



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE CÚPULAS  
GEODÉSICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
ALBERGUES**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**I N G E N I E R O C I V I L**

**P R E S E N T A:**

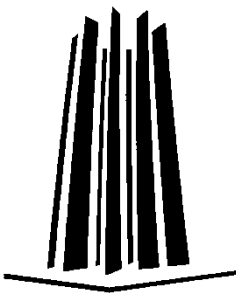
**JOSÉ ALBERTO LEÓN BADILLO**

**ASESOR:**

**ING. MIGUEL SERRANO SALDAÑA**

**MEXICO,2015**

Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mis padres:*

*Beatriz Badillo García*

*Rogelio Miguel León Padilla*

*Doy gracias por enseñarme a luchar en todo momento así como su gran corazón y capacidad de entrega, pero sobre todo por enseñarme a ser responsable y enseñarme a dar lo mejor de mí en la vida, gracias a ustedes he llegado a esta meta.*

*A mis hermanos:*

*Beatriz Guadalupe León Badillo*

*Rogelio León Badillo*

*Agradezco por estar siempre a mi lado y saber que siempre contare con ustedes.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Y A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN POR ABRIRME LAS PUERTAS SIENDO MI SEGUNDO HOGAR Y PODER SER UN EGRESADO MUY ORGULLOSO DE LA MÁXIMA CASA DE ESTUDIOS DEL PAÍS.*

*AL ING. MIGUEL SERRANO SALDAÑA POR BRINDARME SU APOYO INCONDICIONAL SIENDO MI ASESOR EN ESTA TESIS Y MAESTRO EN LA CARRERA DEDICANDO SU VALIOSO TIEMPO Y GRAN SABIDURÍA EN TODO MOMENTO. AGRADEZCO SUS ENSEÑANZAS Y COMENTARIOS YA QUE FUERON LOS PILARES DE ESTA TESIS.*

*A MIS PROFESORES DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN QUIEN DEDICARON TIEMPO DE SU VIDA PARA DARNOS LA FORMACIÓN COMO INGENIEROS CIVILES.*

*La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.*

*Albert Einstein*

## ÍNDICE

### ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE CUPULAS GEODESICAS PARA LA CONSTRUCCION DE ALBERGUES

A).-OBJETIVOS.....	9
• OBJETIVOS GENERALES.....	9
• OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
B).-JUSTIFICACIÓN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	12

#### CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1.-ALBERGUES EN LA CIUDAD DE MEXICO.....	17
1.2.-PROBLEMATICA.....	18
1.2.1.- ESTADISTICAS.....	18
1.2.2.- CONSECUENCIAS.....	19
1.3.-PROPUESTA.....	20
1.3.1.- DOMO GEODESICO.....	20

#### CAPITULO 2. DESARROLLO DE ESTRUCTURAS TIPO CÚPULA Y APLICACIONES

2.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CÚPULAS.....	22
2.1.1.- HISTORIA.....	22
2.1.2.- FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL.....	24
2.1.3.- GEOMETRÍA DE UNA CÚPULA.....	28
2.2.-CÚPULAS DE MAMPOSTERÍA.....	29
2.2.1.- ANTECEDENTES.....	29
2.2.2 MATERIALES.....	31
2.2.3 ELEMENTOS DE UNA CÚPULA EN MAMPOSTERÍA.....	31
2.2.4.- TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS A LA MAMPOSTERÍA.....	35
2.3.- CUPULAS DE CONCRETO REFORZADO Y FERROCEMENTO.....	37
2.3.1.- ANTECEDENTES.....	37
2.3.2.- CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL FERROCEMENTO.....	38
2.3.2.1 PROPIEDADES ESTRUCTURALES.....	39
2.3.3 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO...40	
2.3.3.1 FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL.....	41

2.4.- CÚPULAS A BASE DE ESTRUCTURA TRIANGULADA RECUBIERTA	
2.4.1 FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL.....	44
2.4.2 TIPOS DE TRIANGULACIÓN.....	46
2.4.3 BENEFICIOS Y APLICACIONES.....	47
2.5.- CÚPULAS GEODÉSICAS DE BUCKMINSTER FULLER	
2.5.1.- ANTECEDENTES.....	52
2.5.2.- EXPERIMENTOS DE FULLER.....	52
2.5.2.1.- RESULTADOS Y LOGROS.....	53
2.5.3.- GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA GEODÉSICA.....	55
2.5.3.1.- FRECUENCIA.....	55
2.5.4.- TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS.....	56
2.5.5.- MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	57
2.5.6.- VENTAJAS DE LA ESTRUCTURA GEODÉSICA.....	58
2.5.7.- OBRAS MÁS REPRESENTATIVAS DE FULLER.....	59
<b>CAPITULO 3. PROYECTO DE UNA CÚPULA GEODÉSICA PROTOTIPO PARA ALBERGUE</b>	
3.1.- DESCRIPCIÓN.....	61
3.2.-GEOMETRÍA GENERAL.....	61
3.2.1.- ELECCIÓN DEL RADIO Y FRECUENCIA DEL DOMO GEODÉSICO.....	61
3.2.2.- RECUBRIMIENTO.....	62
3.2.3.- PERSPECTIVA PRELIMINAR DEL DOMO GEODÉSICO.....	63
3.2.3.1.- DIMENSIONES PRELIMINARES DEL DOMO GEODÉSICO.....	64
3.3.-MATERIALES.....	66
3.3.1.- PERFILES EN LAS BARRAS.....	66
3.3.2.- TORNILLERÍA.....	68
3.4.-CARGAS A CONSIDERAR.....	69
3.4.1.- NORMATIVIDAD.....	69
3.4.2.- CASOS DE CARGAS CONSIDERADOS.....	69
3.4.2.1.- CASO DE CARGA MUERTA.....	70
3.4.2.2.- CASO DE CARGA VIVA.....	71
3.4.2.3.- CASO DE CARGA ACCIDENTAL POR SISMO.....	72
3.4.2.4.- CASO DE CARGA ACCIDENTAL POR VIENTO.....	76
3.4.2.5.- TEMPERATURA.....	93
3.4.3 COMBINACIONES DE CARGA.....	94
3.5.- GENERACION DEL MODELO MATEMATICO	
3.5.1.- USO DEL PROGRAMA CADRE GEO V6.....	95
3.5.1.1.- RADIO Y FRECUENCIA.....	96
3.5.2.- MODELO GEOMETRICO.....	97

3.5.3.- USO DEL PROGRAMA DE AUTOCAD.....	118
3.5.3.1 IMPORTAR ARCHIVO DXF HACIA AUTOCAD.....	119
3.5.3.2 EXPORTAR ARCHIVO EN FORMATO DXF .....	120
3.6.- ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	121
3.6.1.- USO DEL PROGRAMA SAP 2000.....	121
3.6.1.1 IMPORTAR ARCHIVO DXF DE AUTOCAD HACIA SAP 2000.....	122
3.6.2.- RESTRICCIONES EN LOS APOYOS.....	123
3.6.3.- MATERIALES Y PROPIEDADES GEOMETRICAS Y ELASTICAS .....	124
3.6.4.- CARGAS	
3.6.4.1- CARGA MUERTA.....	129
3.6.4.2- CARGA VIVA.....	129
3.6.4.3- SISMO.....	129
3.6.4.4- VIENTO.....	130
3.6.4.5- TEMPERATURA.....	133
3.6.5.- COMBINACIONES DE CARGA.....	134
3.7.-RESULTADOS NUMÉRICOS.....	134
3.7.1.- RESULTADOS SAP 2000.....	134

#### **CAPITULO 4. CONSTRUCCION DE UN MODELO FISICO DE CUPULA GEODESICA**

4.1.- DESCRIPCIÓN.....	151
4.2.- GEOMETRÍA GENERAL DEL MODELO.....	151
4.2.1.- RADIO DEL DOMO.....	151
4.2.2.- FRECUENCIA DEL DOMO.....	152
4.2.3.- DIMENSIONES DE BARRAS.....	153
4.3.- FABRICACIÓN DE BARRAS Y CONEXIONES.....	154
4.3.1.- MATERIAL.....	154
4.3.2.- CORTES.....	154
4.3.3.- CONEXIONES.....	155
4.3.3.1.- PRENSADO.....	155
4.3.3.2.- PERFORACIÓN DE ELEMENTOS.....	156
4.3.3.3.- DOBLEZ DE EXTREMOS.....	157
4.4.- MONTAJE.....	158
4.4.1- DIAGRAMA DE MONTAJE.....	158
4.4.2- ENSAMBLE DE BARRAS Y CONEXIONES.....	159
4.4.3- REPORTE FOTOGRÁFICO.....	161



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	167
BIBLIOGRAFÍA.....	168

# **ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE CUPULAS GEODESICAS PARA LA CONSTRUCCION DE ALBERGUES**

## **A) OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

- 1.- Propiciar la generación de un espacio cubierto con superficie útil grande donde se pueda dar alojamiento temporal a víctimas de desastres naturales como sismos, huracanes, inundaciones, incendios, etc., o también a personas en situación de indigencia, que pueda estar disponible en el menor tiempo posible para la atención de emergencias. En este trabajo, las barras prefabricadas y el montaje atornillado en campo, permitirán alcanzar este objetivo.
- 2.- Realizar el análisis y diseño de una estructura basada en los principios geométricos de domo geodésico que nos permita la implementación de albergues temporales de bajo costo para personas damnificadas.
- 3.- Mostrar mediante la construcción de un modelo físico de cúpula geodésica que no se requiere de grandes recursos de equipo mecánico ni de mano de obra para la fabricación y montaje de un domo geodésico con un costo razonablemente bajo.
- 4.- Propiciar que se retome el interés en la Ingeniería Estructural por las cúpulas geodésicas, dadas las ventajas geométricas que ofrecen.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.- Plantear el diseño conceptual de una cúpula geodésica prototipo, dimensiones generales, análisis y diseño estructural.
- 2.- Aplicar la normatividad vigente, las Normas Técnicas Complementarias aplicables del R.C.D.F. para determinar los parámetros de las acciones permanentes, variables y accidentales, así como los requisitos de seguridad y servicio bajo los cuales se llevará a cabo el análisis y diseño estructural de la cúpula geodésica.

- 3.- Aplicar programas de cómputo existentes que serán de gran ayuda para la ejecución del análisis y diseño estructural de la cúpula geodésica propuesta.
- 4.- Planear, diseñar, fabricar y montar un modelo físico de cúpula geodésica.

## **B) JUSTIFICACIÓN**

Se decidió desarrollar este trabajo para proponer a las entidades encargadas de la protección civil, una respuesta alternativa ante la necesidad eventual de proporcionar albergue temporal a un número relativamente grande de personas ya sea como prevención para evitar daños personales o como emergencia para alojar temporalmente a personas afectadas en su patrimonio por algún desastre natural, sismo, huracán, inundación, incendio, etc., o también para personas en situación de indigencia, sin descartar el uso específico o combinado de almacén de víveres o de equipos durante las labores de apoyo a damnificados en esas situaciones de emergencia, igualmente se puede usar para eventos sociales, etc.

Dadas las características de la necesidad a satisfacer, la estructura propuesta debe ser resistente, estable, económica, fácil de transportar al sitio de ubicación temporal, fácil de fabricar, fácil de montar y fácil de desmontar para ser almacenada mientras se hace necesario usarla en otro sitio.

Los requerimientos anteriores pueden ser satisfechos mediante una cúpula geodésica de diámetro adecuado según la capacidad de alojamiento prevista, integrada por barras metálicas (empleando algún perfil comercial) que se cortan en el taller de fabricación del tamaño requerido, se preforman los extremos en cada barra con la inclinación calculada previamente para la conexión de barra con barra en cada módulo, se hacen las perforaciones necesarias en los extremos, se transportan los módulos al sitio y se efectúan los trabajos de montaje conectando mediante tornillos una barra con otra hasta completar la estructura.

Una vez completada la estructura en campo, se puede usar como cubierta general una lona de fibra acrílica fijada a los nudos de la estructura de tal modo que también se facilite su desmontaje. Se pretende que la ubicación de la estructura sea en una plaza pública o explanada abierta, donde usualmente se puede disponer de una base firme de concreto, por lo que la fijación de los nudos de la base de la estructura al firme de concreto se puede efectuar mediante herrajes y tornillos con taquete expansor, del diámetro y longitud que se requiera

para resistir las fuerzas laterales de sismo o viento que se puedan presentar durante el uso y ocupación del espacio en el sitio determinado.

Por otro lado, con esta propuesta se pone en práctica el carácter humanitario y social de la Ingeniería Civil como disciplina que aporta soluciones a las necesidades de los grupos humanos en cuanto a vivienda, transporte y abastecimiento entre otras.

*`El objeto de la ingeniería es dar servicio a la humanidad` (Hardy Cross)*

## INTRODUCCIÓN

Las cúpulas como elemento estructural se han usado desde tiempos antes de nuestra era en Egipto y en Grecia con fines de culto funerario, empleando sillares de piedra y ladrillo recocido para su fabricación, pero durante el imperio Romano (27 a.C – 476 d.C) hubo un gran auge en la construcción de cúpulas usando en su construcción mampostería de sillares de piedra y sobre todo el uso del concreto simple como material de construcción. En Micenas, Grecia se encuentra la cúpula de mayor diámetro logrado empleando sillares de piedra (14.5 m.) construida en 1250 A.C. Posteriormente ya en el imperio Romano se construyeron cúpulas de hasta 44 m. de diámetro empleando concreto no reforzado.

En México, según los códices, era muy popular entre los aztecas la construcción abovedada del “Temazcalli o baño de vapor” que se usaba con fines ceremoniales y terapéuticos hasta antes de la conquista.

Posteriormente diferentes culturas en todo el mundo, empezaron a fabricar cúpulas con concreto reforzado brindando a los constructores un mayor diámetro en cada cúpula y dando como resultado una superficie mucho más grande para su uso. Con el paso del tiempo el reto era construir cúpulas con el mayor diámetro posible hasta que se consiguió este logro empleando una retícula de nervaduras de concreto reforzado prefabricadas y ferrocemento en un domo de 100.0 m. de diámetro para la cubierta del Palacio de los Deportes de Roma, Italia, diseñada por el arquitecto Pier Luigi Nervi (1891-1979), inaugurado en 1960.

Pasaron los años y cada vez más se usaba el acero como material de construcción, por lo que aprovechando las ventajas del acero estructural y el desarrollo de las estructuras reticulares trianguladas se han construido domos de diámetro impresionante como la cubierta del `Astrodome` de Houston en 1965, Estados Unidos, con 216.4 m. de diámetro (fue utilizado como albergue temporal para los damnificados del huracán Katrina en 2005), así como las cúpulas soportadas por cables de acero del `Georgia Dome` en 1992 de Atlanta, Estados Unidos, con 256 m. de diámetro y el `Millenium Dome` en Londres, Reino Unido en 1999, con 365 m. de diámetro, siendo esta última la cubierta más grande existente hasta la fecha.

En este trabajo se presenta el análisis y diseño estructural de una cúpula geodésica (sistema patentado por Buckminster Fuller en 1954) de 25.0 m. de diámetro a base de elementos barra dispuestos en forma triangulada, y la construcción de un modelo físico de similares características topológicas, pero de 1.0 m de diámetro.

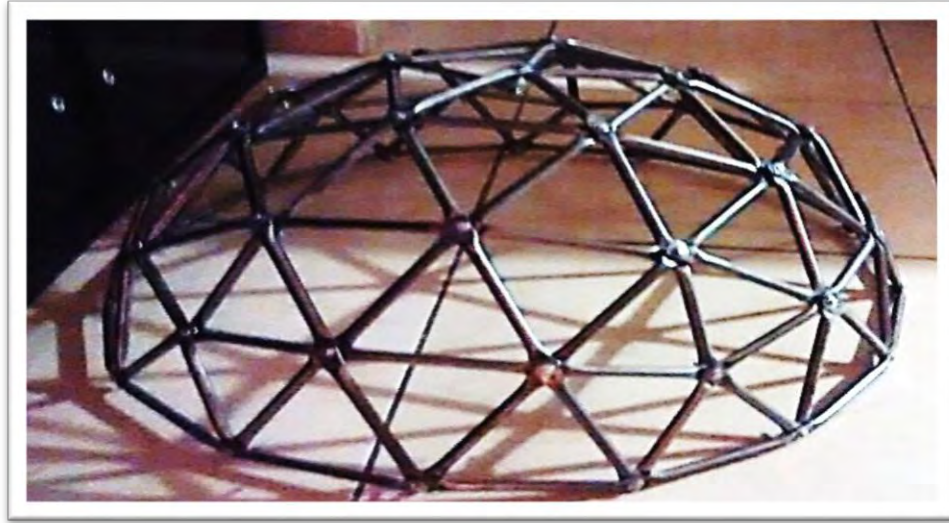
**En el Capítulo I:** *Antecedentes* se presenta información sobre la problemática que presenta la República Mexicana, principalmente en la Ciudad De México respecto a la escasez de albergues que operan como servicio público.

**En el Capítulo II:** *Desarrollo de estructuras tipo cúpula y aplicaciones* se muestran los tipos de estructuras tipo “cúpula” más usadas, así como los materiales disponibles para su construcción o montaje. Se habla sobre las aplicaciones en el campo de la ingeniería y además se presentan bases teóricas que ayudaran para comprender el funcionamiento o desarrollo de estas estructuras.

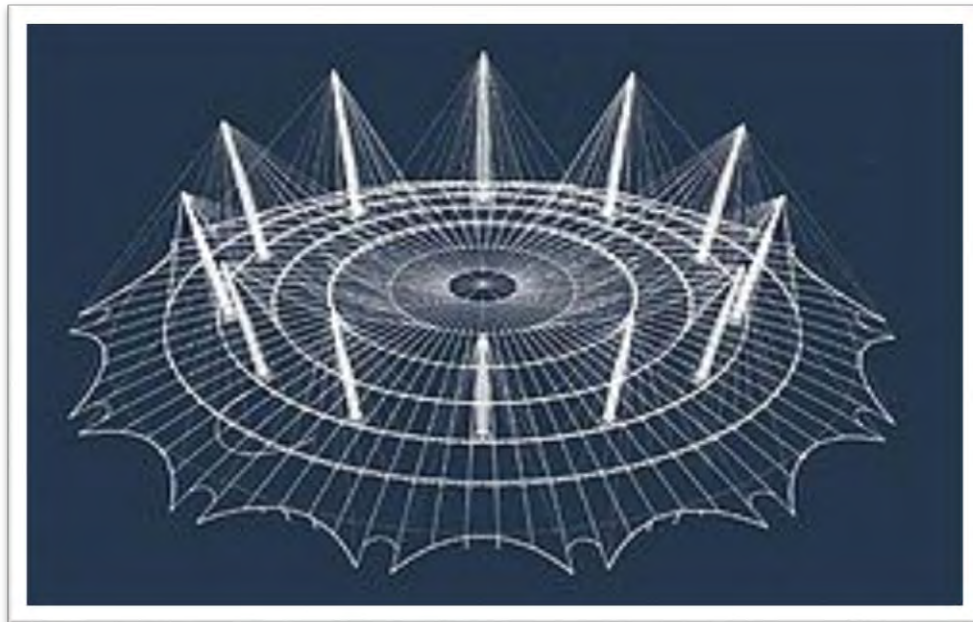
**En el capítulo III:** *Proyecto de una cúpula geodésica para albergue* se presenta la descripción sobre el proyecto y la elaboración del análisis y diseño estructural de la misma. Se presenta el procedimiento y consideraciones para el cálculo y por último se presentan los resultados numéricos.

**En el capítulo IV:** *Construcción de un modelo físico de cúpula geodésica* se muestra el procedimiento de construcción de un modelo físico de una cúpula geodésica, partiendo de una geometría y mostrando la fabricación de las barras así como su montaje. Así mismo se mostrara un reporte fotográfico del proceso de fabricación de este modelo físico.

Al final de este trabajo se presentan algunas conclusiones y recomendaciones derivadas del mismo y la bibliografía para profundizar en el tema del proyecto de cúpulas geodésicas.

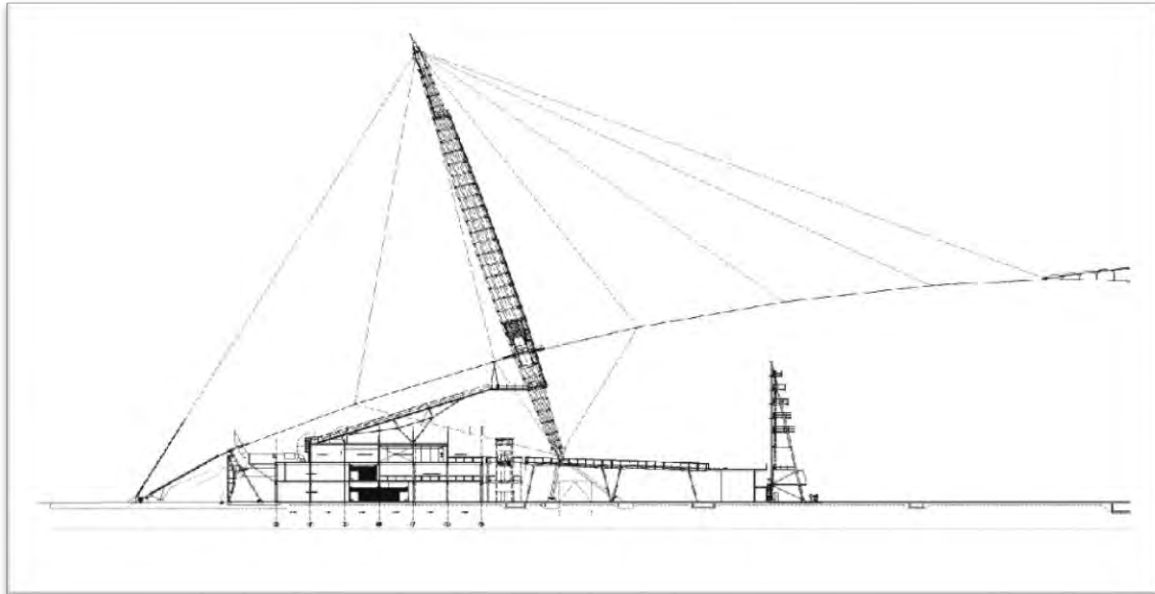


*MODELO FÍSICO DE CÚPULA GEODÉSICA DE 1.0 M. DE DIÁMETRO PRESENTADA PARA FINES DE ESTE TRABAJO, FABRICADA A PARTIR DE BARRAS DE ACERO FORMANDO ESTRUCTURAS TRIANGULARES QUE LE DARÁN RESISTENCIA A LA ESTRUCTURA.*



*VISTA AXONOMETRICA DEL `MILLENIUUM DOME` (1999), LONDRES, REINO UNIDO. CONSTA DE 12 TORRES METÁLICAS DE CELOSÍA DE 100.0 M. DE ALTURA QUE SOPORTAN MEDIANTE CABLES UNA CUBIERTA LIGERA DE TEJIDO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE MATRIZ DE TEFLÓN.*

*EL DIÁMETRO ES DE 365.0 M., LA ALTURA DE 50.0 M., SIENDO LA CUBIERTA LIGERA MAS GRANDE HASTA LA FECHA CON 10 HAS. DE SUPERFICIE, CONSTRUIDA ENTRE 1996 Y 1999.*



*CORTE TRANSVERSAL SOBRE UNA DE LAS 12 TORRES DEL 'MILLENIUM DOME'*



*ASTRODOME` DE HOUSTON, TEXAS (1965), PREVIO A COLOCACIÓN DE REVESTIMIENTOS. CUBIERTA A BASE DE UNA RETÍCULA DE ARCOS DE CELOSÍA DE ESTRUCTURA METÁLICA, CON 216.4 M. DE DIÁMETRO. EN 2005 FUNCIONO COMO ALBERGUE TEMPORAL PARA LOS DAMNIFICADOS DEL HURACÁN KATRINA.*





*PALACIO DE LOS DEPORTES EN LA CIUDAD DE MÉXICO (1968). CUBIERTA CON ESTRUCTURA PRINCIPAL A BASE DE UNA RETÍCULA ORTOGONAL DE ARCOS METÁLICOS EN CELOSÍA DE 5.0 M. DE PERALTE. APOYÁNDOSE EN LA ESTRUCTURA PRINCIPAL SE COLOCO EL SISTEMA DE CUBIERTA CON PERFILES TUBULARES DE ALUMINIO SOBRE LOS QUE SE APOYAN PLACAS DE MADERA CONTRACHAPADA IMPERMEABILIZADA, RECUBIERTAS CON LAMINA DE COBRE, SIGUIENDO LA CUBIERTA UNA GEOMETRÍA DE PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS , CADA UNO CON BASE DE 14X14 M. CON APARIENCIA EXTERNA DE PIRÁMIDES MÚLTIPLES.*

*EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO ES DEL ARQ. FÉLIX CANDELA (1910-1997) Y EL DISEÑO ESTRUCTURAL ESTUVO A CARGO DEL ING. OSCAR DE BUEN LÓPEZ DE HEREDIA (1925- ), CELEBRE ESTRUCTURISTA MEXICANO Y PROFESOR EMÉRITO DE LA UNAM.*

*LA GEOMETRÍA DE LA CUBIERTA ES DE CASQUETE ESFÉRICO CON 132.0 M. DE DIÁMETRO Y 45.0 M. DE ALTURA, CON CAPACIDAD PARA ALBERGAR 22 370 PERSONAS SENTADAS.*

## **1.1 ALBERGUES EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

Las situaciones de indigencia en México son tratadas por instituciones que buscan reinsertar socialmente a quienes adoptan la calle como hogar implementando refugios denominados “albergues”, sin embargo, hay casos en los que se vuelve imposible la integración, debido a que, además de indigencia, los afectados presentan “problemas mentales” o algún otro problema médico, dificultando más esta situación.

En estas instituciones laboran personas especializadas en dar apoyo a las personas refugiadas brindándoles alimentos, un lugar donde dormir y en muchas ocasiones ayuda psicológica para motivarlas y propiciar su integración a la sociedad y a la vida productiva.

Sin embargo, muchas veces estas instituciones no cuentan con los recursos necesarios para poder solventar sus gastos de operación, dando como resultado una atención de baja calidad a las personas refugiadas. Esto se debe a que la mayor parte de los albergues son administrados por instituciones de asistencia privada, asociaciones civiles ú organismos no gubernamentales que por no contar con un subsidio fijo del gobierno, para garantizar la supervivencia de su función social se ven en la necesidad de solicitar donativos altruistas y casi en todos los casos, los mismos trabajadores o los refugiados deben salir a la calle en busca de un apoyo solidario para poder solventar gastos. Otra forma de obtener recursos en estas instituciones, es enseñarle a las personas que se refugian alguna actividad manual que sirva para desarrollar un producto como por ejemplo: fabricar pulseras, collares o algún otro trabajo manual que puedan vender y obtener algo de dinero.

Para poder comprender más sobre la situación, es importante señalar cual es la problemática o causa que azota a las personas para que tomen esta dura decisión de adoptar la calle como su hogar, sin embargo no se podrá abarcar a todo tipo de personas, ya que cada una presenta diferentes problemáticas, las cuales las llevaron a esta toma de decisión, así que en esta parte del trabajo se enfocará la problemática que afecta a niñas y niños haciendo uso de los datos estadísticos oficiales disponibles.

## **1. 2 PROBLEMÁTICA**

Las crisis económicas determinan de manera alarmante el crecimiento en el número de niños y niñas que dependen de la calle para su sobrevivencia. Si se parte desde la raíz del problema se entiende que ellos y ellas provienen de grupos familiares y de comunidades populares, marginadas o zonas indígenas o semiurbanas que no logran proporcionarles los satisfactores básicos, además de no contar con herramientas fundamentales para la crianza y educación de sus hijos e hijas; por ello son comunes las historias de maltrato infantil, abusos sexuales contra los niños y niñas, abandono y por ende el inicio de la supervivencia en la calle, lo cual trae consigo, casi como consecuencia lógica el inicio del consumo de drogas y de una vida sexual activa a corta edad.

Es importante señalar que, según el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), los hogares de donde salen los niños y niñas para iniciar su vida en la calle, se componen en el mayor de los casos por madre, padre, hijos y otros familiares (66%). De este porcentaje, el 25% de niños reportó maltrato físico y 13% declaró haber sido víctima de hostigamiento sexual.

### **1.2.1 ESTADÍSTICAS**

Para entender mejor la problemática que se intenta explicar, se deben realizar censos especializados que determinan el número de personas en condiciones de calle, los cuales son realizados por instituciones gubernamentales encargadas de recolectar datos estadísticos.

Una institución especializada es la del Desarrollo Integral de la Familia (DIF) encargada de proporcionar datos estadísticos y señala que entre algunas de las principales problemáticas que aquejan a los niños y niñas está la desnutrición que sufre el 37.5% de la niñez en situación de calle, mientras que el 14% tiene alguna discapacidad, el 9% tienen problemas de sobrepeso, el 10% padece alguna enfermedad y 3% son adictos a los inhalantes o drogas.

De acuerdo con el II Censo de los niños de la calle de la ciudad de México de 1995” realizado por el “DIF” y el Fondo de las Naciones Unidas para la infancia (UNICEF), existían para entonces, 13,373 niños y niñas que vivían o trabajaban en la calle, de los cuales el 68.5% eran niños y 31.5% eran niñas, siendo el Distrito Federal (Ciudad de México) el lugar más concurrido por los mismos, concentrándose en las delegaciones mas céntricas de la ciudad:

- Delegación Cuauhtémoc con un 21.8%.
- Delegación Venustiano Carranza con un 14.2%.
- Delegación Iztapalapa con 13% y
- Delegación Gustavo A. Madero con el 11.7%.

El 77% de estos menores tenían menos de 16 años, entre los más pequeños que conformaban el rango de 0 a 5 años, el 53.3% eran varones y 46.7% niñas. Además de que se proyectaba que cada cinco años aumentaría en un 7% la cantidad señalada, pero datos más recientes del DIF muestran que los niños y niñas que dependen de la calle para su sobrevivencia son en número superior a lo previsto, ya que para diciembre del 2013 había 25 mil 700 niños en esa situación, cifra superior a la de 2012, cuando se contabilizaron 17 mil 522 menores en centros de asistencia

### **1.2.2 CONSECUENCIAS**

Atendiendo a las estadísticas y condiciones mencionadas, es cada vez más común encontrar en las calles y otros espacios públicos de los principales centros urbanos del país, específicamente en el Distrito Federal, a un mayor número de niños, niñas, adolescentes y jóvenes viviendo en las calles o dependiendo de las mismas para su sobrevivencia, inclusive familias enteras realizando diversas actividades orientadas a satisfacer sus necesidades más básicas como la alimentación, vivienda e ingresos económicos para subsistir.

Esta población forma parte de un fenómeno creciente de exclusión social, que vive en extrema pobreza ya que su lucha contra la adversidad económica, social y afectiva obliga a las familias a incorporar al trabajo a un mayor número de sus miembros, donde niños, niñas y jóvenes forman parte de la fuerza laboral de su familia.

Las mencionadas condiciones minimizan los niveles de vida de las familias, convirtiendo a niños y niñas en sujetos y objetos de las frustraciones de los adultos, lo cual provoca que miles de niños, niñas y adolescentes busquen “refugio” o mejor dicho “escapen” a la calle, donde sufren los efectos de la exclusión social.

### **1.3 PROPUESTA**

Debido a que en México, el número de albergues públicos para niños y niñas según datos estadísticos suman la escasa cantidad de 173, con capacidad potencial para atender a 31000 usuarios, que representa un 2% de la necesidad actual del país, se debe plantear una propuesta interesante para incrementar el número de albergues disponibles y así poder satisfacer la demanda de personas en condiciones de calle.

Una posible causa de porque hay escasez de albergues en México, es el posible costo de construcción y mantenimiento, evitando que dependencias de gobierno quieran invertir en estos proyectos, si se descarta la indolencia y la falta de voluntad política de los gobernantes.

Así que la propuesta para evitar grandes costos para la construcción de albergues es proponer estructuras que sean económicas y fáciles de fabricar y montar. Esto puede llevarse a cabo mediante la fabricación de domos con materiales ligeros, proporcionando una superficie útil suficientemente amplia para los ocupantes.

Por lo tanto, la propuesta que se presenta en este proyecto es un domo geodésico como estructura para funcionar como albergue, cubriendo los requisitos necesarios para una buena operación.

#### **1.3.1 DOMO GEODÉSICO**

Como ya se mencionó anteriormente, una propuesta interesante es la construcción de un domo geodésico debido a sus grandes cualidades, donde las más importantes son el bajo costo y la rapidez de su construcción.

Cabe mencionarse que en la República Mexicana este tipo de estructuras no son muy populares como forma de construcción debido a que no se han investigado del todo como una solución viable. Esto se debe tal vez a la falta de interés o simplemente por la inercia de usar lo “convencional” en cuanto se refiere a construcción.

La forma estructural propuesta representa una construcción moderna y viable para dar solución al problema de la disposición de un espacio cubierto, en este caso un “albergue”, ya que reduciríamos costos de mantenimiento y costos de construcción que ayudarían a instituciones gubernamentales o privadas a buscar en estas estructuras una alternativa de solución para alojar temporalmente a indigentes en situación de calle y la atención de emergencias a damnificados en caso de desastre natural por sismos, huracanes, inundaciones, incendios, etc..

En capítulos posteriores se explicará el funcionamiento mecánico de este tipo de estructuras con más detalle y como debe realizarse un análisis y diseño estructural de acuerdo a las necesidades planteadas en este proyecto.



*PALACIO DE LOS DEPORTES, MÉXICO (1968), PROYECTO DEL ARQ. FÉLIX CANDELA.*

*LA ORIENTACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS ARCOS PRINCIPALES DE LA CUBIERTA OBEDECE A LA PROYECCIÓN DE LAS ARISTAS DE UN CUBO SOBRE UNA SUPERFICIE ESFÉRICA, DANDO LUGAR A CUADRADOS ESFÉRICOS, DONDE SE COLOCARON LAS CUBIERTAS DE PARABOLOIDE HIPERBÓLICO CON APARIENCIA DE PIRÁMIDES MÚLTIPLES.*

## CAPITULO 2

# DESARROLLO DE ESTRUCTURAS TIPO CÚPULA Y APLICACIONES

## 2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CÚPULAS

### 2.1.1 HISTORIA

Como se describió en la introducción de este trabajo, las formas estructurales tipo cúpula se han empleado desde tiempos muy antiguos, usando los materiales y la técnica disponible en cada cultura y época, desde los sillares de piedra y ladrillo entre los Egipcios y los Griegos hasta el concreto simple en la cultura Romana y posteriormente el concreto reforzado y el ferrocemento, (desarrollado en Italia por el Arq. Pier Luigi Nervi). Sin embargo la construcción de las primeras verdaderas cúpulas técnicamente avanzadas comenzó en la revolución arquitectónica romana, cuando se utilizan con frecuencia por los romanos para dar forma a grandes espacios interiores de los templos y edificios públicos.

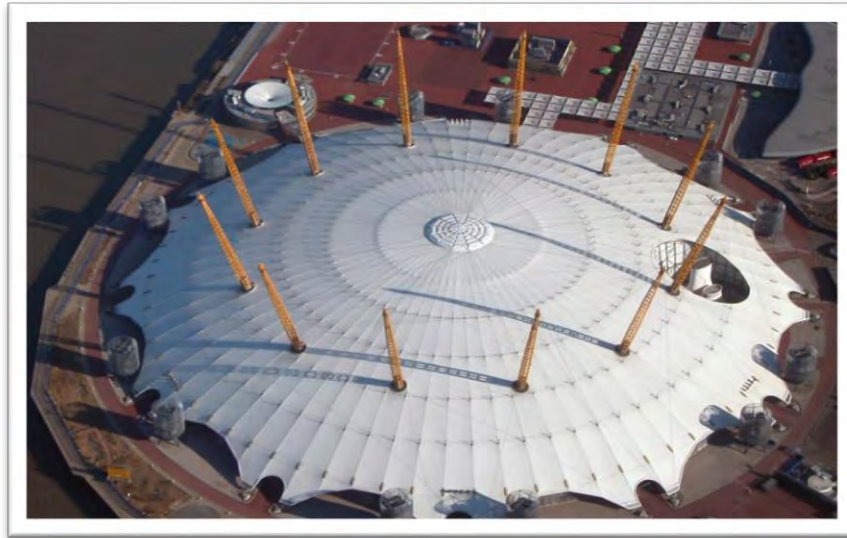
Un claro ejemplo de una cúpula romana es la del Panteón, Roma (120 - 124 d.C), que mide 43.44 m (144 pies) de diámetro. Internamente, la cúpula es una semiesfera, y su peso se reduce mediante nervaduras y un vértice abierto. Externamente, se proporciona estabilidad mediante contrafuertes escalonados, creando una forma aparente de platillo.

Debido a su funcionamiento a compresión la piedra ha sido el material más utilizado en la construcción de cúpulas, con su forma de dovelas según los meridianos y paralelos. En el siglo XV Brunelleschi construye la cúpula de Santa María di Fiore, de geometría octogonal y con una sección en doble lámina, diseñada en voladizos sucesivos para evitar la utilización cimbras, cuya construcción era inviable.

El problema por el cual las cúpulas no superaban los 43,5 m de claro era la aparición de esfuerzos de tensión que colapsaban la estructura, por ello la introducción del concreto armado supuso una revolución en el concepto de cúpula, posibilitando aprovechar la resistencia tanto a compresión como a tensión. Esto dio lugar al entendimiento de las cúpulas como superficie de revolución, lo que permitió alcanzar grandes esbelteces.

Con el avance de la ciencia y el descubrimiento de nuevos materiales para la construcción en general, los diseños de estas estructuras han mejorado notablemente principalmente en el tamaño de la cúpula. Con esto, se han visto diseños aún más complejos en cuanto a dimensiones llevados a la realidad gracias a las nuevas generaciones de materiales.

Actualmente el acero estructural proporciona grandes ventajas para tener elementos estructurales esbeltos y resistentes, que permiten salvar grandes claros, como es el caso del 'Millenium Dome' (Londres, 1999), de 365 m. de diámetro, la cubierta más grande conocida a la fecha, aunque no es propiamente una cúpula geodésica en sentido estricto.



*MILLENIUM DOME. EL DIÁMETRO ES DE 365.0 M., LA ALTURA DE 50.0 M., SIENDO LA CUBIERTA LIGERA MAS GRANDE HASTA LA FECHA CON 10 HAS. DE SUPERFICIE, CONSTRUIDA ENTRE 1996 Y 1999.*



*LA CÚPULA DEL PANTEÓN ES SEMIESFÉRICA, FORMADA DE CONCRETO SIMPLE. SE UTILIZARON LADRILLOS EN CAPAS HORIZONTALES, A MODO DE ANILLOS. FUE LA MAYOR CÚPULA CONSTRUIDA EN SU ÉPOCA, CON SUS 43,44 M DE DIÁMETRO, CORONADA POR UN AMPLIO ÓCULO DE 8,9 M QUE LLENA DE LUZ EL ESPACIO INTERIOR*

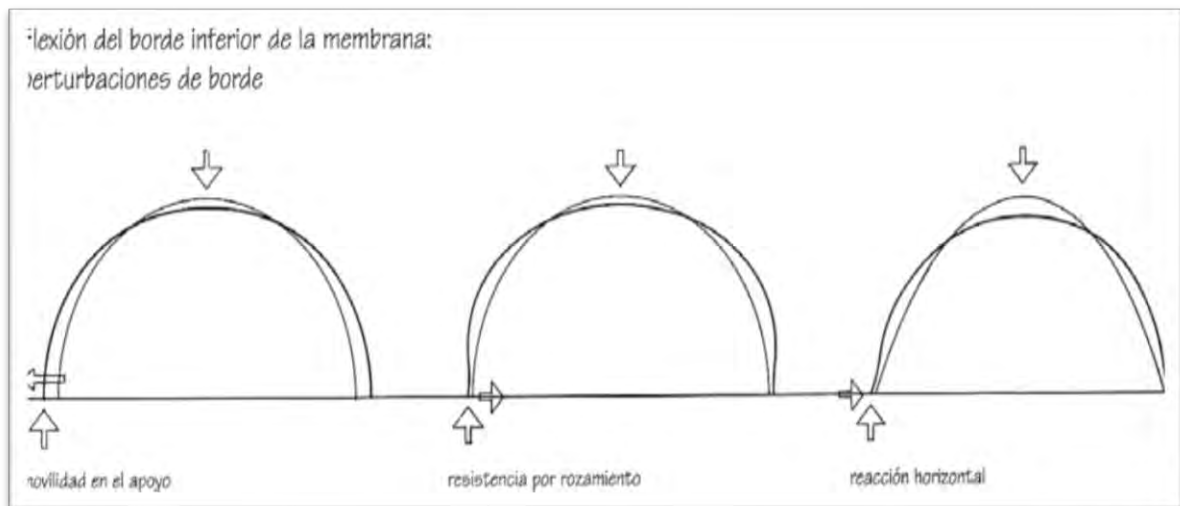


## 2.1.2 FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL

Una cúpula la definimos como una estructura de doble curvatura que se genera por rotación de un semi-arco alrededor de un eje vertical, por lo que puede considerarse formada por una infinidad de arcos verticales o meridianos soportados lateralmente en su altura por círculos horizontales de diámetro variable o paralelos, lo que le confiere una gran resistencia estructural, lográndose cubrir grandes espacios sin necesidad de apoyos interiores como columnas o vigas. Dependiendo de la geometría del semi-arco o generatriz, podemos tener cúpulas esféricas, cónicas, elípticas, toriesfericas, etc.

El funcionamiento ideal básico de una cúpula se da cuando transmite las cargas debidas a su peso propio y acciones externas mediante esfuerzos de membrana (de compresión en los meridianos y de tensión en los paralelos), sin que se presenten esfuerzos de flexión importantes en ningún punto de su geometría.

