

**Compilación de artículos  
de investigación de la Red  
Académica Internacional  
Diseño y Construcción.**

**Administración y Tecnología  
para Arquitectura, Diseño e  
Ingeniería.**

---

**DISEÑANDO PARA CASOS DE  
DESASTRE**

**Mtro. Ernesto Noriega Estrada  
Arq. Tomás E. Sosa Pedroza**



## DISEÑANDO PARA CASOS DE DESASTRE

Mtro. Ernesto Noriega Estrada  
Arq. Tomás E. Sosa Pedroza

### INTRODUCCIÓN

La ponencia presentada en el 6° congreso de Administración y Tecnología para el Diseño por los autores Mtro. Ernesto Noriega y Arq. Tomás Sosa, intitulada “Diseñando para Casos de Desastre”, tuvo como finalidad la de presentar los avances de nuestro esfuerzo de investigación debidamente protocolizado ante las autoridades de la Universidad Autónoma Metropolitana. La intención del proyecto es el de apoyar a las autoridades federales del Sistema Nacional de Protección Civil en la consecución de sus objetivos de dar salvaguarda material a grupos humanos debido a eventos desestabilizadores.

Cuando ocurren situaciones de desastre derivadas de sismos, huracanes, revueltas sociales, inundaciones, incendios forestales, etc., la autoridad correspondiente de protección civil, ya sea a nivel federal, estatal o municipal aplican de manera inmediata medidas de salvaguarda a los grupos humanos de la zona afectada. Estas medidas establecidas en la Ley federal de protección Civil se derivan del objetivo del Sistema Nacional de proteger a la sociedad ante la eventualidad de un desastre.<sup>1</sup>

En el caso específico de nuestra propuesta, el objetivo marcado es el de ofrecer mediante un planteamiento arquitectónico, una alternativa de solución para refugiar a los grupos humanos desplazados de su lugar habitual de hábitat por las descritas por la autoridad federal como contingencias, ya sean su origen del tipo natural o social. Nos es importante señalar que el avance logrado a la fecha de la investigación tiene un avance del 65% respecto a las metas establecidas en el protocolo.

1 Ley General de Protección Civil. Artículo 10

## ORIGEN DE LA PROPUESTA

La migración temporal de personas desde sus espacios naturales de habitación hacia sitios más seguros para salvaguardar sus vidas y sus bienes debido a eventos meteorológicos, geológicos o sociales, es una circunstancia cada vez mas frecuente en el territorio de nuestro país. Según las estadísticas emanadas de las autoridades competentes mexicanas en la materia, la vulnerabilidad de numerosos sectores poblacionales es cada vez mayor por el incremento de estos fenómenos en cantidad y grado de peligrosidad.

Según estadísticas<sup>2</sup> del Consejo Nacional de Población, CONAPO por sus siglas, en la actualidad un gran porcentaje del total de los municipios existentes en el país se ven afectados por las descritas por protección civil como contingencias<sup>3</sup>:

TOTAL DE MUNICIPIOS AFECTADOS	2 456
• Por fenómenos hidrometeorológicos	1 400
• Por eventos sísmicos	161
• Por eventos volcánicos	25
• Otros eventos	370

Estableciéndose en otra estadística la cantidad de habitantes de estos municipios involucrados en estas afectaciones, incidiendo en casi el 70% de la población total mexicana y representando a casi relevante del mismo documento, que la vulnerabilidad de la población mexicana en su totalidad representa casi el 70% de la población ante los fenómenos desestabilizadores: Que transformados involucran a una gran cantidad de habitantes en estos municipios al grado de representar:

- 12 millones de personas están expuestas constantemente a los efectos de los ciclones tropicales
- 22 millones de personas a las inundaciones por desbordamiento de ríos
- 5 millones de personas por el corrimiento de tierras
- 36 millones de personas a los efectos de los sismos.

De estos mapas estadísticos podemos concluir que al día de hoy más de la mitad de la población del total de México se encuentra vulnerable ante algún tipo de evento desestabilizador con consecuencias materiales y humanas, en algunos casos devastadores o leves pero que siempre se han reflejado en movilización de los grupos humanos habitantes de los municipios afectados.

2 Encuesta nacional de gobierno, seguridad pública y justicia municipal 2009

3 CONTINGENCIA: posibilidad de ocurrencia de una calamidad que permite preverla y estimar la evolución y la probable intensidad de sus efectos, si las condiciones se mantienen invariables. TRANSITORIOS DE LA LEY DE PROTECCIÓN CIVIL

Para la CONAPO<sup>4</sup> los eventos que mas han generado movilizaciones forzadas desde el año 2009 a la fecha han sido:

- Los desplazamientos de grupos sociales rurales debido a inundaciones como consecuencia del desborde de ríos en épocas de lluvia.
- El desalojo de áreas urbanas como consecuencia de terremotos o fallas geológicas (recordando que México se encuentra ubicado en zonas altamente sísmicas).
- El desalojo de áreas urbanas como consecuencia de fallas geológicas.
- La movilización de habitantes de áreas urbanas y rurales como consecuencia de huracanes, ciclones, tormentas tropicales, etc. sobre todo en zonas costeras.

