCIDAD

Debido a que los motores diseñados para la cubierta tiene 1750 RPM se hace necesario un reductor de velocidad para que la velocidad de apertura y cierre de la cubierta sea de aproximadamente 5 m/min evitando vibraciones y acciones bruscas del motor sobre la estructura. La marca seleccionada para los reductores es MOTOVARIO.



Fotografía 6.6: Reductor de velocidad Motovario modelo NMRV.

Características



Figura 6.1: Conformación de un reductor de velocidad.

- 1) Carcasa de aleación de aluminio de gran capacidad térmica.
- 2) Dos rodamientos a lo largo del eje de entrada previenen pérdidas.
- 3) Entrada del motor para varios modelos.
- 4) Junta de doble labio aumenta la capacidad térmica del reductor y la duración del aceite.

- 5) El uso de empaques plásticos en la entrada y salida del reductor previene pérdidas mejor que las juntas de papel.
- 6) Eje endurecido tipo gusano de gran durabilidad.
- 7) Agujero de salida estándar.
- 8) Pintura epóxica de poliéster aplicada en el interior y exterior de la carcasa la protege de la corrosión.
- 9) No necesitan mantenimiento, llenadas previamente con aceite sintético.

Para la selección del reductor se toma en consideración la velocidad final deseada y el torque del motor seleccionado, se seleccionó el reductor NMRV 040 que tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 6.2: Especificaciones del reductor NMRV 040 de Motovario.

	Exact Ratio i	Output Speed RPM	Max Torque in-lbs	Max Input HP	OHL
040	5	350	301	1.88	221
	7.5	233	354	1.51	253
	10	175	354	1.16	279
	15	117	354	0.80	319
	20	88	345	0.61	350
	25	70	336	0.50	378
	30	58	398	0.53	403
	40	44	363	0.39	441
	50	35	345	0.31	476
	60	29	319	0.25	507
	80	22	292	0.19	556
	100	18	257	0.15	595

SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico es el encargado de llevar la corriente eléctrica los cuatro motores que están adosados a la cubierta móvil. Debido a que los motores se mueven con la cubierta cuando ésta se cierra o se abre no se puede colocar el alambrado normal que estaría arrastrándose con el

movimiento de la cubierta, debido a ello se debe utilizar un riel multiconductor.

El sistema seleccionado es el de marca FELS en su línea MOBILIS Élite, una marca pionera en la construcción y diseño de rieles multiconductores.

Los rieles de estos productos poseen estructuras alveolares optimizadas que confieren una rigidez excelente a los perfiles de PVC, el riel es ligero y resistente a la vez, puede contener de 4 a 5 conductores interiores. Su mantenimiento es muy simple, los carbones se reemplazan fácilmente sin tener que intervenir con el cableado del riel.

Características

Amperaje de funcionamiento: de 20 a 200 A.

Material: Perfiles de PVC ligeros y rígidos.

Rieles largos sin juntas de dilatación.

Modularidad permanente.

Material auto extingible.

Rapidez de montaje. (accesorios con clipper)

Facilidad de mantenimiento. (carbones removibles)

Desmontaje fácil de las conexiones.

Temperatura de funcionamiento: de -20 a 55°C.

Esquema de los elementos del sistema eléctrico

Se necesitan dos tramos de riel para el sistema eléctrico, cada uno alimentara de corriente a una mitad de la cubierta (dos motores). En la

Figura 6.2 se observa un tramo con todas sus partes y a continuación el funcionamiento de cada una de ellas.