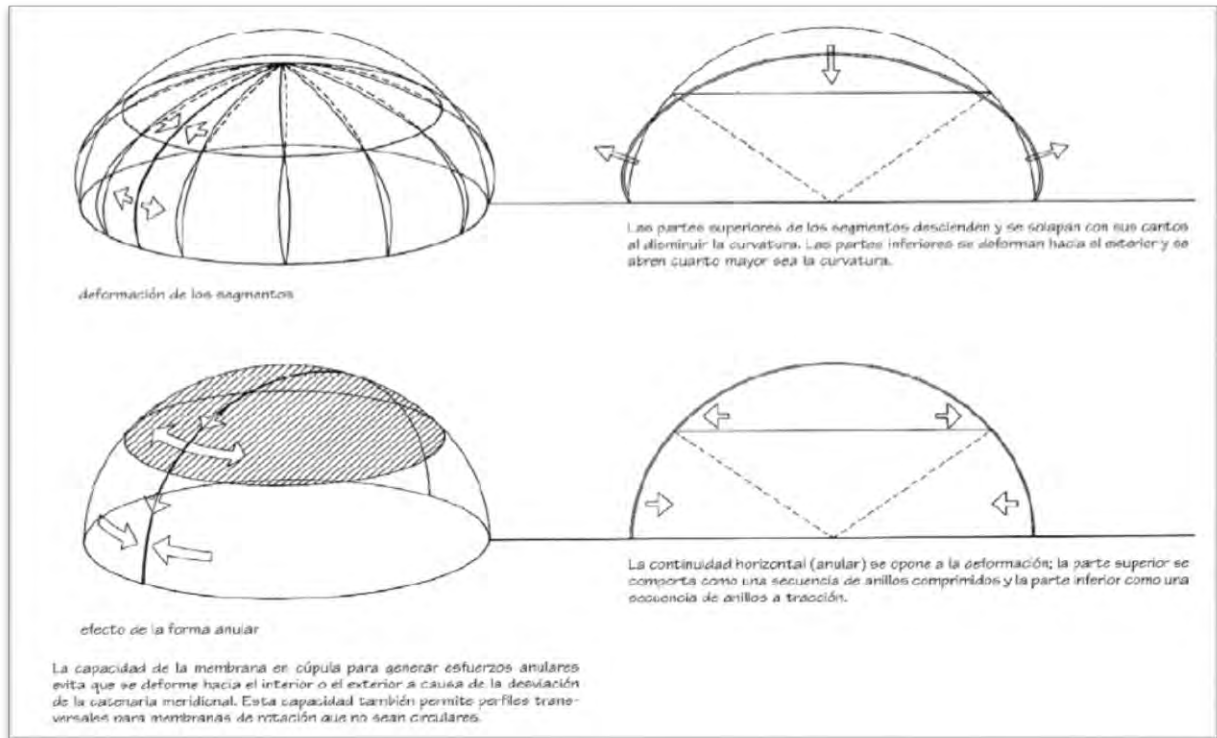
Al momento de aplicar una carga vertical simétrica, si la cúpula es de gran altura se podrá llegar a presentar una pequeña deformación en su parte más alta haciéndola desplazarse hacia abajo. Este fenómeno hará que la parte baja de la cúpula presente desplazamientos hacia su exterior haciendo que sus elementos respondan con esfuerzos de tensión en el sentido de los paralelos y de compresión en el sentido de los meridianos (Figura 2.1.2 a)



**Figura No 2.1.2 a**

TRANSMISION DE FUERZAS EN UNA ESTRUCTURA TIPO CUPULA

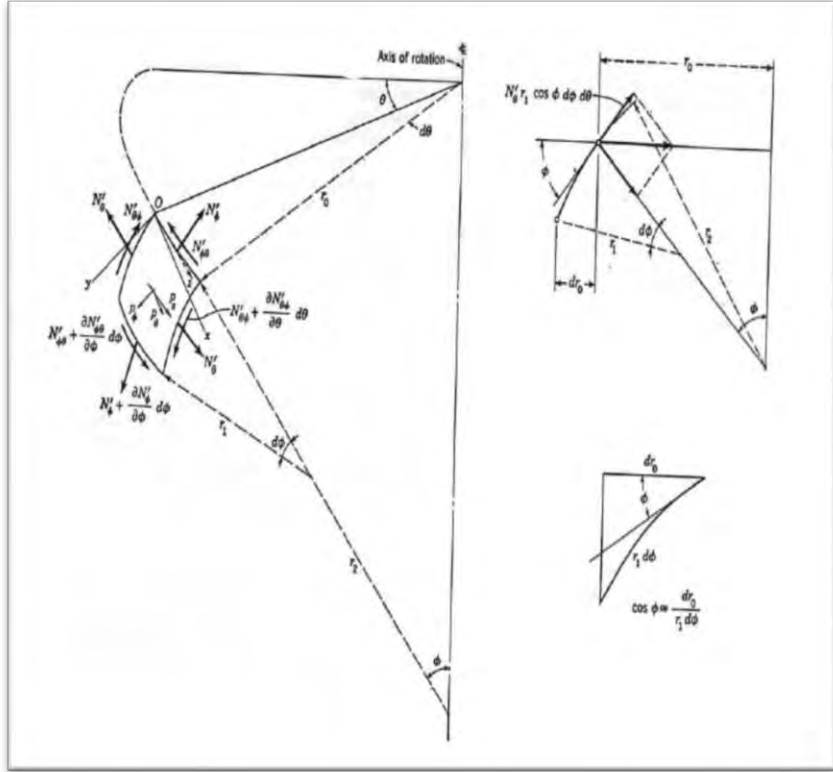
El trabajo en conjunto de la cúpula funciona como una membrana, esto debido a que los paralelos restringen el desplazamiento lateral de los meridianos, de tal modo que si existe una deflexión vertical hacia abajo, los paralelos superiores empezaran a trabajar a compresión y los inferiores a tensión, dando como resultado una red tridimensional rígida (Figura 2.1.2b).



**Figura No 2.1.2b**

*FUENTE: ANÁLISIS DE TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES. BÓVEDA, LÁMINA, CÚPULA Y PARABOLOIDE. ARQUITECTO IGNACIO REQUENA RUIZ*

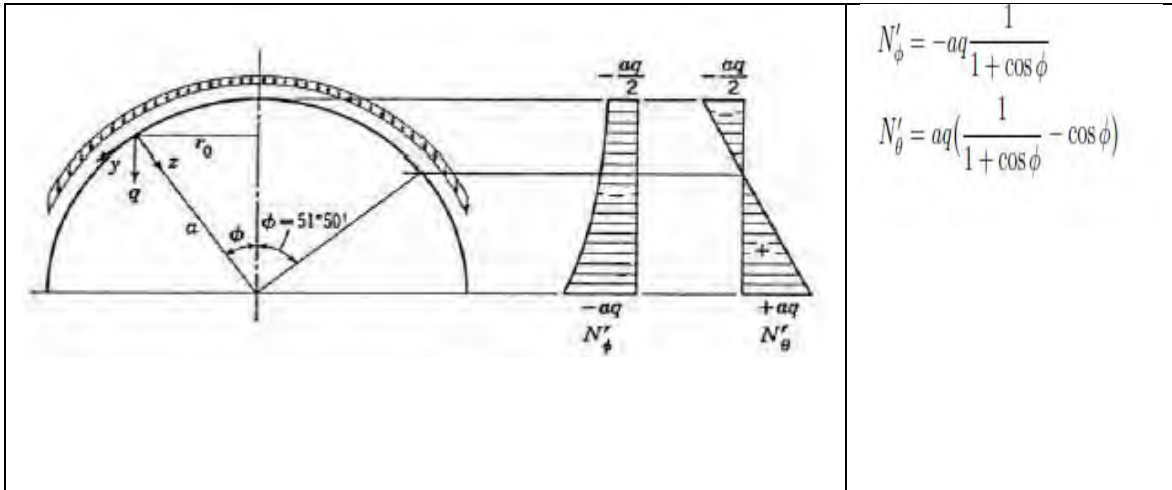
Enseguida se presentan expresiones analíticas derivadas de la teoría de la elasticidad para obtener las fuerzas de membrana meridionales y radiales en cúpulas de cáscara de generatriz esférica, por ser las más usuales. Cabe destacar que en la actualidad existen paquetes de cómputo que usando la técnica de elementos finitos permiten generar el modelo tridimensional, efectuar el análisis elástico y obtener los esfuerzos en cualquier elemento de una cúpula para proceder al diseño estructural de la misma así como sus soportes.



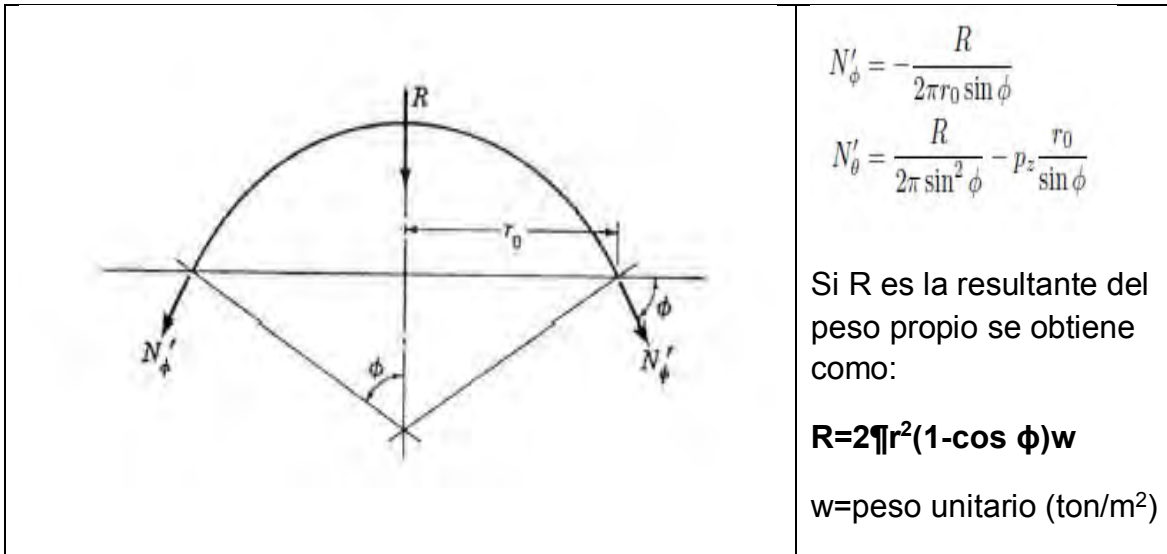
ELEMENTO DIFERENCIAL DE CÚPULA

$N_\phi$  = fuerza meridional de compresión por unidad de longitud

$N_\theta$  = fuerza radial por unidad de longitud, de compresión en anillos superiores, de tensión en anillos inferiores por debajo de  $\phi = 51^\circ 50'$



Cúpula hemisférica con apoyo continuo en borde inferior sujeta a carga uniforme de su peso propio + carga externa uniforme. Se presenta la variación de las fuerzas meridionales y radiales a lo largo de la cúpula, notándose que en la sección ubicada a  $51^{\circ}50'$  las fuerzas radiales en los paralelos cambian de signo, de compresión a tensión.



Cúpula de casquete esférico sujeta a una carga concentrada en su centro de gravedad, puede ser la resultante de integrar el peso propio + carga externa concentrada. Cuando se tiene una geometría hemisférica, la resultante horizontal en la base es nula, pero si se trata de un casquete esférico, la resultante horizontal o 'coceo' por unidad de longitud se obtiene con la expresión:  $H=(R/2\sqrt{r_0})\cot\phi$ ,

Siendo  $\phi$  el Angulo central que define el plano horizontal del casquete esférico. En este caso se requiere contar con un anillo de reacción en el arranque que trabaje a una tensión ( $t = H \cdot r_0$ ) por unidad de longitud para equilibrar el 'coceo'.

### 2.1.3 GEOMETRÍA DE UNA CÚPULA

La superficie de una cúpula puede adoptar distintas formas según el método constructivo y las tradiciones formales, variando en función de la forma de planta y el perfil de acuerdo a la cónica utilizada:

- Semiesférica, que es la forma más simple desde el punto de vista constructivo
- Semi elipsoide de planta circular, utilizada en las cúpulas rebajadas
- Semi elipsoide de planta elíptica, adecuada a espacios rectangulares
- Semi paraboloides de planta circular, permite cúpulas más estilizadas aliviando la percepción formal del edificio
- Semi paraboloides de planta elíptica
- Semi hiperboloides de planta circular, también más esbelta, mejora el comportamiento estructural al reducir los empujes horizontales
- Semi hiperboloides de planta elíptica

## 2.2.- CÚPULAS DE MAMPOSTERÍA

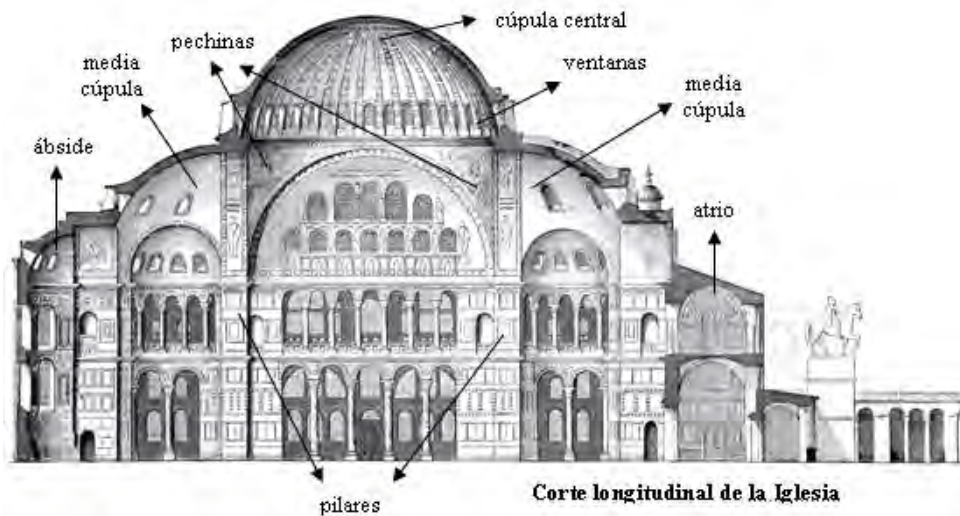
### 2.2.1 ANTECEDENTES

Como se ha descrito antes en este trabajo, desde los inicios de la construcción de estructuras se han utilizado materiales como la piedra, el ladrillo o el adobe, siendo la base para la construcción de cúpulas y otras edificaciones en la antigüedad. Cientos de trabajadores sin conocer los fundamentos matemáticos del comportamiento estructural de una cúpula la podían construir básicamente apilando piedras unas a lado de las otras sobre una estructura auxiliar de madera u otro material que le diera la forma esférica peculiar de una cúpula (Figura No 2.2.1ª). Probablemente el mecanismo de `prueba y error` a lo largo del tiempo fue depurando las técnicas constructivas para generar una serie de reglas empíricas que fueron usadas hasta antes de disponer de la teoría estructural básica empleando conocimientos de la mecánica y la resistencia de materiales para el análisis estructural, lo que se materializó en el siglo XVIII y se generalizó en el siglo XIX. Los mejores ejemplos de la construcción con mampostería como el Panteón Romano (126 d. C), la Catedral de Santa Sofía o las catedrales góticas son anteriores a la teoría estructural, lo cual indica que los constructores antiguos usaron una gran intuición mecánica, una especie de instinto bien desarrollado que guiaba sus decisiones, alimentada por el sentido común y la experiencia para construir obras estables y duraderas.

Ayer y hoy el objetivo fundamental perseguido en la Ingeniería Estructural es el mismo, construir estructuras suficientemente seguras, estables, resistentes y duraderas, pero la manera de llegar a ese objetivo es distinta, sin que se pueda afirmar que es mejor o peor una forma que la otra.



**Figura No 2.2.1 a- BÓVEDA DEL TESORO DE ATREO O TUMBA DE AGAMENON**  
MICENAS, GRECIA, 1250 A.C., DIÁMETRO=14.50 M., EL MAYOR DIÁMETRO ALCANZADO  
CON SILLARES DE PIEDRA SUPERPUESTOS EN VOLADIZO.



**Figura No 2.2.1 b - CATEDRAL DE SANTA SOFIA EN ESTAMBUL, TURQUIA (532-537).**  
 SUS ARQUITECTOS, ANTEMIO DE TRALLES E ISIDORO DE MILETO, CUBRIERON EL EDIFICIO, DE PLANTA CASI CUADRADA, CON UNA CÚPULA CENTRAL SOBRE PECHINAS. ÉSTA REPOSA SOBRE CUATRO ARCOS, SOSTENIDOS A SU VEZ POR CUATRO PILARES. DOS SEMICÚPULAS HACEN DE CONTRAFUERTE DE LA CÚPULA CENTRAL Y LOS MUROS ABIERTOS ESTÁN ASEGURADOS POR CONTRAFUERTE.

PRINCIPALES CÚPULAS CONSTRUIDAS DE MAMPOSTERÍA Y CONCRETO SIMPLE	
CÚPULA	DIÁMETRO (M.)
Panteón (Roma, siglo II)	43
Santa Maria del Fiore (Florencia, siglo XV)	42
San Pedro (Roma, siglo XVII)	42
Gol Gumbaz (Bijapur, India, siglo XVII)	39
Iglesia de Mosta (Mosta, Malta, siglo XIX)	38
San Francisco el Grande (Madrid, siglo XVIII)	35
Santa Sofia (Estambul, siglo VI)	33
San Pablo (Londres, siglo XVII)	33
San Carlo (Milán, siglo XIX)	32

## **2.2.2 MATERIALES**

La mampostería en cualquier construcción está compuesta por elementos tridimensionales de ladrillo o pétreos unidos entre si por algún ligante más conocido como mortero.

Los materiales pétreos son aquellos que provienen de la roca, de una piedra o de un peñasco; habitualmente se encuentran en forma de bloques, losetas o fragmentos de distintos tamaños, principalmente en la naturaleza, aunque de igual modo existen otros que son procesados e industrializados por el ser humano. Caso contrario, el ladrillo es un material artificial: forma parte de los productos cerámicos, que derivan de la mezcla de arcilla y agua, secado al sol y cocinado, modelado para formar los ladrillos

En cuanto al mortero, cualquier tipo puede ser utilizado en la construcción de la mampostería, a condición de que sus características de resistencia mecánica, trabajo e hidráulica sean adecuadas a las particulares situaciones en las cuales deben ser aplicadas. En el pasado era muy común utilizar morteros de cal “aérea”, obtenida de una cal que reacciona en presencia del aire.

Cuando no hay un mortero que actúe como ligante y mantenga unidos los diferentes elementos se dice que la mampostería está construida en seco, llegando a la conclusión que la propiedad mecánica de la mampostería varía en función sobre todo de los materiales utilizados, por lo tanto se tiene que:

- Una mampostería homogénea (todos los elementos que la integran son iguales entre ellos ) es en general más resistente que una mampostería no homogénea,
- La mampostería realizada utilizando un mortero como ligante será más resistente que una mampostería realizada en seco.

## **2.2.3 ELEMENTOS DE UNA CÚPULA EN MAMPOSTERÍA**

En una cúpula de mampostería están generalmente presentes, además de la bóveda, que es el elemento principal que le da forma, otros elementos, que cumplen una función estructural o constructiva extremadamente importante.



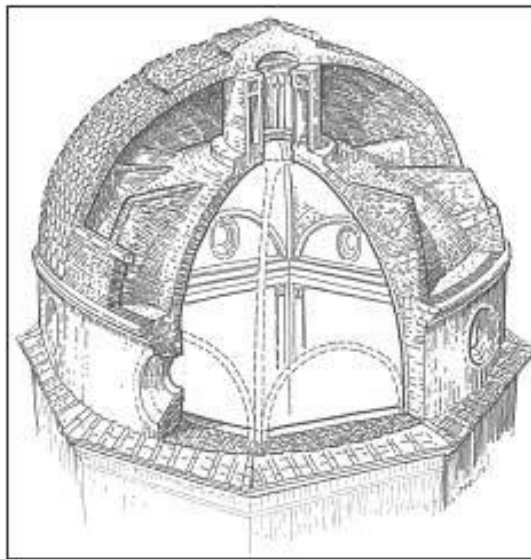
Es importante conocer el funcionamiento estructural básico de una cúpula y sobre todo tener un conocimiento de los materiales que pueden ser útiles para su construcción.

Teniendo en cuenta estos principios se encontraran los siguientes elementos en una cúpula de mampostería.

- **EL TAMBOR**

El tambor presenta una doble función: estructural y estética. Básicamente su función estructural es soportar los empujes horizontales de los meridianos en el interior de su espesor, sobre todo si este es grande.

La función estética es interior y exterior: exteriormente el tambor lanza la cúpula en altura, permitiéndole resaltar en el entorno, internamente, en cambio constituye un medio para proporcionar el espacio y se pueden abrir aquellas aberturas que la bóveda no permite para hacer que entre luz solar al interior del edificio.



*TAMBOR CON ESPUELAS RADIALES DE LA SAGRESTIA DE S. SPIRITO EN FIRENZE*

- **EL CASQUETE**

El casquete es el elemento que caracteriza a la cúpula, dándole la forma ya sea circular o poligonal. Sin embargo en el caso de tener una cúpula con forma poligonal, se tendrá que tener en cuenta que los esfuerzos en la estructura son más elevados teniendo que reforzar la estructura por medio de nervaduras (costillas).

- **LAS COSTILLAS**

Las costillas también llamadas nervaduras, son semi-arcos que siguen el perfil de la cúpula. Construidas en piedra o ladrillos, refuerzan estructuralmente y estéticamente a la cúpula. Básicamente su función estructural es de ser un esqueleto que debe soportar el peso de la cúpula y descargarlo al terreno a través de las estructuras inferiores.

En las cúpulas poligonales, donde la aplicación de las nervaduras es efectivamente más común, también cumplen la función de absorber las tensiones en los ángulos de encuentro entre una y otra superficie; de hecho estas zonas están sujetas, como es notorio, a una elevada concentración de esfuerzos.



*LAS COSTILLAS BLANCAS DE S. MARÍA DEL FIORE CUMPLIENDO COMO ESQUELETO DE LA CÚPULA.*

- **LA LINTERNA**

La linterna es el elemento terminal de la cúpula y puede tener planta circular o poligonal. Su función es sobre todo estructural, imponiendo con su peso propio una carga vertical que anulara los esfuerzos que el casquete produce hacia su exterior impidiendo que se abra este elemento.

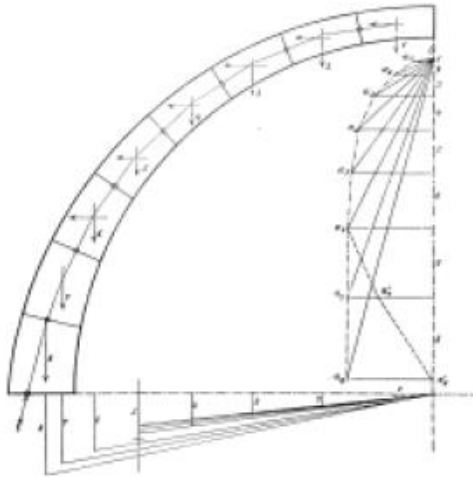
En segundo lugar, la linterna estéticamente, consiente el ingreso de la luz natural a través de las aberturas laterales y es esta función de iluminación la que justifica su nombre. Las aberturas aseguran además una buena ventilación en el caso de no colocarles vidrio, dejándolas abiertas.



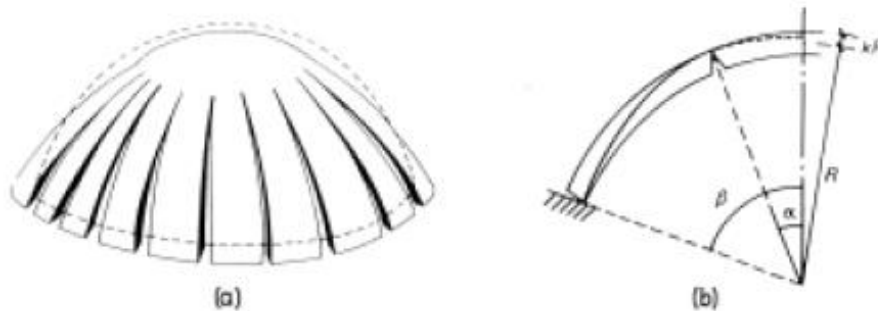
*LA LINTERNA DE S. MARÍA DEL FIORE. ACTÚA COMO UNA CARGA VERTICAL IMPIDIENDO LA EXPANSIÓN DE EL CASQUETE.*

## 2.2.4 TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS EN UNA CÚPULA DE MAMPOSTERÍA

En una cúpula de mampostería las cargas del peso propio y cargas externas se transmiten por acción de membrana en las dovelas superiores y por acción de arco en las dovelas inferiores donde existen tensiones circunferenciales que se resisten por fricción entre las dovelas



### **TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS EN UNA CUPULA DE MAMPOSTERIA**



### **MODOS POSIBLES DE FALLA DE CUPULAS DE MAMPOSTERIA**

- a) *POR CEDENCIA LATERAL DEL ARRANQUE*
- b) *PORQUE LA LINEA DE EMPUJES DE LAS CARGAS NO CAE DENTRO DEL TERCIO MEDIO DEL ESPESOR DE LA CUPULA*

El problema es que la mampostería es un material cuya resistencia a la tensión es hipotéticamente nula. Por eso es importante que por lo menos se encuentre una curva de las tensiones interna al perfil cupular, o sea que el polígono funicular caiga dentro del espesor de la cáscara.

Es importante comprender como se diferencian arco y cúpula en este aspecto: en el primer caso la necesidad es motivada de la imposibilidad de contrastar el surgimiento de la flexión, en el segundo de la tensión, por lo que se podrán presentarse algunos modos posibles de falla en las cúpulas de mampostería como son:

- Cedencia lateral del arranque
- La línea de empujes de las cargas no cae dentro del tercio medio del espesor de la cúpula generándose flexiones.

Estos aspectos pueden provocar una inestabilidad en la estructura presentándose flexión y tensiones meridionales que la mampostería por si sola es incapaz de soportar, siendo evidente como el primer problema es debido al material y el segundo a la forma geométrica de la cúpula.

Es necesario entonces analizar el signo de los esfuerzos internos para descubrir si se pueden crear problemas a la cúpula: si fueran negativos (compresión) obviamente la mampostería no tendría problemas para soportarlos, si en cambio fueran positivos (tensión) la mampostería podría fallar. Otro tema muy importante, que surge de los estudios en la historia, es aquel del empuje que la estructura cupular ejerce sobre los soportes, conocido como "coceo": si este empuje no es bien contenido puede crear problemas no solo en la estructura portante sino también en la cúpula.

## 2.3.- CÚPULAS DE CONCRETO REFORZADO Y FERROCEMENTO

### 2.3.1- ANTECEDENTES

En 1848 el inventor francés Joseph Louis Lambot (1814-1887) creó un sistema constructivo al que llamo “**ferciment**”, que viene siendo el antecedente del concreto reforzado y que utilizó para construir barcos pequeños. Años después, en 1943 un ingeniero italiano llamado Pier Luigi Nervi (1891-1979), a partir de esa idea, desarrolló el ferrocemento como hoy lo conocemos, que consta básicamente de dos o más mallas metálicas de refuerzo superpuestas que se recubren con un espesor pequeño de mortero de cemento-arena colocado a mano o con aspersor neumático y que se utiliza como membrana apoyada en elementos más resistentes a la flexión. Inicialmente Nervi lo empleó para construir barcos de hasta 400 ton. de desplazamiento que resultaron más ligeros y económicos que si se hubiesen construido de madera o acero y posteriormente amplió su aplicación a la prefabricación de grandes cubiertas.

Este material revolucionó la construcción civil, apoyándose en la prefabricación modular en taller o a pie de obra y el montaje de campo P.L. Nervi y su equipo construyeron obras notables, entre las que destacan la Sala de Exposiciones de Turín (1948), que consta de una cubierta ondulada de 5 cm. de espesor cubriendo un claro de 76.0 m., el Pequeño Palacio de los Deportes en Roma (1957), con cúpula de 57.6 m. de diámetro y 21.0 m. de altura, el Palacio de los Deportes de Roma (1960), con cúpula 100.0 m. de diámetro, la cubierta de la sala central del centro de exposiciones de Belgrado, con cúpula central de 97.5 m. de diámetro, el edificio de la Feria de Milán y el Palacio de Deportes de Florencia.



*PALACIO DE LOS DEPORTES DE ROMA (1960) – ETAPA DE MONTAJE*



*CUBIERTA DEL PALACIO DE LOS DEPORTES DE ROMA, (1960) CON NERVADURAS DE CONCRETO REFORZADO EN MÓDULOS PREFABRICADOS Y MEMBRANA DE FERROCEMENTO, CON DIÁMETRO DE 100.0 M., EL MAYOR ALCANZADO HASTA LA FECHA CON ESTE MATERIAL POR EL ING. PIER LUIGI NERVI (1891-1979).*

### **2.3.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL FERROCEMENTO**

El ferrocemento se puede definir como un material compuesto con grandes aplicaciones estructurales, que básicamente, se fabrica a partir de la combinación entre una malla electro soldada (fabricada con alambres de 0.8mm en forma de rejilla) y 2 o más capas de malla de `gallinero` recubiertas con una capa de mortero (arenas finas y gran concentración de cemento, aproximadamente el doble de la cantidad de cemento que en un concreto reforzado), dándonos una membrana de bajo grosor (3 a 5 cm), flexible y de alta resistencia mecánica.

Esta combinación nos dará como resultado, un volumen y un peso propio de la estructura mucho menor al de una estructura de concreto reforzado y sobretodo un manejo más simple al momento de construir una cúpula.

Además de las propiedades y ventajas ya mencionadas, se pueden agregar las siguientes:

1. Gran resistencia al impacto, ya que posee una gran flexibilidad el material. Esto permitirá que la cúpula tenga una mejor resistencia estructural.

2. Presenta gran impermeabilidad y esto evitará la corrosión en la estructura, dando como resultado un menor grado de fisuración.
3. Facilidad de construcción y reparación. A sí mismo no se requerirá de personal especializado para su construcción, debido a la facilidad de los procesos constructivos que presenta una cúpula.
4. Tiene una respuesta estructural muy importante ante acciones sísmicas, evitando grandes daños en la cúpula ante un sismo.
5. Excelente aislamiento acústico, ayudando a mejorar el ambiente interior de la estructura
6. Buena resistencia al fuego
7. Gran aislamiento térmico

### **2.3.2.1 PROPIEDADES ESTRUCTURALES**

La resistencia excepcional del ferrocemento se debe a que su armadura está compuesta por varias capas de mallas de acero de poco espesor superpuestas y ligeramente desplazadas entre sí. De esta manera presenta una buena resistencia a tensión, que supera sensiblemente a la mostrada por el concreto reforzado, y se mantiene en el rango elástico hasta su fisuración. Estos beneficios darán como resultado una excelente estructura o esqueleto a la cúpula en general.

La presencia de las capas de mallas metálicas, no modifican la resistencia a la compresión, y esto ayudará a que la cúpula en general no presente grandes agrietamientos, ayudando a prevenir la fatiga del material. A sí mismo, se puede observar que el ferrocemento podrá presentar grandes deformaciones antes de que el material falle, por lo que podemos concluir que el ferrocemento es un material elástico y dúctil mejorando el comportamiento mecánico de las cúpulas construidas con este material.

Por lo tanto la conclusión es que las resistencias mecánicas alcanzadas por el ferrocemento, superan sensiblemente a las alcanzadas por el concreto reforzado tradicional, especialmente a la tensión. Dada su flexibilidad, resistencia e impermeabilidad, puede ser utilizado en la construcción de viviendas, cúpulas, piscinas, embarcaciones y silos de gran tamaño para el almacenaje de productos agrícolas, minerales y para la construcción de grandes naves industriales, por lo que se puede observar que el ferrocemento se está convirtiendo en una solución de construcción para los países en vías de desarrollo, ya que es más económico y posee grandes cualidades comparado con las del concreto reforzado.





*CUBIERTA EN FORMA DE DOMO QUE CUBRE GRAN PARTE DE LA SUPERFICIE TOTAL Y ESTA FABRICADA A PARTIR DE FERROCEMENTO.*

### **2.3.3 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO**

Las estructuras de concreto reforzado tienen ciertas características, derivadas de los procedimientos usados en su construcción, que las distinguen de las estructuras de otros materiales. Para poder iniciar con este tema se debe saber que el concreto se fabrica en estado plástico, lo que obliga a utilizar moldes o cimbras que lo sostengan mientras adquiere resistencia suficiente para que la estructura sea auto soportante en cualquier construcción.

Dada esta característica, una ventaja que presenta el concreto reforzado es la moldeabilidad ayudando al constructor a poder obtener estructuras como la planteada en este trabajo, la cúpula. Otra característica importante es la facilidad con que puede lograrse la continuidad en la estructura, con todas las ventajas que esto supone.

Mientras que en estructuras metálicas el logro de continuidad en las conexiones entre los elementos implica serios problemas en el diseño y en la ejecución, en las de concreto reforzados el monolitismo es consecuencia natural de las características de construcción.

Siguiendo con el concepto de construir una cúpula de concreto reforzado existen 2 procedimientos básicos para construir estructuras de concreto, in situ o prefabricación. Para este tipo de estructuras es más factible y común construirla in situ debido a su peculiar forma.

Siempre se deben tomar en cuenta las diferentes posibilidades o procedimientos de construcción para reducir costos y tiempos de ejecución de obra, por lo que el proyectista debe inspeccionar minuciosamente el mejor camino posible para lograr el objetivo

Otra característica peculiar de las estructuras de concreto reforzado en general es el agrietamiento, que debe tenerse en cuenta al estudiar su comportamiento bajo condiciones de servicio. Se debe tener en cuenta que en una cúpula de concreto reforzado se presentan esfuerzos axiales de tensión y compresión por lo que se debe estar revisando primordialmente los esfuerzos a tensión, ya que sabemos que el concreto no es muy resistente a estos esfuerzos.

### **2.3.3.1 FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL**

Las principales solicitaciones o acciones exteriores a que puede estar sujeta la cúpula de concreto reforzado son: cargas estáticas debidas a peso propio, un porcentaje de cargas vivas ya que se considerara una estructura esférica, así como cargas dinámicas impuestas por un sismo y cargas dinámicas debido a las presiones exteriores e interiores generadas en la cúpula por el viento.

Basándonos en las cúpulas de concreto reforzado ya construidas como la cúpula del panteón (construida en Roma durante la etapa monárquica del Imperio) se tuvieron que considerar en esa época, sin tener los conocimientos actuales, solicitaciones como las deformaciones de la estructura inducidas por asentamientos, contracción, flujo plástico y cambios de temperatura en la estructura.

Si se desea proyectar una cúpula de concreto reforzado, el proyectista deberá estimar las acciones a las cuales estará sometida la cúpula para prever las condiciones más desfavorables en que la estructura puede llegar a encontrarse, así como el tiempo que sufrirá estas condiciones desfavorables.

Para llegar a esto se necesitara realizar un análisis estructural de la cúpula considerando todos los casos de carga y las posibles combinaciones que podrían solicitarse en la estructura, siendo los casos de carga básicos los siguientes:

- Peso propio
- Carga viva
- Cargas por viento
- Cargas por sismo
- Cargas por temperatura

La transmisión de esfuerzos en una cúpula de concreto reforzado podrá usar el mismo principio que en una cúpula de mampostería el cual se transmiten las cargas debidas a su peso propio y acciones externas mediante esfuerzos de compresión en los meridianos y de tensión en los paralelos.

Partiendo de estos principios, se pueden considerar diferentes criterios de diseño estructural utilizando los reglamentos de construcción adecuados. Para este caso si se piensa construir una cúpula de concreto reforzado en nuestro país, se podrá hacer uso del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal o el Reglamento de Construcciones de la localidad específica si es que la zona cuenta con esa base normativa. Siguiendo estos pasos se consideran para el diseño estructural dos categorías de estado límite: los de falla y los de servicio.

Los de falla corresponden al agotamiento definitivo de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus elementos estructurales que la conformen, en este caso particular se presentaría la falla en toda la estructura por ser un elemento tipo “cascaron”. Por otro lado los estados límites de servicio tienen lugar cuando la estructura llega a presentar deformaciones, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten su buen funcionamiento pero no su capacidad para soportar cargas.

Dicho esto para revisar los estados limite de falla, o sea, la seguridad de una estructura, en este caso la cúpula de concreto reforzados, se debe verificar que la resistencia la estructura en su conjunto, sea mayor que las acciones que actúan sobre los elementos o sobre la estructura en general.

Dada esta última explicación para poder verificar la cúpula de concreto reforzado, pueden usarse algunos procedimientos explicados en la normatividad vigente, como por ejemplo el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal donde expone lo siguiente para estructuras de concreto reforzado:

- Primero se determinan las acciones que actúan sobre la estructura, las cuales se clasifican en permanentes, como la carga muerta; variables, como la carga viva; y accidentales, como el sismo y el viento.

- A continuación se calculan, mediante un análisis estructural, los efectos de las acciones sobre la estructura, o sea, los valores de las fuerzas axiales y cortantes y de los momentos flexionantes y torsionantes que actúan en distintas secciones de la estructura. En este caso por ser una estructura tipo cascarón se revisaran con más detalles cargas axiales en la estructura.
- Después de este paso, se deben tomar en cuenta para el diseño estructural, la multiplicación de las fuerzas internas resultantes por ciertos factores de carga, obteniendo como resultado las fuerzas de diseño.
- Enseguida se calcula la resistencia nominal de la cúpula de concreto reforzada aplicando ciertos factores reductivos para obtener la resistencia de diseño del elemento.
- Por último se verifican las resistencias de diseño contra las fuerzas internas de diseño.

$$\underbrace{\text{Fuerza interna de diseño}}_{F_C S} \leq \underbrace{\text{Resistencia de diseño}}_{F_R R}$$

En conclusión para poder analizar y diseñar una cúpula de concreto reforzado se deben tener los conocimientos básicos de análisis estructural para determinar que la estructura está sujeta a distintas combinaciones de carga y poder analizarlas simultáneamente sin despreciarlas. Por ejemplo, se deberá efectuar el análisis estructural bajo carga muerta y viva, o bajo carga muerta, viva y sismo simultáneamente, para determinar cuál es la combinación más desfavorable.

Es importante identificar las ventajas y desventajas que podría presentar la construcción de una cúpula de concreto reforzado en cuanto a tiempo de ejecución y presupuesto. Como se mencionó antes, el proyectista debe intuir con apoyo en el sentido común y los conocimientos teóricos la solución más viable para poder proyectar una estructura, esto es, definir los materiales de fabricación, y el proceso constructivo a utilizar considerando en todo momento el problema que pretende solucionar para la sociedad.

## **2.4.- CÚPULAS A BASE DE ESTRUCTURA TRIANGULADA RECUBIERTA**

Si se utiliza estructura reticular con una o dos capas de perfiles metálicos estructurales siguiendo los meridianos y paralelos de la generatriz cupular, se forma entonces un entramado de triángulos que proporcionan la estructura principal de la cúpula y que puede ser recubierta con cualquier material ligero para proporcionar un espacio cerrado.

### **2.4.1 FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL**

El triángulo es el único polígono que no se deforma cuando actúa sobre él una fuerza. Al aplicar una fuerza de compresión sobre uno cualquiera de los vértices de un triángulo formado por tres barras, automáticamente las dos barras que parten de dicho vértice quedan sometidas a dicha fuerza de compresión, mientras que la tercera quedará sometida a un esfuerzo de tensión.

Cualquier otra forma geométrica que adopten los elementos de una estructura no será rígida o estable hasta que no se triángule.

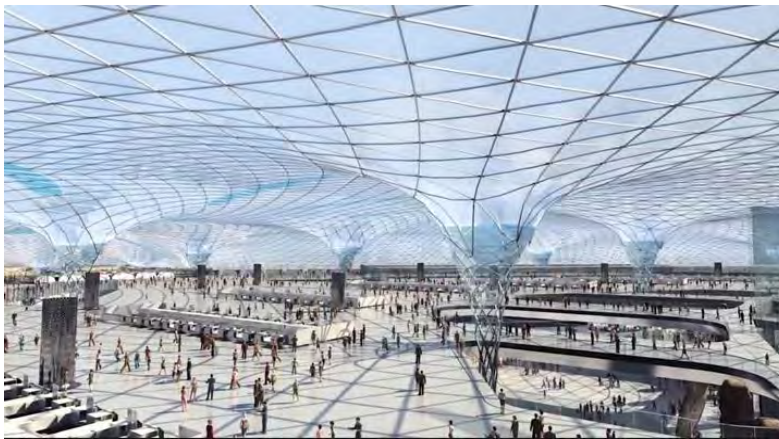
A base de triangulación se han conseguido vigas de una gran longitud y resistencia, que se llaman vigas reticuladas o arriostradas y que se emplean profusamente en la construcción de grandes edificaciones que necesitan amplias zonas voladas y sin columnas, así como en puentes de gran claro, teniendo las vigas de este tipo menor peso y una mayor resistencia que las vigas macizas.

Por su estructura la forma triangular sirve para dar fuerza y estabilidad a los soportes. En una estructura a la recta que forma el triángulo, se le llama contraviento, con esto se consigue que el triángulo adquiera la propiedad de indeformabilidad, lo que permite soportar más peso sin que la construcción falle. Un aspecto importante que se debe destacar en las estructuras triangulares es la forma que se deben unir estos elementos. Para esto se pueden fabricar elementos de acero llamados nudos, en los que se unirán las barras por medio de tornillos.

Básicamente el principio estructural de este tipo de estructuras es el trabajo a únicamente carga axial de cada elemento que compone la cúpula o cubierta, esto significa que siendo una estructura a base de triángulos solo existirán esfuerzos a tensión y compresión en cada barra eliminado el momento flexionante en cada nudo debido a que cada barra será unida mediante un nudo articulado.

Sin embargo no se debe despreciar la fuerza cortante que se producirá en cada conexión de las barras por lo que es importante llevar a cabo un análisis y diseño estructural más riguroso en estos detalles de suma importancia para el buen funcionamiento de la estructura.

Un claro ejemplo de este tipo de estructuras trianguladas en la actualidad es la construcción del nuevo Aeropuerto de la Ciudad de México, ya que la cubierta de esta obra se pretende sea una estructura formada a base de triángulos dando como resultado una cubierta muy parecida a un gran domo como se muestra en las siguientes figuras.

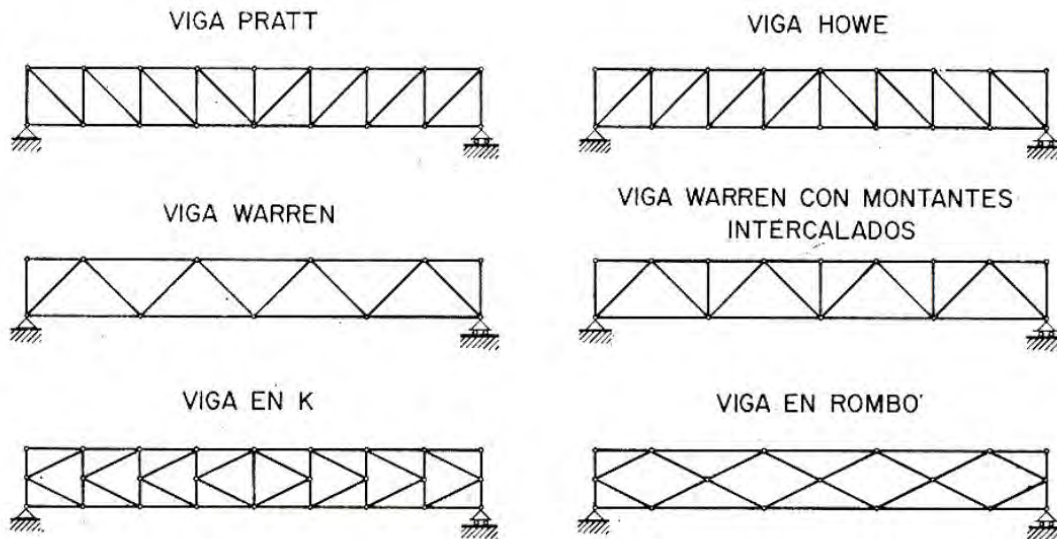


*FIGURA: PROYECTO DE CUBIERTA AEROPUERTO DE LA CD. DE MÉXICO*

Como se puede observar la ventaja principal de este tipo de estructuras es la capacidad de obtener claros largos sin la necesidad de colocar muchos apoyos intermedios.

## 2.4.2 TIPOS DE TRIANGULACIÓN

En el caso de vigas se podrá encontrar los siguientes tipos de triangulación:



**FIGURA: TIPOS DE TRIANGULACIÓN**

Las diversas formas y características que ofrecen estas vigas, les hacen presentar grandes ventajas sobre las tradicionales, como son: ligereza, transporte cómodo por ser elementos individuales pequeños y manejables y su fácil montaje. Los apoyos de estas vigas pueden realizarse de diversas maneras, dependiendo de la disposición deseada de las columnas o pilares. De esta forma podemos obtener el apoyo sobre dos columnas separadas según la modulación de la viga. Las modulaciones en las que deben realizarse este tipo vigas, tienen que ser las comprendidas entre 2 y 4 metros aproximadamente, pudiendo llegar a una separación entre vigas del orden de 7 metros, dependiendo todo ello de las características dimensionales de las naves a realizar.

En el caso de cúpulas se podrán desglosar los siguientes tipos de triangulación:

- **Cúpula geodésica:** Con esta disposición conseguimos un buen reparto de tensiones, a una costa de que su montaje sea dificultoso. Estas cúpulas se resuelven siempre con estructura triangular de una o dos capas, o bien, con una solución intermedia, consistente en plegar la superficie por medio de pirámides rebajadas hexagonales casi siempre atirantadas

- **Cúpula de paralelos:** Este tipo de cúpulas de paralelos se resuelven con estructura de base cuadrada (trapezoidal en este caso), o de base triangular, desde el punto de vista estructural.
- **Cúpula de paralelos laminares:** Especial interés tienen las cúpulas de paralelos en las que el número de módulos va disminuyendo conforme los paralelos tienen una dimensión menor. Son recomendables las que quedan rematadas en un cuadrado, un pentágono o un hexágono.