Las contingencias sociales, que aunque son menos frecuentes que las de origen natural, también generan desplazamiento de personas y la necesidad de las autoridades de conducirlos adecuadamente junto con la protección de sus bienes materiales:

- Por el conflicto guerrillero en el Estado de Chiapas en la década de los 90's
- Por el desplazamiento de los habitantes de los estados de Puebla y México vecindados en la faldas del volcán Popocatepetl en el año 2000, como medida preventiva.
- Aunque en menor medida el traslado de los afectados por la influenza AH1N1 en el año 2010.
- Y en los últimos años el desplazamiento a otras entidades de grupos urbanos y rurales generados por la acción de la delincuencia organizada.

Por su ubicación en el continente americano el territorio nacional se ve expuesto básicamente a dos tipos de fenómenos del tipo natural como son los huracanes y los sismos, que por su frecuencia y grados de peligrosidad son los mayores causantes del desplazamiento de poblaciones enteras a lo largo del territorio nacional.

## HURACANES

De todos los fenómenos desestabilizadores, naturales o del tipo social, el originado por los llamados "huracanes" es el que estadísticamente genera mayor movilización de grupos humanos en México, debido a que casi 34 millones de habitantes son impactados, en mayor o menor grado, por ellos porque son residentes de las costas o de áreas desprotegidas naturalmente ante éste tipo de fenómenos.

El evento meteorológico conocido en el continente americano como huracán, toma su nombre de la cosmogonía maya y se deriva del vocablo "hurakán" que era el dios que propagó su aliento en los principios del mundo a través de las aguas caóticas del inicio. En otras latitudes del planeta en donde se presentan este tipo de fenómenos meteorológicos también se les conoce como "Baguios" en Filipinas, "Tifones" en algunos países de Asia, "Willy-willies" en Australia o simplemente "ciclones" en el resto del mundo.

La meteorología que es la ciencia que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico y los fenómenos que se producen en la misma atmósfera, define a los huracanes como un ciclón tropical originados en las regiones cercanas al ecuador, en las zonas llamadas de “calma ecuatorial”.

La “calma ecuatorial” es una franja estrecha alrededor del planeta sobre la línea del ecuador terrestre, ahí se desarrollan vientos suaves, brisas leves y variables, chubascos frecuentes y temperaturas cálidas en el agua del mar. Los huracanes se forman en los meses de mayor calor en estas zonas de calmas y se despliegan inicialmente cuando el aire caliente, acelerado por las altas temperaturas del verano, asciende empujado por el aire frío, que es más denso, de las partes altas de la atmósfera generándose vientos rápidos que soplan de forma circular alrededor del llamado “ojo del huracán”.

Según su grado, el diámetro que cubren los vientos más rápidos del huracán puede llegar a abarcar hasta 250 km., y según las velocidades que alcanzan estos vientos es como se clasifican pudiendo ser de cinco categorías o niveles (según la clasificación Saffir-Simpson):

La evolución de los huracanes está medida en cuatro etapas:

Perturbación tropical.- Se generan vientos incipientes que en ocasiones genera depresiones tropicales

Depresión tropical.- Los vientos alcanzan una velocidad sostenida menor o igual a 62 kilómetros por hora.

Tormenta tropical.- El incremento de los vientos alcanzan entre 63 y 118 kilómetros por hora.

Huracán.- Se clasifica como un ciclón tropical en el cual los vientos rebasan la velocidad de 118 kilómetros por hora y por su importancia a su vez se clasifican en 5 categorías según la clasificación Saffir-Simpson:

- 1 De 118 a 153 kms./hr.
- 2 De 154 a 177 kms./hr.
- 3 De 178 a 209 km/h
- 4 De 210 a 249km/h
- 5 más de 250 km/h

Los huracanes mas devastadores que han afectado las costas mexicanas se originaron en la zona calma del mar de las Antillas, pero en algunos casos potenciados en las aguas del golfo de México y en la zona de calma del océano pacífico:

- Gilberto en el año de 1992.- Afectó gravemente a las costas mexicanas desde Quintana Roo hasta Tamaulipas generando el desplazamiento de 35 000 personas de su lugar de origen y la muerte de 202 personas, además de graves daños materiales.