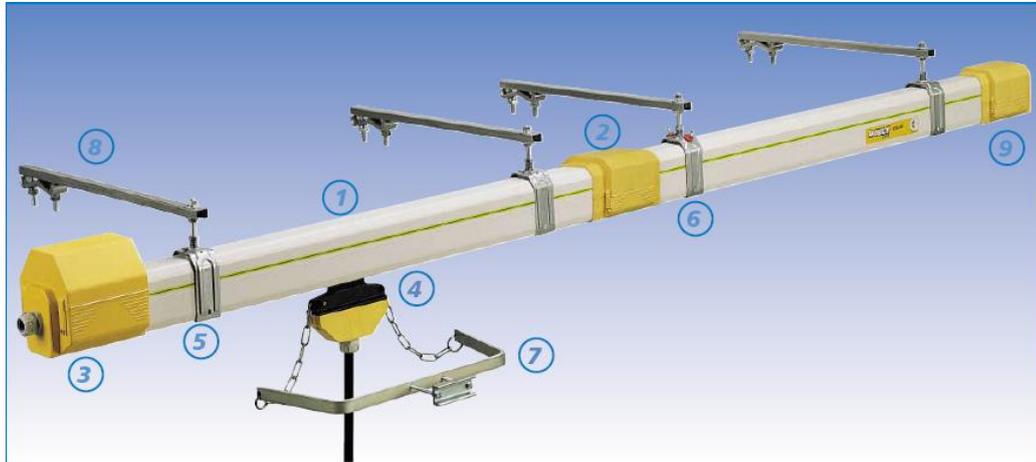


Figura 6.2: Partes del sistema eléctrico.

1) Riel (elemento de cobertura)

Es el elemento principal del sistema, en su interior se encuentran todos los accesorios para la transmisión de la corriente, se debe escoger el riel de acuerdo al amperaje en que se va a trabajar y viene en longitudes estándar de 1, 2, 3 y 4 m.



Fotografía 6.7: Riel multiconductor del sistema eléctrico.

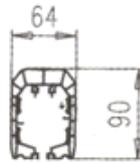
Características

Material: PVC auto extingible.

Longitud estándar: 1, 2, 3 y 4m.

Peso: de 1,5 a 4,2 Kg/m. (depende del amperaje)

Dimensiones: (mm)



2) Cubre juntas

Este elemento sirve para sellar las juntas de los tramos de riel protegiéndolo del medio ambiente y aísla la unión.



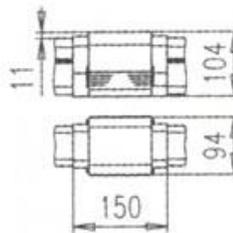
Fotografía 6.8: Cubre juntas del riel.

Características

Material: Termoplástico auto extingüible.

Peso: 0,2 Kg.

Dimensiones: (mm)



3) Botella de alimentación

Este elemento se encuentra ubicado en el extremo del riel y es por donde se realiza la conexión de la electricidad.



Fotografía 6.9: Botella de alimentación del sistema.

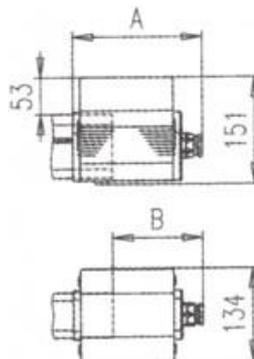
Características

Material: Termoplástico auto extingüible.

Amperaje de funcionamiento: 20, 40, 60 y 100 A.

Peso: 0,4 Kg.

Dimensiones: (mm)



4) Carretilla simple

Este implemento se mueve en conjunto con los motores a lo largo del riel proporcionando la energía necesaria para su funcionamiento. Se denomina simple ya que tiene una sola salida de energía, existen dobles y triples.



Fotografía 6.10: Carretilla simple.

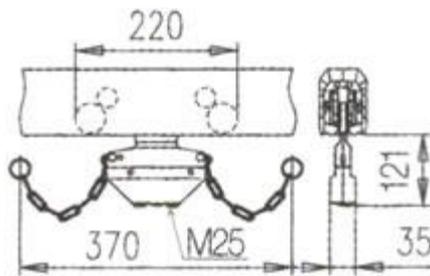
Características

Material: Termoplástico auto extingüible.