### 2.4.3 BENEFICIOS Y APLICACIONES

En el caso de una cúpula a base de triángulos, la rapidez de fabricación y montaje será mayor debido a que todos los elementos son prefabricados en taller, con tolerancias estrictas (tanto porque lo posibilita este tipo de tecnología como por que lo requiere la precisión del montaje) lo que asegura uniformidad en la calidad de la obra. El montaje, completamente estandarizado, puede ser ejecutado con mano de obra poco o semi especializada.

Los elementos son de reducido peso y se requiere equipo menor de montaje. Todo esto implica una gran rapidez en la fabricación de los distintos elementos y en el montaje de la estructura, lo que se traduce en una rápida puesta en servicio de la obra.

Siendo esta estructura totalmente prefabricada, las únicas operaciones a realizar en obras son: Atornillado de barras a nudos y fijación de la estructura sobre los pilares o columnas. Los tornillos empleados, todos de alta resistencia, reciben un acercamiento previo y un posterior apriete con llave dinamométrica graduada a las características del diámetro, paso y calidad de los tornillos correspondientes. El sistema de montaje más conveniente, es el de ensamblaje de la estructura en el suelo y rápidas elevaciones mediante grúas. Estas elevaciones deben calcularse con esmero, para que los esfuerzos que puedan aparecer por las fuerzas dinámicas o por los enganches en la estructura fija, no provoquen roturas en la propia estructura. Dada la potencia de las grúas actuales, es posible elevar tramos de hasta 5000 m<sup>2</sup> de una sola vez, por lo que se consigue un gran rendimiento, rapidez y seguridad. De todas formas, las dimensiones de los tramos a elevar, están en función de las grúas disponibles en cuanto a potencia y la accesibilidad de la obra.

Otro aspecto importante que debe recalcar en este tipo de estructuras es la esbeltez de todos los elementos que la conforman dando como resultado una estructura liviana que permitirá salvar grandes claros sin apoyos intermedios, lo cual es de suma importancia para cubiertas o domos.



Siguiendo con las propiedades de la estructura triangular formando figuras planas, se podrá cubrir la superficie de cada área con elementos de cerramiento prefabricados, todos iguales y fácilmente colocables.

Un detalle importante que sobresale en la construcción de cúpulas o cubiertas a base de estructura triangulada es el excelente comportamiento acústico de la estructura. Esto es debido al casi despreciable efecto que tienen las reverberaciones e interferencias debido a que la cubierta está formada mediante un gran número de barras dispuestas en distintas direcciones.

Una gran ventaja que obtenemos es en el caso de una eventual destrucción de una porción de la estructura, ya que será soportada por una redistribución de esfuerzos a las barras circundantes, sin que se agote la capacidad portante de la estructura total. Esto permite la posterior reparación del sector dañado, fácil y rápidamente, mediante el simple remplazo de los elementos averiados. Situaciones tales han ocurrido por efecto de explosiones o por fallas de algún elemento defectuoso, o por el pandeo de alguna barra en casos en que el análisis de esfuerzos no fuese correcto. No se debe olvidar que este tipo de cubiertas o domos reticulares resaltan la estética de la arquitectura por su forma tan peculiar y sobresalen por mucho de otro tipo de estructura, en cuanto a arquitectura e ingeniería.

Para evaluarlas frente a otras posibles soluciones estructurales deberá considerarse costo de la materia prima (generalmente acero) costo del proceso de fabricación de los distintos elementos, disponibilidad de equipo de montaje y costo de sus operaciones, costo de la mano de obra de ensamble y terminación y costo del mantenimiento de la estructura

A continuación se mostrara un ejemplo de una cúpula a base de estructura triangular.

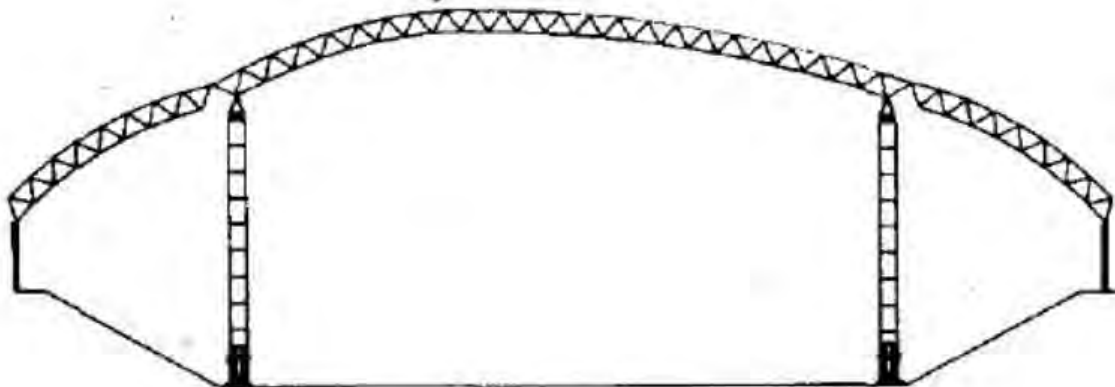


**FIGURA: CÚPULA DE PALAU SANT JORDI (ESPAÑA)**

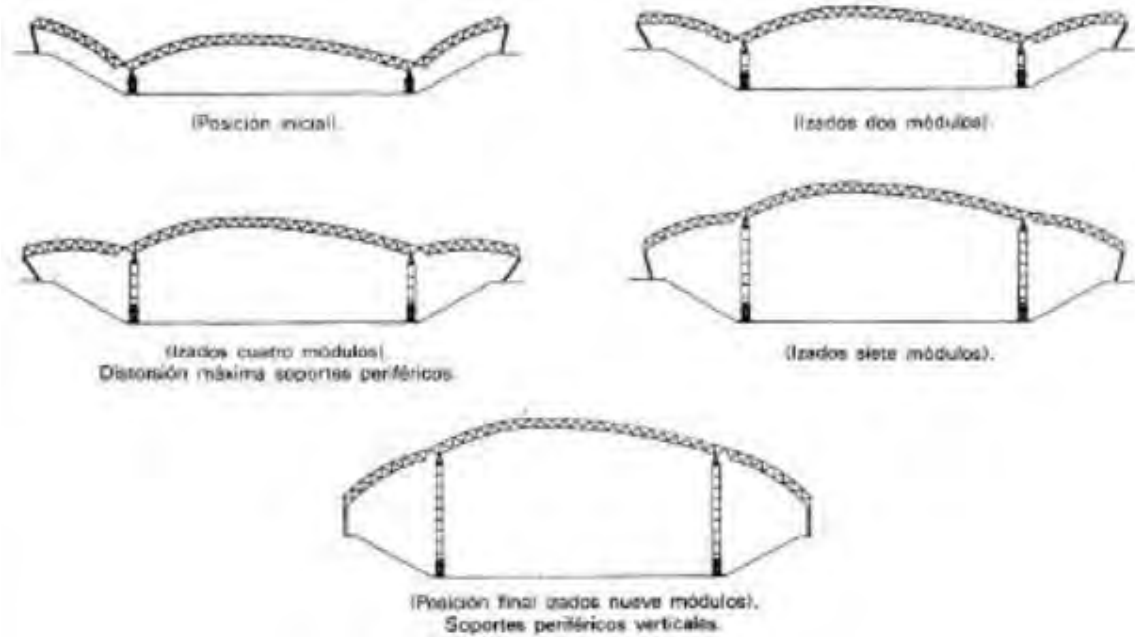
El conjunto tiene un área de 13,642 m<sup>2</sup>

Sus dimensiones son de 105,6 por 127,87 en planta, quedando la altura de coronación a 45m sobre la pista. El tamaño promedio de barra es de unos 3.6m. El espesor de la estructura es de unos 2.5m.

La estructura completa posee 2343 nudos y 9070 barras, usando más de 3mil tipos de barras El peso de la estructura con todo y elementos auxiliares es de 1300ton

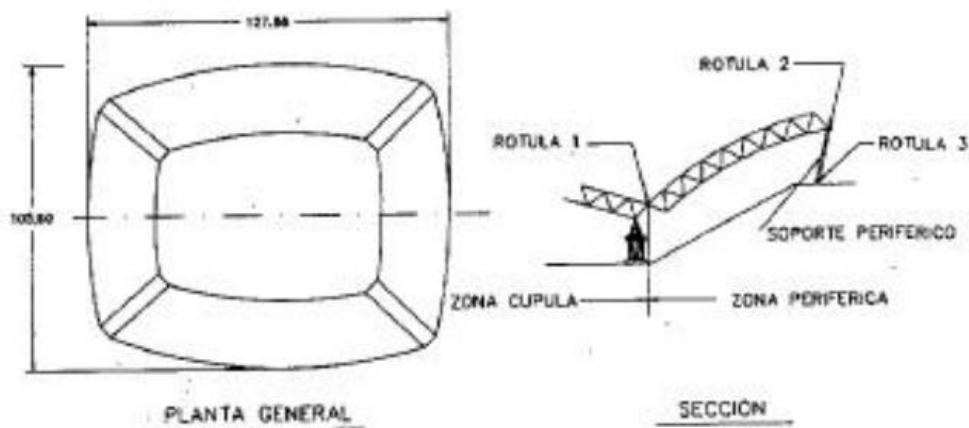


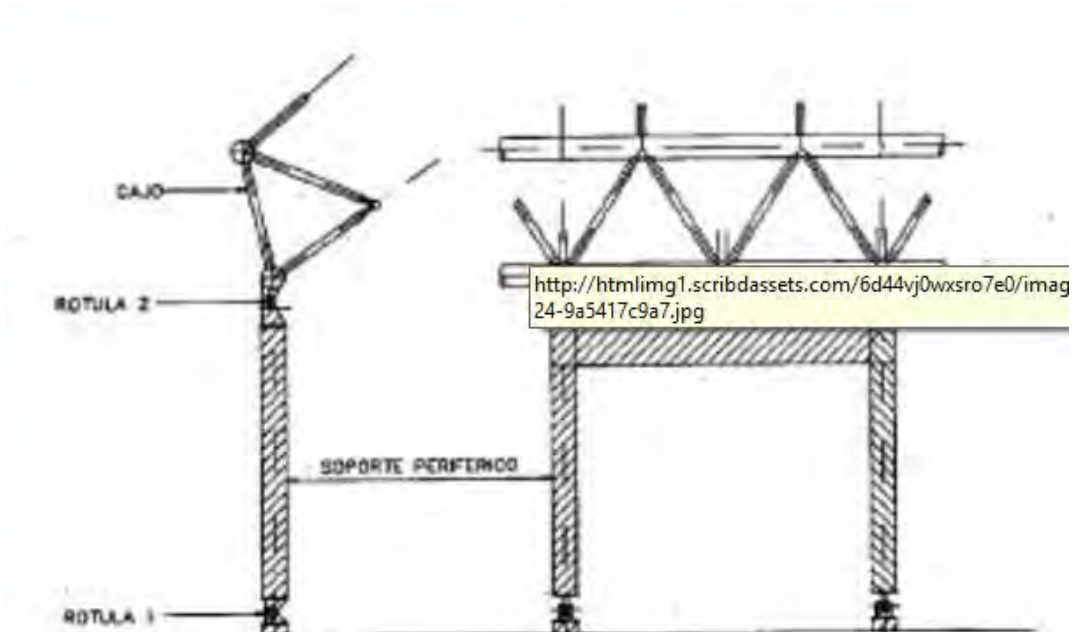
Como se muestra en la figura, se tiene la estructura en forma de domo o cúpula a base de triángulos apoyada sobre 2 columnas que funcionan como gatos hidráulicos que bajan o levantan la cubierta dando diferentes posiciones de cubierta como se muestra en la siguiente figura hasta formar una cúpula.



**FIGURA: CUBIERTA “HINCHABLE” DEL PALAU SANT JORDI. ESTRUCTURA RETICULAR.**

Para que pudiera darse este mecanismo tan impresionante e innovador se tuvieron que utilizar entre nodos de cubierta y columna, rotulas especiales que permitieran el giro de la estructura funcionando como apoyos articulados como se muestra en la siguiente figura,





**FIGURA: ARTICULACIONES EN LA ESTRUCTURA**

Es impresionante la cantidad de formas o figuras espaciales que pueden fabricarse a partir de este tipo de estructuración, sin embargo para este trabajo únicamente se ha generalizado en estructuras tipo domo o cúpulas por lo que deben destacarse los beneficios de fabricación, montaje, estética y sobretodo la resistencia estructural que podrá lograrse si se opta por este método de construcción para cúpulas o domos.

## **2.5- CÚPULAS GEODÉSICAS DE BUCKMINSTER FULLER**

### **2.5.1 ANTECEDENTES**

R. Buckminster Fuller (1895-1983), preocupado por el cambio climático y la escasez de los recursos naturales, pasó su vida fantaseando con invenciones que pudieran mejorar la calidad de vida de la humanidad.

Su mayor virtud era la inquieta mente que poseía. Su insaciable curiosidad lo llevó a forjar ideas inspiradoras y transformadoras, muchas veces vistas como “abstractas”, bajo la idea de “crear lo máximo con la menor cantidad de recursos posibles”. Sin embargo, él no buscaba aceptación, sólo buscaba soluciones tecnológicas a necesidades humanas obteniendo la máxima eficiencia de los materiales y energía, sin perder de vista la protección del medio ambiente.

Fuller pasó gran parte de principios del siglo XX en busca de maneras de mejorar la vivienda humana a través de:

- Hacer un refugio más cómodo y eficiente.
- Hacer que la vivienda sea más económica y sea accesible para un mayor número de personas.

Después de adquirir un poco de experiencia en la industria de la construcción y el descubrimiento de las prácticas tradicionales y las percepciones que limitan severamente los cambios y las mejoras en las prácticas de construcción, los esfuerzos de Fuller se centraron en el problema de cómo construir un refugio, que fuese muy ligero y resistente a las fuerzas que actúan sobre la estructura. Esta tecnología tendría que seguir el plan de la naturaleza como se ve por ejemplo en la tela de araña que puede flotar en un huracán debido a su alta relación resistencia-peso.

### **2.5.2. EXPERIMENTOS DE FULLER**

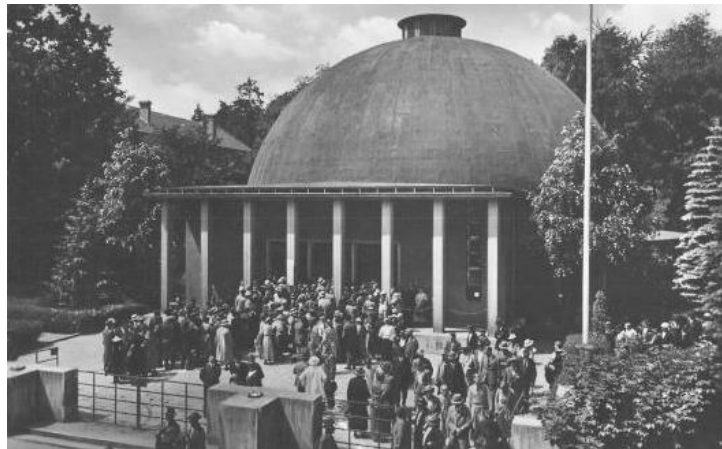
Una de las maneras que usó Buckminster Fuller como experimento para encontrar las diferencias en las resistencias entre un rectángulo y un triángulo fue aplicar presión en ambas estructuras. Fuller observó que al aplicar una carga en el rectángulo este se deformó haciéndolo inestable, por otro lado al aplicar fuerza en un triángulo se percató que resistió la presión por la carga ejercida, deduciendo que su comportamiento fue más rígido. Por lo tanto afirmó que el triángulo como estructura es dos veces más resistente.

Entonces el principio que ideó Fuller fue que si una estructura esférica era creada o construida a partir de triángulos, tendría resistencia sin igual.

A partir de la proyección de las caras de un icosaedro inscrito en una esfera sobre la superficie de la misma, se crean triángulos equiláteros esféricos idénticos, cuya división posterior dá lugar a las llamadas `frecuencias` que definen la densidad de la malla y proporciona familias de barras iguales que facilitan el proceso de fabricación e industrialización para la construcción de las cúpulas.

Este principio fue la clave para que Fuller pudiera dirigir sus estudios hacia la creación de un nuevo diseño en la arquitectura, la cúpula geodésica, basada también en su idea de “hacer más con menos” y aunque estrictamente él no fue el inventor del sistema, lo patentó en 1954 y lo difundió ampliamente como solución a la construcción de cúpulas con sistema reticular de barras.

Existen ejemplos anteriores de cúpulas geodésicas similares, basadas en la subdivisión de triángulos equiláteros esféricos, como la existente en el Palacio Imperial de Pekin, China (1885) y el Planetario de Jena, (`La maravilla de Jena`) en Alemania (1922), que seguramente influyeron sobre el espíritu creativo de Fuller.



*PLANETARIO DE JENA (1926), EL PLANETARIO MAS VIEJO DEL MUNDO. ESTRUCTURA FORMADA POR UNA CÚPULA GEODÉSICA DE FRECUENCIA 16 CREADA POR WALTER BAUERFELD. A PARTIR DE ÉSTA, MUCHAS OTRAS FUERON CREADAS, HASTA QUE LA IDEA FUE DESARROLLADA POR FULLER*

### **2.5.2.1 RESULTADOS Y LOGROS**

La idea de Fuller de industrializar la construcción de cúpulas geodésicas fue enorme debido a sus grandes beneficios. Esto le motivó a realizar más experimentos para poder conocer las ventajas que las cúpulas geodésicas tendrían a la hora de su construcción.

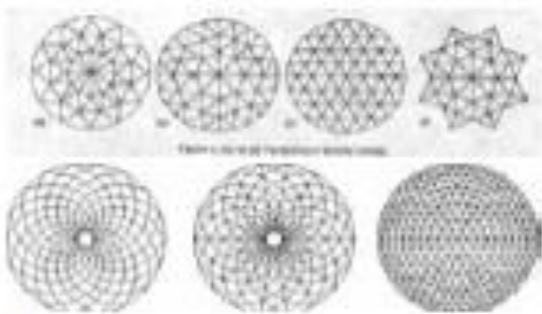
Así pudo deducir de sus resultados, que la estructura esférica encerraría un mayor volumen de espacio interior con la menor cantidad de área de superficie estructural. Dado esto último, estas características harían de la cúpula geodésica una estructura bastante económica debido al ahorro de sus materiales.

Fuller, contento con su investigación y con los resultados brindados, aseguró que la estructura geodésica produciría en viviendas humanas, uno de los ambientes interiores más eficientes para las personas ya que presenta grandes cualidades con respecto a la circulación de aire, ahorro de energía e iluminación.

Dados estos resultados Fuller continuo su investigación realizando su primer domo geodésico a base de cartón para así poder exponer su estructura en un evento llamado "La Trienal de Milán, (1954), "cuyo objetivo era organizar exposiciones internacionales para presentar los logros más innovadores en los campos de diseño, la artesanía, la arquitectura y la planificación urbana.

Finalmente el modelo geodésico a base de cartón de 42 pies (12.80 m.), de diámetro, se instaló en el evento y se alzó con el máximo galardón, el Gran Premio.

Las Cúpulas de Fuller ganaron la atención mundial debido a su presentación y logros obtenidos, haciendo que el ejército de Estados Unidos comenzara a explorar las opciones del uso de cúpulas en sus proyectos militares, porque necesitaban construir refugios de manera rápida y segura, así como resistentes, para sus soldados.



*DIFERENTES TOPOLOGÍAS PARA LA SUBDIVISIÓN DE LA GEOMETRÍA ESFÉRICA CON ESTRUCTURA RETICULAR, BUSCANDO LA OPTIMIZACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS, LA ECONOMÍA Y LA UNIFORMIDAD DE LAS BARRAS QUE FAVOREZCAN LA INDUSTRIALIZACIÓN.*



*BUCKMINSTER FULLER (1895-1983) DIFUSOR DE LAS CÚPULAS GEODÉSICAS*

### 2.5.3 GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA GEODÉSICA

La cúpula geodésica, pudo ser posible gracias al estudio de las matemáticas y la geometría, ya que a partir de estas bases se han desarrollado los “poliedros”, que se pueden definir como sólidos que tienen todas sus caras planas.

Así mismo los poliedros pueden dividirse en:

- A) *Poliedros regulares*: estos poliedros tienen definidos todas sus caras, aristas, ángulos, etc.
- B) *Poliedros irregulares*: estos poliedros no tienen ninguna regularidad geométrica.

Los poliedros regulares más importantes son el tetraedro, hexaedro, octaedro, dodecaedro y el icosaedro, y gracias a su desarrollo se realizaron investigaciones que permitieron ejecutar los cálculos necesarios para la elaboración o construcción del domo geodésico, esto con la visión de Richard Buckminster Fuller basado en algunas cúpulas geodésicas que ya existían.

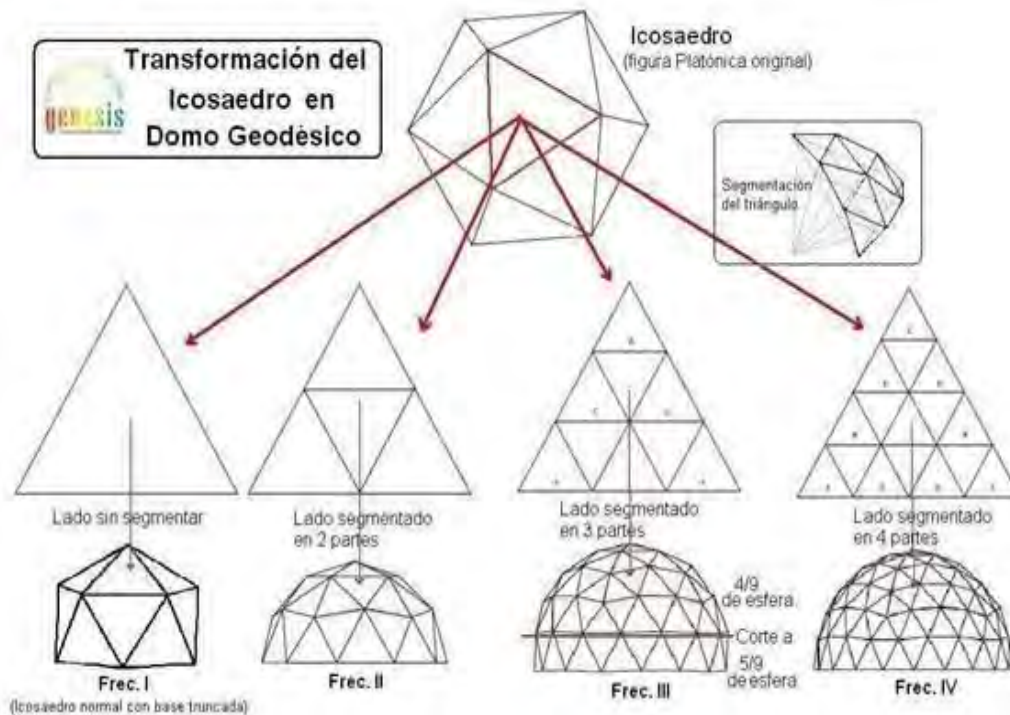
Como resultado de una subdivisión geométrica de los poliedros tales como el Tetraedro, Hexaedro, octaedro, Dodecaedro y principalmente el icosaedro (20 triángulos), se va a generar la base para la construcción geométrica de las cúpulas geodésicas.

Las caras de una cúpula geodésica, pueden ser triángulos, hexágonos, o cualquier otro polígono, donde los vértices deben coincidir todos con la superficie de una esfera ya que si esto no sucede la cúpula deja de ser geodésica.

#### 2.5.3.1 FRECUENCIA

Cuando se subdividen los triángulos que conforman un icosaedro, dando como resultado triángulos más pequeños, se va a originar la **Frecuencia del Domo**, que define la densidad de la malla en la estructura reticular.





### **FRECUENCIA DEL DOMO GEODÉSICO**

*LA SUBDIVISIÓN DE LOS TRIÁNGULOS EQUILÁTEROS ESFÉRICOS EN TRIÁNGULOS MAS PEQUEÑOS PERMITE LA ESTANDARIZACIÓN DE BARRAS IGUALES Y POR LO TANTO FAVORECE LA PREFABRICACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE CÚPULAS GEODÉSICAS*

#### **2.5.4 TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS**

Como ya se ha mencionado anteriormente, el Domo Geodésico tiene una característica muy importante, que es tratar de cubrir o abarcar la mayor cantidad de espacio con el menor peso posible, por medio de una estructura o armazón en forma de esfera formada por triángulos, que nos proporcionará una mejor resistencia estructural.

Esta estructura o armazón en forma de esfera se definirá como una malla espacial, que básicamente se compondrá por un gran número de barras que se unen en sus extremos formando una gran red tridimensional. Esta red tridimensional, se comporta como una estructura resistente gracias al trabajo en conjunto de cada uno de sus elementos, que al unirse en sus nudos, forman modelos tetraédricos donde se transmitirán las cargas hacia los apoyos.

Ya que las cúpulas geodésicas deben presentar algún recubrimiento, las cargas ejercidas por estos materiales serán transmitidas a través de las barras estructurales procurando siempre que cada barra trabaje principalmente a carga axial.

Otro aspecto es que esta estructura está formada por conexiones o uniones donde no se presentarán momentos por flexión debido a que se trata de una articulación por lo que solo se presentará un esfuerzo cortante en cada unión, en los elementos de sujeción, para lo cual deben ser diseñados estos elementos y así lograr su correcto funcionamiento estructural.

### **2.5.5.- MATERIALES**

El material para fabricar las barras que integren una cúpula geodésica depende del tamaño de la misma, atendiendo a las acciones externas a que estará sujeta y también a la facilidad de fabricación, mano de obra y montaje para reducir costos y lograr un comportamiento adecuado bajo condiciones de servicio.

Algunos materiales que se pueden utilizar son:

- Tubos de acero
- Madera
- Plástico
- Tubos de cartón corrugado

Para un caso donde se pretenda construir una cúpula geodésica de grandes dimensiones con usos específicos, la recomendación para su construcción será por medio de tubos de acero, ya que estos presentan un mejor comportamiento estructural reduciendo el peso total de la estructura.

Una vez construida la estructura esférica es importante que se lleve a cabo el recubrimiento de la misma para que sea una estructura habitable.

Para su recubrimiento se pueden utilizar materiales tales como son los plásticos de buena calidad, con las especificaciones adecuadas para su uso en viviendas.

Otros materiales utilizados son:

- Geo membranas
- Policarbonato celular
- Lámina galvanizada
- Lona tensada (velarías)

Estos materiales para recubrimiento, tienen grandes propiedades térmicas que permitirán el calentamiento y enfriamiento del interior de la vivienda de una manera natural. Refugios geodésicos se han construido en todo el mundo en diferentes climas y temperaturas, y aun así han demostrado ser el refugio humano más eficiente que uno puede encontrar.



ESTRUCTURA DE ACERO EN FORMA DE ARCO CON TENSO ESTRUCTURA (VELARÍA) QUE PROPORCIONA UNA EXCELENTE CUBIERTA LIGERA Y RESISTENTE A FUERZAS PRODUCIDAS POR EL VIENTO.

### **2.5.6 VENTAJAS DE LA ESTRUCTURA GEODÉSICA**

Sin duda alguna, la cúpula geodésica fue la mayor contribución de Fuller a la arquitectura, y también, su invención más exitosa. Tal es el caso que miles de este tipo de estructuras fueron construidas en el mundo, tras difundirse las enormes ventajas características de las mismas, sumándole además, el gran valor estético que presentan.

Algunas ventajas y beneficios que presenta la cúpula geodésica son:

- 1.- Este tipo de estructura se considera una estructura segura debido a su forma esférica, ya que permite que sea estable ante sismos, vientos, tormentas y para lugares donde los climas son más fríos, es estable ante la nieve.
- 2.- Gran resistencia estructural, debido a la forma esférica que presenta, ayudando a optimizar la transmisión de las cargas, distribuyendo las fuerzas en toda la estructura.
- 3.- Debido a su geometría, el domo geodésico no presenta bordes o rincones y esto permitirá que el aire no quede estancado, por lo que podemos decir que el domo geodésico tiene un excelente flujo de aire y una buena ventilación.
- 4.- Dado el punto anterior, gracias al excelente flujo de aire y su buena ventilación, el domo geodésico presentará una temperatura más uniforme en toda su estructura evitando puntos fríos o puntos calientes.

5.- La construcción de un domo geodésico es sencilla por lo que pueden participar personas poco experimentadas en su construcción y esto reducirá los costos de mano de obra.

6.- Ya que es una estructura liviana, la cimentación a utilizar no es muy complicada y esto reducirá el costo.

7.- Debido a su geometría se genera una mayor cantidad de espacio interior, ya que no se necesitan apoyos interiores como columnas, muros de carga o vigas.

8.- Una gran característica es su forma esférica, esto, siendo un estilo que resalta la estética de la estructura y proporcionándole modernidad a la misma.

### **2.5.7 OBRAS MÁS REPRESENTATIVAS DE FULLER**

Todas las investigaciones realizadas por B. Fuller dieron resultados para la construcción de cúpulas geodésicas que hoy en día conservan su grado de importancia.

Trabajos que dieron inicio a su éxito, fueron la construcción en 1949 de una cúpula de 4.3 m de diámetro, fabricada con tubos de aluminio, donde el mismo aplicó carga a su cúpula colgándose de las barras, junto con varios estudiantes que le ayudaron a construirla. La estructura se comportó estable por lo que demostró su seguridad y resistencia.

En 1958 construyó dos cúpulas idénticas para la Union Tank Car Company, en Baton Rouge, Louisiana y Wood River, Illinois, las cuales tenían un diámetro de 117 metros y una altura de 73 metros.

En el año 1967, diseñó una cúpula que consistía en tres cuartos de esfera de 76 m de diámetro, para ser sede del Pabellón Americano de la Feria Mundial de Montreal, Canadá. Consistió en una red de barras de acero que conformaban unidades triangulares y hexagonales, unidas a una capa de hexágonos. La superficie tenía la cualidad de ser transparente gracias a paneles de acrílico que cerraban el recinto.

Esta obra fue sin duda la de mayor importancia que llevó a cabo, y probablemente, a la cual debe gran parte de su éxito. Actualmente, dicha estructura forma parte de la "Biosphere", un museo del ministerio de Canadá dedicado al agua y al medio ambiente.



*PABELLÓN AMERICANO, MONTREAL (1967),  
CÚPULA GEODÉSICA DE 76.0 M. DE DIÁMETRO, OBRA MAS NOTABLE DE BUCKMINSTER  
FULLER QUE RESALTA LA CAPACIDAD DEL SER HUMANO*



*BUCKMINSTER FULLER CON DOS DE SUS CREACIONES: LA CÚPULA  
'OJO DE MOSCA' DE 7.3 M. DE DIÁMETRO, CONSTRUIDA CON FIBRA DE VIDRIO, ACERO  
INOXIDABLE Y PLÁSTICO ACRÍLICO Y EL AUTO 'DIMAXION', VEHÍCULO DE TRES RUEDAS  
CON CAPACIDAD PARA 11 PASAJEROS (1933)*

## CAPITULO 3

### PROYECTO DE UNA CÚPULA GEODÉSICA PARA ALBERGUE

#### 3.1.- DESCRIPCIÓN

En este apartado se generará el modelo matemático de un domo geodésico prototipo de 25.0 m. de diámetro y 11.20 m. de altura, así como su análisis y diseño estructural

Partiendo de las dimensiones generales deseadas, se puede generar el modelo geométrico de la cúpula geodésica con el programa CADRE GEO V6, que permite obtener los detalles necesarios de cada uno de los elementos que conforman esta estructura, como la dimensión y ángulo extremo de conexión de las diferentes familias de barras que la integran.

Una vez generado el modelo geométrico con esta herramienta, se necesitará exportar el archivo al programa AUTOCAD en un formato denominado DXF. Una vez abierto el modelo en AUTOCAD se exporta de esta plataforma hacia algún programa de análisis estructural. En este caso se utilizará el programa SAP 2000 V14 para realizar el análisis y diseño estructural del domo geodésico.

La necesidad del uso intermedio de AUTOCAD se deriva de la incompatibilidad de formatos de CADRE GEO y de los programas de análisis estructural usuales.

Se detallará paso por paso la generación del modelo geodésico, la geometría utilizada en esta estructura y el procedimiento para el análisis y diseño estructural de la misma.

#### 3.2.- GEOMETRÍA GENERAL

Para llevar a cabo el diseño del domo geodésico debemos proponer las características geométricas de la estructura y el tipo de materiales a utilizar, que dependen del tipo de necesidad a satisfacer. En este caso como la finalidad es construir un domo geodésico para dar albergue temporal a decenas de personas, se necesitará del suficiente espacio libre para cubrir la demanda.

##### 3.2.1 ELECCIÓN DEL RADIO Y FRECUENCIA DEL DOMO GEODÉSICO

Considerando que una persona ocupa mínimamente un área de 3.0 m<sup>2</sup> para una situación de emergencia temporal, se propuso un diámetro de 25.0 m. (radio, 12.5 m) para el domo geodésico, lo cual da un área útil de 490.8 m<sup>2</sup>, pero en esta misma área deben incluirse áreas comunes de pasillos, cocinas, sanitarios, regaderas y de administración del albergue, de tal modo que la capacidad nominal

del mismo es en este caso de 131 personas, con un 20% del área para servicios comunes. La distribución arquitectónica detallada de las áreas del albergue temporal, así como el proyecto de las instalaciones hidráulica, sanitaria y eléctrica queda fuera de los alcances de este trabajo enfocado en la parte estructural.

La dimensión longitudinal de las barras que componen la retícula estructural queda determinada por la elección de la frecuencia de subdivisión de los triángulos equiláteros esféricos, que define la densidad de la malla y el mayor acercamiento a la curvatura esférica a mayor frecuencia. Esta se elige en función del diámetro del domo, puede ser 4V o 5V, estimándose que para este caso una frecuencia 5V es suficiente para los fines que se persiguen, con lo cual se tendrá un número de barras no muy elevado, con dimensiones no muy grandes y un acercamiento a la curvatura esférica razonable.

Para frecuencias de subdivisión menores se tienen menos barras, pero el resultado será barras más largas, con mayores problemas de esbeltez, en tanto que con frecuencias mayores se tiene un número considerable de barras más cortas que encarecen el montaje.

### **3.2.2.-RECUBRIMIENTO**

Es importante resaltar este punto, ya que una estructura para que sea habitable debe tener un recubrimiento exterior haciéndola apta para satisfacer las necesidades para las cuales se diseñó. Este recubrimiento sea cual sea la estructura podrá excluir a la superficie interior de la misma del ruido, viento, contaminación u otros factores externos que dificulten las tareas que se realicen dentro de la estructura.

Para este caso existen diferentes materiales que se pueden aplicar para la cubierta general del domo geodésico, en este caso tratándose de un domo geodésico para uso temporal, se puede usar en forma económica una lona acrílica tensada, que es ligera, económica, y fácil de montar y desmontar.

Por tener un dato de arranque al análisis estructural, se estima que el peso propio de la estructura (lona tensada) es de 320 g /m<sup>2</sup> aproximadamente.

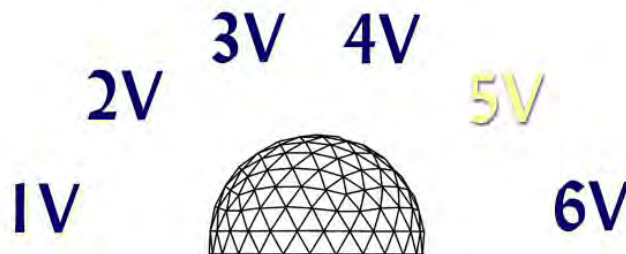


PABELLÓN ALEMÁN (1967)- ESTRUCTURA DE GRAN COMPLEJIDAD DISEÑADA POR FREI OTTO (1925-2015) A PARTIR DE UNA RED DE CABLES DE INTERCONEXIÓN PARA FORMAR LA ESTRUCTURA DE LA SUPERFICIE CON UNA MEMBRANA DE LONA TENSADA.

### 3.2.3.- PERSPECTIVA PRELIMINAR DEL DOMO GEODÉSICO

Ya definido el radio y la frecuencia a utilizar, se podrá recurrir a la herramienta: <http://www.desertdomes.com/domecalc.html>, para poder tener una perspectiva inicial preliminar del ensamble de la cúpula geodésica, así como algunas propiedades generales que deberán compararse con los resultados finales que aporte algún programa específico para este tipo de estructuras, en este caso CADRE GEO V6.

Ya en la página del link mencionado, el primer paso es seleccionar la frecuencia del domo geodésico que se va a utilizar, en este caso seleccionamos la frecuencia 5V como se muestra en la siguiente figura:



FRECUENCIA TIPO 5V

FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM/DOMECALC.HTML](http://www.desertdomes.com/domecalc.html)

Esta opción nos dará una perspectiva de cómo podría verse nuestro domo geodésico ya ensamblado.



### 3.2.3.1.- DIMENSIONES PRELIMINARES DE LOS ELEMENTOS

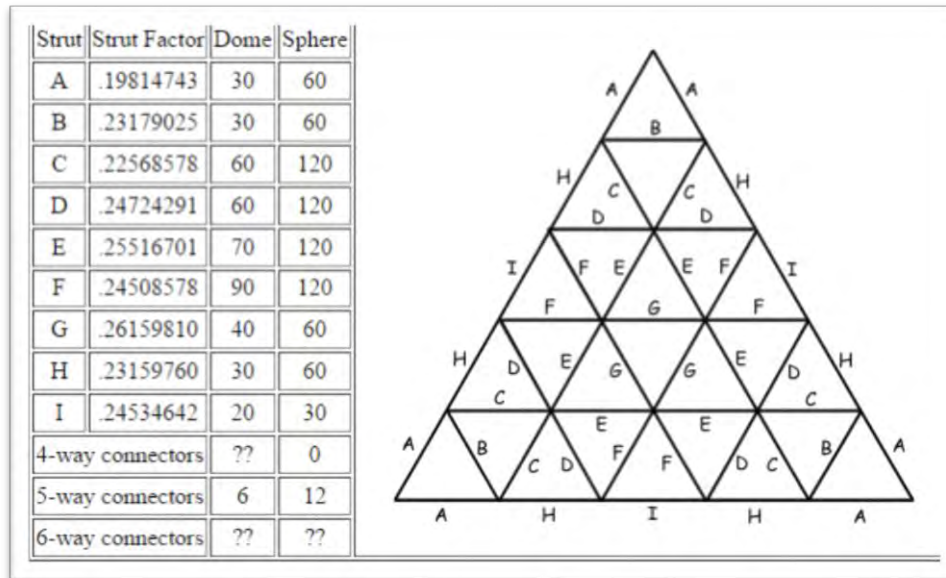
En el paso anterior seleccionamos el tipo de frecuencia que se utilizara en el domo, posteriormente la página <http://www.desertdomes.com/domecalc.html> muestra una nueva pantalla donde se deben consignar los datos necesarios como es el radio del domo, para conocer las dimensiones de cada miembro estructural por medio de la expresión:

Radio del domo = longitud del elemento / factor de puntal.....Ecuación 1

❖ Despejando la longitud del elemento:

Longitud del elemento = radio del domo x factor del puntal.... Ecuación 2

Para conocer el factor de puntal a utilizar es necesario conocer la frecuencia del domo con la cual se trabajará, en este caso por ser una frecuencia 5V los factores del puntal serán los siguientes:

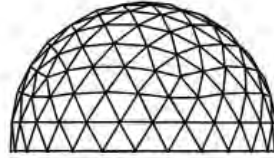


FACTORES DEL PUNTAL DEPENDIENDO LA FRECUENCIA A UTILIZAR.  
FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM/FORMULA.HTML](http://www.desertdomes.com/formula.html)

Como se observa, el radio del domo (12.5 m) es la base del cálculo de un domo geodésico, por lo tanto conociendo el radio de la estructura se introduce el dato para que la herramienta asigne dimensiones para las diferentes familias de barras. Estas son dimensiones preliminares y aun no forman parte del modelo analítico, el que será generado a partir de CADRE GEO V6.

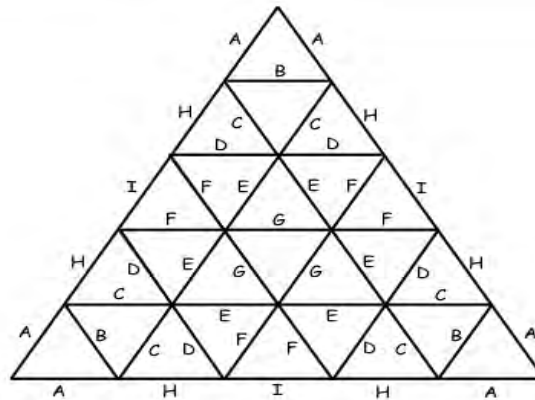
Las dimensiones preliminares propuestas por la herramienta mencionada se muestran enseguida:

## DOME CALCULATOR



Dome Radius:

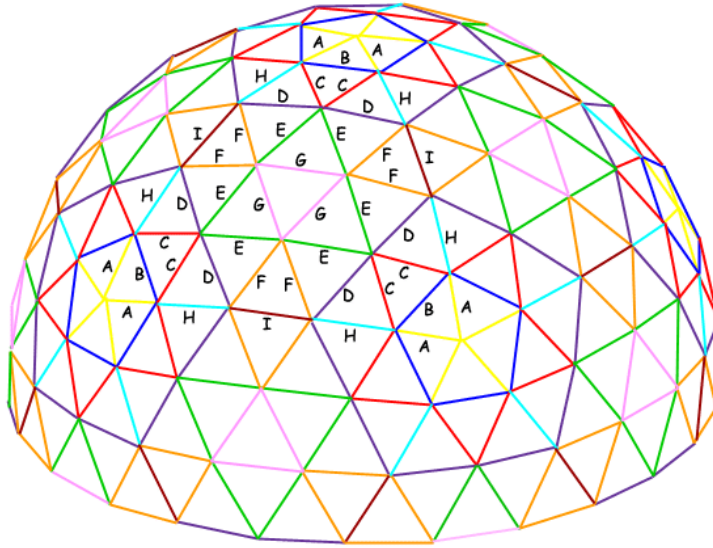
Strut	Length	3/8	5/8	Sphere
A	2.476	30	30	60
B	2.897	30	30	60
C	2.821	60	60	120
D	3.090	60	70	120
E	3.189	50	70	120
F	3.063	50	80	120
G	3.269	30	35	60
H	2.894	30	30	60
I	3.066	10	20	30
4-way connectors		25	25	0
5-way connectors		6	6	12
6-way connectors		95	120	??



### DESPIECE DE LAS FAMILIAS DE BARRAS EN CADA TRIANGULO ESFÉRICO DEL DOMO GEODÉSICO

Fuente: <http://www.desertdomes.com/dome3calc.html>

La herramienta: <http://www.desertdomes.com/domecalc.html> proporciona los datos por medio de su calculadora. Estos datos como se ha recalado no proporcionan un análisis estructural del modelo, por lo que prácticamente sirven como una perspectiva general preliminar para visualizar el domo geodésico en cuanto a despiece y ensamblado. Como puede observarse, con 9 familias de barras diferentes se puede ensamblar el domo propuesto y enseguida se muestra el ensamblaje del mismo, mostrando con color distinto cada familia de barras:



ENSAMBLAJE DEL DOMO.

FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM/PICTURES/DOME/3VDIAGRAM2.GIF](http://www.desertdomes.com/pictures/dome/3vdiagram2.gif)

### 3.3.- MATERIALES

Anteriormente se habían mencionado los diferentes materiales que se pueden utilizar en la construcción de un domo geodésico en general, tanto en barras o elementos estructurales sin olvidar el recubrimiento exterior, así que tomando en cuenta estructuras ya construidas de las mismas características, el material que se utilizará para las barras estructurales del domo será acero A-36, Y A-325 para los tornillos en conexiones, considerando la facilidad de fabricación, manejo y montaje.

#### 3.3.1.- PERFILES EN LAS BARRAS

Existen diferentes perfiles de acero comerciales en nuestro país con los que se pueden construir los domos geodésicos o cualquier otro tipo de estructuras, pero para este caso se hará uso de perfiles tubulares de pared delgada, tubos Conduit Galvanizados, ya que este material es muy ligero y esto hará que la estructura sea ligera con respecto a su tamaño. En la siguiente figura se muestran las especificaciones técnicas de tubería galvanizada:

Cédula	Diámetro nominal		Diámetro exterior		Espesor		Peso ext. liso		Peso por tubo (kg.)	
	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	kg./m.	lb./pie	Ext. liso	Con Rosca
40	1/2	12.70	0.840	21.34	0.109	2.77	1.27	0.85	8.13	8.20
	3/4	19.05	1.050	26.67	0.113	2.87	1.68	1.13	10.82	10.92
	1	25.40	1.315	33.40	0.133	3.38	2.50	1.68	16.00	16.16
	1 1/4	31.75	1.660	42.16	0.14	3.56	3.38	2.27	21.70	21.90
	1 1/2	38.10	1.900	48.26	0.145	3.68	4.05	2.72	25.92	26.20
	2	50.80	2.375	60.33	0.154	3.91	5.43	3.65	34.82	35.28
	2 1/2	63.50	2.875	73.03	0.203	5.16	8.62	5.79	55.23	56.28
	3	76.20	3.500	88.90	0.216	5.49	11.28	7.58	72.26	73.78
	4	101.60	4.500	114.30	0.257	6.02	16.06	10.79	102.85	104.82
	80	1/2	12.70	0.840	21.34	0.147	3.73	1.62	1.09	10.57
3/4		19.05	1.050	26.67	0.154	3.91	2.19	1.47	14.08	14.12
1		25.40	1.315	33.40	0.179	4.55	3.23	2.17	20.74	20.90
1 1/4		31.75	1.660	42.16	0.191	4.85	4.46	3.00	28.61	28.81
1 1/2		38.10	1.900	48.26	0.200	5.08	5.40	3.63	34.62	34.90
2		50.80	2.375	60.33	0.218	5.54	7.47	5.02	47.87	48.34
2 1/2		63.50	2.875	73.03	0.260	6.06	6.91	4.64	44.23	45.35
3		76.20	3.500	88.90	0.270	6.32	9.00	6.05	57.66	59.19
4		101.60	4.500	114.30	0.288	6.78	12.89	8.66	82.62	84.48

FUENTE: CATÁLOGO DE PRODUCTOS ACEROMEX

Designación	Diámetro exterior	Espesor nominal	Peso teórico	Presión de prueba		Propiedades			
				Grado A	Grado B	Área	I	W	i
Diámetro nominal	D	e	P	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
Pulgadas	mm	mm	kg/m						
1/2"	21,3	2,77	1,27	49,2	49,2	1,61	0,71	0,66	0,66
3/4"	26,7	2,87	1,69	49,2	49,2	2,15	1,55	1,16	0,85
1"	33,4	3,38	2,50	49,2	49,2	3,19	3,64	2,18	1,07
1 1/4"	42,2	3,56	3,39	84,4	91,4	4,32	8,13	3,85	1,37
1 1/2"	48,3	3,68	4,05	84,4	91,4	5,16	12,93	5,35	1,58
2"	60,3	3,91	5,44	161,7	175,8	6,93	27,66	9,18	2,00
2 1/2"	73,0	5,16	8,63	175,8	175,8	11,00	63,63	17,43	2,41
3"	88,9	5,49	11,29	156,1	175,8	14,39	125,65	28,27	2,96
4"	114,3	6,02	16,07	133,6	155,4	20,48	301,05	52,68	3,83
6"	168,3	7,11	28,26	106,9	125,1	36,00	1171,62	139,23	5,70
6"	168,3	5,00	20,14	75,2	87,9	25,65	855,84	108,13	5,78
6"	168,3	6,00	24,02	90,2	105,2	29,46	1008,69	119,87	5,85

FUENTE: CATÁLOGO DE PRODUCTOS CINTAC  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TUBERÍA GALVANIZADA

Este tipo de barra o elemento estructural de acero, le brindara a la estructura geodésica una relación de peso propio muy baja sin afectar su resistencia estructural ante las fuerzas o cargas de operación.



TUBO GALVANIZADO DE PARED DELGADA  
FUENTE: CATÁLOGO DE PRODUCTOS CINTAC

### 3.3.2.- TORNILLERÍA

Un domo geodésico está compuesto por nodos o conexiones las cuales deben ser diseñadas para un buen funcionamiento estructural. Estas conexiones harán que la estructura trabaje como una articulación donde solamente aparecerán fuerzas cortantes en las uniones que deberán de ser revisadas. Para el montaje de la estructura se necesitará de tornillos estructurales para ensamblar cada barra del domo geodésico, para que este trabaje en conjunto.

Así que, para conectar todas las uniones de cada perfil usaremos tornillos estructurales de alta resistencia A 325 que resistirán la fuerza cortante que se produzca en cada nodo de la estructura.

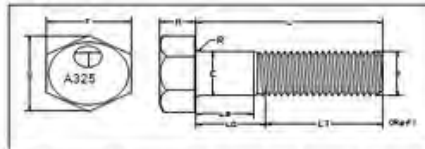
Las Características de los tornillos estructurales A325 se muestran en la figura siguiente:

#### TORNILLOS A-325 TIPO 1

Resumen de la norma solo para Información en General

##### 1.- Dimensiones

Norma ANSI B18.2.6 TORNILLOS ESTRUCTURALES



Medida Nominal	E Diam Cuerpo		F Distancia entre caras				G Distancia entre esquinas		H Altura			R Radio bajo cabeza		Lt Largo Cuerda
	Max	Basico	Max	min	Max	Min	Basico	Max	Min	Max	Min	Basico		
1/2	0.500	0.515	7/8	0.875	0.850	1.010	0.969	5/16	0.323	0.302	0.031	0.009	1.00	
5/8	0.625	0.642	1 1/16	1.062	1.031	1.227	1.175	25/64	0.403	0.378	0.062	0.021	1.25	
3/4	0.750	0.768	1 1/4	1.250	1.212	1.443	1.383	15/32	0.483	0.455	0.062	0.021	1.38	
7/8	0.875	0.895	1 7/16	1.438	1.394	1.660	1.589	35/64	0.563	0.531	0.062	0.031	1.50	
1	1.000	1.022	1 5/8	1.625	1.575	1.876	1.796	39/64	0.627	0.591	0.093	0.062	1.75	
1 1/8	1.125	1.149	1 13/16	1.812	1.756	2.093	2.002	11/16	0.718	0.658	0.093	0.062	2.00	
1 1/4	1.250	1.277	2	2.000	1.938	2.309	2.209	25/32	0.813	0.749	0.093	0.062	2.00	
1 3/8	1.375	1.404	2 3/16	2.188	2.119	2.526	2.416	27/32	0.878	0.810	0.093	0.062	2.25	
1 1/2	1.500	1.531	2 3/8	2.375	2.300	2.742	2.622	15/16	0.974	0.902	0.093	0.062	2.25	

##### 2.- Composición Química

Carbon 0.30-0.52  
Manganeso Min 0.60

Fosforo Max 0.040

Azufre Max 0.050

Silicio 0.15-0.30

##### 3.- Requisitos de Dureza

Diam del Tilo	Largo del lilo	Rockwell C	
		Min	Max
1/2 a 1 " Inclusive	Menos de 2 Diámetros	25	34
	Más de 2 Diámetros		34
1 1/8 a 1-1/2 Inclusive	Menos de 3 Diámetros	19	30
	Más de 3 Diámetros		30

##### 4.- Requisitos de tensión

Resistencia a la Tensión para Diámetros de 1/2 a 1" Inclusive 120,000 psi Mínimo

Resistencia a la Tensión para Diámetros de 1 1/8 a 1 1/2 Inclusive 105,000 psi Mínimo

Tamaño de Tornillo	Hilos por Pulgada	Area de Esf. pulg2	Resistencia a la Tensión lbf
			Min
1/2	13 UNC	0.142	17,050
5/8	11 UNC	0.226	27,100
3/4	10 UNC	0.334	40,100
7/8	9 UNC	0.462	55,450
1	8 UNC	0.606	72,700
1 1/8	8 UNC	0.79	82,950
1 1/4	8 UNC	1	105,000
1 3/8	8 UNC	1.233	129,500
1 1/2	8 UNC	1.492	156,700

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TORNILLOS ESTRUCTURALES  
FUENTE: CATÁLOGO DE PRODUCTOS TORMEX

### **3.4.- CARGAS A CONSIDERAR**

En este apartado se deberán tomar en cuenta los diferentes tipos de cargas a los que estará expuesta la estructura, ya que es importante conocer estos datos para hacer un adecuado diseño estructural. Al hacer un correcto análisis de cargas a considerar, estamos garantizado la seguridad de la construcción al satisfacer los lineamientos que establece el reglamento que se tome como base normativa.

#### **3.4.1 NORMATIVIDAD**

Con el uso de las normas correspondientes y un buen criterio estructural como diseñador, se puede garantizar la seguridad estructural de cualquier estructura, ya sea un puente, un edificio, nave industrial, etc... solo basta seguir los lineamientos de los requisitos mínimos de seguridad y servicio establecidos en el Reglamento que se esté aplicando.

Para este caso se usarán las *Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones Para El Diseño Estructural De Las Edificaciones, del Reglamento de Construcciones para el D.F. de 2004* vigente.

En estas Normas se pueden consultar los tipos de cargas permanentes y variables que actuarán en las estructuras de acuerdo a la importancia, al uso de la construcción y de los materiales a considerar.

Finalmente esta normatividad ayudará a establecer las combinaciones de acciones o cargas que tengan una probabilidad no despreciable de presentarse durante la vida útil de la estructura y los requisitos de seguridad y servicio previstos por dichas Normas deben verificarse para la combinación de carga más desfavorable en condiciones de operación.

#### **3.4.2 CASOS DE CARGA CONSIDERADOS**

Para definir el tipo de cargas que actuaran sobre la estructura se tendrán que clasificar de acuerdo a la duración que tendrán sobre el tipo de estructura a proyectar. En este proyecto se consideraron los siguientes 5 casos de carga:

- Carga muerta
- Carga viva
- Sismo
- Viento
- Temperatura.

Las acciones sobre las estructuras se pueden clasificar en:

- Acciones permanentes: estas cargas actuarán de forma continua sobre la estructura y que con el paso del tiempo su variación será baja. Un ejemplo de acciones permanentes es la carga muerta de la estructura.
- Acciones variables: la forma en que actúan este tipo de cargas no será de forma permanente por lo que varían significativamente con el tiempo. Unos ejemplos de acciones variables son la carga viva de la estructura y los efectos de temperatura.
- Acciones accidentales: estas cargas son consideradas solo por un lapso breve de tiempo debido a un evento extraordinario que afectará a la estructura como por ejemplo, efectos del viento y acciones sísmicas

Para este proyecto se definirán los tipos de cargas que actuarán sobre el domo geodésico para cumplir con un diseño estructural que garantice la seguridad de la estructura de acuerdo a los lineamientos establecidos por la normatividad.

#### **3.4.2.1.-CASO DE CARGA MUERTA**

En base a la normatividad vigente, se considera carga muerta a los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados, de las instalaciones y de todos los elementos que ocuparan un lugar permanente sobre la estructura.

Para llevar a cabo el cálculo de la carga muerta de cualquier estructura se deben conocer las dimensiones de los elementos constructivos así como los pesos unitarios de los materiales.

Para el caso del domo geodésico a diseñar se considerará como carga muerta lo siguiente:

- Peso Propio de la estructura: para conocer el peso propio de la estructura, basta conocer los pesos de cada barra estructural y hacer una sumatoria de acuerdo al número de barras a utilizar.
- Peso del recubrimiento: para saber cuál será el peso del recubrimiento basta conocer el volumen del material a utilizar y multiplicarlo por su peso volumétrico. Ya que se planteó utilizar una lona tensada como material de

recubrimiento basta conocer el peso por metro cuadrado de lona y multiplicarlo por el área total a utilizar.

- Instalaciones: se debe conocer el peso volumétrico de los materiales que constituirán las instalaciones eléctricas o cualquier otro tipo de instalación y la longitud que tendrá cada una de estas. Para el caso de las instalaciones se tomara un valor de 5 kg/m<sup>2</sup> ya que no se proyectan instalaciones especiales dado el carácter temporal del domo.

La sumatoria del peso propio de la estructura, los pesos de recubrimiento y de las instalaciones darán como resultado la carga muerta de la cúpula.

Peso barras de la retícula	21.20 kg/m <sup>2</sup>
Peso de la cubierta de lona	320.0 g/m <sup>2</sup>
Peso de instalaciones	5.0 kg/m <sup>2</sup>
C. Muerta total, C.M.=	26.52 kg/m <sup>2</sup>

### 3.4.2.2.-CASO DE CARGA VIVA

En todas las estructuras, se consideran como cargas vivas a aquellas que se producen como consecuencia del uso y ocupación de las mismas. Este tipo de fuerzas no se consideran permanentes ya que presentan una variación con el tiempo. Para calcular la carga viva sobre una edificación, la normatividad vigente utilizada en este apartado (Reglamento de Construcciones Del Distrito Federal) establece ciertos valores de acuerdo al uso que se le dará a la edificación como se muestra en la siguiente figura:

**Cargas vivas unitarias, kN/m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>)**

Destino de piso o cubierta	W	W <sub>a</sub>	W <sub>m</sub>
Azoteas con pendiente mayor de 5 %; otras cubiertas, cualquier pendiente.	0.05 (5)	0.2 (20)	0.4 (40)

CARGAS VIVAS UNITARIAS, KN/M<sup>2</sup> (KG/M<sup>2</sup>)  
FUENTE: NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS SOBRE CRITERIOS Y ACCIONES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES



En este caso tratándose de un domo geodésico, la carga viva que le corresponderá de acuerdo será del tipo: “Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5%”, con los siguientes valores.

Carga media ( $W$ )	5 kg/m <sup>2</sup>
Carga instantánea ( $W_a$ )	20 kg/m <sup>2</sup>
Carga viva máxima ( $W_m$ )	40 kg/m <sup>2</sup>

Para poder entender un poco más sobre las cargas vivas aplicadas sobre la estructura, la normatividad vigente (NTC 2004) define unas reglas para cada concepto de carga viva que se definen a continuación:

**Carga viva máxima ( $W_m$ ):** se deberá emplear para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como para el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales

**Carga instantánea ( $W_a$ ):** se deberá usar para diseño sísmico y por viento y cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área;

**Carga media ( $W$ ):** se deberá emplear en el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas

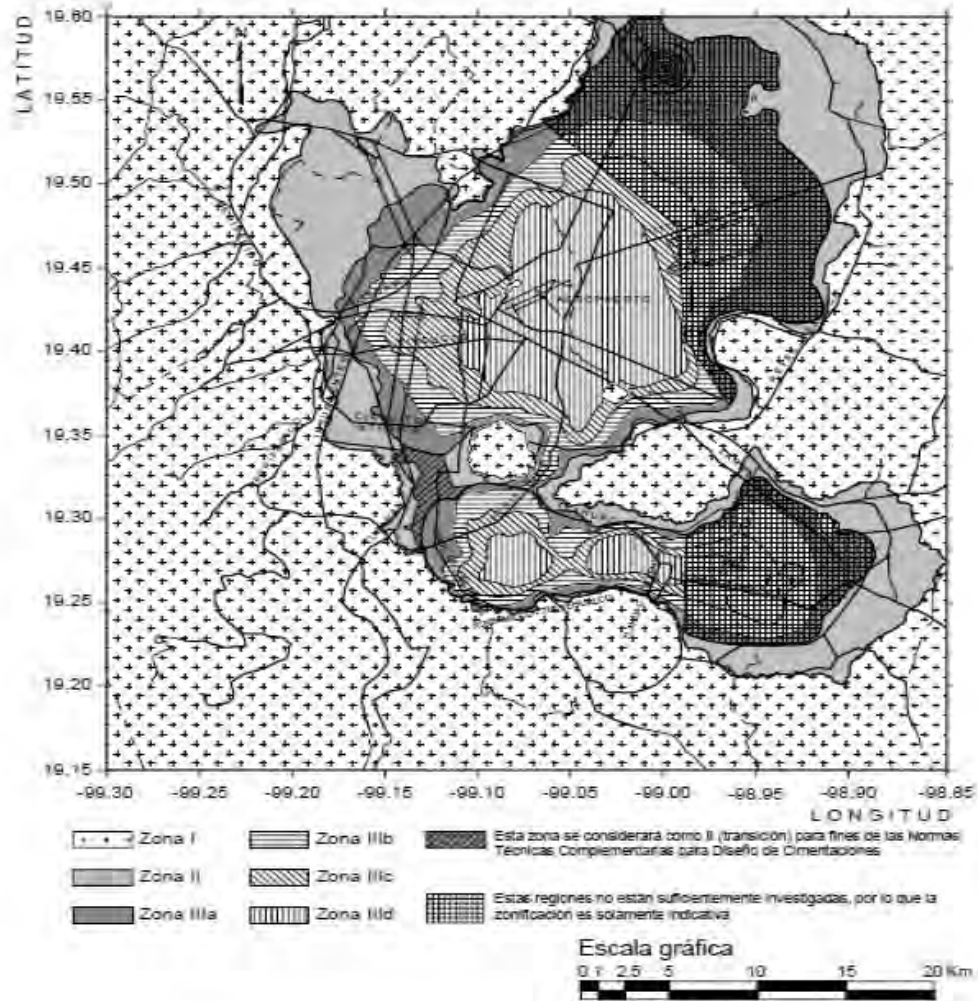
### 3.4.2.3.-CASO DE CARGA ACCIDENTAL POR SISMO

Para garantizar un adecuado diseño estructural y la seguridad de la edificación se deben considerar acciones sísmicas, las cuales se determinaran con la ayuda de los lineamientos que establecen las *Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Sismo del Reglamento de Construcciones para el D.F.* vigente.

En este proyecto se supondrá una ubicación arbitraria para la construcción de la cúpula Geodésica en el Distrito Federal, que corresponda con la zona IIIb de la zonificación geotécnica del D.F., a la que se le asigna el coeficiente sísmico más alto en el R.C.D.F. por asociarse a la microzona donde los sismos de 1985 causaron mayores daños.

En la siguiente figura se muestra la zonificación geotécnica para fines de análisis por sismo contenida en las Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por

Sismo del R.C.D.F. vigente, donde se podrán obtener los datos necesarios para el análisis estructural



Zona	$c$	$a_0$	$T_a^1$	$T_b^1$	$r$
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1.0
II	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33
III <sub>a</sub>	0.40	0.10	0.53	1.8	2.0
III <sub>b</sub>	0.45	0.11	0.85	3.0	2.0
III <sub>c</sub>	0.40	0.10	1.25	4.2	2.0
III <sub>d</sub>	0.30	0.10	0.85	4.2	2.0

<sup>1</sup> Periodos en segundos

ZONIFICACIÓN DEL D.F. PARA FINES DE ANÁLISIS POR SISMO

Es necesario hacer una clasificación de la estructura para definir los parámetros para análisis por sismo como son:

**Según su ubicación: zona IIIb**, de la zonificación geotécnica del D.F.

**Según su estructuración. Tipo 1**

**Según su importancia: Grupo B** (por Albergar a un gran número de personas, le correspondería Grupo A, por ser de carácter temporal puede considerarse como perteneciente al Grupo B)

**Coefficiente sísmico:  $C_s=0.45$** , por estar dentro de la zona IIIb. (El coeficiente sísmico,  $c$ , es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo,  $V_o$ , entre el peso de la edificación sobre dicho nivel,  $W_o$ .)

**Factor de comportamiento sísmico:  $Q=2$**  (Se usará  $Q=2$  cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, por marcos de acero con ductilidad reducida o provistos de contraventeo con ductilidad normal)

**Coefficiente sísmico reducido:  $C_s'=0.45/2=0.225$**

**Factor de corrección por irregularidad=  $F_I= 1.0$** . Se considera estructura regular ya que es una estructura semi-esférica que debe cumplir con ciertos lineamientos para considerarla cúpula geodésica y su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas y elementos resistentes.

Como en este trabajo se aplicará el análisis dinámico modal que especifica las normatividad, se adoptará como ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico,  $a$ , expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, la que se estipula a continuación:

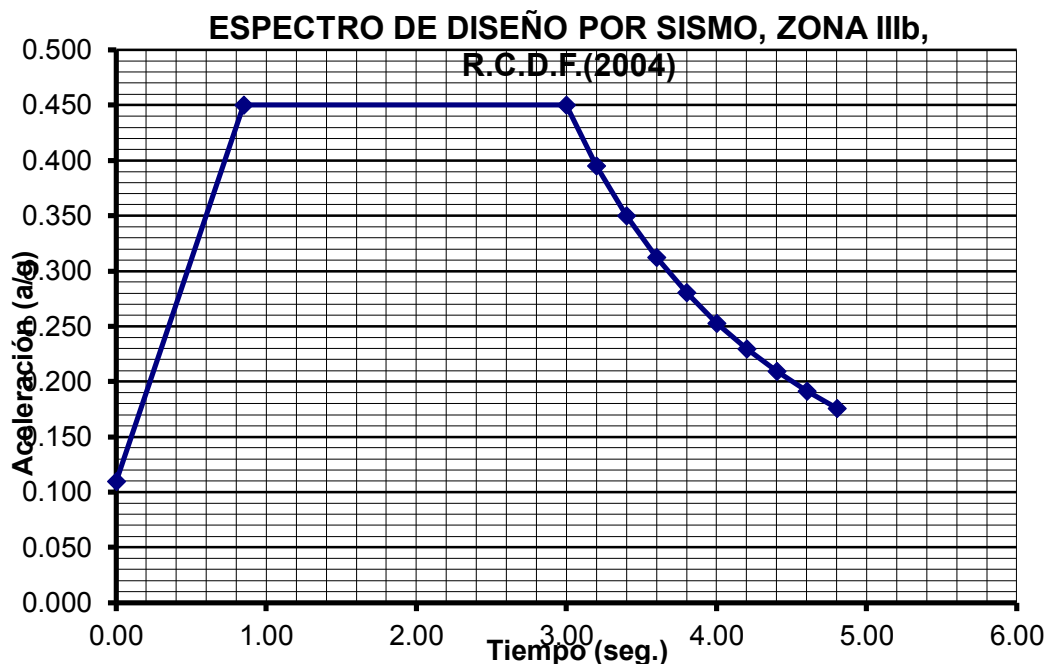
$$a = a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a} ; \quad \text{si } T < T_a$$
$$a = c ; \quad \text{si } T_a \leq T \leq T_b$$
$$a = qc ; \quad \text{si } T > T_b$$

Dónde:  $q = (T_b/T)^r$

Con estos lineamientos se puede realizar con la ayuda de una hoja de cálculo en Excel una tabulación para poder obtener la gráfica del Espectro de diseño que regirá a la estructura.

ZONA	IIIb					
c	ao	Ta	Tb	r	F.I	Q
0.45	0.11	0.85	3	2	1	2
T (SEG)	a	Q'	Q''	Q final	a Final	
0	0.11	1	1	1	0.11	
0.1	0.15	1.117647059	1.117647059	1.117647059	0.134210526	
0.2	0.19	1.235294118	1.235294118	1.235294118	0.153809524	
0.3	0.23	1.352941176	1.352941176	1.352941176	0.17	
0.4	0.27	1.470588235	1.470588235	1.470588235	0.1836	
0.5	0.31	1.588235294	1.588235294	1.588235294	0.195185185	
0.6	0.35	1.705882353	1.705882353	1.705882353	0.205172414	
0.7	0.39	1.823529412	1.823529412	1.823529412	0.213870968	
0.8	0.43	1.941176471	1.941176471	1.941176471	0.221515152	
0.85	0.45	2	2	2	0.225	
3	0.45	2	2	2	0.225	
3.1	0.421436004	2	2	2	0.210718002	
3.2	0.395507813	2	2	2	0.197753906	
3.3	0.371900826	2	2	2	0.185950413	
3.4	0.350346021	2	2	2	0.17517301	
3.5	0.330612245	2	2	2	0.165306122	
3.6	0.3125	2	2	2	0.15625	
3.7	0.295836377	2	2	2	0.147918188	
3.8	0.280470914	2	2	2	0.140235457	
3.9	0.266272189	2	2	2	0.133136095	
4	0.253125	2	2	2	0.1265625	
4.1	0.240928019	2	2	2	0.12046401	
4.2	0.229591837	2	2	2	0.114795918	
4.3	0.219037317	2	2	2	0.109518659	
4.4	0.209194215	2	2	2	0.104597107	
4.5	0.2	2	2	2	0.1	
4.6	0.191398866	2	2	2	0.095699433	
4.7	0.183340878	2	2	2	0.091670439	
4.8	0.17578125	2	2	2	0.087890625	
4.9	0.168679717	2	2	2	0.084339858	
5	0.162	2	2	2	0.081	

PARÁMETROS DEL ESPECTRO DE DISEÑO PARA ANÁLISIS POR SISMO  
 FUENTE: NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR SISMO, R.C.D.F



**Cs=0.45, a<sub>0</sub>=0.11, Ta=0.85 seg., Tb=3.0 seg., r=2**

Rama ascendente:  $a = a_0 + (c - a_0)T / T_a$  ; si  $T < T_a$   
 Meseta horizontal:  $a = c$  ; si  $T$  está entre  $T_a$  y  $T_b$   
 Rama descendente:  $a = qc$  ; si  $T$  excede de  $T_b$   
 $q = (T_b / T)^r$

Con los parámetros del espectro de diseño por sismo definido, se introducen como datos de entrada para el programa SAP2000 para efectuar un análisis dinámico modal espectral, como se muestra posteriormente en este trabajo.

#### **3.4.2.4.-CASO DE CARGA ACCIDENTAL POR VIENTO**

Tal como en el caso de acciones sísmicas, se debe verificar un análisis estructural ante el efecto de las fuerzas que se generan por las presiones (empujes o succiones) producidas por el viento sobre las superficies e la construcción expuestas al mismo y que son transmitidas al sistema estructural. La revisión deberá considerar la acción estática del viento y la dinámica cuando la estructura sea sensible a estos efectos. Estas cargas denominadas presiones de viento se calcularán de acuerdo a los lineamientos que establecen las *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento del R.C.D.F. de 2004*.

Para fines de diseño por viento y de acuerdo con la naturaleza de los principales efectos que el viento puede ocasionar en ellas, las estructuras se clasifican en cuatro tipos:

- a. *Tipo 1. Comprende las estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos de viento. Incluye las construcciones cerradas techadas con sistemas de cubierta rígidos; es decir, que sean capaces de resistir las cargas debidas a viento sin que varíe esencialmente su geometría.*
- b. *Tipo 2. Comprende las estructuras cuya esbeltez o dimensiones reducidas de su sección transversal las hace especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración, y cuyos periodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes.*
- c. *Tipo 3. Son de este tipo las estructuras o componentes aproximadamente cilíndricos, tales como tuberías, chimeneas y edificios con planta circular.*
- d. *Tipo 4. Comprende las estructuras que por su forma o por lo largo de sus periodos de vibración presentan problemas aerodinámicos especiales. Entre ellas se hallan las cubiertas colgantes,*

En el diseño de estructuras sometidas a la acción de viento se tomarán en cuenta aquellos de los efectos siguientes que puedan ser importantes en cada caso:

- a) *Empujes y succiones estáticos*
- b) *Fuerzas dinámicas paralelas y transversales al flujo principal, causadas por turbulencia*
- c) *Vibraciones transversales al flujo causadas por vórtices alternantes; y*
- d) *Inestabilidad aeroelástica.*

Para este trabajo considerando que se tiene una estructura con planta circular, (**Tipo 3**) deberán incluirse los efectos estáticos y los dinámicos causados por turbulencia, pero además deberá revisarse su capacidad para resistir los efectos dinámicos de los vórtices alternantes. Para poder lograr este objetivo se usará la normatividad vigente.

Para iniciar con el método estático para diseño por viento e importante definir los parámetros para análisis por viento, los cuales son:

- VELOCIDAD DE DISEÑO

$$V_D = F_{TR} F_\alpha V_R$$

Dónde:

$F_{TR}$  = factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante

$F_{\alpha}$  = factor que toma en cuenta la variación de velocidad con la altura

$V_R$  = velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura

Para calcular la velocidad de diseño primero se deben obtener los valores de  $F_{TR}$ ,  $F_{\alpha}$ ,  $V_R$ , especificados en las normas correspondientes.

- VELOCIDAD REGIONAL, ( $V_R$ )

La velocidad regional se define como la velocidad máxima que ejerce el viento a una cierta altura sobre el desplante de la estructura, de acuerdo al sitio de construcción. Para obtener este valor, las Normas utilizadas presentan una zonificación eólica del Distrito Federal de acuerdo a la importancia de la construcción y su periodo de retorno en años tal como se muestra a continuación:

Periodo de retorno, años	Importancia de la construcción		
	A	B	Temporal
200	50	10	
Zona I: Delegaciones de Alvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, G.A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza	39	36	31
Zona II: Delegaciones de Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco	35	32	28

VELOCIDADES REGIONALES,  $V_R$ , SEGÚN LA IMPORTANCIA DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA ZONIFICACIÓN EÓLICA, M/S  
FUENTE: NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR VIENTO

Como ya se había definido previamente el sitio de construcción del domo geodésico, en la Delegación Cuauhtémoc, el valor de la velocidad regional se tomará de 31 m/s debido a ser una estructura temporal, por lo tanto:

$$V_R = 31 \text{ m/s}$$

• FACTOR DE VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD CON LA ALTURA ( $F_\alpha$ )

Este factor establece la variación de la velocidad del viento con respecto a la altura sobre el terreno, siendo constante hasta 10.0 m. de altura. Por lo tanto los parámetros especificados por la normatividad vigente son los siguientes:

$$F_\alpha = 1.0; \text{ si } Z \leq 10 \text{ m}$$

$$F_\alpha = (Z/10)^\alpha \text{ si } 10\text{m} < Z < \delta$$

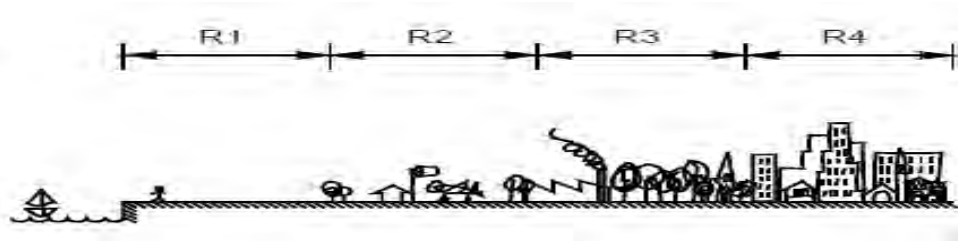
$$F_\alpha = (\delta/10)^\alpha \text{ si } Z > \delta$$

Dónde:

$\delta$  = altura gradiente, medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación en la velocidad del viento no es importante y se puede suponer constante, dada en metros

$\alpha$  = exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura.

Estos coeficientes “ $\delta$  y  $\alpha$ ” son valores obtenidos por diferentes experimentos y están en función de la rugosidad del terreno y son encontrados en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento del R.C.D.F. de 2004.



Tipos de terreno		$\alpha$	$\delta$ , m
R1	Escasas o nulas obstrucciones al flujo de viento, como en campo abierto	0.099	245
R2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	0.128	315
R3	Zona típica urbana y suburbana. El sitio está rodeado predominantemente por construcciones de mediana y baja altura o por áreas arboladas y no se cumplen las condiciones del Tipo R4	0.156	390
R4	Zona de gran densidad de edificios altos. Por lo menos la mitad de las edificaciones que se encuentran en un radio de 500 m alrededor de la estructura en estudio tiene altura superior a 20 m	0.170	455

RUGOSIDAD DEL TERRENO,  $\delta$  y  $\alpha$

FUENTE: NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR VIENTO

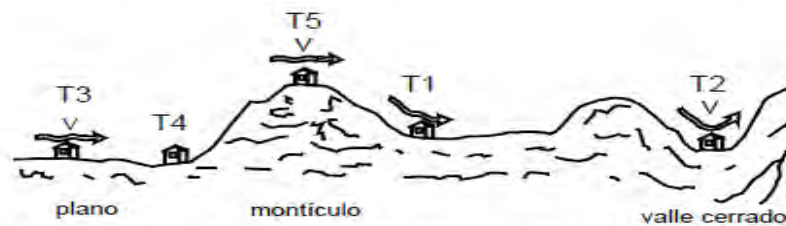


Por lo tanto como la ubicación de desplante de la estructura será la Delegación Cuauhtémoc se puede definir como una zona de gran densidad de edificios por ser una zona céntrica, por lo que tomara el tipo "R4" y los valores de:

$$\alpha = 0.170$$

$$\delta = 455 \text{ m}$$

- FACTOR CORRECTIVO POR TOPOGRAFÍA Y RUGOSIDAD,  $F_{TR}$



*Formas topográficas locales*

Tipos de topografía	Rugosidad de terrenos en alrededores		
	Terreno tipo R2	Terreno tipo R3	Terreno tipo R4
T1 Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento	0.80	0.70	0.66
T2 Valles cerrados	0.90	0.79	0.74
T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5 % (normal)	1.00	0.88	0.82
T4 Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10 %	1.10	0.97	0.90
T5 Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10 %, cañadas o valles cerrados	1.20	1.06	0.98

FACTOR CORRECTIVO POR TOPOGRAFÍA Y RUGOSIDAD

FUENTE: NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR VIENTO

Se puede considerar terreno con topografía  $T_3$  y rugosidad  $R_4$ , con lo cual el factor correctivo por topografía y rugosidad queda:

$$F_{TR} = 0.82$$

- OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

$$V_D = F_{TR} F_\alpha V_R$$

A continuación se obtiene la velocidad de diseño de 0 a 10.0 m. y de 10 a 15.0 m. a cada 50 cm. de altura considerando los parámetros definidos anteriormente y con la ayuda de una hoja de cálculo en Excel.

$$F_{TR} = 0.82, V_R=31 \text{ m/seg.}, F_{\alpha} = 1.0; \text{ si } Z \leq 10 \text{ m}, F_{\alpha} = (Z/10)^{\alpha} \text{ si } 10\text{m} < Z < \delta, F_{\alpha} = (\delta/10)^{\alpha} \text{ si } Z > \delta$$

$\delta$ (m)	$\alpha$	Z (m)	$F_{\alpha}$	$V_R$	$F_{TR}$	$V_D$
455	0.17	1.00	1	31	0.82	25.42
455	0.17	10.00	1	31	0.82	25.42
455	0.17	10.50	1.01	31	0.82	25.63
455	0.17	11.00	1.02	31	0.82	25.84
455	0.17	11.50	1.02	31	0.82	26.03
455	0.17	12.00	1.03	31	0.82	26.22
455	0.17	12.50	1.04	31	0.82	26.40
455	0.17	13.00	1.05	31	0.82	26.58
455	0.17	13.50	1.05	31	0.82	26.75
455	0.17	14.00	1.06	31	0.82	26.92
455	0.17	14.50	1.07	31	0.82	27.08
455	0.17	15.00	1.07	31	0.82	27.23

Con esta tabla, más adelante definiendo la altura “z” que tendrá el domo geodésico a diseñar, se podrá obtener la Velocidad de diseño correspondiente.

- **OBTENCIÓN DE LA PRESIÓN DE DISEÑO**

La presión que ejerce el flujo del viento sobre una construcción determinada,  $p_z$ , en (kg/ m<sup>2</sup>), se obtiene tomando en cuenta su forma y está dada de manera general por la siguiente expresión:

$$p_z = 0.47 C_p V_D^2$$

Dónde:

$C_p$  = coeficiente local de presión que depende de la forma de la estructura

$V_D$  = velocidad de diseño a determinada altura

En este caso se deberá utilizar la velocidad de diseño previamente calculada de acuerdo a la altura “z” que tenga el domo geodésico proyectado.

- **COEFICIENTES DE PRESIÓN  $C_p$ .**

Cabe recalcar que ni en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño Por viento del R.C.D.F 2004, ni en el Manual de Diseño de Obras Civiles – Diseño por

Viento –CFE, se especifican los coeficientes de presión a considerar para cúpulas, por lo tanto por esta razón se tomaran los valores correspondientes a cubiertas en forma de arco, por considerar que una cúpula es una sucesión rotacional de arcos.

El tipo y forma de la estructura analizada en este trabajo se puede definir como una construcción cerrada con cubierta curva apoyada directamente sobre el suelo donde los valores del coeficiente  $C_p$  que definen las Normas Técnicas Para diseño por Viento son los siguientes::

*Coeficientes de presión  $C_p$  para cubiertas en arco*

Relación $r = a/d$	A	B	C
$r < 0.2$	-0.9	—	—
$0.2 < r < 0.3$	$3r - 1$	$-0.7 - r$	-0.5
$r > 0.3$	$1.42r$	—	—

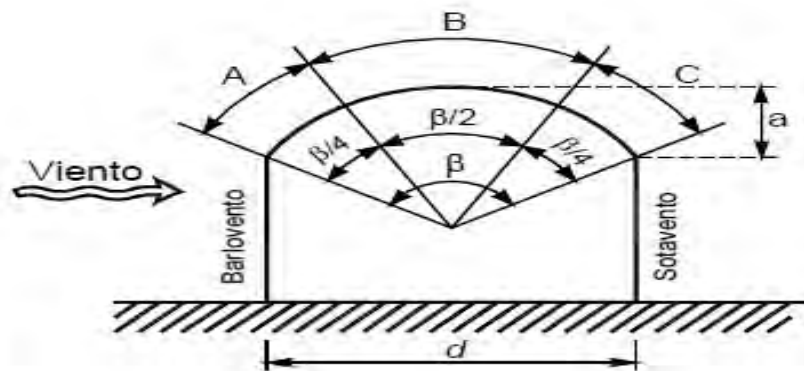


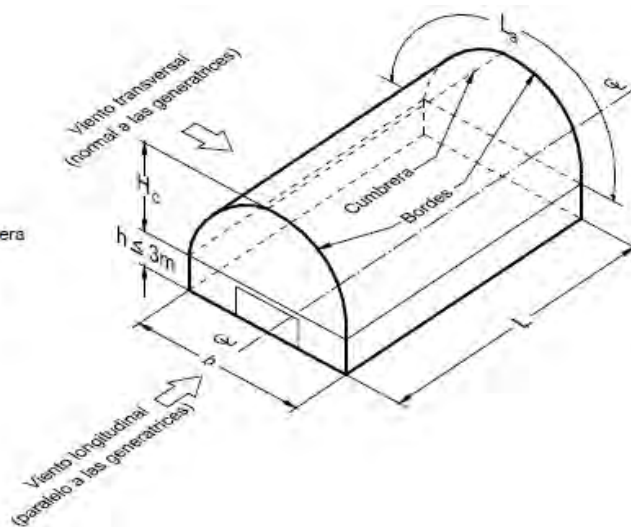
FIGURA: COEFICIENTES DE PRESIÓN  $C_p$  PARA CUBIERTAS EN ARCO  
 FUENTE: NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR VIENTO

Como bien se sabe, el domo geodésico a diseñar en este trabajo tiene un diámetro de 25 metros y una altura “z”, en este caso “a”, la cual se definirá más adelante al momento de realizar el modelo matemático del domo geodésico, por ahora se puede suponer  $a = 11.20$  m.

Partiendo de diferentes alturas se obtendrá una relación  $r = a/d$  que servirá para determinar los coeficientes en A, B, C, ayudando a determinar la presión de diseño en cada sección establecida por medio de la velocidad de diseño correspondiente.

Para cubiertas de arco apoyadas directamente sobre el suelo, las Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento definen que el coeficiente de presión sobre la zona A deberá tomarse igual a  $1.4r$ , para todo valor de  $r$ . Por otro lado las normas técnicas complementarias para diseño por viento no establecen los coeficientes de presión para la mitad central y la cuarta parte del sotavento por lo que es necesario recurrir al MDOC-CFE-VIENTO DEL 2008 donde se definen los siguientes coeficientes.

NOTAS:  
 $H_c$  se refiere a la altura de la cumbre como se muestra en la figura.  
 $L_a$  es la longitud del arco.  
 $L$  es la longitud de la cubierta.



Relación altura-claro $\lambda_c = H_c/b$	Zonas localizadas a lo largo de la nave	Coeficiente de presión exterior ( $C_{pe}$ )		
		Barlovento (B)	Zona central (C)	Sotavento (S)
$0.20 < \lambda_c < 0.35$	Extrema	0.33	-0.67	-0.42
	Intermedia	0.33	-0.38	-0.31
$0.35 \leq \lambda_c < 0.60$	Extrema	0.40	-0.54	-0.42
	Intermedia	0.40	-0.46	-0.35

COEFICIENTE DE PRESIÓN EXTERIOR PARA CONSTRUCCIONES CON CUBIERTA DE ARCO CIRCULAR. CFE- VIENTO 2008

A continuación se muestra una tabla que muestra la presión de diseño sobre la estructura hasta una altura de 15 metros con la velocidad de diseño correspondiente.

Z (m)	VD	a(m)	d	r = a/d	A	B	C	PRESIÓN	PRESIÓN	PRESIÓN
								EN A	EN B	EN C
1.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
2.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
3.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
4.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
5.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
6.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
7.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
8.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
9.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
10.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
10.50	25.632	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	193.669	-166.743	-129.689
11.00	25.835	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	196.756	-169.401	-131.756
11.50	26.031	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	199.753	-171.981	-133.763
12.00	26.220	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	202.664	-174.488	-135.713
12.50	26.403	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	205.496	-176.926	-137.609
13.00	26.579	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	208.255	-179.301	-139.457
13.50	26.751	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	210.945	-181.617	-141.258
14.00	26.916	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	213.569	-183.877	-143.015
14.50	27.077	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	216.133	-186.083	-144.732
15.00	27.234	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	218.638	-188.241	-146.410

En esta tabla se definen las presiones exteriores que ejerce el viento sobre la cúpula geodésica, por lo tanto, para aplicar las cargas sobre la estructura se considerara un área expuesta definida como la superficie expuesta al viento proyectada en un plano vertical.

## PRESIONES INTERIORES

Cuando las paredes de una construcción puedan tener aperturas que abarquen más del 30 por ciento de su superficie, deberán considerarse en el diseño de los elementos estructurales el efecto de presiones que se generan por la penetración el viento en el interior de la construcción. Estas presiones se consideraran actuando uniformemente en las partes interiores de las paredes y techo y se determinaran con la ecuación:

$$p_z = 0.47C_p VD^2$$

Teniendo esta ecuación, se tendrá que usar el Coeficiente  $C_p$  en función de la posición de las aberturas que puedan existir en las paredes de la construcción. Para este caso se consideraran las aberturas principalmente en la cara de barlovento usando el coeficiente de  $C_p = +0.33$ . (Valor obtenido del MDOC Diseño por Viento CFE 2008)

Altura (m)	Abertura en barlovento	Abertura en sotavento
$H_c \leq 3$	0.51	-0.17
$3 < H_c < 9$	$0.6 - 0.03 H_c$	$-0.19 + 0.0067 H_c$
$9 \leq H_c \leq 15$	0.33	-0.13

*PARAMETROS MDOC DISEÑO POR VIENTO CFE 2008*

Con ayuda de una hoja de cálculo en Excel se determinaran las presiones interiores

Z (m)	VD	a(m)	d	r =		PRESIÓN INTERIOR
				a/d	$C_p$	
1.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
2.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
3.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
4.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
5.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
6.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
7.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
8.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
9.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
10.00	25.420	11.20	25	0.448	0.3300	100.222
10.50	25.632	11.20	25	0.448	0.3300	101.898
11.00	25.835	11.20	25	0.448	0.3300	103.523
11.50	26.031	11.20	25	0.448	0.3300	105.099
12.00	26.220	11.20	25	0.448	0.3300	106.631
12.50	26.403	11.20	25	0.448	0.3300	108.122
13.00	26.579	11.20	25	0.448	0.3300	109.573
13.50	26.751	11.20	25	0.448	0.3300	110.988
14.00	26.916	11.20	25	0.448	0.3300	112.369
14.50	27.077	11.20	25	0.448	0.3300	113.718
15.00	27.234	11.20	25	0.448	0.3300	115.036

Estas cargas dependiendo de la altura de la estructura deberán sumarse a las presiones exteriores previamente calculadas, esto será posible con la herramienta SAP 2000 donde mas adelante se explicara como definir estas presiones estáticas dentro de la estructura.