Intensidad nominal: 40 A.

Peso: 0,6 Kg.

Dimensiones: (mm)



5) Suspensión corrediza

Sirve para sujetar el riel y todos sus implementos en la ubicación deseada. Es de acero y tiene un peso de 0,1 kg.



Fotografía 6.11: Suspensión del riel.

9) Tapa de cierre

Este elemento se encuentra en el extremo final del riel y tiene como objeto proteger el riel de la suciedad, humedad y otros agentes externos.



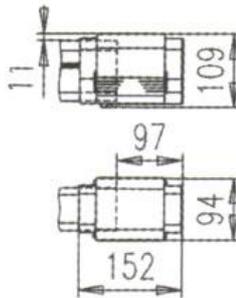
Fotografía 6.12: Tapa de cierre del riel.

Características

Material: Termoplástico auto extingüible.

Peso: 0,3 Kg.

Dimensiones: (mm)



CAPÍTULO VII

PRESUPUESTO

Para el cálculo del presupuesto del proyecto presentado, se tomó como base los precios unitarios con los que trabaja la Cámara de Construcción de Quito al mes de diciembre del año 2006, los mismos que se encuentran dolarizados.

Las cantidades de materiales de construcción y su costo se calcularon sobre la base de las características mismas del proyecto, obtenidas del diseño de la cubierta, en los cuales constan los tipos de materiales y cantidades a utilizarse.

Para la realización de este presupuesto referencial se tomo en cuenta los siguientes ítems:

Materiales

Comprende materias primas, materiales, equipos o accesorios que intervienen directamente en la ejecución del proyecto.

Mano de Obra

Comprende los salarios de los trabajadores o aquellos pagos por trabajos realizados en el desarrollo del proyecto y que son identificados como directos.

Equipos

Comprende las herramientas mecánicas o manuales que intervienen en la construcción de la cubierta.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

- El policarbonato es un material muy versátil y utilizado en diversidad de industrias y aplicaciones, de alta resistencia, de ahí su denominación de “virtualmente indestructible”.
- El policarbonato no presenta daños mecánicos a lo largo de su vida útil sino más bien daños químicos que se presentan con el amarillamiento del material, este es del 1% en 10 años.
- Las deformaciones del policarbonato son menores del 10% en todos los ensayos, y casi siempre en el rango elástico.
- En el ensayo de compresión se obtuvieron resultados dispares, esto se debe a que los espesores y altura de los alvéolos de las placas de policarbonato no son homogéneos. Esto se hace palpable en varias marcas de policarbonato disponibles en el mercado.
- En el ensayo de flexión podemos encontrar el valor del módulo de elasticidad del material cuyo valor es de $18062,66 \text{ kg/cm}^2$ ya que emplea las deflexiones de las placas de policarbonato y la inercia de las mismas. Este material por su configuración alveolar tiene dos comportamientos diferentes, teniendo una mejor resistencia en el sentido longitudinal de los alvéolos.
- Las muestras de policarbonato por pertenecer a la familia de los polímeros presentan un comportamiento parecido a los plásticos, por lo tanto no absorbe mucha energía por impacto demostrando su flexibilidad.
- Se establecieron hojas técnicas con las propiedades del policarbonato de 6 y 8mm.