## EMPUJES DINÁMICOS PARALELOS AL VIENTO

En construcciones pertenecientes a los tipos 2 y 3, los efectos estáticos y dinámicos debidos a la turbulencia se tomarán en cuenta multiplicando la presión de diseño calculada con la ecuación:

$$p_z = 0.47C_p VD^2$$

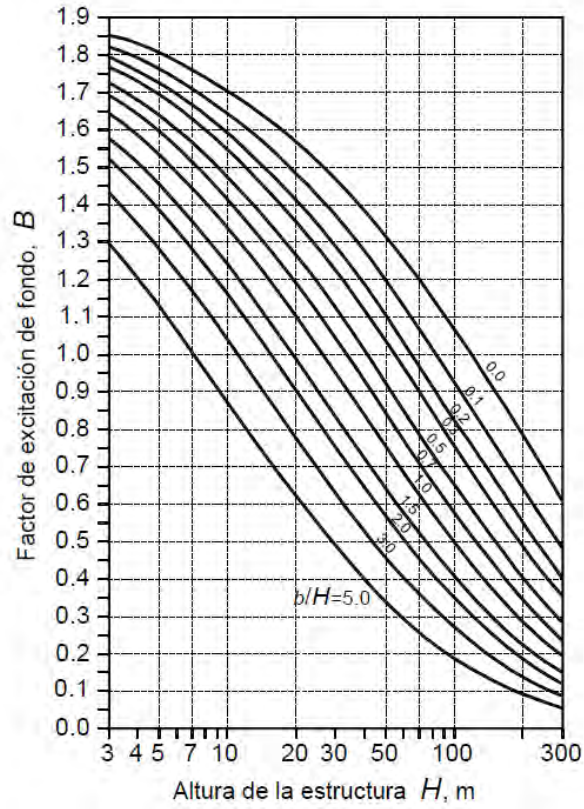
por un factor de amplificación dinámica determinado con la expresión:

$$G = 0.43 + g \sqrt{\frac{R}{C_e} \left( B + \frac{SF}{\beta} \right)} \geq 1$$

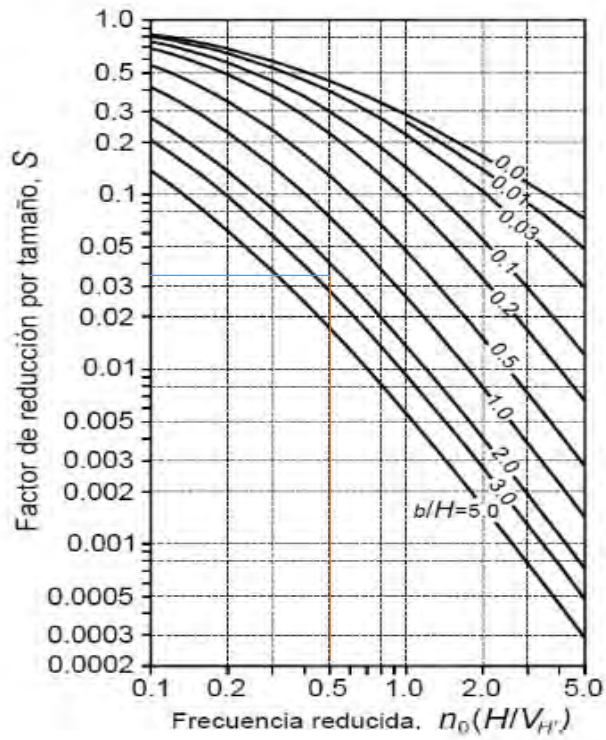
Donde:

- G = factor de amplificación dinámica
- g = factor de respuesta máxima
- R= factor de rugosidad
- Ce = factor correctivo por exposición
- B= factor por excitación de fondo
- S= factor reductivo por tamaño
- F= relación de energía en ráfaga
- $\beta$  = factor de amortiguamiento critico( 0.01)

Los valores como B, S, F y g se podrán obtener analíticamente o por medio de gráficas.

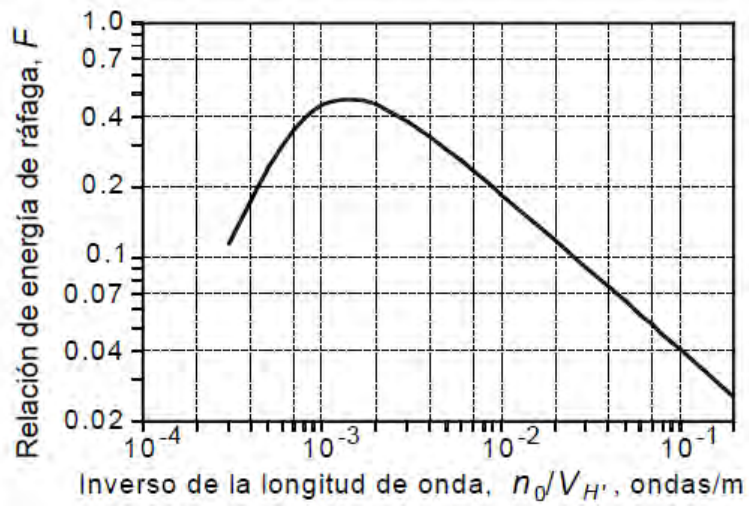


Parámetro B para calcular el factor de respuesta dinámica

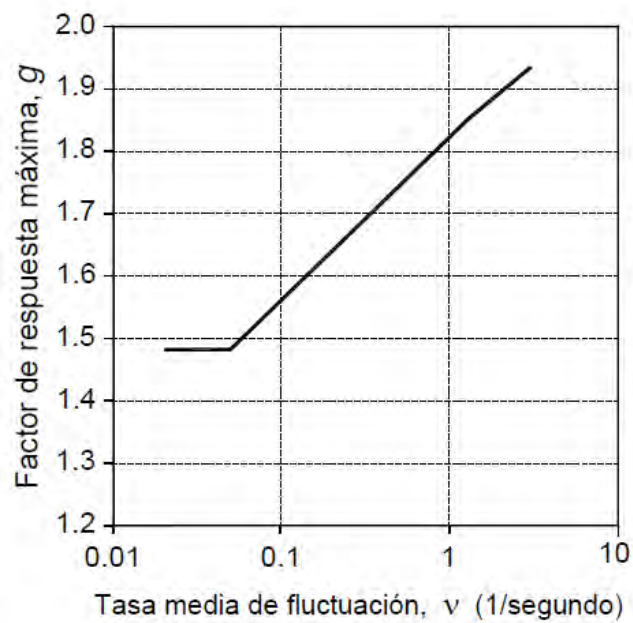


Parámetro S para calcular el factor de respuesta dinámica





Parámetro  $F$  para calcular el factor de respuesta dinámica



Parámetro  $g$  para calcular el factor de respuesta dinámica

H = altura de la estructura 11.20 m

b = dimensión de la base = 25 m

$$b/H = 25 / 11.20 = 2.23$$

R = coeficiente de exposición

Ce = factor correctivo que depende de la altura  $z = (z/a)^n$

Estos valores podrán determinarse con la ayuda de la normatividad vigente:

Exposición	R	a	n
R1	0.04	10	0.18
R2	0.08	10	0.28
R3	0.16	20	0.50
R4	0.34	33	0.72

Como ya se había definido un valor de R4 los valores que se tomaran son los siguientes:

**R = 0.34**

**a = 33**

**n = 0.72**

Por lo tanto

$$C_e = (z/a)^n = (11.20/33)^{0.72}$$

$$C_e = 0.459$$

Con este valor se podrá obtener:

$$V_H = V_r \sqrt{R C_e}$$

V<sub>H</sub> = Velocidad de diseño a la altura H (m/s)

V<sub>r</sub> = velocidad regional = 31 m/s

R = 0.34

C<sub>e</sub> = 0.459

$$V_H = V_r \sqrt{R C_e} = 31 \sqrt{0.34 * 0.459} = 12.25$$

Con estos valores se podrán obtener los siguientes parámetros:

- Usando la gráfica “Parámetro B’ para calcular el factor de respuesta dinámica” teniendo como  $H = 11.20$  y  $b/H = 2.20$ , se obtiene:

**B = 1.15**

- Usando la gráfica “Parámetro S para calcular el factor de respuesta dinámica” teniendo:

$n_o$  = Frecuencia Natural de vibración de la estructura

Este valor podrá obtenerse con la ayuda del programa SAP 2000 al ejecutar un análisis modal de la estructura dando como valores  $T = 0.5500$

$H = 11.20$

$V_h = 12.25$

$$n_o \left( \frac{H}{VH} \right) = 0.50$$

Por lo tanto:

$S = 0.03$

- Usando la gráfica “Parámetro F para calcular el factor de respuesta dinámica” teniendo:

- $\left( \frac{n_o}{VH} \right) = 0.449$

Por lo tanto:

$F = 0.2$

Para calcular  $g$  se tiene :

$$g = \left( \sqrt{2 \text{Ln}(3600 v)} + \frac{0.58}{\sqrt{2 \text{Ln}(3600 v)}} \right) \frac{1}{2.3} \geq 1.48$$

Para obtener "v" se tiene.

$$v = n_o \sqrt{\frac{SF}{SF + \beta B}} ;$$
$$\sqrt{\frac{(0.03)(0.2)}{(0.03)(0.2) + (0.01)(1.15)}} = 0.58$$

Por lo tanto

$$g = \left( \sqrt{2 \ln(3600(0.58))} + \frac{0.58}{\sqrt{2 \ln(3600(0.58))}} \right) \frac{1}{2.3} = 1.76 \geq 1.48 \text{ cumple}$$

Por último ya se podrá obtener:

$$G = 0.43 + g \sqrt{\frac{R}{C_e} \left( B + \frac{SF}{\beta} \right)} \geq 1$$

$$G = \left( 0.43 + 1.76 \sqrt{\frac{0.34}{0.459} \left( 1.15 + \frac{(0.03)(0.2)}{0.01} \right)} \right) \frac{1}{2.3} = 1.1 \geq 1 \text{ cumple}$$

Este coeficiente de amplificación multiplicará a la presión ejercida por el viento y se tomara en cuenta para el análisis estructural.

## EFFECTO DE VÓRTICES PERIÓDICOS SOBRE ESTRUCTURAS PRISMÁTICAS

En el diseño de estructuras tipo 3 deberán tomarse en cuenta los efectos dinámicos generales y locales de las fuerzas perpendiculares a la dirección del viento causadas por vórtices alternantes.

El efecto se presenta mediante fuerzas estáticas equivalentes perpendicularmente a la acción del viento. Se determinara una fuerza  $F_L$  por unidad de longitud del eje de la pieza con la siguiente ecuación

$$F_L = \frac{CT}{2\beta} 0.047 VCR^2 d$$

Donde

$F_L$  = fuerza por unidad de longitud (kg/m)

$\beta$  = coeficiente de amortiguamiento de la estructura (0.01 por ser estructura de acero.

$CT$  = factor de empuje transversal (podrá tomarse como 0.28 de acuerdo a las normas técnicas complementarias para diseño por viento ya que se considera una estructura de sección circular)

$VCR$ = velocidad critica del viento en (m/s) y podrá obtenerse con la siguiente ecuación.

$$VCR = 5nod$$

$d$ = dimensión de la estructura paralela a la dirección del viento (3m)

Con estos datos se obtendrá:

$$VCR = 8.25 \text{ m/s}$$

Por último se obtendrá  $F_L$  sustituyendo todos los valores.

$$F_L = \frac{0.28}{2(0.01)} 0.047 (8.25)^2 12.5$$

$$F_L = 559.81 \text{ kg/m}$$

Con este último proceso se concluye el procedimiento para analizar las cargas por viento que serán aplicadas sobre la cúpula geodésica. Más adelante con la ayuda de la herramienta SAP 2000 se aplicarán los resultados obtenidos como cargas actuantes.

### 3.4.2.5.- CASO DE CARGA POR TEMPERATURA

Los cambios por temperatura producen dilataciones o contracciones en la estructura general y en cada uno de sus elementos. Estos cambios pueden producir o no fuerzas adicionales dependiendo del grado de restricción de la estructura y de sus elementos.

En un miembro estructural tipo barra, es decir, que tenga dos dimensiones pequeñas en comparación con su longitud, producirá un esfuerzo axial igual al producto:

$$E c_t \Delta_t$$

Donde

E = módulo de elasticidad del material

$c_t$  = coeficiente de dilatación térmica

$\Delta_t$  = incremento de temperatura

Material	$\alpha, \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \times 10^{-6}$
Acero	12
Concreto	10*
Aluminio	24
Mampostería de barro	6
Mampostería de piedra	8
Madera	4 a 5
Cobre	17
Plásticos	70

COEFICIENTES DE DILATACIÓN POR TEMPERATURA DE ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
FUENTE: DISEÑO ESTRUCTURAL- ROBERTO MELLI

Para fines de este trabajo se considerará un incremento de temperatura de **20° C** y para estimar la influencia de este cambio térmico en la estructura se empleará el programa SAP 2000.

### 3.4.3 -COMBINACIONES DE CARGA

Para poder verificar la seguridad de una estructura, cualquiera que esta sea, deberán tenerse en cuenta los efectos combinados de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente, considerando dos categorías de combinaciones.

- a. *Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes y acciones variables, se consideran todas las acciones permanentes que actúan sobre la estructura y las distintas acciones variables, de las cuales la más desfavorable se tomara con su intensidad máxima y el resto con su intensidad instantánea, o bien todas ellas con su intensidad media cuando se trate de evaluar efectos a largo plazo.*
- b. *Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes, variables y accidentales, se consideraran todas las acciones permanentes, las acciones variables con sus valores instantáneos y únicamente una acción accidental en cada combinación.*

Para este trabajo se considerarán las siguientes combinaciones de carga y serán aplicadas más adelante con la ayuda del programa SAP 2000 donde se modelará la estructura.

- COMB 1 = CVE + TEMPERATURA
- COMB 2 = CVE + SISMO X + 0.3 SISMO Z + TEMPERATURA
- COMB 3 = CVE + 0.3 SISMO X + SISMO Z + TEMPERATURA
- COMB 4 = CVE - SISMO X - 0.3 SISMO Z + TEMPERATURA
- COMB 5 = CVE - 0.3 SISMO X - SISMO Z + TEMPERATURA
- COMB 6 = C.MUERTA + VIENTO X
- COMB 7 = C.MUERTA + VIENTO Z
- COMB 8 = C.MUERTA - VIENTO X
- COMB 9 = C.MUERTA - VIENTO Z

DONDE:

C. MUERTA=carga muerta, incluye peso propio de la estructura metálica

CVE = Carga muerta + Carga viva (incluye peso propio de la estructura)

En el caso de las combinaciones con viento se considerará nula la carga viva por considerar que es un efecto favorable.

### 3.5.- GENERACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO

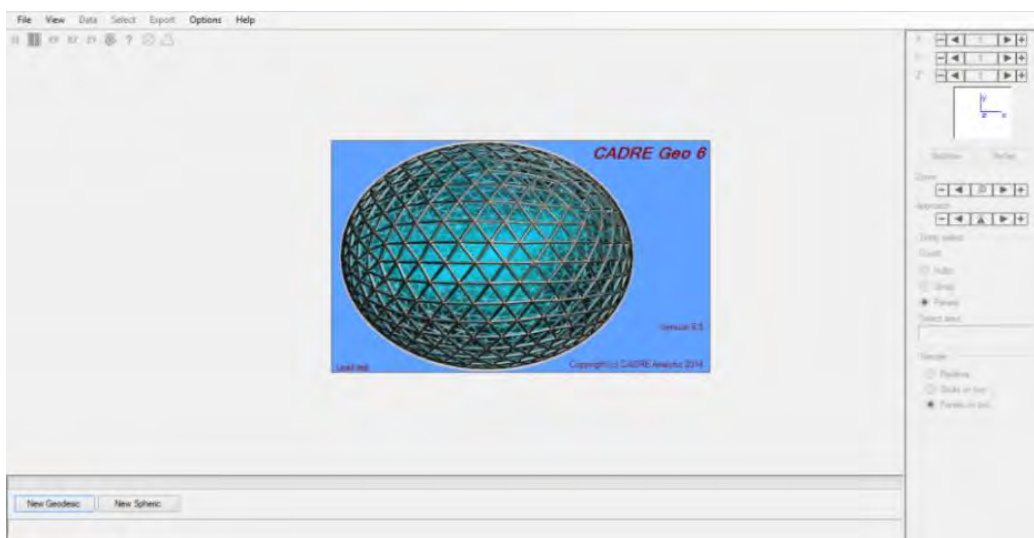
#### 3.5.1 USO DEL PROGRAMA CADRE GEO V6

Para la elaboración del modelo matemático de un domo geodésico se utilizará una herramienta específica para modelar estas estructuras, programa conocido como CADRE GEO V6, que permite la generación del modelo y también cuenta con un módulo de análisis estructural, pero no se dispuso de este último para la ejecución de este trabajo, por lo que se recurrió al uso de AUTOCAD para generar un modelo en formato DXF que sea compatible con el programa de análisis de estructuras conocido como SAP2000.

La característica principal de CADRE es que permite modelar cualquier estructura geodésica, ya sea un domo o hasta una esfera geodésica. Basta con conocer las características geométricas previamente analizadas para poder manipular esta herramienta, como el tipo de frecuencia a utilizar y el radio que define al domo.

Se utiliza este programa porque permite exportar el archivo guardado con formato DXF, que posteriormente se abre en AUTOCAD y a partir de aquí se guarda nuevamente el archivo con formado DXF, este último compatible con la plataforma de SAP2000, donde se ejecutará el análisis y diseño estructural del domo geodésico.

Para iniciar, se ejecuta el programa CADRE GEO V6 como se muestra en la figura siguiente:



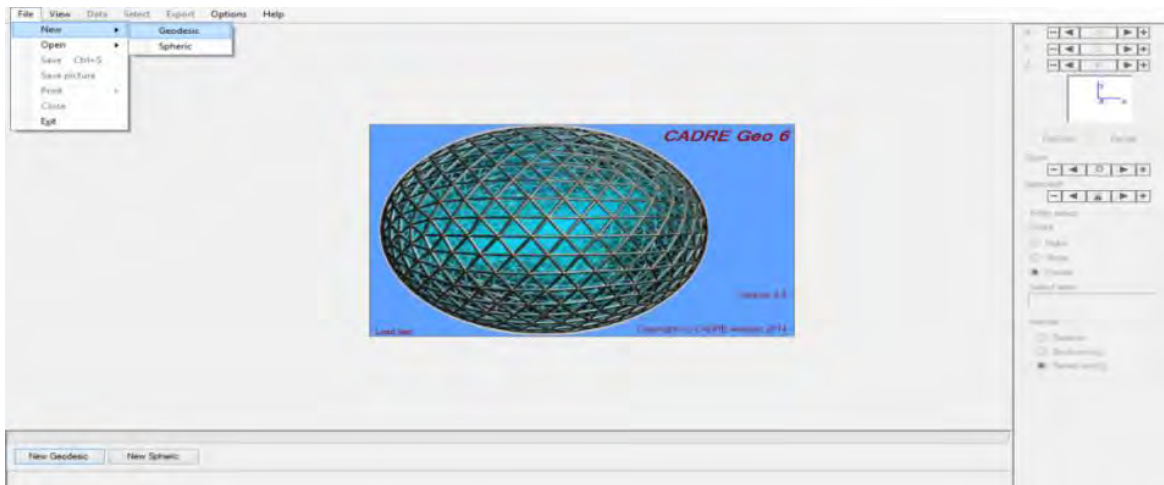
PANTALLA DE INICIO  
FUENTE: CADRE GEO V6



### 3.5.1.1 FRECUENCIA Y RADIO

Retomando la geometría previamente definida del domo geodésico estudiado en este trabajo, deberán utilizarse los datos de radio y frecuencia para continuar con el modelo geométrico mediante el uso del programa CADRE GEO V6

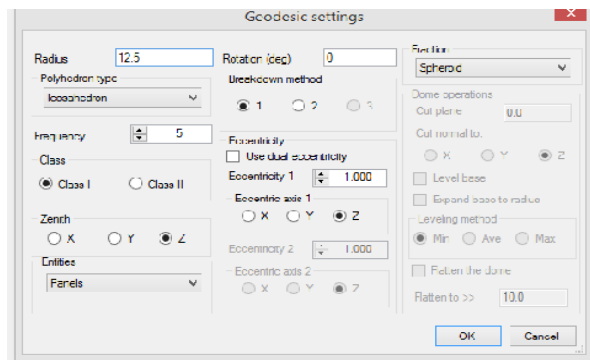
Una vez ejecutado el programa aparecerá la pantalla de inicio del mismo. Para empezar a crear el domo se tiene que dar clic en la pestaña “File”, seguido de “New”, “Geodésica”, para así poder generar el modelo como se muestra en la figura siguiente:



PANTALLA DE CREACIÓN, FUENTE: CADRE GEO V6

Al realizar estos pasos se abrirá un cuadro de propiedades donde se tienen que introducir los datos del domo geodésico a modelar, como son el radio de la estructura y la frecuencia utilizada.

Así que para introducir el valor del radio de 12.5 m ya definido previamente, hay una columna llamada “Radius” y para asignar el tipo de frecuencia 5V que se asignó previamente habrá otra columna llamada “Frequency”, como se muestra enseguida:

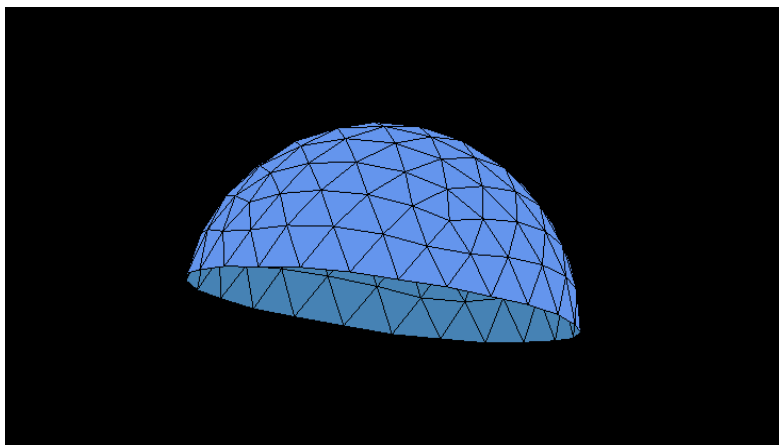


PANTALLA DE PROPIEDADES, FUENTE: CADRE GEO V6

### 3.5.2 MODELO GEOMÉTRICO

El programa CADRE GEO V6 como ya se ha mencionado es una herramienta muy poderosa para generar el modelo geométrico de una estructura geodésica. Es necesario saber el funcionamiento estructural de una cúpula para que se tenga la idea general a la hora del modelado.

Retomando los pasos anteriores del modelado, al añadir las propiedades que definirán el domo geodésico en el cuadro de propiedades, se da clic en la pestaña “ok” y el programa dará la perspectiva final del modelo geodésico como se observa a continuación:



GENERACIÓN DE DOMO GEODÉSICO  
FUENTE: CADRE GEO V6

Finalmente ya teniendo el modelo geodésico, el programa nos dará los datos correspondientes de los elementos estructurales, como por ejemplo: coordenadas, longitudes y el ángulo que deberá tener cada elemento en los extremos, lo cual se puede comparar con los datos previamente obtenidos con la herramienta: <http://www.desertdomes.com/domecalc.html>.

A continuación se presentan las propiedades y características finales del domo geodésico, obtenidas por el programa CADRE GEO V6.

## CUADRO DE PROPIEDADES GENERALES

CONFIGURACIÓN	
Geodesic Dome	Icosahedron
Zenith	Z
Radius	12.50
Class	1.00
Breakdown method	1.00
Frequency	5.00
Number of nodes	127.00
HUBS	
Number of hubs	126.00
Number of types	11.00
PANELS	
Number of panels	225.00
Number of types	9.00
Surface area	864.78
Largest panels	4.63
Smallest panel	2.91
Largest minimum width	2.83
Volume	3359.45
STRUTS	
Number of struts	350.00
Number of types	9.00
Total length	1044.20
Longest strut	3.27
Shortest strut	2.48
Maximum end-angle	7.52
Minimum end-angle	5.69
DOME METRICS	
Dome height	11.20
Base radius	12.43
Spherical radius	12.50
Base area	480.06
Cut plane	0.00

PROPIEDADES GENERALES DE LA ESTRUCTURA GEODÉSICA  
FUENTE: CADRE GEO V6

En la tabla anterior se muestra toda la información general de la estructura geodésica como se refiere a:

- Numero de barras totales
- Altura de la estructura
- Radio de la estructura
- Área de la superficies
- Frecuencia de la estructura

**CUADRO DE COORDENADAS (M.)**

Hub	Type	X	Y	Z
1	N1	0	0	12.5
2	N2	0	2.4647	12.2546
3	N2	2.344	0.7616	12.2546
4	N3	0	5.2176	11.359
5	N4	2.5593	3.5226	11.7171
6	N3	4.9622	1.6123	11.359
7	N5	0	7.8264	9.7467
8	N6	2.6455	6.4228	10.3923
9	N6	5.2909	4.5007	10.3923
10	N5	7.4434	2.4185	9.7467
11	N2	0	9.8586	7.6849
12	N4	2.5593	8.9047	8.3908
13	N6	5.2909	7.2823	8.6731
14	N4	7.678	5.1858	8.3908
15	N2	9.3761	3.0465	7.6849
16	N1	0	11.1803	5.5902
17	N2	2.344	10.6202	6.1616
18	N3	4.9622	9.4387	6.522
19	N5	7.4434	7.6361	6.522
20	N2	9.3761	5.5111	6.1616
21	N1	10.6331	3.4549	5.5902
22	N2	1.4487	-1.9939	12.2546
23	N4	4.1411	-1.3455	11.7171
24	N3	3.0668	-4.2211	11.359
25	N6	6.9259	-0.5312	10.3923
26	N6	5.9154	-3.6412	10.3923
27	N5	4.6002	-6.3317	9.7467
28	N4	9.2598	0.3176	8.3908
29	N6	8.5609	-2.7816	8.6731
30	N4	7.3046	-5.6997	8.3908
31	N2	5.7948	-7.9758	7.6849
32	N2	10.8248	1.0525	6.1616
33	N3	10.5102	-1.8026	6.522
34	N5	9.5625	-4.7194	6.522
35	N2	8.1388	-7.2142	6.1616
36	N1	6.5716	-9.0451	5.5902
37	N2	-1.4487	-1.9939	12.2546
38	N4	0	-4.3542	11.7171
39	N3	-3.0668	-4.2211	11.359
40	N6	1.635	-6.7511	10.3923

41	N6	-1.635	-6.7511	10.3923
42	N5	-4.6002	-6.3317	9.7467
43	N4	3.1635	-8.7084	8.3908
44	N6	0	-9.0015	8.6731
45	N4	-3.1635	-8.7084	8.3908
46	N2	-5.7948	-7.9758	7.6849
47	N2	4.3461	-9.9697	6.1616
48	N3	1.5334	-10.5528	6.522
49	N5	-1.5334	-10.5528	6.522
50	N2	-4.3461	-9.9697	6.1616
51	N1	-6.5716	-9.0451	5.5902
52	N2	-2.344	0.7616	12.2546
53	N4	-4.1411	-1.3455	11.7171
54	N3	-4.9622	1.6123	11.359
55	N6	-5.9154	-3.6412	10.3923
56	N6	-6.9259	-0.5312	10.3923
57	N5	-7.4434	2.4185	9.7467
58	N4	-7.3046	-5.6997	8.3908
59	N6	-8.5609	-2.7816	8.6731
60	N4	-9.2598	0.3176	8.3908
61	N2	-9.3761	3.0465	7.6849
62	N2	-8.1388	-7.2142	6.1616
63	N3	-9.5625	-4.7194	6.522
64	N5	-10.5102	-1.8026	6.522
65	N2	-10.8248	1.0525	6.1616
66	N1	-10.6331	3.4549	5.5902
67	N4	-2.5593	3.5226	11.7171
68	N6	-5.2909	4.5007	10.3923
69	N6	-2.6455	6.4228	10.3923
70	N4	-7.678	5.1858	8.3908
71	N6	-5.2909	7.2823	8.6731
72	N4	-2.5593	8.9047	8.3908
73	N2	-9.3761	5.5111	6.1616
74	N3	-7.4434	7.6361	6.522
75	N5	-4.9622	9.4387	6.522
76	N2	-2.344	10.6202	6.1616
77	N7	10.5102	6.6396	1.3044
78	N8	8.5609	9.0015	1.3908
79	N9	5.9154	10.9235	1.3908
80	N10	3.0668	12.0475	1.3044
81	N2	10.8248	5.0404	3.697
82	N4	9.2598	7.3629	4.0366

83	N6	6.9259	9.5327	4.1724
84	N4	4.1411	11.0818	4.0366
85	N2	1.4487	11.8526	3.697
86	N7	9.5625	-7.944	1.3044
87	N8	11.2064	-5.3603	1.3908
88	N9	12.2169	-2.2504	1.3908
89	N10	12.4056	0.8062	1.3044
90	N2	8.1388	-8.7374	3.697
91	N4	9.864	-6.5313	4.0366
92	N6	11.2064	-3.6412	4.1724
93	N4	11.8191	-0.5139	4.0366
94	N2	11.7201	2.2849	3.697
95	N7	-4.6002	-11.5493	1.3044
96	N8	-1.635	-12.3143	1.3908
97	N9	1.635	-12.3143	1.3908
98	N10	4.6002	-11.5493	1.3044
99	N2	-5.7948	-10.4405	3.697
100	N4	-3.1635	-11.3995	4.0366
101	N6	0	-11.7831	4.1724
102	N4	3.1635	-11.3995	4.0366
103	N2	5.7948	-10.4405	3.697
104	N7	-12.4056	0.8062	1.3044
105	N8	-12.2169	-2.2504	1.3908
106	N9	-11.2064	-5.3603	1.3908
107	N10	-9.5625	-7.944	1.3044
108	N2	-11.7201	2.2849	3.697
109	N4	-11.8191	-0.5139	4.0366
110	N6	-11.2064	-3.6412	4.1724
111	N4	-9.864	-6.5313	4.0366
112	N2	-8.1388	-8.7374	3.697
113	N7	-3.0668	12.0475	1.3044
114	N8	-5.9154	10.9235	1.3908
115	N9	-8.5609	9.0015	1.3908
116	N10	-10.5102	6.6396	1.3044
117	N2	-1.4487	11.8526	3.697
118	N4	-4.1411	11.0818	4.0366
119	N6	-6.9259	9.5327	4.1724
120	N4	-9.2598	7.3629	4.0366
121	N2	-10.8248	5.0404	3.697
122	N11	11.8191	3.8403	1.3455
123	N11	7.3046	-10.054	1.3455
124	N11	-7.3046	-10.054	1.3455

125	N11	-11.8191	3.8403	1.3455
126	N11	0	12.4274	1.3455
127	Ctr	0	0	0

COORDENADAS DEL DOMO GEODÉSICO  
FUENTE: CADRE GEO V6

En la tabla anterior se da una explicación muy detallada sobre la ubicación de cada nodo en la dirección X Y Z.

**CUADRO DE ELEMENTOS (BARRAS)**

TIPO	CANTIDAD	LONGITUD (m.)	ANGULO (°)	ANG DE UNION (°)
S1	30	2.4768	5.69	84.31
S2	60	3.0905	7.1	82.9
S3	30	2.895	6.65	83.35
S4	50	3.0636	7.04	82.96
S5	50	3.1896	7.33	82.67
S6	60	2.8211	6.48	83.52
S7	30	2.8974	6.66	83.34
S8	30	3.27	7.52	82.48
S9	10	3.0668	7.05	82.95

CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS  
FUENTE: CADRE GEO V6

En la tabla anterior se da una explicación general de cuantos tipos de barras se encontraran en la estructura geodésica para su montaje, así como la longitud que tendrá que tener cada barra y el Angulo de doblez que se requerirá.

**CUADRO DE DATOS DE CADA ELEMENTO**

NOMBRE	TIPO	LONGITUD (m.)	ANGULO (°)	ANG DE UNION (°)
S*1*2	S1	2.4768	5.69	84.31
S*1*22	S1	2.4768	5.69	84.31
S*1*3	S1	2.4768	5.69	84.31
S*1*37	S1	2.4768	5.69	84.31
S*1*52	S1	2.4768	5.69	84.31

S*10*14	S2	3.0905	7.1	82.9
S*10*15	S3	2.895	6.65	83.35
S*10*25	S4	3.0636	7.04	82.96
S*10*28	S2	3.0905	7.1	82.9
S*100*101	S5	3.1896	7.33	82.67
S*100*49	S2	3.0905	7.1	82.9
S*100*50	S6	2.8211	6.48	83.52
S*101*102	S5	3.1896	7.33	82.67
S*101*48	S4	3.0636	7.04	82.96
S*101*49	S4	3.0636	7.04	82.96
S*102*103	S6	2.8211	6.48	83.52
S*102*47	S6	2.8211	6.48	83.52
S*102*48	S2	3.0905	7.1	82.9
S*103*123	S6	2.8211	6.48	83.52
S*103*36	S1	2.4768	5.69	84.31
S*103*47	S7	2.8974	6.66	83.34
S*103*90	S7	2.8974	6.66	83.34
S*104*105	S4	3.0636	7.04	82.96
S*104*108	S3	2.895	6.65	83.35
S*104*109	S2	3.0905	7.1	82.9
S*105*106	S8	3.27	7.52	82.48
S*105*109	S5	3.1896	7.33	82.67
S*105*110	S8	3.27	7.52	82.48
S*106*107	S4	3.0636	7.04	82.96
S*106*110	S8	3.27	7.52	82.48
S*106*111	S5	3.1896	7.33	82.67
S*107*111	S2	3.0905	7.1	82.9
S*107*112	S3	2.895	6.65	83.35
S*107*124	S2	3.0905	7.1	82.9
S*108*109	S6	2.8211	6.48	83.52
S*108*125	S6	2.8211	6.48	83.52
S*108*65	S7	2.8974	6.66	83.34
S*108*66	S1	2.4768	5.69	84.31
S*109*110	S5	3.1896	7.33	82.67
S*109*64	S2	3.0905	7.1	82.9
S*109*65	S6	2.8211	6.48	83.52
S*11*12	S6	2.8211	6.48	83.52
S*11*16	S1	2.4768	5.69	84.31
S*11*17	S7	2.8974	6.66	83.34
S*11*76	S7	2.8974	6.66	83.34
S*110*111	S5	3.1896	7.33	82.67
S*110*63	S4	3.0636	7.04	82.96



S*110*64	S4	3.0636	7.04	82.96
S*111*112	S6	2.8211	6.48	83.52
S*111*62	S6	2.8211	6.48	83.52
S*111*63	S2	3.0905	7.1	82.9
S*112*124	S6	2.8211	6.48	83.52
S*112*51	S1	2.4768	5.69	84.31
S*112*62	S7	2.8974	6.66	83.34
S*112*99	S7	2.8974	6.66	83.34
S*113*114	S4	3.0636	7.04	82.96
S*113*117	S3	2.895	6.65	83.35
S*113*118	S2	3.0905	7.1	82.9
S*114*115	S8	3.27	7.52	82.48
S*114*118	S5	3.1896	7.33	82.67
S*114*119	S8	3.27	7.52	82.48
S*115*116	S4	3.0636	7.04	82.96
S*115*119	S8	3.27	7.52	82.48
S*115*120	S5	3.1896	7.33	82.67
S*116*120	S2	3.0905	7.1	82.9
S*116*121	S3	2.895	6.65	83.35
S*116*125	S2	3.0905	7.1	82.9
S*117*118	S6	2.8211	6.48	83.52
S*117*126	S6	2.8211	6.48	83.52
S*117*16	S1	2.4768	5.69	84.31
S*117*76	S7	2.8974	6.66	83.34
S*118*119	S5	3.1896	7.33	82.67
S*118*75	S2	3.0905	7.1	82.9
S*118*76	S6	2.8211	6.48	83.52
S*119*120	S5	3.1896	7.33	82.67
S*119*74	S4	3.0636	7.04	82.96
S*119*75	S4	3.0636	7.04	82.96
S*12*13	S5	3.1896	7.33	82.67
S*12*17	S6	2.8211	6.48	83.52
S*12*18	S2	3.0905	7.1	82.9
S*120*121	S6	2.8211	6.48	83.52
S*120*73	S6	2.8211	6.48	83.52
S*120*74	S2	3.0905	7.1	82.9
S*121*108	S7	2.8974	6.66	83.34
S*121*125	S6	2.8211	6.48	83.52
S*121*66	S1	2.4768	5.69	84.31
S*121*73	S7	2.8974	6.66	83.34
S*122*77	S2	3.0905	7.1	82.9
S*123*86	S2	3.0905	7.1	82.9

S*124*95	S2	3.0905	7.1	82.9
S*125*104	S2	3.0905	7.1	82.9
S*126*113	S2	3.0905	7.1	82.9
S*13*14	S5	3.1896	7.33	82.67
S*13*18	S4	3.0636	7.04	82.96
S*13*19	S4	3.0636	7.04	82.96
S*14*15	S6	2.8211	6.48	83.52
S*14*19	S2	3.0905	7.1	82.9
S*14*20	S6	2.8211	6.48	83.52
S*15*20	S7	2.8974	6.66	83.34
S*15*21	S1	2.4768	5.69	84.31
S*15*28	S6	2.8211	6.48	83.52
S*15*32	S7	2.8974	6.66	83.34
S*16*17	S1	2.4768	5.69	84.31
S*17*18	S3	2.895	6.65	83.35
S*18*19	S9	3.0668	7.05	82.95
S*19*20	S3	2.895	6.65	83.35
S*2*3	S7	2.8974	6.66	83.34
S*2*4	S3	2.895	6.65	83.35
S*2*5	S6	2.8211	6.48	83.52
S*2*67	S6	2.8211	6.48	83.52
S*20*21	S1	2.4768	5.69	84.31
S*21*32	S1	2.4768	5.69	84.31
S*22*23	S6	2.8211	6.48	83.52
S*22*24	S3	2.895	6.65	83.35
S*22*37	S7	2.8974	6.66	83.34
S*22*38	S6	2.8211	6.48	83.52
S*23*24	S2	3.0905	7.1	82.9
S*23*25	S5	3.1896	7.33	82.67
S*23*26	S5	3.1896	7.33	82.67
S*24*26	S4	3.0636	7.04	82.96
S*24*27	S9	3.0668	7.05	82.95
S*24*38	S2	3.0905	7.1	82.9
S*24*40	S4	3.0636	7.04	82.96
S*25*26	S8	3.27	7.52	82.48
S*25*28	S5	3.1896	7.33	82.67
S*25*29	S8	3.27	7.52	82.48
S*26*27	S4	3.0636	7.04	82.96
S*26*29	S8	3.27	7.52	82.48
S*26*30	S5	3.1896	7.33	82.67
S*27*30	S2	3.0905	7.1	82.9
S*27*31	S3	2.895	6.65	83.35

S*27*40	S4	3.0636	7.04	82.96
S*27*43	S2	3.0905	7.1	82.9
S*28*29	S5	3.1896	7.33	82.67
S*28*32	S6	2.8211	6.48	83.52
S*28*33	S2	3.0905	7.1	82.9
S*29*30	S5	3.1896	7.33	82.67
S*29*33	S4	3.0636	7.04	82.96
S*29*34	S4	3.0636	7.04	82.96
S*3*22	S7	2.8974	6.66	83.34
S*3*23	S6	2.8211	6.48	83.52
S*3*5	S6	2.8211	6.48	83.52
S*3*6	S3	2.895	6.65	83.35
S*30*31	S6	2.8211	6.48	83.52
S*30*34	S2	3.0905	7.1	82.9
S*30*35	S6	2.8211	6.48	83.52
S*31*35	S7	2.8974	6.66	83.34
S*31*36	S1	2.4768	5.69	84.31
S*31*43	S6	2.8211	6.48	83.52
S*31*47	S7	2.8974	6.66	83.34
S*32*33	S3	2.895	6.65	83.35
S*33*34	S9	3.0668	7.05	82.95
S*34*35	S3	2.895	6.65	83.35
S*35*36	S1	2.4768	5.69	84.31
S*36*47	S1	2.4768	5.69	84.31
S*37*38	S6	2.8211	6.48	83.52
S*37*39	S3	2.895	6.65	83.35
S*37*52	S7	2.8974	6.66	83.34
S*37*53	S6	2.8211	6.48	83.52
S*38*39	S2	3.0905	7.1	82.9
S*38*40	S5	3.1896	7.33	82.67
S*38*41	S5	3.1896	7.33	82.67
S*39*41	S4	3.0636	7.04	82.96
S*39*42	S9	3.0668	7.05	82.95
S*39*53	S2	3.0905	7.1	82.9
S*39*55	S4	3.0636	7.04	82.96
S*4*5	S2	3.0905	7.1	82.9
S*4*69	S4	3.0636	7.04	82.96
S*4*7	S9	3.0668	7.05	82.95
S*4*8	S4	3.0636	7.04	82.96
S*40*41	S8	3.27	7.52	82.48
S*40*43	S5	3.1896	7.33	82.67
S*40*44	S8	3.27	7.52	82.48

S*41*42	S4	3.0636	7.04	82.96
S*41*44	S8	3.27	7.52	82.48
S*41*45	S5	3.1896	7.33	82.67
S*42*45	S2	3.0905	7.1	82.9
S*42*46	S3	2.895	6.65	83.35
S*42*55	S4	3.0636	7.04	82.96
S*42*58	S2	3.0905	7.1	82.9
S*43*44	S5	3.1896	7.33	82.67
S*43*47	S6	2.8211	6.48	83.52
S*43*48	S2	3.0905	7.1	82.9
S*44*45	S5	3.1896	7.33	82.67
S*44*48	S4	3.0636	7.04	82.96
S*44*49	S4	3.0636	7.04	82.96
S*45*46	S6	2.8211	6.48	83.52
S*45*49	S2	3.0905	7.1	82.9
S*45*50	S6	2.8211	6.48	83.52
S*46*50	S7	2.8974	6.66	83.34
S*46*51	S1	2.4768	5.69	84.31
S*46*58	S6	2.8211	6.48	83.52
S*46*62	S7	2.8974	6.66	83.34
S*47*48	S3	2.895	6.65	83.35
S*48*49	S9	3.0668	7.05	82.95
S*49*50	S3	2.895	6.65	83.35
S*5*6	S2	3.0905	7.1	82.9
S*5*8	S5	3.1896	7.33	82.67
S*5*9	S5	3.1896	7.33	82.67
S*50*51	S1	2.4768	5.69	84.31
S*51*62	S1	2.4768	5.69	84.31
S*52*2	S7	2.8974	6.66	83.34
S*52*53	S6	2.8211	6.48	83.52
S*52*54	S3	2.895	6.65	83.35
S*52*67	S6	2.8211	6.48	83.52
S*53*54	S2	3.0905	7.1	82.9
S*53*55	S5	3.1896	7.33	82.67
S*53*56	S5	3.1896	7.33	82.67
S*54*56	S4	3.0636	7.04	82.96
S*54*57	S9	3.0668	7.05	82.95
S*54*67	S2	3.0905	7.1	82.9
S*54*68	S4	3.0636	7.04	82.96
S*55*56	S8	3.27	7.52	82.48
S*55*58	S5	3.1896	7.33	82.67
S*55*59	S8	3.27	7.52	82.48

S*56*57	S4	3.0636	7.04	82.96
S*56*59	S8	3.27	7.52	82.48
S*56*60	S5	3.1896	7.33	82.67
S*57*60	S2	3.0905	7.1	82.9
S*57*61	S3	2.895	6.65	83.35
S*57*68	S4	3.0636	7.04	82.96
S*57*70	S2	3.0905	7.1	82.9
S*58*59	S5	3.1896	7.33	82.67
S*58*62	S6	2.8211	6.48	83.52
S*58*63	S2	3.0905	7.1	82.9
S*59*60	S5	3.1896	7.33	82.67
S*59*63	S4	3.0636	7.04	82.96
S*59*64	S4	3.0636	7.04	82.96
S*6*10	S9	3.0668	7.05	82.95
S*6*23	S2	3.0905	7.1	82.9
S*6*25	S4	3.0636	7.04	82.96
S*6*9	S4	3.0636	7.04	82.96
S*60*61	S6	2.8211	6.48	83.52
S*60*64	S2	3.0905	7.1	82.9
S*60*65	S6	2.8211	6.48	83.52
S*61*65	S7	2.8974	6.66	83.34
S*61*66	S1	2.4768	5.69	84.31
S*61*70	S6	2.8211	6.48	83.52
S*61*73	S7	2.8974	6.66	83.34
S*62*63	S3	2.895	6.65	83.35
S*63*64	S9	3.0668	7.05	82.95
S*64*65	S3	2.895	6.65	83.35
S*65*66	S1	2.4768	5.69	84.31
S*66*73	S1	2.4768	5.69	84.31
S*67*4	S2	3.0905	7.1	82.9
S*67*68	S5	3.1896	7.33	82.67
S*67*69	S5	3.1896	7.33	82.67
S*68*69	S8	3.27	7.52	82.48
S*68*70	S5	3.1896	7.33	82.67
S*68*71	S8	3.27	7.52	82.48
S*69*7	S4	3.0636	7.04	82.96
S*69*71	S8	3.27	7.52	82.48
S*69*72	S5	3.1896	7.33	82.67
S*7*11	S3	2.895	6.65	83.35
S*7*12	S2	3.0905	7.1	82.9
S*7*72	S2	3.0905	7.1	82.9
S*7*8	S4	3.0636	7.04	82.96

S*70*71	S5	3.1896	7.33	82.67
S*70*73	S6	2.8211	6.48	83.52
S*70*74	S2	3.0905	7.1	82.9
S*71*72	S5	3.1896	7.33	82.67
S*71*74	S4	3.0636	7.04	82.96
S*71*75	S4	3.0636	7.04	82.96
S*72*11	S6	2.8211	6.48	83.52
S*72*75	S2	3.0905	7.1	82.9
S*72*76	S6	2.8211	6.48	83.52
S*73*74	S3	2.895	6.65	83.35
S*74*75	S9	3.0668	7.05	82.95
S*75*76	S3	2.895	6.65	83.35
S*76*16	S1	2.4768	5.69	84.31
S*77*78	S4	3.0636	7.04	82.96
S*77*81	S3	2.895	6.65	83.35
S*77*82	S2	3.0905	7.1	82.9
S*78*79	S8	3.27	7.52	82.48
S*78*82	S5	3.1896	7.33	82.67
S*78*83	S8	3.27	7.52	82.48
S*79*80	S4	3.0636	7.04	82.96
S*79*83	S8	3.27	7.52	82.48
S*79*84	S5	3.1896	7.33	82.67
S*8*12	S5	3.1896	7.33	82.67
S*8*13	S8	3.27	7.52	82.48
S*8*9	S8	3.27	7.52	82.48
S*80*126	S2	3.0905	7.1	82.9
S*80*84	S2	3.0905	7.1	82.9
S*80*85	S3	2.895	6.65	83.35
S*81*122	S6	2.8211	6.48	83.52
S*81*20	S7	2.8974	6.66	83.34
S*81*21	S1	2.4768	5.69	84.31
S*81*82	S6	2.8211	6.48	83.52
S*82*19	S2	3.0905	7.1	82.9
S*82*20	S6	2.8211	6.48	83.52
S*82*83	S5	3.1896	7.33	82.67
S*83*18	S4	3.0636	7.04	82.96
S*83*19	S4	3.0636	7.04	82.96
S*83*84	S5	3.1896	7.33	82.67
S*84*17	S6	2.8211	6.48	83.52
S*84*18	S2	3.0905	7.1	82.9
S*84*85	S6	2.8211	6.48	83.52
S*85*117	S7	2.8974	6.66	83.34

S*85*126	S6	2.8211	6.48	83.52
S*85*16	S1	2.4768	5.69	84.31
S*85*17	S7	2.8974	6.66	83.34
S*86*87	S4	3.0636	7.04	82.96
S*86*90	S3	2.895	6.65	83.35
S*86*91	S2	3.0905	7.1	82.9
S*87*88	S8	3.27	7.52	82.48
S*87*91	S5	3.1896	7.33	82.67
S*87*92	S8	3.27	7.52	82.48
S*88*89	S4	3.0636	7.04	82.96
S*88*92	S8	3.27	7.52	82.48
S*88*93	S5	3.1896	7.33	82.67
S*89*122	S2	3.0905	7.1	82.9
S*89*93	S2	3.0905	7.1	82.9
S*89*94	S3	2.895	6.65	83.35
S*9*10	S4	3.0636	7.04	82.96
S*9*13	S8	3.27	7.52	82.48
S*9*14	S5	3.1896	7.33	82.67
S*90*123	S6	2.8211	6.48	83.52
S*90*35	S7	2.8974	6.66	83.34
S*90*36	S1	2.4768	5.69	84.31
S*90*91	S6	2.8211	6.48	83.52
S*91*34	S2	3.0905	7.1	82.9
S*91*35	S6	2.8211	6.48	83.52
S*91*92	S5	3.1896	7.33	82.67
S*92*33	S4	3.0636	7.04	82.96
S*92*34	S4	3.0636	7.04	82.96
S*92*93	S5	3.1896	7.33	82.67
S*93*32	S6	2.8211	6.48	83.52
S*93*33	S2	3.0905	7.1	82.9
S*93*94	S6	2.8211	6.48	83.52
S*94*122	S6	2.8211	6.48	83.52
S*94*21	S1	2.4768	5.69	84.31
S*94*32	S7	2.8974	6.66	83.34
S*94*81	S7	2.8974	6.66	83.34
S*95*100	S2	3.0905	7.1	82.9
S*95*96	S4	3.0636	7.04	82.96
S*95*99	S3	2.895	6.65	83.35
S*96*100	S5	3.1896	7.33	82.67
S*96*101	S8	3.27	7.52	82.48
S*96*97	S8	3.27	7.52	82.48
S*97*101	S8	3.27	7.52	82.48

S*97*102	S5	3.1896	7.33	82.67
S*97*98	S4	3.0636	7.04	82.96
S*98*102	S2	3.0905	7.1	82.9
S*98*103	S3	2.895	6.65	83.35
S*98*123	S2	3.0905	7.1	82.9
S*99*100	S6	2.8211	6.48	83.52
S*99*124	S6	2.8211	6.48	83.52
S*99*50	S7	2.8974	6.66	83.34
S*99*51	S1	2.4768	5.69	84.31

CARACTERÍSTICAS DE CADA ELEMENTO ESTRUCTURAL  
FUENTE: CADRE GEO V6

En la tabla anterior se da una explicación más detallada de la distribución que tendrá cada elemento estructural hacia cada nodo de la estructura, esto significa de que nodo parte y hacia que nodo termina, especificando la longitud de la barra y el Angulo que tendrá que tener para su montaje.

#### CUADRO DE NODOS

Type	Count	1	2	3	4	5	6
N1	6	0	72	144	216	288	
N2	30	0	54.54	114.07	180	245.93	305.46
N3	10	0	56.57	119.53	180	240.47	303.43
N4	25	31.12	90	148.88	211.12	270	328.88
N5	10	0	60.47	123.43	180	236.57	299.53
N6	20	40.81	101.38	161.1	220.81	281.38	341.1
N7	5	24.65	87.62	271.52	328.09		
N8	5	28.58	89.15	269.15	328.87		
N9	5	31.13	90.85	270.85	331.42		
N10	5	31.91	88.48	272.38	335.35		
N11	5	31.12	90	270	328.88		

CARACTERÍSTICAS DE LOS NODOS ESTRUCTURALES.  
FUENTE: CADRE GEO V6

La tabla anterior muestra un resumen de los diferentes tipos de nodos que se verán en la estructura y la cantidad de veces que se repiten dentro de la estructura.



### CUADRO DE POSICIÓN DE NODOS RESPECTO A NODOS VECINOS

HUB	1	2	3	4	5	6
1 (N1)	2 (N2)	3 (N2)	22 (N2)	37 (N2)	52 (N2)	
	0	72	144	216	288	
2 (N2)	1 (N1)	52 (N2)	67 (N4)	4 (N3)	5 (N4)	3 (N2)
	0	54.54	114.07	180	245.93	305.46
3 (N2)	1 (N1)	2 (N2)	5 (N4)	6 (N3)	23 (N4)	22 (N2)
	0	54.54	114.07	180	245.93	305.46
4 (N3)	2 (N2)	67 (N4)	69 (N6)	7 (N5)	8 (N6)	5 (N4)
	0	56.57	119.53	180	240.47	303.43
5 (N4)	2 (N2)	4 (N3)	8 (N6)	9 (N6)	6 (N3)	3 (N2)
	31.12	90	148.88	211.12	270	328.88
6 (N3)	3 (N2)	5 (N4)	9 (N6)	10 (N5)	25 (N6)	23 (N4)
	0	56.57	119.53	180	240.47	303.43
7 (N5)	4 (N3)	69 (N6)	72 (N4)	11 (N2)	12 (N4)	8 (N6)
	0	60.47	123.43	180	236.57	299.53
8 (N6)	4 (N3)	7 (N5)	12 (N4)	13 (N6)	9 (N6)	5 (N4)
	40.81	101.38	161.1	220.81	281.38	341.1
9 (N6)	5 (N4)	8 (N6)	13 (N6)	14 (N4)	10 (N5)	6 (N3)
	18.9	78.62	139.19	198.9	258.62	319.19
10 (N5)	6 (N3)	9 (N6)	14 (N4)	15 (N2)	28 (N4)	25 (N6)
	0	60.47	123.43	180	236.57	299.53
11 (N2)	7 (N5)	72 (N4)	76 (N2)	16 (N1)	17 (N2)	12 (N4)
	0	65.93	125.46	180	234.54	294.07
12 (N4)	7 (N5)	11 (N2)	17 (N2)	18 (N3)	13 (N6)	8 (N6)
	44.82	103.7	165.94	224.82	283.7	345.94
13 (N6)	8 (N6)	12 (N4)	18 (N3)	19 (N5)	14 (N4)	9 (N6)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
14 (N4)	9 (N6)	13 (N6)	19 (N5)	20 (N2)	15 (N2)	10 (N5)
	14.06	76.3	135.18	194.06	256.3	315.18
15 (N2)	10 (N5)	14 (N4)	20 (N2)	21 (N1)	32 (N2)	28 (N4)
	0	65.93	125.46	180	234.54	294.07
16 (N1)	11 (N2)	76 (N2)	117 (N2)	85 (N2)	17 (N2)	
	0	72	144	216	288	
17 (N2)	11 (N2)	16 (N1)	85 (N2)	84 (N4)	18 (N3)	12 (N4)
	47.59	102.13	156.67	216.2	282.13	348.06
18 (N3)	12 (N4)	17 (N2)	84 (N4)	83 (N6)	19 (N5)	13 (N6)
	37.77	94.34	150.9	213.87	274.34	334.8
19 (N5)	13 (N6)	18 (N3)	83 (N6)	82 (N4)	20 (N2)	14 (N4)

	25.2	85.66	146.13	209.1	265.66	322.23
20 (N2)	14 (N4)	19 (N5)	82 (N4)	81 (N2)	21 (N1)	15 (N2)
	11.94	77.87	143.8	203.33	257.87	312.41
21 (N1)	15 (N2)	20 (N2)	81 (N2)	94 (N2)	32 (N2)	
	0	72	144	216	288	
22 (N2)	1 (N1)	3 (N2)	23 (N4)	24 (N3)	38 (N4)	37 (N2)
	0	54.54	114.07	180	245.93	305.46
23 (N4)	3 (N2)	6 (N3)	25 (N6)	26 (N6)	24 (N3)	22 (N2)
	31.12	90	148.88	211.12	270	328.88
24 (N3)	22 (N2)	23 (N4)	26 (N6)	27 (N5)	40 (N6)	38 (N4)
	0	56.57	119.53	180	240.47	303.43
25 (N6)	6 (N3)	10 (N5)	28 (N4)	29 (N6)	26 (N6)	23 (N4)
	40.81	101.38	161.1	220.81	281.38	341.1
26 (N6)	23 (N4)	25 (N6)	29 (N6)	30 (N4)	27 (N5)	24 (N3)
	18.9	78.62	139.19	198.9	258.62	319.19
27 (N5)	24 (N3)	26 (N6)	30 (N4)	31 (N2)	43 (N4)	40 (N6)
	0	60.47	123.43	180	236.57	299.53
28 (N4)	10 (N5)	15 (N2)	32 (N2)	33 (N3)	29 (N6)	25 (N6)
	44.82	103.7	165.94	224.82	283.7	345.94
29 (N6)	25 (N6)	28 (N4)	33 (N3)	34 (N5)	30 (N4)	26 (N6)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
30 (N4)	26 (N6)	29 (N6)	34 (N5)	35 (N2)	31 (N2)	27 (N5)
	14.06	76.3	135.18	194.06	256.3	315.18
31 (N2)	27 (N5)	30 (N4)	35 (N2)	36 (N1)	47 (N2)	43 (N4)
	0	65.93	125.46	180	234.54	294.07
32 (N2)	15 (N2)	21 (N1)	94 (N2)	93 (N4)	33 (N3)	28 (N4)
	47.59	102.13	156.67	216.2	282.13	348.06
33 (N3)	28 (N4)	32 (N2)	93 (N4)	92 (N6)	34 (N5)	29 (N6)
	37.77	94.34	150.9	213.87	274.34	334.8
34 (N5)	29 (N6)	33 (N3)	92 (N6)	91 (N4)	35 (N2)	30 (N4)
	25.2	85.66	146.13	209.1	265.66	322.23
35 (N2)	30 (N4)	34 (N5)	91 (N4)	90 (N2)	36 (N1)	31 (N2)
	11.94	77.87	143.8	203.33	257.87	312.41
36 (N1)	31 (N2)	35 (N2)	90 (N2)	103 (N2)	47 (N2)	
	0	72	144	216	288	
37 (N2)	1 (N1)	22 (N2)	38 (N4)	39 (N3)	53 (N4)	52 (N2)
	0	54.54	114.07	180	245.93	305.46
38 (N4)	22 (N2)	24 (N3)	40 (N6)	41 (N6)	39 (N3)	37 (N2)
	31.12	90	148.88	211.12	270	328.88
39 (N3)	37 (N2)	38 (N4)	41 (N6)	42 (N5)	55 (N6)	53 (N4)
	0	56.57	119.53	180	240.47	303.43
40 (N6)	24 (N3)	27 (N5)	43 (N4)	44 (N6)	41 (N6)	38 (N4)

	40.81	101.38	161.1	220.81	281.38	341.1
41 (N6)	38 (N4)	40 (N6)	44 (N6)	45 (N4)	42 (N5)	39 (N3)
	18.9	78.62	139.19	198.9	258.62	319.19
42 (N5)	39 (N3)	41 (N6)	45 (N4)	46 (N2)	58 (N4)	55 (N6)
	0	60.47	123.43	180	236.57	299.53
43 (N4)	27 (N5)	31 (N2)	47 (N2)	48 (N3)	44 (N6)	40 (N6)
	44.82	103.7	165.94	224.82	283.7	345.94
44 (N6)	40 (N6)	43 (N4)	48 (N3)	49 (N5)	45 (N4)	41 (N6)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
45 (N4)	41 (N6)	44 (N6)	49 (N5)	50 (N2)	46 (N2)	42 (N5)
	14.06	76.3	135.18	194.06	256.3	315.18
46 (N2)	42 (N5)	45 (N4)	50 (N2)	51 (N1)	62 (N2)	58 (N4)
	0	65.93	125.46	180	234.54	294.07
47 (N2)	31 (N2)	36 (N1)	103 (N2)	102 (N4)	48 (N3)	43 (N4)
	47.59	102.13	156.67	216.2	282.13	348.06
48 (N3)	43 (N4)	47 (N2)	102 (N4)	101 (N6)	49 (N5)	44 (N6)
	37.77	94.34	150.9	213.87	274.34	334.8
49 (N5)	44 (N6)	48 (N3)	101 (N6)	100 (N4)	50 (N2)	45 (N4)
	25.2	85.66	146.13	209.1	265.66	322.23
50 (N2)	45 (N4)	49 (N5)	100 (N4)	99 (N2)	51 (N1)	46 (N2)
	11.94	77.87	143.8	203.33	257.87	312.41
51 (N1)	46 (N2)	50 (N2)	99 (N2)	112 (N2)	62 (N2)	
	0	72	144	216	288	
52 (N2)	1 (N1)	37 (N2)	53 (N4)	54 (N3)	67 (N4)	2 (N2)
	0	54.54	114.07	180	245.93	305.46
53 (N4)	37 (N2)	39 (N3)	55 (N6)	56 (N6)	54 (N3)	52 (N2)
	31.12	90	148.88	211.12	270	328.88
54 (N3)	52 (N2)	53 (N4)	56 (N6)	57 (N5)	68 (N6)	67 (N4)
	0	56.57	119.53	180	240.47	303.43
55 (N6)	39 (N3)	42 (N5)	58 (N4)	59 (N6)	56 (N6)	53 (N4)
	40.81	101.38	161.1	220.81	281.38	341.1
56 (N6)	53 (N4)	55 (N6)	59 (N6)	60 (N4)	57 (N5)	54 (N3)
	18.9	78.62	139.19	198.9	258.62	319.19
57 (N5)	54 (N3)	56 (N6)	60 (N4)	61 (N2)	70 (N4)	68 (N6)
	0	60.47	123.43	180	236.57	299.53
58 (N4)	42 (N5)	46 (N2)	62 (N2)	63 (N3)	59 (N6)	55 (N6)
	44.82	103.7	165.94	224.82	283.7	345.94
59 (N6)	55 (N6)	58 (N4)	63 (N3)	64 (N5)	60 (N4)	56 (N6)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
60 (N4)	56 (N6)	59 (N6)	64 (N5)	65 (N2)	61 (N2)	57 (N5)
	14.06	76.3	135.18	194.06	256.3	315.18
61 (N2)	57 (N5)	60 (N4)	65 (N2)	66 (N1)	73 (N2)	70 (N4)

	0	65.93	125.46	180	234.54	294.07
62 (N2)	46 (N2)	51 (N1)	112 (N2)	111 (N4)	63 (N3)	58 (N4)
	47.59	102.13	156.67	216.2	282.13	348.06
63 (N3)	58 (N4)	62 (N2)	111 (N4)	110 (N6)	64 (N5)	59 (N6)
	37.77	94.34	150.9	213.87	274.34	334.8
64 (N5)	59 (N6)	63 (N3)	110 (N6)	109 (N4)	65 (N2)	60 (N4)
	25.2	85.66	146.13	209.1	265.66	322.23
65 (N2)	60 (N4)	64 (N5)	109 (N4)	108 (N2)	66 (N1)	61 (N2)
	11.94	77.87	143.8	203.33	257.87	312.41
66 (N1)	61 (N2)	65 (N2)	108 (N2)	121 (N2)	73 (N2)	
	0	72	144	216	288	
67 (N4)	52 (N2)	54 (N3)	68 (N6)	69 (N6)	4 (N3)	2 (N2)
	31.12	90	148.88	211.12	270	328.88
68 (N6)	54 (N3)	57 (N5)	70 (N4)	71 (N6)	69 (N6)	67 (N4)
	40.81	101.38	161.1	220.81	281.38	341.1
69 (N6)	67 (N4)	68 (N6)	71 (N6)	72 (N4)	7 (N5)	4 (N3)
	18.9	78.62	139.19	198.9	258.62	319.19
70 (N4)	57 (N5)	61 (N2)	73 (N2)	74 (N3)	71 (N6)	68 (N6)
	44.82	103.7	165.94	224.82	283.7	345.94
71 (N6)	68 (N6)	70 (N4)	74 (N3)	75 (N5)	72 (N4)	69 (N6)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
72 (N4)	69 (N6)	71 (N6)	75 (N5)	76 (N2)	11 (N2)	7 (N5)
	14.06	76.3	135.18	194.06	256.3	315.18
73 (N2)	61 (N2)	66 (N1)	121 (N2)	120 (N4)	74 (N3)	70 (N4)
	47.59	102.13	156.67	216.2	282.13	348.06
74 (N3)	70 (N4)	73 (N2)	120 (N4)	119 (N6)	75 (N5)	71 (N6)
	37.77	94.34	150.9	213.87	274.34	334.8
75 (N5)	71 (N6)	74 (N3)	119 (N6)	118 (N4)	76 (N2)	72 (N4)
	25.2	85.66	146.13	209.1	265.66	322.23
76 (N2)	72 (N4)	75 (N5)	118 (N4)	117 (N2)	16 (N1)	11 (N2)
	11.94	77.87	143.8	203.33	257.87	312.41
77 (N7)	82 (N4)	78 (N8)	122 (N11)	81 (N2)		
	24.65	87.62	271.52	328.09		
78 (N8)	83 (N6)	79 (N9)	77 (N7)	82 (N4)		
	28.58	89.15	269.15	328.87		
79 (N9)	84 (N4)	80 (N10)	78 (N8)	83 (N6)		
	31.13	90.85	270.85	331.42		
80 (N10)	85 (N2)	126 (N11)	79 (N9)	84 (N4)		
	31.91	88.48	272.38	335.35		
81 (N2)	20 (N2)	82 (N4)	77 (N7)	122 (N11)	94 (N2)	21 (N1)
	21.15	80.68	146.61	212.54	272.07	326.61
82 (N4)	19 (N5)	83 (N6)	78 (N8)	77 (N7)	81 (N2)	20 (N2)

	26	84.88	147.12	206	264.88	327.12
83 (N6)	18 (N3)	84 (N4)	79 (N9)	78 (N8)	82 (N4)	19 (N5)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
84 (N4)	17 (N2)	85 (N2)	80 (N10)	79 (N9)	83 (N6)	18 (N3)
	32.88	95.12	154	212.88	275.12	334
85 (N2)	16 (N1)	117 (N2)	126 (N11)	80 (N10)	84 (N4)	17 (N2)
	33.39	87.93	147.46	213.39	279.32	338.85
86 (N7)	91 (N4)	87 (N8)	123 (N11)	90 (N2)		
	24.65	87.62	271.52	328.09		
87 (N8)	92 (N6)	88 (N9)	86 (N7)	91 (N4)		
	28.58	89.15	269.15	328.87		
88 (N9)	93 (N4)	89 (N10)	87 (N8)	92 (N6)		
	31.13	90.85	270.85	331.42		
89 (N10)	94 (N2)	122 (N11)	88 (N9)	93 (N4)		
	31.91	88.48	272.38	335.35		
90 (N2)	35 (N2)	91 (N4)	86 (N7)	123 (N11)	103 (N2)	36 (N1)
	21.15	80.68	146.61	212.54	272.07	326.61
91 (N4)	34 (N5)	92 (N6)	87 (N8)	86 (N7)	90 (N2)	35 (N2)
	26	84.88	147.12	206	264.88	327.12
92 (N6)	33 (N3)	93 (N4)	88 (N9)	87 (N8)	91 (N4)	34 (N5)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
93 (N4)	32 (N2)	94 (N2)	89 (N10)	88 (N9)	92 (N6)	33 (N3)
	32.88	95.12	154	212.88	275.12	334
94 (N2)	21 (N1)	81 (N2)	122 (N11)	89 (N10)	93 (N4)	32 (N2)
	33.39	87.93	147.46	213.39	279.32	338.85
95 (N7)	100 (N4)	96 (N8)	124 (N11)	99 (N2)		
	24.65	87.62	271.52	328.09		
96 (N8)	101 (N6)	97 (N9)	95 (N7)	100 (N4)		
	28.58	89.15	269.15	328.87		
97 (N9)	102 (N4)	98 (N10)	96 (N8)	101 (N6)		
	31.13	90.85	270.85	331.42		
98 (N10)	103 (N2)	123 (N11)	97 (N9)	102 (N4)		
	31.91	88.48	272.38	335.35		
99 (N2)	50 (N2)	100 (N4)	95 (N7)	124 (N11)	112 (N2)	51 (N1)
	21.15	80.68	146.61	212.54	272.07	326.61
100 (N4)	49 (N5)	101 (N6)	96 (N8)	95 (N7)	99 (N2)	50 (N2)
	26	84.88	147.12	206	264.88	327.12
101 (N6)	48 (N3)	102 (N4)	97 (N9)	96 (N8)	100 (N4)	49 (N5)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
102 (N4)	47 (N2)	103 (N2)	98 (N10)	97 (N9)	101 (N6)	48 (N3)
	32.88	95.12	154	212.88	275.12	334
103 (N2)	36 (N1)	90 (N2)	123 (N11)	98 (N10)	102 (N4)	47 (N2)

	33.39	87.93	147.46	213.39	279.32	338.85
104 (N7)	109 (N4)	105 (N8)	125 (N11)	108 (N2)		
	24.65	87.62	271.52	328.09		
105 (N8)	110 (N6)	106 (N9)	104 (N7)	109 (N4)		
	28.58	89.15	269.15	328.87		
106 (N9)	111 (N4)	107 (N10)	105 (N8)	110 (N6)		
	31.13	90.85	270.85	331.42		
107 (N10)	112 (N2)	124 (N11)	106 (N9)	111 (N4)		
	31.91	88.48	272.38	335.35		
108 (N2)	65 (N2)	109 (N4)	104 (N7)	125 (N11)	121 (N2)	66 (N1)
	21.15	80.68	146.61	212.54	272.07	326.61
109 (N4)	64 (N5)	110 (N6)	105 (N8)	104 (N7)	108 (N2)	65 (N2)
	26	84.88	147.12	206	264.88	327.12
110 (N6)	63 (N3)	111 (N4)	106 (N9)	105 (N8)	109 (N4)	64 (N5)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
111 (N4)	62 (N2)	112 (N2)	107 (N10)	106 (N9)	110 (N6)	63 (N3)
	32.88	95.12	154	212.88	275.12	334
112 (N2)	51 (N1)	99 (N2)	124 (N11)	107 (N10)	111 (N4)	62 (N2)
	33.39	87.93	147.46	213.39	279.32	338.85
113 (N7)	118 (N4)	114 (N8)	126 (N11)	117 (N2)		
	24.65	87.62	271.52	328.09		
114 (N8)	119 (N6)	115 (N9)	113 (N7)	118 (N4)		
	28.58	89.15	269.15	328.87		
115 (N9)	120 (N4)	116 (N10)	114 (N8)	119 (N6)		
	31.13	90.85	270.85	331.42		
116 (N10)	121 (N2)	125 (N11)	115 (N9)	120 (N4)		
	31.91	88.48	272.38	335.35		
117 (N2)	76 (N2)	118 (N4)	113 (N7)	126 (N11)	85 (N2)	16 (N1)
	21.15	80.68	146.61	212.54	272.07	326.61
118 (N4)	75 (N5)	119 (N6)	114 (N8)	113 (N7)	117 (N2)	76 (N2)
	26	84.88	147.12	206	264.88	327.12
119 (N6)	74 (N3)	120 (N4)	115 (N9)	114 (N8)	118 (N4)	75 (N5)
	30.29	90	149.71	210.29	270	329.71
120 (N4)	73 (N2)	121 (N2)	116 (N10)	115 (N9)	119 (N6)	74 (N3)
	32.88	95.12	154	212.88	275.12	334
121 (N2)	66 (N1)	108 (N2)	125 (N11)	116 (N10)	120 (N4)	73 (N2)
	33.39	87.93	147.46	213.39	279.32	338.85
122 (N11)	81 (N2)	77 (N7)	89 (N10)	94 (N2)		
	31.12	90	270	328.88		
123 (N11)	90 (N2)	86 (N7)	98 (N10)	103 (N2)		
	31.12	90	270	328.88		
124 (N11)	99 (N2)	95 (N7)	107 (N10)	112 (N2)		

	31.12	90	270	328.88		
125 (N11)	108 (N2)	104 (N7)	116 (N10)	121 (N2)		
	31.12	90	270	328.88		
126 (N11)	117 (N2)	113 (N7)	80 (N10)	85 (N2)		
	31.12	90	270	328.88		

POSICIÓN DE LOS NODOS RESPECTO A NODOS VECINOS  
FUENTE: CADRE GEO V6

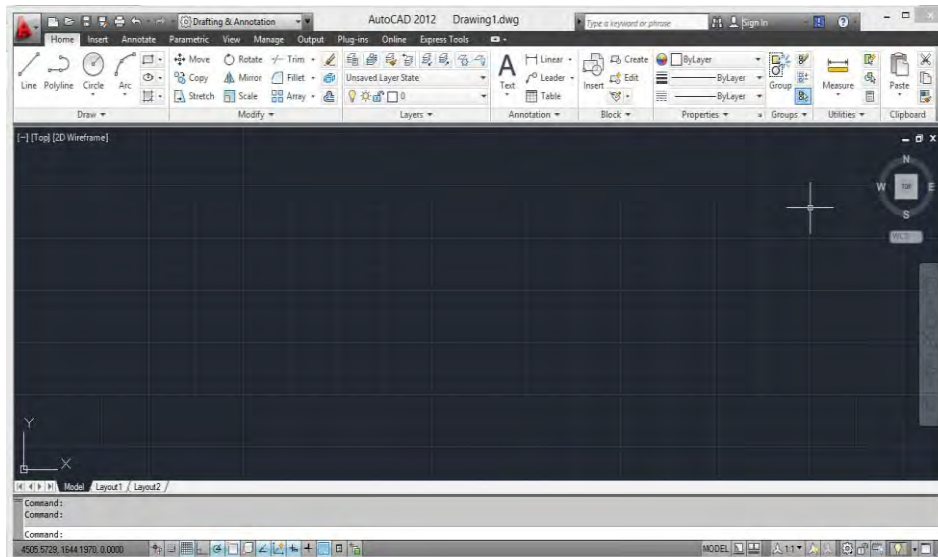
En esta última tabla se da una explicación de cómo se conectarán los nodos usando un nodo como punto de partida, esto significa que de acuerdo al número de barras que tendrá cada nodo, con esta tabla se podrá saber hacia que nodo debe ir cada elemento para que el montaje sea correcto.

### 3.5.3.-USO DEL PROGRAMA AUTOCAD

Para este apartado ya se tuvo que haber generado el modelo geométrico en la herramienta CADRE GEO V6 y haber guardado el archivo generado en formato DXF, para poder exportar este archivo al programa AUTOCAD. En este caso se utilizó AutoCAD 2012 para darle seguimiento al proyecto.

Dado que CADRE GEO V6 exporta un formato DXF que no es compatible con el programa de análisis estructural a utilizar (SAP 2000), se necesita primero importar el archivo a AutoCAD, ya que esta herramienta genera un formato DXF compatible con cualquier programa de análisis estructural, aunque no tiene relevancia en el análisis o diseño estructural.

Una vez ejecutado el programa AutoCAD, se mostrará la pantalla de inicio que se observa a continuación:



PANTALLA DE INICIO AUTOCAD  
FUENTE: AUTOCAD 2012

### 3.5.3.1 IMPORTAR ARCHIVO DXF HACIA AUTOCAD

El objetivo es importar el archivo del domo geodésico en formato DXF generado desde CADRE GEO V6, hacia la plataforma de AUTOCAD y una vez ahí recuperado, se guarde nuevamente en formato DXF.

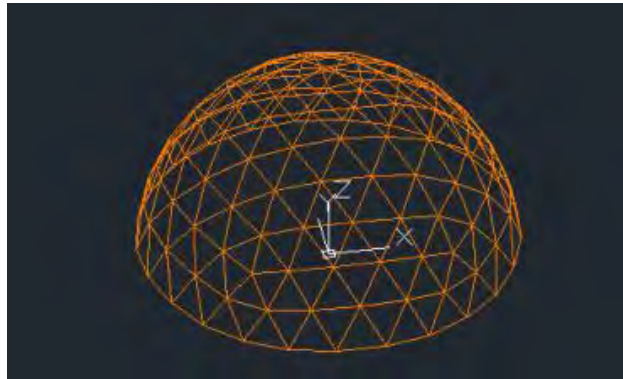
Entonces lo siguiente es ir a la pestaña de “Inicio” y seleccionamos la opción “open” “drawing” como se muestra en la siguiente figura:



IMPORTAR ARCHIVO AUTOCAD  
FUENTE – AUTOCAD 2012



Una vez importado el archivo DXF, AutoCAD mostrará gráficamente el modelo del domo con las mismas características que previamente arrojó la herramienta CADRE GEO V6, como se muestra enseguida:



PERSPECTIVA DEL DOMO GEODÉSICO EN AUTOCAD  
FUENTE – AUTOCAD 2012

### 3.5.3.2 EXPORTAR ARCHIVO EN FORMATO DXF

Por ultimo para guardar el archivo del modelo en AutoCAD en formato DXF, para poder ejecutarlo posteriormente en el programa SAP 2000, daremos clic en el botón “inicio” seguido de “Save as” “other formats”, entonces guardamos nuestro archivo en formato DXF como se muestra en la siguiente figura:



PANTALLA DE INICIO AUTOCAD  
FUENTE – AUTOCAD 2012

Una vez realizados estos pasos se generara un archivo en formato DXF compatible con nuestro programa de análisis estructural SAP 2000 y así poder continuar con el análisis y diseño estructural del domo geodésico.

Para poder realizar esta conversión no es necesario tener muchos conocimientos sobre el uso del programa AUTOCAD, solo basta conocer las herramientas principales para poder realizar estos pasos.

### **3.6.- ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.**

En este apartado el primer paso es detallar el procedimiento seguido para importar el modelo en formato DXF de AUTOCAD hacia la plataforma del programa SAP2000 para proceder al análisis y diseño estructural de la cúpula geodésica. De existir alguna utilidad `amigable` en el programa SAP2000 para generar el modelo que nos ocupa, no hubiese sido necesario recurrir al modelado previo externo que se describió antes.

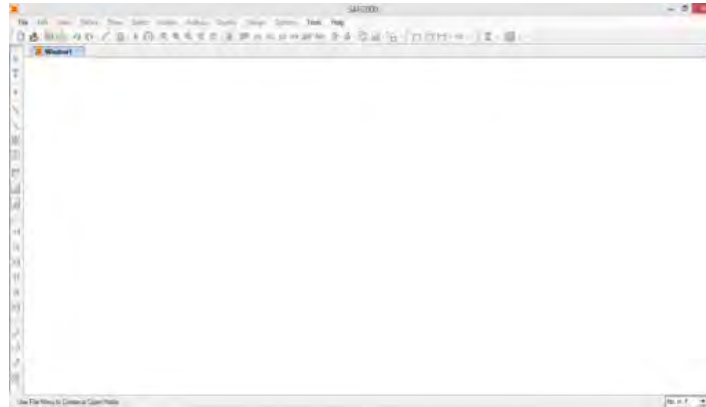
En esta sección se recopilará toda la información o datos previamente definidos sobre el tipo de cargas que se aplicarán a la estructura, carga accidental por sismo, viento y las combinaciones de carga correspondientes que establece la normatividad vigente para poder realizar el análisis y diseño estructural.

Al final de este apartado se dispondrá de los resultados que el programa de análisis SAP 2000 obtendrá a partir del diseño y análisis del domo geodésico, pero un punto importante de aclarar es que se debe tener conocimiento del uso de este paquete de análisis y diseño para poder conseguir estos resultados.

#### **3.6.1.- USO DEL PROGRAMA SAP 2000 V14**

Este programa es una herramienta de análisis y diseño estructural muy potente elaborada por CSI (Computers & Structures, Inc.) con sede en Berkeley, California, U.S.A., que se basa en el método de elementos finitos.

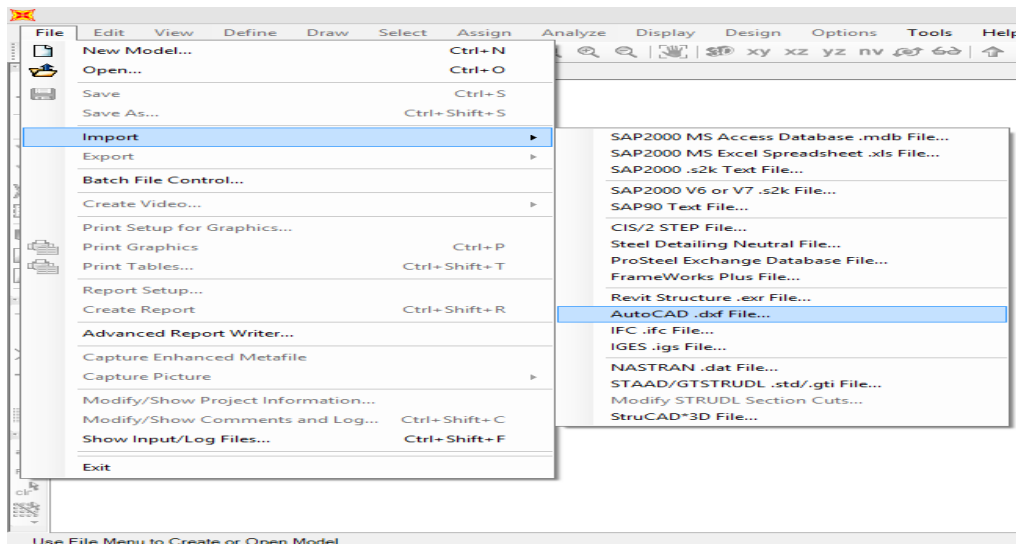
Para iniciar con este apartado se tendrá que ejecutar el programa SAP 2000 donde aparecerá la pantalla de inicio como se muestra en la figura que sigue:



PANTALLA DE INICIO SAP 2000  
FUENTE: SAP 2000

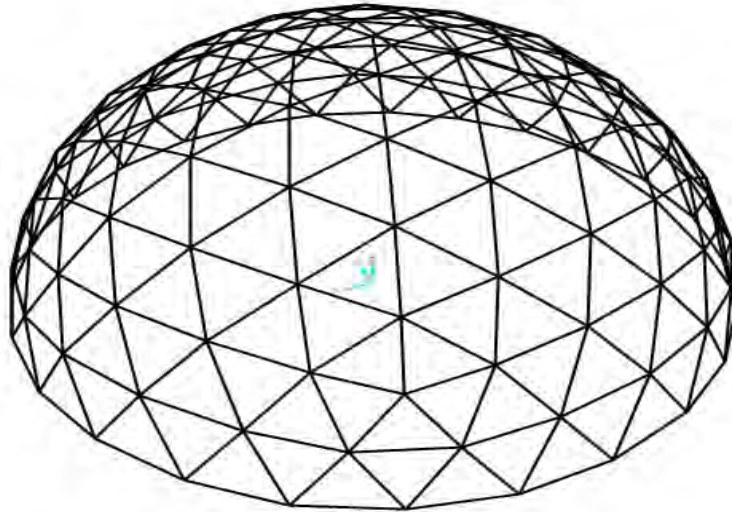
### 3.6.1.1 IMPORTAR ARCHIVO DXF DE AUTOCAD HACIA SAP2000

Después de haber obtenido el archivo en formato DXF de AutoCAD cargamos el archivo a SAP 2000 haciendo clic en la pestaña "File", seguido de "import", "AutoCAD DXF file" como se muestra enseguida:



IMPORTAR FORMATO DXF A SAP2000  
FUENTE: SAP 2000

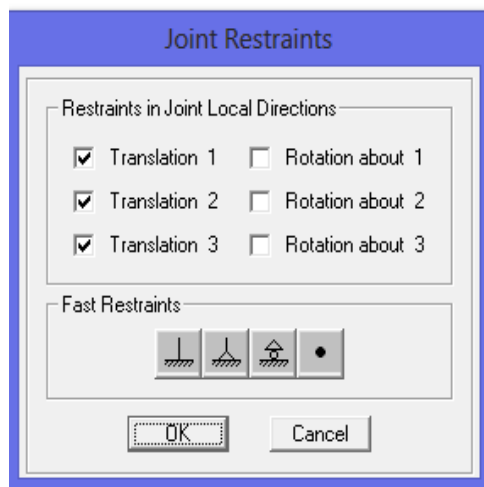
Una vez cargado el archivo aparecerá el modelo del domo geodésico en la pantalla de inicio del programa de SAP2000, listo para agregarle propiedades geométricas y elásticas a las barras, las condiciones de borde en los soportes, así como los casos de carga y las combinaciones de carga previstas. El modelo geométrico en SAP2000 se muestra enseguida:



DOMO GEODÉSICO EN SAP 2000  
FUENTE: SAP 2000

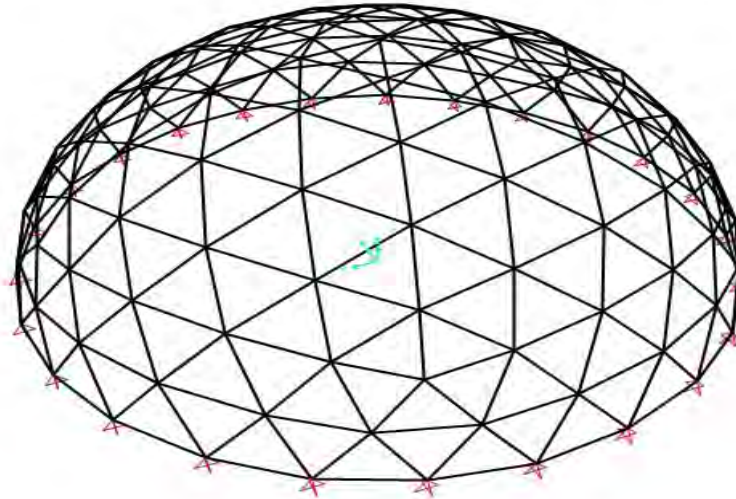
### 3.6.2 RESTRICCIONES EN LOS APOYOS

Uno de los aspectos más importantes es definir cómo estará apoyada la estructura en la cimentación de desplante. En este caso se necesita desplantar al domo geodésico al firme de concreto de apoyo por medio de apoyos que permitan el giro en sus conexiones, en pocas palabras se necesita de una articulación. Con la ayuda de SAP 2000 se definirán los apoyos en cada nodo de desplante del domo geodésico como se muestra enseguida:



RESTRICCIÓN EN LOS APOYOS  
FUENTE SAP 2000

Una vez definidos los apoyos correspondientes el programa mostrará el modelo actualizado ya con sus restricciones en cada apoyo como se muestra a continuación:



MODELO CON RESTRICCIÓN EN LOS APOYOS  
FUENTE: SAP 2000

### 3.6.3 MATERIALES Y PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y ELÁSTICAS

Como en todo programa de análisis estructural deben tenerse bien definidos los materiales y sus propiedades geométricas, mecánicas y elásticas para que sean usadas por el programa.