- El acero es un material muy utilizado en la construcción actualmente debido a la rapidez con la que se puede construir, la variedad de formas que puede adoptar y la facilidad de unir secciones ya sea con remaches, pernos o soldadura.
- En estructuras de acero se consideran como livianas las que tienen un peso menor a 14 Kg/m^2 , la cubierta de esta tesis es muy liviana, tiene un peso de $7,75 \text{ Kg/m}^2$, no requiriendo más acero de constitución por ser una estructura disipadora de energía.
- En la actualidad la tendencia mundial es diseñar para los materiales específicos que se van a utilizar lo que lleva a una mejora en las estructuras y consecuentemente en los costos.
- Las cubiertas de grandes áreas y especialmente las mecanizadas no se diseñan para soportar carga sino disiparla. Por esto la cubierta diseñada en esta tesis tiene un 90% de su superficie con un ángulo mayor al de desalojo de lluvia y granizo. La zona de la cubierta que soportaría carga es muy pequeña.
- En el diseño de la cubierta mecanizada no se tomaron en cuenta las cargas de lluvia y granizo debido a que por la configuración de la cubierta estas cargas son energía disipada.
- En el diseño de la cubierta se debe tomar en cuenta la aerodinámica para disipar las fuerzas ocasionadas por el viento.
- La flexibilidad de los materiales constitutivos de la cubierta permiten diseños curvos de baja resistencia al viento.
- Se requeriría un túnel de viento para un análisis más preciso de la estructura y un modelo más real de los estados de carga.

- Las cubiertas móviles se utilizan generalmente en instalaciones de gran área y su finalidad aparte de la estética es controlar las condiciones del medio interior para confort de los usuarios.
- En estructuras metálicas es mejor utilizar policarbonato y no vidrio, por sus coeficientes de expansión térmica que producen rajaduras en el vidrio (El vidrio de cuarzo posee el menor coeficiente de dilatación térmica: 0,0000003, 40 veces menor que el del acero) y porque el vidrio al romperse es peligroso para los usuarios, el policarbonato no se rompe siendo más seguro. El policarbonato presenta las siguientes ventajas con respecto al vidrio:
 - Resistencia al impacto 200 veces mayor al vidrio.
 - Menor peso propio para el mismo espesor (menor peso específico).
 - Facilidad de curvar en frío.
 - Es mejor aislante térmico que el vidrio.
- En lo referente a cargas se realiza un análisis estático y uno dinámico ya que la cubierta está sujeta a vibraciones por ser móvil y utilizar motores.
- En el Ecuador no existen normas de diseño de estructuras metálicas por lo que se utilizó el Manual “Load and Resistance Factor Design” del Instituto Americano de la Construcción en Acero para diseñar la cubierta.
- Para el cálculo de las cargas de viento se empleó la Norma ASCE 7-98 (American Society of Civil Engineers) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- En el caso de esta estructura las cargas sísmicas no son de mucha importancia debido a la poca masa que tiene la misma.

- Las combinaciones de carga más críticas son aquellas en las que intervienen las cargas de viento, las cuales son usadas en SAP 2000 por la aplicación del manual LRFD. Así se tiene que:

Combinación de Cargas 4

- 1,2 de la carga muerta.
- 0,5 de la carga viva.
- *1,3 de la carga de viento*

Combinación de Cargas 14

- 0,9 de la carga muerta.
- *1,3 de la carga de viento*

- En la actualidad se dispone de programas que ayudan grandemente en el diseño de estructuras como el SAP 2000 con el cual se puede optimizar el diseño y probar varias alternativas. Se debe tener en cuenta que cuando se utilizan programas se debe tener un conocimiento cabal del mismo para obtener los resultados adecuados.
- Para el diseño de los dispositivos mecánicos el programa Algor fue de gran ayuda permitiendo controlar los esfuerzos de cada pieza y las deformaciones permisibles en los diferentes materiales.
- En el diseño de los anclajes el parámetro de diseño fundamental es cuando existen cargas de tensión y corte combinadas, debiendo verificarse el correcto funcionamiento de los anclajes y del material base donde se van a empotrar.
- Todas las secciones que conforman la estructura metálica son compactas asegurando que no exista pandeo local.