#### BARRAS

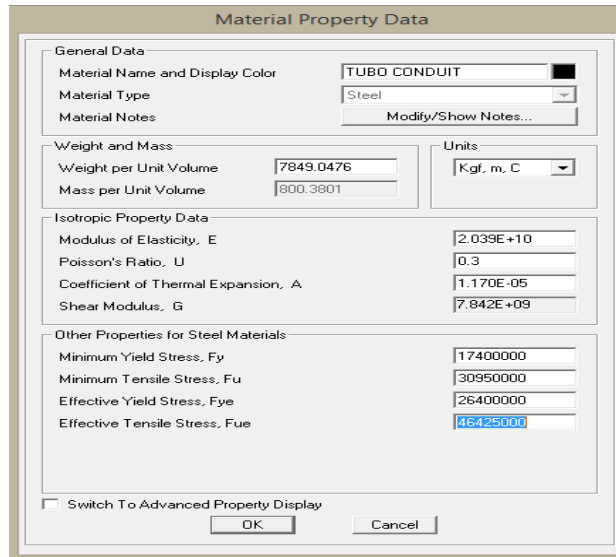
Anteriormente se había dicho que se usará tubo conduit en las barras de la retícula, el cual se fabrica con acero al carbono según normas AISI/SAE, con las siguientes propiedades mecánicas:

Tensión Cedente	1.760 kgf/cm <sup>2</sup>
Tensión Última	3.095 kgf/cm <sup>2</sup>
Porcentaje de elongación	23% aproximadamente

FUENTE: CATALOGO DE TUBOS CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO

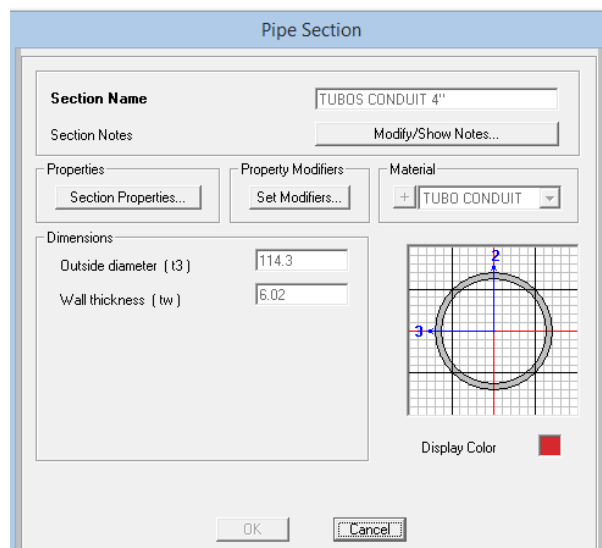
Estos datos se deben ingresar al programa para poder definir al material, en este caso el acero, así como propiedades importantes como son: Peso Volumétrico, Módulo de elasticidad y Modulo de Poisson.

En este caso se nombró el material como Tubo Conduit usando unidades en kg. y m. como se ve enseguida:



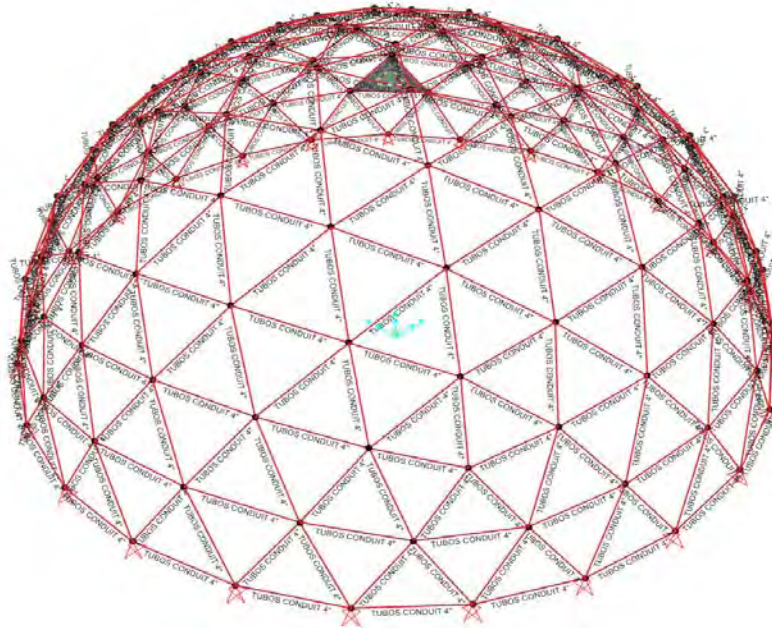
INTRODUCCIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y ELÁSTICAS DE LOS TUBOS CONDUIT  
FUENTE: SAP 2000

Una vez definidas las propiedades mecánicas del tubo conduit se deben definir las características geométricas de las barras, proponiéndose inicialmente tubos conduit de 4 pulgadas (4") de diámetro en todas las barras de la retícula. Para poder introducir estas dimensiones se podrán utilizar las hojas de especificaciones previamente definidas en el apartado 3.3.1 donde se definen las dimensiones del tubo conduit. En la siguiente figura se muestran la introducción de la sección transversal de las barras.



SECCIÓN DE LOS TUBOS CONDUIT.  
FUENTE: SAP 2000

Una vez definidos los materiales a usar en las barras así como la sección propuesta, se deben asignar a cada barra del modelo geodésico usando la interfaz gráfica del programa como se muestra en la siguiente figura:



ASIGNACION DE MATERIALES A CADA BARRA ESTRUCTURAL  
FUENTE: SAP 2000

En esta figura se mostrara el nombre del material que se asignó por arriba de cada barra.

## RECUBRIMIENTO

El material de recubrimiento que se propuso para el domo geodésico, en este caso una lona tensada, tiene la función de darle una cubierta a la estructura y distribuir las cargas provenientes del viento sobre ellas, generando cargas hacia las barras estructurales. Para este caso como se trata de un material con un peso unitario muy bajo, el peso total de la cubierta no será una carga de gran importancia para las estructura

Para definir el material de recubrimiento en SAP 2000 se debe conocer las propiedades físicas y mecánicas de este material, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Características dimensionales – peso :

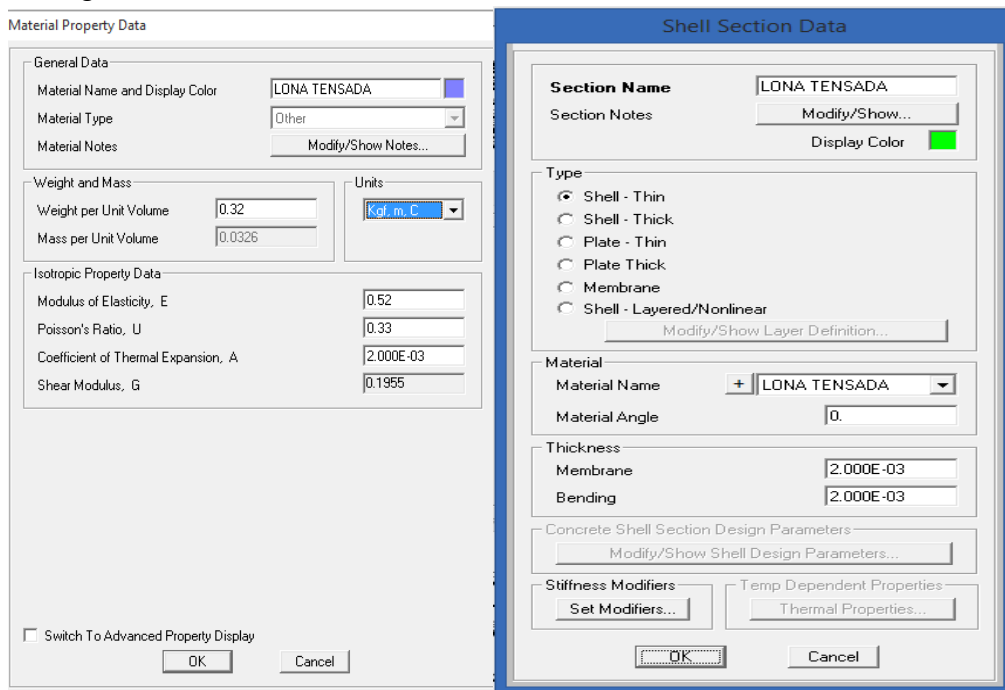
Textura de las telas	Espesor de la lámina	Peso
Mates - Lacadas - Satinadas - Metalizadas - Perforadas -Translucidas	18/100 mm aprox	180 g/m <sup>2</sup> aprox
Antes - Perforada	36/100 mm aprox	320 g/m <sup>2</sup> aprox

Características mecánicas:

Resistencia	Sentido longitudinal	Sentido transversal
Resistencia a la rotura	196,5 kg/cm <sup>2</sup>	220,80 kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura	231%	309%
Resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura (norma ISO haltère)	R= 1,80 dN A= 170%	R= 2,00 dN A= 255%

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS LONAS TENSADAS  
FUENTE: CATALOGO DE MATERIALES BARRISOL

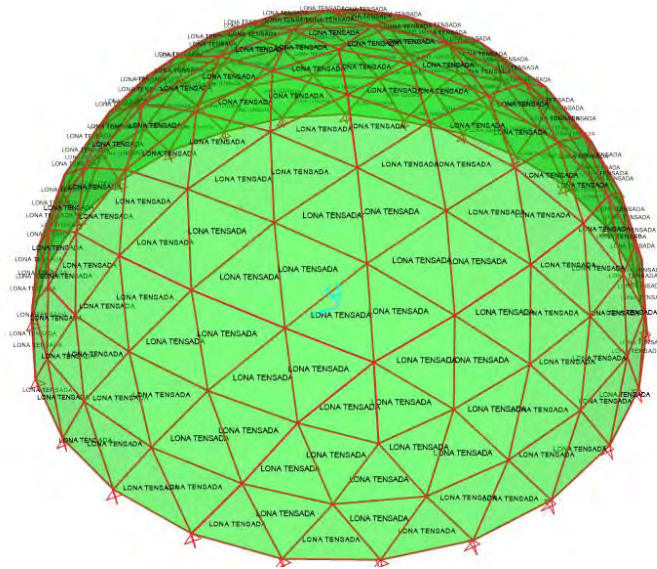
Ya definidos los datos necesarios del material, se deberán ingresar en el programa SAP 2000 para que sea parte del modelo geodésico como se muestra en la siguiente figura :



PROPIEDADES DEL RECUBRIMIENTO  
FUENTE: SAP 2000

Finalmente, ya teniendo definidos los materiales con los cuales se diseñara el domo geodésico, este deberá visualizarse como se muestra a continuación:



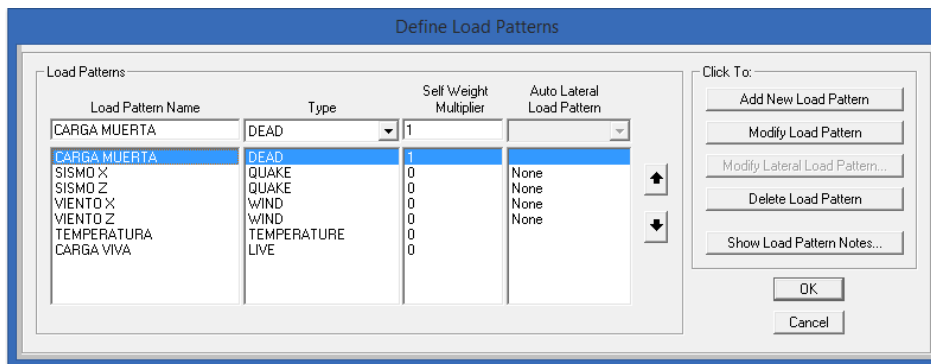


DOMO GEODÉSICO MODELADO  
FUENTE: SAP 2000

### 3.6.4 CARGAS

Para continuar con el modelo matemático del domo geodésico se deberán considerar las cargas a las cuales estará sometida la estructura.

Anteriormente se habían definido las cargas a considerar para el análisis y diseño estructural del domo geodésico, así que por medio del programa SAP 2000 se introducirá cada caso de carga sobre la estructura como se muestra en la siguiente figura:



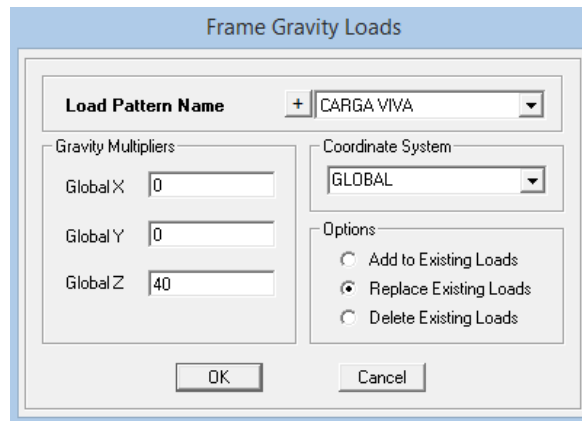
CASOS DE CARGA  
FUENTE: SAP 2000

### 3.6.4.1 CARGA MUERTA

Con ayuda del programa SAP 2000 se genera el caso de peso propio de la estructura incluyendo cubierta.

### 3.6.4.2 CARGA VIVA

En este caso para el análisis se utilizara la carga viva máxima ( $W_m$ ) con un valor de 40 kg/m<sup>2</sup>. Por lo tanto este valor se introducirá al programa SAP 2000 con una carga gravitacional sobre la estructura en dirección “Z”, como se muestra en la siguiente figura:



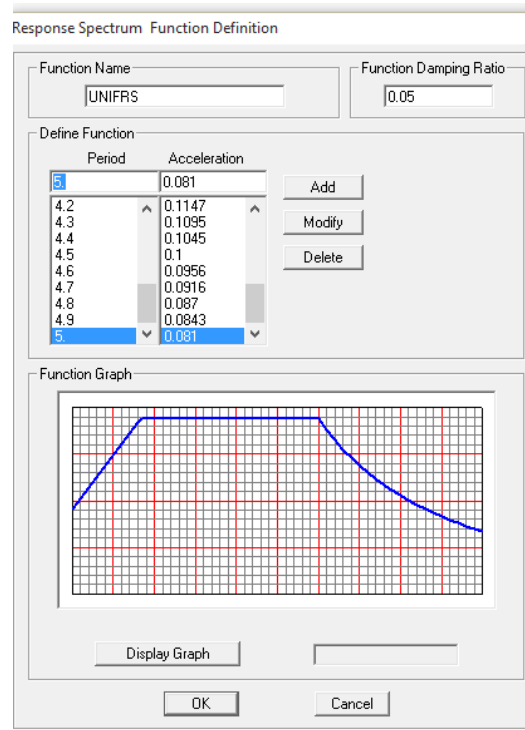
CASO DE CARGA MUERTA  
FUENTE: SAP 2000

### 3.6.4.3 SISMO

Para poder introducir las cargas accidentales por sismo a la estructura, es necesario recurrir al apartado **3.4.2.3** donde se tendrán que tomar los resultados numéricos que definen el Espectro de Diseño por sismo.

Para que el programa SAP 2000 pueda leer estos datos, es necesario realizar un procedimiento simple, que consiste en tomar los valores del Periodo de la estructura (seg.) así como la aceleración (a) correspondiente de la Tabla del Espectro de diseño y copiarlos en una hoja de bloc de notas. Esto se debe a que SAP 2000 puede cargar datos para introducir Espectros de Diseño en forma de texto.

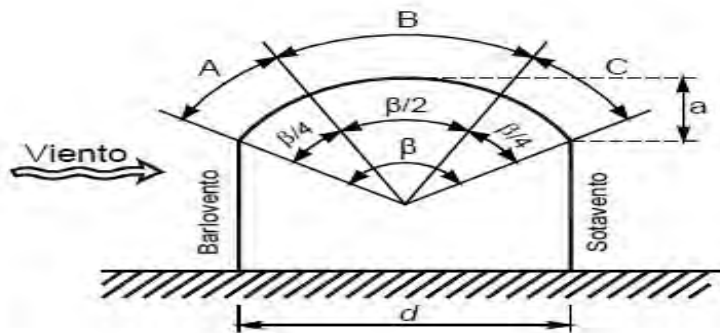
Una vez guardados los datos correspondientes en formato de texto se introducirán a SAP 2000 como se muestra en la siguiente figura:



ESPECTRO DE DISEÑO  
FUENTE: SAP 2000

### 3.6.4.4 VIENTO

Para poder definir las cargas por viento se tendrá que recurrir al tema 3.4.2.4 y hacer uso de las tablas obtenidas para las presiones por viento. Por lo tanto haciendo uso de la siguiente figura podremos asignar las cargas por viento.

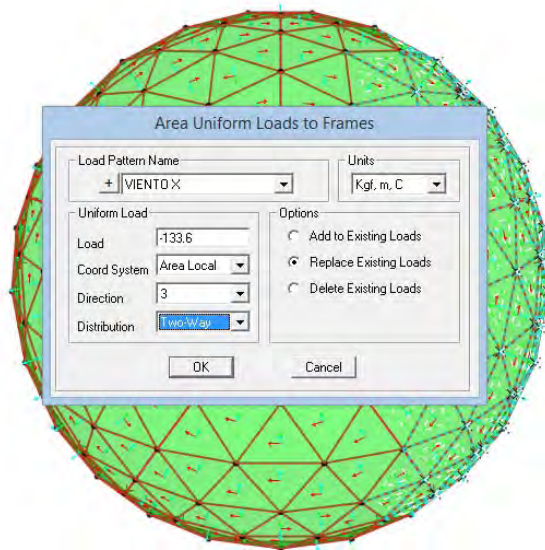


Si se sabe que la estructura tendrá 11.20 m de altura, se recurrirán a los valores de una altura de 11.50 m como se muestra a continuación.

Z (m)	VD	a(m)	d	r = a/d	A	B	C	PRESIÓN	PRESIÓN	PRESIÓN
								EN A	EN B	EN C
1.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
2.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
3.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
4.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
5.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
6.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
7.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
8.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
9.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
10.00	25.420	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	190.482	-164.000	-127.555
10.50	25.632	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	193.669	-166.743	-129.689
11.00	25.835	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	196.756	-169.401	-131.756
11.50	26.031	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	199.753	-171.981	-133.763
12.00	26.220	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	202.664	-174.488	-135.713
12.50	26.403	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	205.496	-176.926	-137.609
13.00	26.579	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	208.255	-179.301	-139.457
13.50	26.751	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	210.945	-181.617	-141.258
14.00	26.916	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	213.569	-183.877	-143.015
14.50	27.077	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	216.133	-186.083	-144.732
15.00	27.234	11.20	25	0.448	0.6272	-0.54	-0.42	218.638	-188.241	-146.410

- Barlovento: 199.753 kg/m<sup>2</sup>
- Mitad central: -171.981 kg/m<sup>2</sup>
- Sotavento: -133.763 kg/m<sup>2</sup>

Teniendo estos valores se asignaran con ayuda del programa SAP 2000 al domo geodésico visto en planta en dirección “x” , “y”, aplicando las cargas sobre las áreas, así mismo deberán sumarse en las caras del barlovento las presiones interiores previamente definidas.



### CARGA POR VIENTO FUENTE: SAP 2000

Previamente se calculó un coeficiente de amplificación para obtener las presiones dinámicas ejercidas por el viento, en este caso se tendrá que utilizar el coeficiente G, previamente calculado y multiplicarlo por la presión de diseño que tendrá la estructura y se tendrá que asignar la carga sobre la estructura en general para que contemple cargas dinámicas. En este apartado se explica que cargas por viento actuaran sobre la estructura y así poder aplicarlas con el programa SAP 2000.

Para el caso de vórtices periódicos sobre la estructura se tendrá que recurrir a los valores obtenidos previamente para poder introducirlos al programa SAP 2000 como cargas estáticas equivalentes perpendiculares a la acción del viento. Estos datos son relevantes dentro del análisis estructural por lo que deberán contemplarse para el diseño de la cúpula geodésica.

Para poder aplicar estas cargas por viento se requiere saber utilizar la herramienta SAP 2000 para poder asignar las cargas a la estructura geodésica. En este trabajo se asignaran las cargas previamente definidas con el programa sin embargo no se detallara paso a paso cada proceso ya que se explicó de manera general en este apartado.

### 3.6.4.5 TEMPERATURA

Para poder definir este tipo de carga se considerarán 20° C de incremento térmico previamente definidos y se aplicarán a la estructura como se muestra en la siguiente figura.

Frame Temperature Loading

Load Pattern Name + TEMPERATURA

Type

- Temperature
- Temperature Gradient 2-2
- Temperature Gradient 3-3

Options

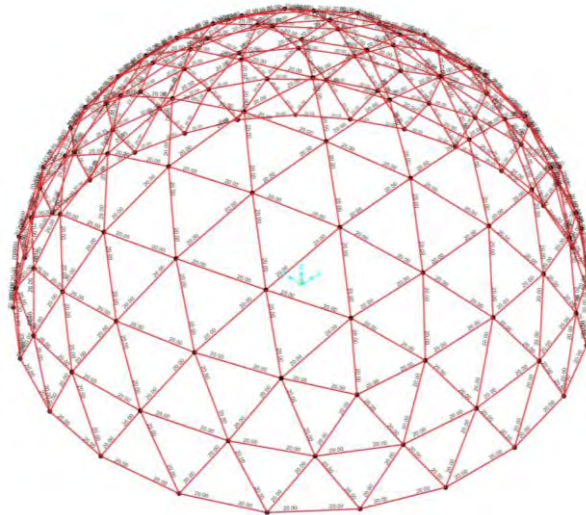
- Add to Existing Loads
- Replace Existing Loads
- Delete Existing Loads

Temperature

- By Element  
Temperature 20
- By Joint Pattern  
Pattern  
Multiplier

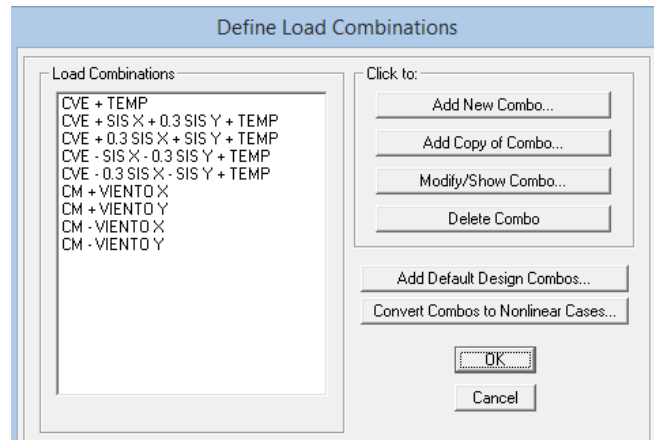
OK  
Cancel

ASIGNAR CARGA POR TEMPERATURA  
FUENTE: SAP 2000



### 3.6.5 COMBINACIONES DE CARGA

Anteriormente se habían definido las combinaciones de carga que se aplicaran sobre la estructura de acuerdo a la normatividad vigente, por lo tanto con ayuda del programa SAP 2000 se introducirá cada caso de carga como se muestra en la siguiente figura.



COMBINACIONES DE CARGA  
FUENTE: SAP 2000

### 3.7 RESULTADOS NUMÉRICOS

Para finalizar con este apartado, una vez realizado cada procedimiento mencionado, usando el programa SAP 2000 se habrá concluido con éxito el análisis y diseño estructural.

#### 3.7.1 RESULTADOS SAP 2000

Para poder obtener los resultados finales del análisis y diseño estructural con SAP 2000 hay diferentes métodos, el más usual es usar la tecla “f5” dentro de la pantalla principal. Seguido de esto el programa correrá el análisis con toda la información que previamente se le introdujo como cargas, tipos de elementos, etc...

Hecho esto aparecerá la siguiente ventana



VENTANA DE INICIO PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL  
FUENTE: SAP 2000

Dentro de esta ventana se tendrá que pulsar la tecla " ENTER" y el programa empezará a calcular la estructura de forma automática. Terminado el análisis el programa proporcionará resultados como datos de entrada, cargas usadas, deformaciones de la estructura, diagramas de elementos mecánicos, reacciones y factores de interacción de los miembros.

En este caso nos interesa ver los diagramas de carga axial que actúan en la estructura como se muestra a continuación:

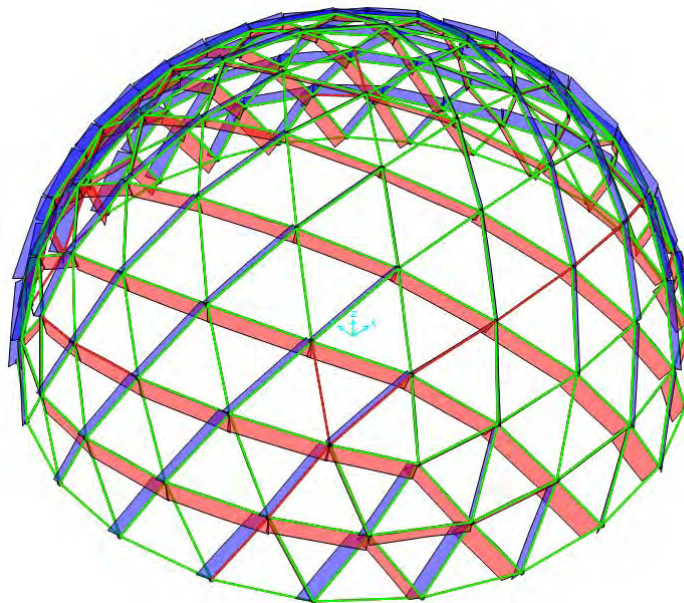
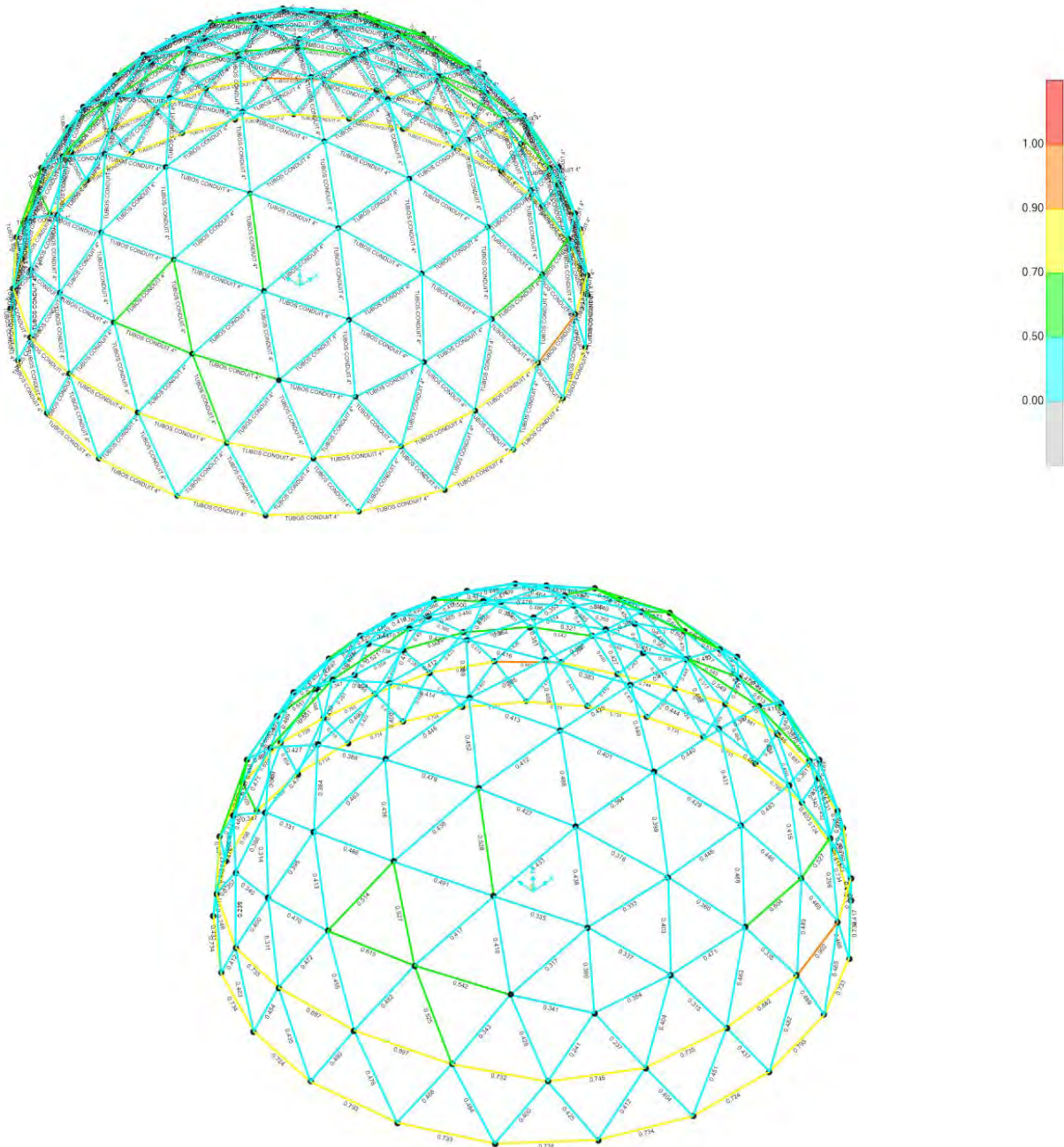


DIAGRAMA DE CARGA AXIAL EN LAS BARRAS  
FUENTE: SAP 2000



Estos diagramas representan la carga axial actuante en cada barra, ya sea compresión o tensión.

Sin embargo para tener unos resultados más satisfactorios, se hará uso de la herramienta “START STEEL DESIGN/CHECK OF STRUCTURE” donde se obtendrá la información más relevante del diseño estructural como se muestra a continuación.



RESULTADOS FINALES SAP 2000  
FUENTE: SAP 2000

Con esta visualización se muestra el esfuerzo que presenta cada miembro estructural respecto a las cargas actuantes sobre la estructura. Como se puede determinar por inspección, en las barras el factor de interacción es menor que la unidad, lo que indica que no se supera el esfuerzo permisible a compresión del material, y por lo tanto se puede concluir que la sección propuesta con tubo conduit galvanizado de 4" es suficiente para lograr un comportamiento adecuado de la estructura bajo condiciones de servicio.

También se pueden obtener las correspondientes tablas de diseño:

DesignSect	Combo	TotalRatio	PRatio	MMajRatio	PrDsgn	PcComp	PcTension	MrMajorDsgn	McMajor	MrMinorDsgn
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.350	0.075	0.275	4.640	24.908	31.024	-0.294	1.070	-0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.321	0.076	0.245	4.698	24.908	31.024	-0.263	1.070	0.000
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.353	0.078	0.275	4.832	24.908	31.024	-0.294	1.070	0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.351	0.076	0.275	4.728	24.908	31.024	-0.294	1.070	-0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.352	0.077	0.275	4.808	24.908	31.024	-0.294	1.070	0.000
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.385	0.039	0.345	2.420	22.040	31.024	-0.369	1.070	0.019
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.454	0.258	0.196	8.003	22.983	31.024	-0.236	1.070	0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.476	0.019	0.457	1.200	22.172	31.024	-0.489	1.070	0.020
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.427	0.036	0.391	2.205	22.040	31.024	-0.419	1.070	0.002
TUBOS					10.57					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.882	0.490	0.390	2	21.555	31.024	-0.470	1.070	0.027
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.463	0.235	0.227	7.304	22.040	31.024	-0.274	1.070	0.012
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.315	0.076	0.239	4.729	23.334	31.024	-0.256	1.070	-0.011
TUBOS					10.61					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.902	0.492	0.410	2	21.555	31.024	-0.494	1.070	-0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.449	0.210	0.239	6.523	22.172	31.024	-0.288	1.070	-0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.335	0.098	0.236	6.071	22.172	31.024	-0.253	1.070	-0.027
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.732	0.427	0.305	-9.957	23.334	31.024	-0.367	1.070	0.021
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.296	0.083	0.209	5.152	23.334	31.024	-0.224	1.070	0.039

CONDUIT 4"										
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.468	0.241	0.227	7.476	22.040	31.024	-0.274	1.070	-0.012
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.418	0.251	0.163	7.774	23.334	31.024	-0.196	1.070	0.046
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.269	0.088	0.180	5.476	24.908	31.024	-0.193	1.070	0.017
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.417	0.242	0.176	7.492	22.972	31.024	-0.211	1.070	-0.013
TUBOS										
CONDUIT 4"										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.762	0.448	0.314	10.288	22.972	31.024	-0.378	1.070	0.009
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.724	0.353	0.371	-7.816	22.172	31.024	-0.447	1.070	0.009
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.403	0.224	0.175	6.943	22.983	31.024	-0.211	1.070	-0.047
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.454	0.290	0.159	8.982	22.040	31.024	-0.191	1.070	0.052
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.793	0.369	0.423	-7.816	21.158	31.024	-0.509	1.070	0.018
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.435	0.223	0.207	6.914	21.555	31.024	-0.250	1.070	-0.053
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.490	0.281	0.202	8.724	21.158	31.024	-0.243	1.070	0.063
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.733	0.353	0.380	-7.816	22.172	31.024	-0.458	1.070	-0.023
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.478	0.271	0.202	8.399	21.158	31.024	-0.243	1.070	-0.057
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.468	0.244	0.223	7.566	21.555	31.024	-0.269	1.070	0.016
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.484	0.306	0.177	9.497	22.040	31.024	-0.214	1.070	-0.017
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.400	0.221	0.175	6.850	22.983	31.024	-0.211	1.070	0.045
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.017
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.733	0.427	0.305	-9.973	23.334	31.024	-0.367	1.070	0.018
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.412	0.245	0.163	7.604	23.334	31.024	-0.196	1.070	-0.044
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.400	0.248	0.151	7.684	22.972	31.024	-0.182	1.070	0.026
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.239	0.075	0.161	4.678	24.908	31.024	-0.172	1.070	-0.029
TUBOS										
CONDUIT 4"										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.887	0.496	0.390	10.685	21.555	31.024	-0.470	1.070	0.028
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.472	0.244	0.227	7.576	22.040	31.024	-0.274	1.070	0.014
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.311	0.072	0.239	4.490	23.334	31.024	-0.256	1.070	-0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.337	0.018	0.319	-0.854	23.334	31.024	-0.341	1.070	-0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.412	0.281	0.131	8.718	24.908	31.024	-0.158	1.070	-0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.334	0.016	0.318	0.991	22.972	31.024	-0.340	1.070	0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.309	0.013	0.296	0.800	22.972	31.024	-0.317	1.070	0.008

TUBOS					-						
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.897	0.487	0.410	10.49	9	21.555	31.024	-0.494	1.070	-0.005
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.482	0.209	0.272	6.489	22.172	31.024	-0.328	1.070	-0.021	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.455	0.211	0.243	6.559	22.172	31.024	-0.293	1.070	-0.008	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.732	0.414	0.319	-9.652	23.334	31.024	-0.384	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.343	0.081	0.262	5.017	23.334	31.024	-0.281	1.070	-0.008	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.525	0.265	0.259	8.235	22.040	31.024	-0.312	1.070	0.007	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.425	0.257	0.163	7.986	23.334	31.024	-0.196	1.070	0.049	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.241	0.077	0.161	4.804	24.908	31.024	-0.172	1.070	0.031	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.428	0.250	0.178	7.767	22.972	31.024	-0.214	1.070	0.008	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.745	0.431	0.314	-9.898	22.972	31.024	-0.378	1.070	0.018	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.728	0.353	0.376	-7.816	22.172	31.024	-0.452	1.070	-0.002	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.411	0.231	0.175	7.174	22.983	31.024	-0.211	1.070	-0.050	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.454	0.285	0.168	8.830	22.040	31.024	-0.202	1.070	0.026	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.798	0.369	0.428	-7.816	21.158	31.024	-0.516	1.070	-0.005	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.451	0.223	0.228	6.929	21.555	31.024	-0.274	1.070	-0.014	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.505	0.279	0.225	8.656	21.158	31.024	-0.271	1.070	0.018	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.724	0.353	0.371	-7.816	22.172	31.024	-0.447	1.070	0.015	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.480	0.267	0.212	8.288	21.158	31.024	-0.255	1.070	-0.025	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.456	0.243	0.207	7.549	21.555	31.024	-0.250	1.070	0.057	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.461	0.296	0.159	9.198	22.040	31.024	-0.191	1.070	-0.055	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.411	0.232	0.175	7.201	22.983	31.024	-0.211	1.070	0.046	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.009	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.729	0.423	0.305	-9.881	23.334	31.024	-0.367	1.070	0.023	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.418	0.252	0.163	7.807	23.334	31.024	-0.196	1.070	-0.041	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.261	0.084	0.176	5.196	24.908	31.024	-0.189	1.070	-0.012	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.398	0.245	0.151	7.600	22.972	31.024	-0.182	1.070	0.028	
TUBOS											
TUBOS					-						
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.876	0.478	0.397	10.31	2	21.555	31.024	-0.478	1.070	0.009
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.427	0.230	0.195	7.142	22.040	31.024	-0.235	1.070	0.029	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.289	0.078	0.209	4.809	23.334	31.024	-0.224	1.070	-0.034	

CONDUIT 4"

						-					
						10.48					
TUBOS						4	21.555	31.024	-0.494	1.070	-0.001
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.896	0.486	0.410							
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.458	0.219	0.239	6.799	22.172	31.024	-0.288	1.070	0.008	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.336	0.098	0.236	6.102	22.172	31.024	-0.253	1.070	-0.032	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.450	0.033	0.417	-1.442	21.555	31.024	-0.446	1.070	-0.019	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.454	0.258	0.196	8.014	23.334	31.024	-0.235	1.070	-0.006	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.395	0.056	0.338	3.491	22.040	31.024	-0.362	1.070	0.009	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.747	0.428	0.319	-9.996	23.334	31.024	-0.384	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.349	0.086	0.262	5.349	23.334	31.024	-0.281	1.070	-0.009	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.503	0.243	0.259	7.551	22.040	31.024	-0.312	1.070	0.013	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.746	0.432	0.314	-9.928	22.972	31.024	-0.378	1.070	0.015	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.431	0.263	0.163	8.166	23.334	31.024	-0.196	1.070	0.052	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.257	0.077	0.180	4.774	24.908	31.024	-0.193	1.070	0.016	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.471	0.268	0.202	8.324	22.972	31.024	-0.244	1.070	0.008	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.010	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.009	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.009	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.010	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.013	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.486	0.034	0.452	-1.450	21.555	31.024	-0.484	1.070	0.004	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.355	0.099	0.256	6.145	22.172	31.024	-0.274	1.070	0.010	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.401	0.097	0.304	6.040	22.172	31.024	-0.325	1.070	0.004	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.355	0.011	0.344	-0.519	23.334	31.024	-0.368	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.414	0.066	0.347	4.113	22.040	31.024	-0.372	1.070	-0.005	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.441	0.246	0.195	7.636	23.334	31.024	-0.235	1.070	0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.347	0.022	0.326	1.348	22.972	31.024	-0.348	1.070	-0.007	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.411	0.280	0.131	8.690	24.908	31.024	-0.158	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.353	0.009	0.344	-0.402	23.334	31.024	-0.368	1.070	-0.002	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.368	0.020	0.347	1.216	22.972	31.024	-0.372	1.070	0.019	

TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.359	0.088	0.271	-4.373	24.908	31.024	-0.290	1.070	0.003	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.548	0.213	0.335	-4.885	22.983	31.024	-0.404	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.598	0.245	0.352	-5.436	22.156	31.024	-0.424	1.070	-0.020	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.542	0.229	0.313	-5.264	22.983	31.024	-0.377	1.070	-0.016	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.476	0.077	0.399	4.756	22.972	31.024	-0.427	1.070	0.003	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.500	0.097	0.403	6.004	22.983	31.024	-0.432	1.070	0.000	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.474	0.080	0.393	4.983	23.334	31.024	-0.421	1.070	0.004	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.485	0.091	0.393	5.677	23.334	31.024	-0.421	1.070	-0.004	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.349	0.094	0.255	-4.691	24.908	31.024	-0.272	1.070	-0.013	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.366	0.095	0.271	-4.713	24.908	31.024	-0.290	1.070	0.009	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.386	0.076	0.311	4.697	23.334	31.024	-0.332	1.070	0.006	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.451	0.092	0.359	5.697	22.983	31.024	-0.384	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.386	0.058	0.327	3.619	22.972	31.024	-0.350	1.070	-0.002	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.427	0.075	0.353	4.639	23.334	31.024	-0.377	1.070	0.003	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.430	0.050	0.380	3.094	22.040	31.024	-0.407	1.070	-0.009	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.571	0.098	0.473	6.056	21.555	31.024	-0.506	1.070	-0.005	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.507	0.089	0.418	5.532	21.555	31.024	-0.447	1.070	0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.451	0.052	0.399	3.254	22.172	31.024	-0.427	1.070	-0.003	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.549	0.229	0.320	7.107	22.156	31.024	-0.386	1.070	0.003	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.471	0.046	0.426	2.827	22.040	31.024	-0.456	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.409	0.057	0.353	3.510	22.172	31.024	-0.378	1.070	-0.008	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.504	0.021	0.483	1.285	21.158	31.024	-0.517	1.070	-0.004	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.615	0.248	0.367	7.690	21.555	31.024	-0.442	1.070	-0.009	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.489	0.082	0.407	5.111	21.158	31.024	-0.436	1.070	0.005	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.445	0.030	0.415	1.855	22.172	31.024	-0.444	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.429	0.074	0.354	4.611	21.158	31.024	-0.379	1.070	0.018	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.478	0.210	0.268	6.526	21.555	31.024	-0.322	1.070	-0.008	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.411	0.028	0.382	1.752	22.040	31.024	-0.409	1.070	-0.007	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.545	0.269	0.275	8.360	22.983	31.024	-0.331	1.070	-0.001	
TUBOS											
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.387	0.017	0.370	1.062	22.172	31.024	-0.396	1.070	-0.013	

CONDUIT 4"										
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.424	0.042	0.382	2.586	22.040	31.024	-0.409	1.070	0.000
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.537	0.040	0.496	-1.735	21.555	31.024	-0.531	1.070	0.027
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.470	0.275	0.195	8.519	23.334	31.024	-0.235	1.070	0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.417	0.069	0.347	4.312	22.040	31.024	-0.372	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.450	0.033	0.417	-1.402	21.555	31.024	-0.446	1.070	-0.029
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.478	0.208	0.270	6.452	22.172	31.024	-0.325	1.070	-0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.432	0.204	0.227	6.340	22.172	31.024	-0.274	1.070	-0.012
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.385	0.057	0.327	3.561	22.972	31.024	-0.350	1.070	-0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.440	0.088	0.353	5.450	23.334	31.024	-0.377	1.070	0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.464	0.070	0.393	4.367	23.334	31.024	-0.421	1.070	-0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.561	0.203	0.359	6.291	22.983	31.024	-0.432	1.070	-0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.357	0.007	0.350	-0.304	23.334	31.024	-0.375	1.070	0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.364	0.059	0.304	3.649	22.040	31.024	-0.325	1.070	0.023
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.403	0.244	0.160	7.563	23.334	31.024	-0.192	1.070	-0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.337	0.019	0.318	1.172	22.972	31.024	-0.340	1.070	-0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.451	0.294	0.157	9.108	24.908	31.024	-0.190	1.070	0.000
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.361	0.011	0.350	-0.499	23.334	31.024	-0.375	1.070	0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.340	0.022	0.318	1.391	22.972	31.024	-0.340	1.070	0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.545	0.232	0.313	-5.334	22.983	31.024	-0.377	1.070	-0.024
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.613	0.239	0.374	-5.306	22.156	31.024	-0.450	1.070	0.012
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.517	0.204	0.313	-4.678	22.983	31.024	-0.377	1.070	-0.028
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.367	0.083	0.283	-4.154	24.908	31.024	-0.303	1.070	0.020
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.370	0.086	0.283	-4.286	24.908	31.024	-0.303	1.070	0.019
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.383	0.072	0.311	4.491	23.334	31.024	-0.332	1.070	0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.408	0.093	0.315	5.775	22.983	31.024	-0.337	1.070	0.000
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.416	0.056	0.360	3.461	22.972	31.024	-0.385	1.070	-0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.385	0.075	0.311	4.627	23.334	31.024	-0.332	1.070	-0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.425	0.045	0.380	2.771	22.040	31.024	-0.407	1.070	-0.009
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.444	0.083	0.361	5.160	21.555	31.024	-0.386	1.070	0.005

TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.449	0.088	0.361	5.440	21.555	31.024	-0.386	1.070	-0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.401	0.048	0.353	2.974	22.172	31.024	-0.378	1.070	0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.488	0.214	0.274	6.624	22.156	31.024	-0.331	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.413	0.033	0.380	2.036	22.040	31.024	-0.407	1.070	-0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.412	0.059	0.353	3.677	22.172	31.024	-0.378	1.070	-0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.477	0.051	0.426	3.155	22.040	31.024	-0.456	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.419	0.066	0.353	4.117	22.172	31.024	-0.378	1.070	0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.495	0.221	0.274	6.844	22.156	31.024	-0.331	1.070	0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.404	0.051	0.353	3.164	22.172	31.024	-0.378	1.070	-0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.440	0.010	0.430	0.596	21.158	31.024	-0.460	1.070	-0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.469	0.201	0.268	6.242	21.555	31.024	-0.322	1.070	0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.431	0.077	0.354	4.754	21.158	31.024	-0.379	1.070	-0.011
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.394	0.024	0.370	1.506	22.172	31.024	-0.396	1.070	-0.014
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.429	0.075	0.354	4.665	21.158	31.024	-0.379	1.070	0.016
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.399	0.098	0.301	6.083	21.555	31.024	-0.322	1.070	-0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.378	0.032	0.345	2.002	22.040	31.024	-0.369	1.070	0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.438	0.242	0.196	7.496	22.983	31.024	-0.236	1.070	0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.427	0.015	0.412	0.917	22.172	31.024	-0.441	1.070	0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.433	0.042	0.391	2.598	22.040	31.024	-0.419	1.070	-0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.483	0.031	0.452	-1.329	21.555	31.024	-0.484	1.070	0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.403	0.243	0.160	7.547	23.334	31.024	-0.192	1.070	0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.415	0.068	0.347	4.188	22.040	31.024	-0.372	1.070	-0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.448	0.031	0.417	-1.340	21.555	31.024	-0.446	1.070	-0.019
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.446	0.099	0.346	6.171	22.172	31.024	-0.371	1.070	-0.022
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.468	0.203	0.265	6.299	22.172	31.024	-0.319	1.070	0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.333	0.014	0.319	-0.673	23.334	31.024	-0.341	1.070	-0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.360	0.055	0.304	3.429	22.040	31.024	-0.325	1.070	0.011
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.403	0.243	0.160	7.554	23.334	31.024	-0.192	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.337	0.019	0.318	1.197	22.972	31.024	-0.340	1.070	-0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.390	0.259	0.131	8.035	24.908	31.024	-0.158	1.070	0.001



CONDUIT 4"										
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.335	0.016	0.319	-0.746	23.334	31.024	-0.341	1.070	-0.017
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.317	0.021	0.296	1.285	22.972	31.024	-0.317	1.070	-0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.527	0.213	0.313	-4.905	22.983	31.024	-0.377	1.070	-0.027
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.604	0.225	0.379	-4.977	22.156	31.024	-0.457	1.070	0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.471	0.099	0.372	-4.555	22.983	31.024	-0.398	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.483	0.057	0.426	3.539	22.040	31.024	-0.456	1.070	-0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.449	0.088	0.361	5.484	21.555	31.024	-0.386	1.070	0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.447	0.086	0.361	5.358	21.555	31.024	-0.386	1.070	-0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.354	0.083	0.271	-4.157	24.908	31.024	-0.290	1.070	0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.341	0.086	0.255	-4.277	24.908	31.024	-0.272	1.070	-0.014
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.430	0.064	0.366	3.987	22.972	31.024	-0.392	1.070	0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.389	0.078	0.311	4.855	23.334	31.024	-0.332	1.070	0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.412	0.097	0.315	6.023	22.983	31.024	-0.337	1.070	0.000
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.422	0.071	0.351	4.379	23.334	31.024	-0.376	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.414	0.034	0.380	2.093	22.040	31.024	-0.407	1.070	-0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.452	0.091	0.361	5.641	21.555	31.024	-0.386	1.070	0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.446	0.086	0.361	5.306	21.555	31.024	-0.386	1.070	-0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.409	0.056	0.353	3.479	22.172	31.024	-0.378	1.070	0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.490	0.215	0.274	6.683	22.156	31.024	-0.331	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.419	0.038	0.380	2.385	22.040	31.024	-0.407	1.070	-0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.404	0.052	0.353	3.196	22.172	31.024	-0.378	1.070	-0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	VIENTO X	0.479	0.223	0.247	-4.719	21.158	31.024	0.297	1.070	-0.082
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.528	0.211	0.316	6.549	21.555	31.024	-0.381	1.070	-0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.436	0.082	0.354	5.089	21.158	31.024	-0.379	1.070	-0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.388	0.017	0.370	1.077	22.172	31.024	-0.396	1.070	-0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.436	0.081	0.354	5.048	21.158	31.024	-0.379	1.070	0.014
TUBOS										
CONDUIT 4"	VIENTO Y	0.463	0.238	0.225	-5.123	21.555	31.024	0.271	1.070	-0.019
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.384	0.039	0.345	2.418	22.040	31.024	-0.369	1.070	0.018
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.437	0.241	0.196	7.478	22.983	31.024	-0.236	1.070	-0.001

TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.432	0.020	0.412	1.239	22.172	31.024	-0.441	1.070	0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.427	0.036	0.391	2.231	22.040	31.024	-0.419	1.070	0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.491	0.039	0.452	-1.687	21.555	31.024	-0.484	1.070	0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.410	0.250	0.160	7.768	23.334	31.024	-0.192	1.070	0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.417	0.069	0.347	4.304	22.040	31.024	-0.372	1.070	-0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.486	0.034	0.452	-1.469	21.555	31.024	-0.484	1.070	0.005
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.527	0.219	0.308	6.779	22.172	31.024	-0.371	1.070	-0.019
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.514	0.206	0.308	6.392	22.172	31.024	-0.371	1.070	0.022
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.554	0.233	0.320	7.239	22.156	31.024	-0.386	1.070	-0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.514	0.039	0.475	2.409	22.040	31.024	-0.508	1.070	0.012
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.521	0.071	0.450	4.404	22.172	31.024	-0.481	1.070	0.012
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.407	0.054	0.353	3.349	22.172	31.024	-0.378	1.070	0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.331	0.012	0.319	-0.537	23.334	31.024	-0.341	1.070	-0.020
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.413	0.066	0.347	4.105	22.040	31.024	-0.372	1.070	-0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.395	0.235	0.160	7.292	23.334	31.024	-0.192	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.314	0.018	0.296	1.124	22.972	31.024	-0.317	1.070	0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.366	0.261	0.105	8.109	24.908	31.024	-0.126	1.070	0.000
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.360	0.015	0.344	-0.721	23.334	31.024	-0.368	1.070	0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.347	0.021	0.326	1.318	22.972	31.024	-0.348	1.070	0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.542	0.211	0.331	-4.851	22.983	31.024	-0.398	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.615	0.213	0.401	-4.722	22.156	31.024	-0.483	1.070	0.029
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.470	0.099	0.372	-4.528	22.983	31.024	-0.398	1.070	-0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.340	0.085	0.255	-4.225	24.908	31.024	-0.272	1.070	-0.018
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.353	0.086	0.267	-4.296	24.908	31.024	-0.286	1.070	0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.460	0.035	0.426	2.157	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.000
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.521	0.200	0.321	6.211	21.555	31.024	-0.386	1.070	0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.447	0.086	0.361	5.330	21.555	31.024	-0.386	1.070	-0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.493	0.012	0.480	0.775	21.158	31.024	-0.514	1.070	0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.551	0.235	0.316	7.285	21.555	31.024	-0.381	1.070	0.001
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.484	0.071	0.413	4.429	21.158	31.024	-0.442	1.070	0.003

CONDUIT 4"										
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.430	0.019	0.412	1.155	22.172	31.024	-0.441	1.070	0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.497	0.085	0.413	5.262	21.158	31.024	-0.442	1.070	0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.526	0.209	0.316	6.496	21.555	31.024	-0.381	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.449	0.253	0.196	7.837	22.983	31.024	-0.236	1.070	-0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.380	0.035	0.345	2.148	22.040	31.024	-0.369	1.070	-0.016
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.425	0.034	0.391	2.084	22.040	31.024	-0.419	1.070	-0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.388	0.018	0.370	1.106	22.172	31.024	-0.396	1.070	-0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.489	0.036	0.452	-1.573	21.555	31.024	-0.484	1.070	0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.471	0.276	0.195	8.568	23.334	31.024	-0.235	1.070	0.002
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.409	0.062	0.347	3.856	22.040	31.024	-0.372	1.070	0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.452	0.035	0.417	-1.501	21.555	31.024	-0.446	1.070	-0.021
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.491	0.221	0.270	6.859	22.172	31.024	-0.325	1.070	0.003
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.351	0.095	0.256	5.916	22.172	31.024	-0.274	1.070	-0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.334	0.015	0.319	-0.678	23.334	31.024	-0.341	1.070	-0.014
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.364	0.059	0.304	3.688	22.040	31.024	-0.325	1.070	0.014
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.412	0.252	0.160	7.821	23.334	31.024	-0.192	1.070	-0.004
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.547	0.217	0.331	-4.982	22.983	31.024	-0.398	1.070	0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.608	0.255	0.352	-5.655	22.156	31.024	-0.424	1.070	-0.020
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.551	0.238	0.313	-5.466	22.983	31.024	-0.377	1.070	-0.020
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.347	0.092	0.255	-4.584	24.908	31.024	-0.272	1.070	-0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.724	0.353	0.371	-7.816	22.172	31.024	-0.447	1.070	0.011
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.415	0.237	0.175	7.341	22.983	31.024	-0.211	1.070	-0.042
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.445	0.281	0.159	8.727	22.040	31.024	-0.191	1.070	0.047
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.792	0.369	0.423	-7.816	21.158	31.024	-0.509	1.070	0.011
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.471	0.239	0.232	7.409	21.555	31.024	-0.279	1.070	-0.012
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.493	0.264	0.228	8.198	21.158	31.024	-0.275	1.070	0.013
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.724	0.353	0.371	-7.816	22.172	31.024	-0.447	1.070	0.012
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.485	0.279	0.202	8.652	21.158	31.024	-0.243	1.070	-0.051
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.431	0.220	0.207	6.820	21.555	31.024	-0.250	1.070	0.051

TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.476	0.209	0.268	6.471	21.555	31.024	-0.322	1.070	0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.427	0.073	0.354	4.511	21.158	31.024	-0.379	1.070	-0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.439	0.009	0.430	0.539	21.158	31.024	-0.460	1.070	-0.014
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.009
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.445	0.282	0.159	8.743	22.040	31.024	-0.191	1.070	-0.047
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.412	0.232	0.175	7.207	22.983	31.024	-0.211	1.070	0.050
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.418	0.239	0.178	7.424	23.334	31.024	-0.215	1.070	-0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.400	0.246	0.151	7.646	22.972	31.024	-0.182	1.070	0.032
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.243	0.079	0.161	4.913	24.908	31.024	-0.172	1.070	-0.031
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.730	0.424	0.305	-9.892	23.334	31.024	-0.367	1.070	0.031
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.445	0.233	0.211	7.241	22.040	31.024	-0.255	1.070	0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.294	0.082	0.209	5.085	23.334	31.024	-0.224	1.070	-0.039
TUBOS					-					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.903	0.489	0.414	10.53	21.555	31.024	-0.498	1.070	-0.028
TUBOS					2					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.414	0.202	0.210	6.265	22.172	31.024	-0.253	1.070	0.039
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.436	0.211	0.225	6.537	22.172	31.024	-0.270	1.070	-0.014
TUBOS					-					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.884	0.492	0.390	10.61	21.555	31.024	-0.470	1.070	0.031
TUBOS					0					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.287	0.076	0.209	4.718	23.334	31.024	-0.224	1.070	0.028
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.423	0.226	0.195	7.018	22.040	31.024	-0.235	1.070	-0.027
TUBOS					-					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.743	0.438	0.305	10.21	23.334	31.024	-0.367	1.070	0.019
TUBOS					1					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.765	0.442	0.323	10.14	22.972	31.024	-0.389	1.070	-0.006
TUBOS					4					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.422	0.256	0.163	7.938	23.334	31.024	-0.196	1.070	0.042
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.255	0.078	0.176	4.846	24.908	31.024	-0.189	1.070	-0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.415	0.262	0.151	8.120	22.972	31.024	-0.182	1.070	-0.029
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.724	0.353	0.371	-7.816	22.172	31.024	-0.447	1.070	0.009
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.410	0.231	0.175	7.154	22.983	31.024	-0.211	1.070	-0.050
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.452	0.287	0.159	8.897	22.040	31.024	-0.191	1.070	0.054
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.793	0.369	0.423	-7.816	21.158	31.024	-0.509	1.070	0.019
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.433	0.222	0.207	6.880	21.555	31.024	-0.250	1.070	-0.047

CONDUIT 4"										
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.490	0.282	0.202	8.755	21.158	31.024	-0.243	1.070	0.057
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.733	0.353	0.380	-7.816	22.172	31.024	-0.458	1.070	-0.023
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.478	0.271	0.202	8.392	21.158	31.024	-0.243	1.070	-0.060
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.466	0.242	0.223	7.516	21.555	31.024	-0.269	1.070	0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.499	0.299	0.199	9.286	22.040	31.024	-0.240	1.070	0.016
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.424	0.232	0.192	7.190	22.983	31.024	-0.231	1.070	0.016
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.387	0.016	0.370	1.019	22.172	31.024	-0.396	1.070	-0.017
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.428	0.074	0.354	4.610	21.158	31.024	-0.379	1.070	0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.475	0.207	0.268	6.427	21.555	31.024	-0.322	1.070	-0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.423	0.256	0.163	7.944	23.334	31.024	-0.196	1.070	-0.046
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.423	0.247	0.176	7.655	22.972	31.024	-0.211	1.070	0.011
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.265	0.085	0.180	5.262	24.908	31.024	-0.193	1.070	-0.017
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.731	0.426	0.305	-9.931	23.334	31.024	-0.367	1.070	0.023
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.457	0.229	0.227	7.115	22.040	31.024	-0.274	1.070	-0.007
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.289	0.078	0.209	4.829	23.334	31.024	-0.224	1.070	-0.033
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.887	0.477	0.410	10.28	21.555	31.024	-0.494	1.070	-0.002
TUBOS					9					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.485	0.212	0.272	6.576	22.172	31.024	-0.328	1.070	-0.015
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.482	0.209	0.272	6.483	22.172	31.024	-0.328	1.070	0.020
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.881	0.471	0.410	10.15	21.555	31.024	-0.494	1.070	0.004
TUBOS					3					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.317	0.084	0.233	5.192	23.334	31.024	-0.249	1.070	0.018
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.479	0.252	0.227	7.814	22.040	31.024	-0.274	1.070	-0.016
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.736	0.408	0.328	-9.522	23.334	31.024	-0.395	1.070	-0.022
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.452	0.272	0.178	8.454	23.334	31.024	-0.215	1.070	0.021
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.243	0.079	0.161	4.927	24.908	31.024	-0.172	1.070	0.033
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.448	0.270	0.178	8.374	22.972	31.024	-0.214	1.070	-0.008
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.744	0.422	0.322	-9.683	22.972	31.024	-0.388	1.070	-0.006
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.451	0.287	0.159	8.897	22.040	31.024	-0.191	1.070	0.050

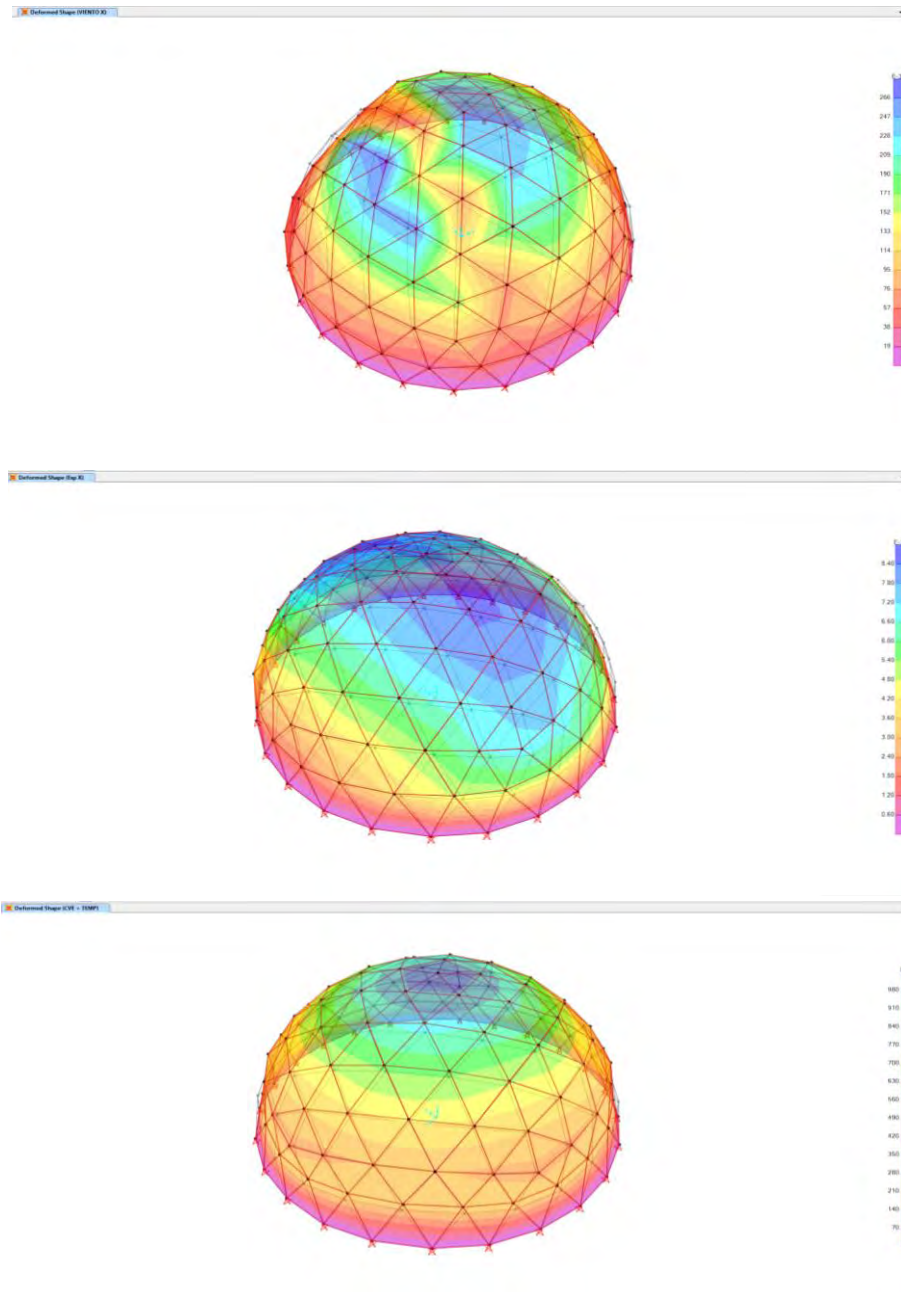
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.724	0.353	0.371	-7.816	22.172	31.024	-0.447	1.070	0.010
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.404	0.225	0.175	6.971	22.983	31.024	-0.211	1.070	-0.046
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.437	0.225	0.207	6.974	21.555	31.024	-0.250	1.070	-0.053
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.482	0.275	0.202	8.526	21.158	31.024	-0.243	1.070	0.058
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.793	0.369	0.423	-7.816	21.158	31.024	-0.509	1.070	0.018
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.469	0.262	0.202	8.129	21.158	31.024	-0.243	1.070	-0.052
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.465	0.241	0.223	7.491	21.555	31.024	-0.269	1.070	0.009
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.733	0.353	0.380	-7.816	22.172	31.024	-0.458	1.070	-0.023
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.466	0.288	0.177	8.939	22.040	31.024	-0.214	1.070	-0.014
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.417	0.237	0.175	7.353	22.983	31.024	-0.211	1.070	0.052
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.734	0.355	0.379	-7.816	22.040	31.024	-0.456	1.070	0.017
TUBOS					10.03					
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.735	0.430	0.305	9	23.334	31.024	-0.367	1.070	0.016
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.412	0.245	0.163	7.603	23.334	31.024	-0.196	1.070	-0.045
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.404	0.251	0.151	7.786	22.972	31.024	-0.182	1.070	0.026
TUBOS										
CONDUIT 4"	CVE + TEMP	0.237	0.074	0.161	4.604	24.908	31.024	-0.172	1.070	-0.027

Esta tabla nos permite observar la capacidad de esfuerzo que presenta cada barra con respecto a la carga de diseño. En este caso la combinación más crítica que se usó para diseñar la estructura fue CVE + TEMP, sin embargo en ningún momento se excede la capacidad resistente de la barra por lo que se puede asegurar la seguridad estructural de la cúpula geodésica.

En general este es el procedimiento para poder analizar y diseñar una cúpula geodésica con la ayuda de la herramienta SAP 2000 y poder garantizar una seguridad estructural basándonos en la normatividad vigente y los criterios de diseño. Una recomendación para este apartado es conocer el manejo del paquete SAP 2000 o cualquier otro programa de análisis estructural, para contar con una herramienta que nos facilite a un tiempo el análisis y el diseño de este tipo de estructuras. Sin embargo no se debe olvidar lo esencial de tener los conocimientos básicos de análisis estructural para todo tipo de estructuras ya que los paquetes informáticos nunca podrán desplazar el buen juicio ni el sentido común del Ingeniero Estructural.

Para concluir con el diseño estructural del domo geodésico se agregaran diagramas de deformación de la estructura por:

- VIENTO
- SISMO
- CVE+ TEMPERATURA



## **CAPITULO 4.- CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO FÍSICO DE CÚPULA GEODÉSICA**

### **4.1.- DESCRIPCIÓN**

Para poder concluir con el objetivo planteado en este trabajo, se llevara a cabo la construcción de un modelo físico de un domo geodésico. En este caso la intención de este capítulo no es realizar el análisis estructural ya que anteriormente se explicó. Normalmente en el ámbito de la Ingeniería Experimental, un modelo físico representa a escala a la estructura prototipo y está destinado a ensayarse en el laboratorio bajo cargas, obtener mediante instrumentación sus deformaciones o esfuerzos y extrapolar su comportamiento al diseño de la estructura prototipo mediante la técnica del análisis dimensional. En este trabajo la intención es más modesta, mostrar la facilidad de construcción de las cúpulas geodésicas y al no sujetarse a ensayos de laboratorio el modelo queda a nivel propiamente de maqueta, aun cuando se haga referencia a él como modelo físico.

Se recurrirá al uso de la herramienta <http://www.desertdomes.com/domecalc.html> para obtener las características geométricas de las barras de la retícula. Esta herramienta ya se había utilizado previamente para obtener un dimensionamiento preliminar del domo geodésico analizado.

La asignación de material y diámetro de las barras se hará de acuerdo a un criterio personal por tratarse de una estructura de pequeñas dimensiones y dado el objetivo perseguido.

### **4.2.- GEOMETRÍA GENERAL DEL MODELO**

#### **4.2.1 RADIO DEL DOMO**

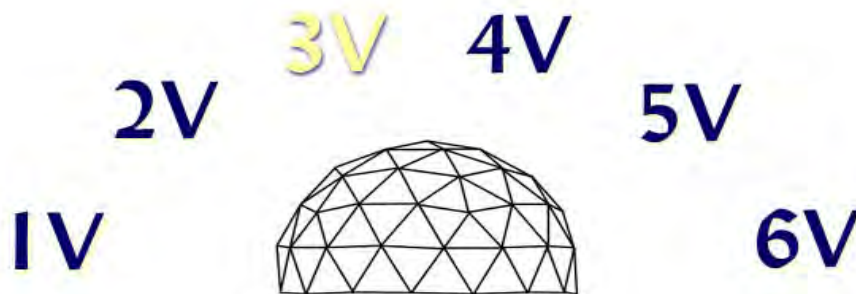
Tomando en cuenta que solo se trata de un modelo físico para poder ser expuesto y que se puedan notar de una forma clara sus elementos estructurales, se tomara la decisión de usar un radio de 50 centímetros, dando un diámetro total de 1.0 m. Esta decisión ayudará para que el tamaño del modelo geodésico terminado, no sea un impedimento a la hora de su transporte. Cabe mencionar que no se toman referencias de algún texto para el dimensionamiento del domo geodésico, así que debe aclararse que es criterio personal.



#### 4.2.2 FRECUENCIA DEL DOMO

La frecuencia que se le dará al modelo físico será de 3V debido a que no será una estructura de grandes dimensiones. Anteriormente se explicó a qué se refería la frecuencia de un domo geodésico.

Para empezar, se seguirán los pasos de capítulo anterior, donde se utilizó la página llamada <http://www.desertdomes.com>, que tiene como función generar modelos de domos geodésicos. En la pantalla de inicio se seleccionara la frecuencia con la cual se trabajara para poder construir un modelo físico de domo geodésico, dado esto se seleccionara frecuencia 3V como se muestra en la figura siguiente:



FRECUENCIA DEL MODELO FÍSICO  
FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM](http://www.desertdomes.com)

Enseguida, retomando el uso de la herramienta, el siguiente paso es proporcionarle a la calculadora de domos el radio con el cual se trabajara para la construcción del modelo físico.

Por lo tanto, se asignara un radio de 0.5 metros previamente definidos como se muestra a continuación:

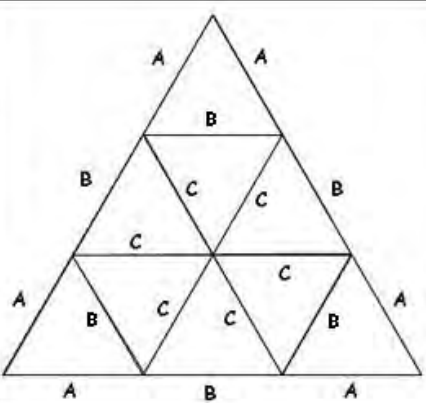


RADIO DEL MODELO FÍSICO  
FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM](http://www.desertdomes.com)

### 4.2.3.- DIMENSIONES DE CADA BARRA

Ahora dando seguimiento a la herramienta utilizada, después de haber definido el radio del domo, la calculadora proporcionará las dimensiones de cada barra o miembro estructural para la fabricación del modelo físico, como se muestra en la figura siguiente:

Strut	Length	3/8	5/8	Sphere
A	0.174	30	30	60
B	0.201	40	55	90
C	0.206	50	80	120
4-way connectors		15	15	0
5-way connectors		6	6	12
6-way connectors		25	40	80



El diagrama muestra un domo geodésico con un radio de 50 cm y una frecuencia de 3V. El domo está formado por una estructura triangular que se divide en triángulos más pequeños. Las barras se etiquetan como A, B y C. Las barras A son las que forman los bordes exteriores del domo. Las barras B y C son las que forman los miembros interiores. El diagrama muestra un total de 30 barras tipo A, 40 barras tipo B y 50 barras tipo C.

DIMENSIONES DE CADA BARRA  
FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM](http://www.desertdomes.com)

La figura anterior muestra los elementos necesarios para la fabricación del domo geodésico con un radio de 50 centímetros y una frecuencia 3V. Dicho esto, los elementos a utilizar se definen a continuación.

Se utilizarán 3 tipos de barras estructurales para dar forma al domo geodésico.

- Barra tipo A = 0.174 m
- Barra tipo B = 0.201 m
- Barra tipo C = 0.206 m

En este caso se construirá un domo de 3/8 de esfera, por lo tanto se tendrán que fabricar:

- 30 barras tipo A
- 40 barras tipo B
- 50 barras tipo C

Para este caso, tratándose de un domo de bajas dimensiones, no se necesitaran fabricar conexiones especiales para poder unir cada elemento estructural, solo bastara con realizar un procedimiento que se detallara más adelante.

Por otra parte, si fuera el caso de fabricar un domo geodésico de grandes dimensiones, si se necesitarán uniones especiales para cada elemento estructural.

### **4.3.- FABRICACIÓN DE BARRAS Y CONEXIONES**

Para seguir adelante con la construcción del modelo físico de una cúpula geodésica, se deben conocer los procedimientos de fabricación de cada barra estructural y también de cómo se llevaran a cabo las conexiones entre ellas. Debe aclararse que no existe algún manual específico de fabricación de este tipo de modelos o maquetas, por lo que se retomará a algunas indicaciones teóricas y criterio personal.

Debe especificarse qué tipo de material será el utilizado en la fabricación de barras y el procedimiento de conexión entre ellas.

#### **4.3.1 MATERIAL**

En este caso se fabricará el modelo con barras de acero mejor conocidas como “tubos Conduit galvanizados de pared delgada” de 1/2” de diámetro, con el espesor de pared más delgado que se encuentra comercialmente, con lo cual quedará un modelo económico, manejable y ligero, sin sacrificar su resistencia.

#### **4.3.2 CORTES**

Partiendo de las longitudes de cada barra definidas previamente, se usará el equipo necesario para llevar a cabo los cortes de cada elemento del tamaño necesario, en este caso se llevó a cabo cada corte mediante una cortadora eléctrica. Teniendo los datos necesarios y el equipo correcto se siguieron estos sencillos pasos:

Primero se cortaran 30 piezas de tubo de 17.4 centímetros y se marcaran con una letra “A” para diferenciarlos a la hora del ensamblaje.

Posteriormente se necesitará cortar 40 piezas de 20.1 cm y marcarlas con una letra “B”

Finalmente para un tercer tipo de barra se cortarán 50 piezas de 20.6 centímetros marcándolas con la letra “C”.

Es importante llevar a cabo los cortes de cada barra con la mayor precisión posible debido a que si presenta irregularidades en las dimensiones, al final se presentarán dificultades para el ensamblaje. Es importante aclarar que cada barra tiene una dimensión específica donde ya viene incluido el sobredimensionamiento que se le dará para la conexión barra con barra así como el doblé o ángulo que tendrá para que se le dé la forma al domo geodésico. Este aspecto de las conexiones se explicará más adelante.

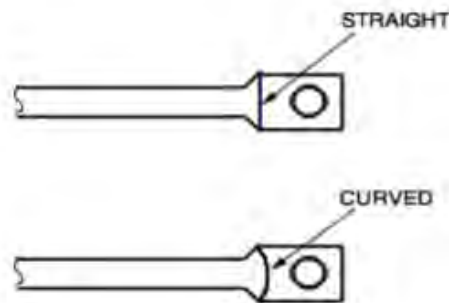
### 4.3.3 CONEXIONES

Hay muchos procedimientos para poder unir las barras estructurales que conforman un domo geodésico, dependiendo el material con el cual se está trabajando. Para casos donde se usa madera o plástico, se fabrican conectores o uniones especiales donde se une cada barra por medio de clavos, tornillos o pegamentos especiales. En este caso se tratará de explicar cuál es uno de los procedimientos más sencillos para la unión de barras de acero garantizando un excelente montaje.

#### 4.3.3.1 PRENSADO

Para llevar a cabo la unión y doblé de los miembros de la estructura con barras de acero, se utilizara un procedimiento basado en las indicaciones de Landry T. (2002), que básicamente consiste en doblar los extremos de cada barra.

Esta indicación consiste en aplanar los extremos de cada barra estructural por medio de una prensa hidráulica o cualquier otra herramienta que cumpla con esta función, dándole una forma curva que ayudara a una mejor resistencia a todas las cargas que soportará, como se muestra en la siguiente figura.



PRENSADO Y PERFORACIÓN DE ELEMENTOS  
FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM/TIPS.HTML](http://www.desertdomes.com/tips.html)

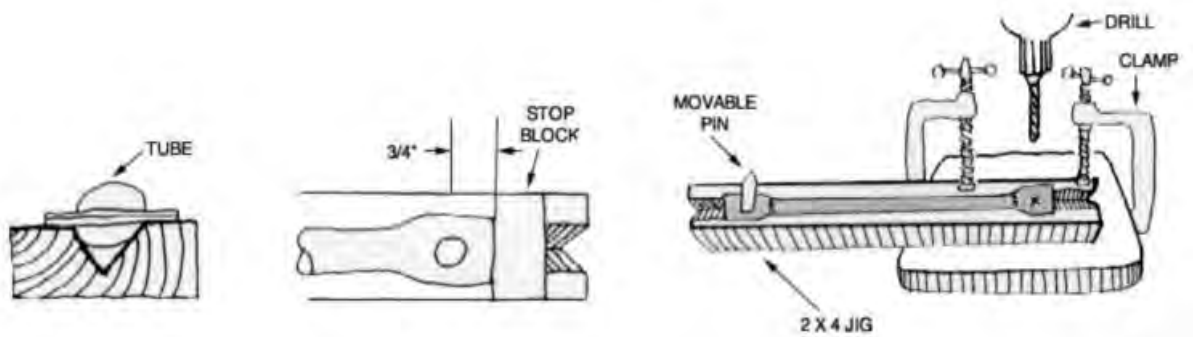
La distancia que se aplanará en cada extremo de la barra será definida por el criterio del diseñador. En este caso para la elaboración del modelo geodésico, el

presado se hizo por medio de una prensa hidráulica convencional dejando un aplanado por extremo de 2.5 centímetros. Esta distancia se consideró la correcta para que al momento de perforar cada extremo de la barra, el barreno o perforación quedara a  $\frac{3}{4}$  'de distancia de la punta de la barra dejando un espacio libre que puede evitar alguna fractura de la barra a la hora de la perforación y también ayudar a la resistencia de la maqueta.

#### 4.3.3.2 PERFORACIÓN DE ELEMENTOS

Una vez se tengan aplanados o presados los extremos de cada barra estructural, se tendrá que realizar una perforación en ambas caras planas de la barra para poder empalmar cada elemento y poder sujetarlas en este caso por medio de un tornillo.

Para realizar esta perforación es recomendable usar un taladro de banco o cualquier herramienta que sea capaz de realizar este trabajo. Como se mencionó anteriormente se tomará una distancia mínima de  $\frac{3}{4}$  de pulgada del extremo de la barra hasta el sitio donde colocaremos el tornillo para realizar las uniones. Como se mencionó anteriormente no existe algún manual de fabricación para este tipo de maquetas por lo que se siguen indicaciones tomadas a partir de un método experimental. Para tener una idea de este proceso se muestra la siguiente figura:



PERFORACIÓN DE ELEMENTOS

FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM/TIPS.HTML](http://www.desertdomes.com/tips.html)

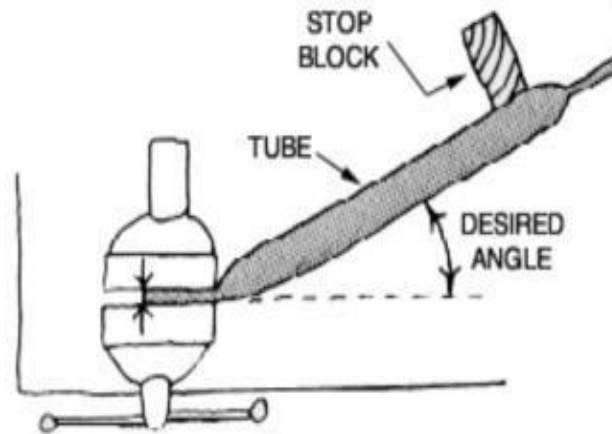
Es importante tener en cuenta la cantidad de nodos o conexiones que tendrá la maqueta para poder contemplar la cantidad de perforaciones que se realizarán y sobre todo la cantidad de tornillos, rondanas y tuercas que se utilizaran para la fijación de barra con barra.

#### 4.3.3.3 DOBLEZ DE EXTREMOS DE BARRAS

Esta parte es considerada la más importante para la construcción de un modelo físico de cualquier cúpula geodésica, ya que se necesitara hacer un doblado en cada extremo de la barra que dará la forma de estructura curva al momento del montaje. Para llevar a cabo este procedimiento ya se tuvo que haber realizado la perforación de cada extremo de la barra.

Entonces siguiendo con el procedimiento, por medio de una prensa como herramienta, se sujetarán los extremos aplanados o prensados de las barras para darle por medios manuales el ángulo que necesitarán para que el montaje coincida con las características geométricas que se definieron al principio.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de cómo doblar los extremos de cada barra.



DOBLEZ DE EXTREMOS

FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM/TIPS.HTML](http://www.desertdomes.com/tips.html)

Es importante saber que ángulo necesitará cada extremo de la barra para que coincida a la hora del montaje, por lo tanto para saber que ángulo se le va a dar a la barra, este dependerá de la frecuencia asignada al domo geodésico.

En la figura que sigue se muestran los posibles ángulos que se le darán a la barra dependiendo la frecuencia de la estructura.

Frecuencia	Ángulo "Miembros A"	Ángulo "Miembros B"	Ángulo "Miembros C"
1V	32°	-	-
2V	18°	16°	-
3V	10°	10°	12°
4V	7° - 9°	7° - 9°	7° - 9°
5V	6° - 9°	6° - 9°	6° - 9°
6V	5° - 6°	5° - 6°	5° - 6°

ÁNGULOS DE DOBLEZ EN EXTREMOS DE BARRAS  
FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM/TIPS.HTML](http://www.desertdomes.com/tips.html)

Par el caso del modelo físico a construir para la barra "A" se le dará un ángulo de 10°, para la barra "B" tendrá un ángulo igual de 10° y para la barra "C" su ángulo será de 12°.

Con estos ángulos asignados se garantiza un correcto montaje de la estructura.

#### 4.4 MONTAJE

En este apartado se mostrarán los resultados de este capítulo, donde debe visualizarse la maqueta terminada siguiendo las indicaciones previamente definidas. Por lo tanto es importante tener una idea de cómo se debe ensamblar un domo geodésico.

Para este caso se puede obtener un diagrama de armado con la ayuda de la herramienta <http://www.desertdomes.com/domecalc.html>.

##### 4.4.1 DIAGRAMA DE MONTAJE

En este diagrama se representan por medio de colores y letras cada barra que conforma el modelo y por medio visual se puede apreciar cual es la colocación de cada elemento.

Para el modelo físico a construir se tienen tres tipos de barras las cuales son "A, B, C" que con la ayuda del diagrama de montaje se puede determinar la posición de cada una de ellas.

A continuación en la figura se muestra el diagrama de montaje.

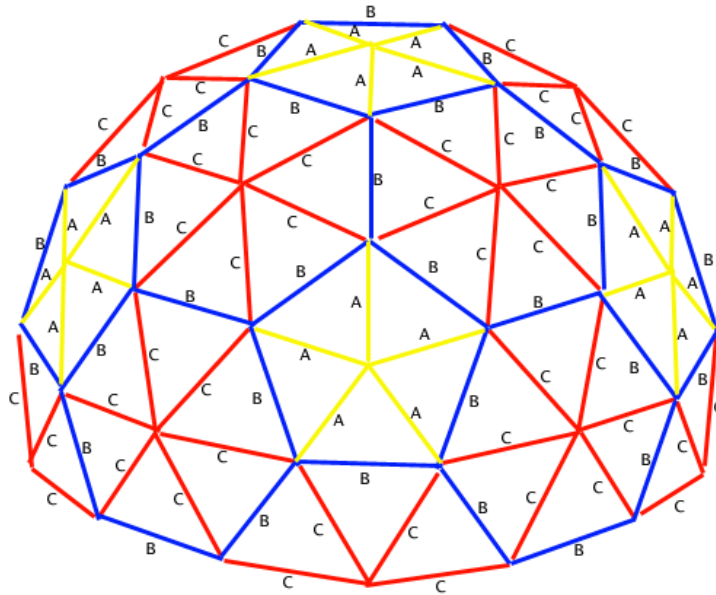


DIAGRAMA DE MONTAJE

FUENTE: [HTTP://WWW.DESERTDOMES.COM/DOMECALC.HTML](http://www.desertdomes.com/domecalc.html)

#### 4.4.2 ENSAMBLE DE BARRAS Y CONEXIONES

Siguiendo con el objetivo de este capítulo, partiendo de los detalles de fabricación de cada barra estructural así como su conexión, se deberá llevar a cabo el montaje del domo.

Para tal efecto se siguieron algunos pasos como se describirá a continuación:

- Para empezar se deben separar los tipos de barras a utilizar para que a la hora del montaje y selección de cada barra de acuerdo a su posición sea más fácil su selección al tenerlas separadas.
- Se deberán limpiar las barras y también la perforación de cada conexión con algún trapo limpio, para evitar cualquier acumulación de polvo que impida el enroscamiento del tornillo a la hora de unirlos.



- Hecho esto se iniciara el montaje usando el diagrama de montaje previamente visto, tomando un punto de referencia en el plano para evitar confusiones.
- Con el diagrama solo basta seguir los colores definidos de acuerdo al tipo de barra que le corresponda
- Para unir las barras se tendrán que acoplar los tubos necesarios haciendo uso del diagrama de montaje e insertar el tornillo por las perforaciones de cada tubo y atornillar utilizando la herramienta adecuada.
- Para que queden fijas las conexiones se hará uso de una rondana de presión y una tuerca para ejercer mayor presión en cada conexión.

Es importante dejar claro como iniciar el montaje, así que una sugerencia es armar primero los anillos inferiores del domo y a la par ir montando las diagonales que darán forma a la cúpula geodésica.

#### 4.4.3 REPORTE FOTOGRÁFICO



CORTE DE ELEMENTOS



PERFORACION DE BARRAS



DOBLEZ DE CADA BARRA



DOBLEZ Y PRENSADO



BARRA TERMINADA



TOTAL DE BARRAS



TONILLERIA PARA CONEXIONES



ENSAMBLAJE



CONEXIONES



MODELO TERMINADO



DOMO GEODESICO ELABORADO CON TUBO CONDUIT

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La importancia de la ingeniería civil reside en que es una rama que hace uso de herramientas, técnicas, procedimientos y materiales para la construcción de obras seguras y eficientes que contribuyan al desarrollo de una población, así como a la adaptación y a los cambios de la civilización. En este proyecto se empezó con la descripción de un problema y la necesidad de resolverlo para satisfacer las necesidades humanas lo cual es el objetivo principal de la ingeniería civil. Es importante tener las herramientas necesarias para poder llevar a cabo proyectos de desarrollo urbano y garantizar que con el paso de los años se contribuya al desarrollo de la sociedad sin que se afecte el acomodo de la misma ni el entorno ambiental, para lo cual se requieren proyectos sustentables.

Partiendo del tema que se desarrolló en este trabajo, se impulsa a futuras generaciones y generaciones actuales, a la investigación de estructuras poco usuales ya que muchas veces se adopta a ir por lo más convencional por ser más práctico. Este tema, tuvo un reto el cual fue la recopilación de la información ya que no es una estructura muy usual por lo que la realización de este trabajo necesitó de una investigación más a fondo sobre estructuras similares como arcos y bóvedas, partiendo de los mismos principios básicos.

Gracias a la investigación de estos temas se pudo lograr el objetivo de este proyecto y tener una clara idea de cómo es el trabajo estructural de las cúpulas geodésicas. Así mismo, para todo tipo de proyecto a realizar es recomendable tener la información correcta para llegar al resultado que uno desea.

Otro aspecto importante que se debe recalcar es el aprender a usar herramientas de cálculo y diseño que van a facilitar la tarea de un ingeniero civil, sin embargo el usar un programa tiene sus beneficios y desventajas ya que como ingeniero se deben tener los conocimientos prácticos y técnicos para poder obtener resultados reales y satisfactorios ya que una computadora solo es una caja vacía que hará lo que nosotros ordenemos. Se reitera que el criterio, el buen juicio y el sentido común del Ingeniero Estructural son fundamentales para lograr estructuras que cumplan con eficiencia con la finalidad para la cual sean proyectadas.

---

*“La naturaleza intenta hacernos exitosos, pero la naturaleza no depende de nosotros, no somos el único experimento”*

*Richard Buckminster Fuller*



## BIBLIOGRAFÍA

- Análisis de tipologías estructurales. Bóveda, Lámina, Cúpula y paraboloides. Arquitecto Ignacio Requena Ruiz
- Diseño estructural – Roberto Meli piralla –Limusa 3a edición
- Normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones. (RCDF, 2004)
- Normas técnicas complementarias para diseño por sismo . (RCDF, 2004)
- Normas técnicas complementarias para diseño por viento . (RCDF, 2004)
- Reglamento de construcciones del distrito federal (2004)
- Manual de Diseño de Obras Civiles ,CFE, viento 2008
- Aspectos fundamentales del concreto reforzado – González Cuevas – Limusa, 3a edición
- Las Tesinas de Belgrano- La cúpula en mampostería. Análisis estructural, cuadros figurativos, consolidación tradicional e innovadora. Departamento de Investigaciones Junio 2007
- Estructuras espaciales- Irving Genaro Amayo Morales (2009)
- Triangulación de estructuras- UNAM (2007)
- Diseño de concreto reforzado- 4ª edición- Jack C McCormac
- Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España- Santiago Huerta Fernández (1990)
- Diseño estructural basado en domos geodésico para la construcción de viviendas en Venezuela. Coello Muñoz Tauka (2012) Venezuela

### Links

- <http://www.desertdomes.com/>
- <http://www.desertdomes.com/domecalc.html>