- Los elementos estructurales trabajan dentro del rango elástico conservando sus propiedades mecánicas.
- Existen cuatro elementos cuya esbeltez es mayor a 200 razón por la cual el acero no desarrolla sus propiedades mecánicas. Tienen por lo tanto una falla elástica y no se aprovechan las características del material. Teóricamente se podría poner cualquier tipo de material sin importar sus propiedades.
- Los límites de deflexión dependen de la aplicación o del uso de la estructura. Las deflexiones deben limitarse para que no causen daños mayores a las estructuras. Además los elementos constitutivos de la estructura deben tener secciones que hagan imperceptibles las vibraciones de la cubierta.
- Las deformaciones de la cubierta están dentro de las permisibles y la máxima es menor a 5 cm.
- La automatización facilita la realización de trabajos que antes debía realizar el hombre de una manera segura y en óptimas condiciones. Existe una extensa gama de posibilidades de automatización.
- Los motores fueron diseñados para funcionar dentro de un rango de velocidad del viento de 0 a 35 km/h para seguridad de la estructura y economía de los motores.
- Se utilizaron reductores de velocidad en los motores para que la velocidad de apertura de la cubierta sea menor a 5 m/min asegurando que cuando ésta se mueva no cree grandes esfuerzos en la estructura.

- En el sistema eléctrico se utiliza un riel multiconductor evitando que el mismo tenga cables sueltos haciéndolo más seguro y mejorando la estética.

RECOMENDACIONES

- Por seguridad en este tipo de cubiertas mecanizadas no se debe utilizar vidrio.
- Diseñar secciones compactas así se asegura tener altas resistencias y la falla se produce por pandeo global y no local.
- No se deben utilizar secciones menores a las obtenidas en el diseño.
- En los elementos que tienen una esbeltez mayor a 200 utilizar materiales de baja resistencia.
- Diseñar elementos para que trabajen dentro del rango elástico de la curva esfuerzo - deformación lo que asegura que no se pierda la forma de la sección y sus propiedades mecánicas.

- Para evitar el pandeo lateral torsional se debe procurar diseñar las estructuras metálicas con distancias entre apoyos laterales pequeñas y obtener el máximo de resistencia de cada elemento.
- El código AISC-LRFD recomienda que la esbeltez sea menor a 200 para que el material tenga una falla plástica y desarrolle las propiedades mecánicas del mismo. Al ser mayor tiene una falla elástica y no se aprovechan las características del material. Se puede pasar por alto esta recomendación ya que el elemento resiste las cargas de compresión y flexión.
- Controlar las deformaciones y vibraciones de las cubiertas mecanizadas, especialmente si son de acero.
- Poner cierto énfasis en la automatización de las cubiertas móviles pues esto será beneficioso para el mantenimiento de la estructura y también para el personal que la opera.
- Los controladores (switch) térmicos, eólicos, etc. trabajan más eficientemente con motores de baja potencia que son aplicables a estructuras ligeras. En el caso de estructuras pesadas los circuitos de control se vuelven complejos por el manejo de potencias grandes, amperajes y voltajes diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-98.
- ✓ American Institute of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design, Segunda Edición.
- ✓ Roger L. Brockenbrough y Frederick S. Merritt, Manual de Diseño de Estructuras de Acero, Mc Graw Hill.
- ✓ Stanley W. Crawl y Robert M. Dillon, Estructuras de Acero, Análisis y Diseño, Editorial Limusa.
- ✓ Compendio De Normas Para Productos De Acero, Tercera Edición, Editorial Gerdau Asa, Chile, año 2000.
- ✓ Microsoft Corporation, Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta 2005.
- ✓ <http://es.wikipedia.org/wiki/Policarbonato>.
- ✓ <http://www.arkos.com.ec>.
- ✓ <http://www.techartec.com>.
- ✓ <http://www.astoria.com.ar/frames2.htm>
- ✓ <http://www.polygal.com>
- ✓ Manual Strong-Tie anchor systems. Catálogo C-SASSP2000.
- ✓ Pablo Caiza, Manual de SAP 2000 versión 10.0.1
- ✓ <http://www.algor.com>
- ✓ Manual y Catálogo Simpson strong-tie anchor systems.