- Mitch 1998.- Aunque el daño no fue tan grande en México en donde provocó la muerte de 9 personas, fue en Estados Unidos donde repercutió con su mayor fuerza generando marejadas y ráfagas de viento que destruyeron una parte importante de infraestructura urbana al sur de la península de la Florida.
- Paulina en el año de 1997.- Afectó las costas del pacífico y de manera importante las de Guerrero, dejando un saldo de 300 000 personas sin hogar y entre 300 y 400 muertes sólo en México.
- Wilma en el año de 2005.- Se mantuvo estacionado en las costas de Quintana Roo y Yucatán donde dejó secuelas económicas en la infraestructura turística de la zona, dejando a su paso 7 muertes en México, aunque en los países de Guatemala y Honduras su paso fue devastador por la gran cantidad de decesos.
- Ismael en el año de 2005,- Generó olas muy altas causando el hundimiento de barcos pesqueros y la muerte de 57 de sus tripulantes, ya en tierra afectó varios municipios del estado de Sinaloa donde se registraron 54 personas fallecidas.

## SISMOS

Los temblores de tierra también conocidos como sismos son otro evento de desestabilización social que continuamente generan movilización por parte de las organizaciones de protección civil y que igualmente generan el desplazamiento obligado de la población de las zonas afectadas.

Se entiende por sismo o temblor de tierra a un movimiento fuerte del suelo provocado erupciones volcánicas o por el desplazamiento de las llamadas placas tectónicas que conforman la corteza terrestre o litosfera, que como se sabe están compuestas de material rocoso que “flotan” sobre un manto viscoso de altas temperaturas llamado astenósfera que les facilita un continuo movimiento.

A los temblores producidos por la acción volcánica se les describe como “volcánicos” y a los producidos por el desplazamiento de la corteza terrestre se les conoce como “tectónicos”.

Es importante señalar que para realidad mexicana los sismos tectónicos son el origen de los temblores de tierra que mayormente han afectado por su cantidad e intensidad a las poblaciones del país. Las placas tectónicas se han clasificado por los expertos en una cantidad actual de veinte y son básicamente de dos tipos:

Placas oceánicas.- Se encuentran esencialmente cubiertas por corteza oceánica de espesor delgado y sumergidas en toda su extensión. Son ejemplos de este tipo de placas la de Cocos, la Pacífica o la Filipina.

Placas mixtas.- Son placas que básicamente constituidas por corteza continental pero en algunas ocasiones por corteza oceánica. Son ejemplos de este tipo de placas: la Sudamericana, la Norteamericana o la Euroasiática. (Imagen 1)

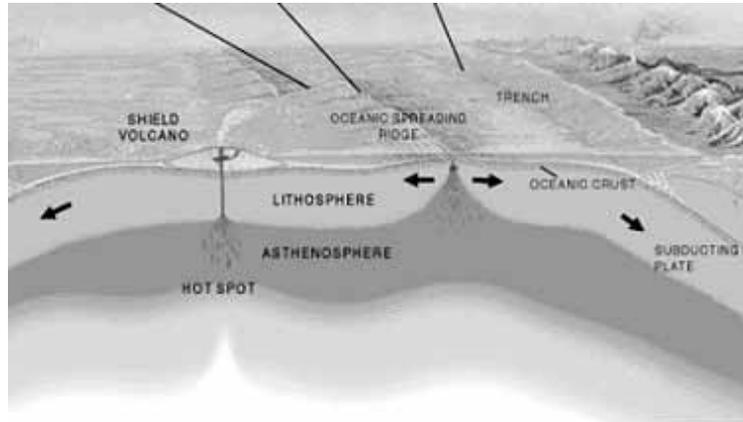


Imagen 1. Dinámica de la Tierra. Crédito imagen: [www.cipres.cec.uchile.cl](http://www.cipres.cec.uchile.cl)

Los temblores de tierra tectónicos se originan por el contacto de las placas rígidas entre sí, lo que provoca tres tipos de fenómenos:

Fenómeno de subducción.- Se describe a este fenómeno como la penetración de una placa tectónica oceánica por debajo de otra placa con características de continental. Esta penetración origina un proceso de fricción que se transforma en forma de ondas sísmicas.

Fenómeno de convección.-Este movimiento de las placas es muy similar al que presenta un sólido cuando es calentado por la parte inferior y enfriado por la parte superior. Los cambios de temperatura son resentidos por la corteza produciéndose fracturas en su composición rígida.

Fenómeno de transcurción.- Movimiento de separación en las placas tectónicas.

Igualmente los expertos han dividido la superficie terrestre en tres tipos según su frecuencia sísmica, basados en su exposición y en base a datos históricos:

Regiones sísmicas.- Son las zonas proclives a sufrir continuos y grandes movimientos de tierra.

Regiones penesísmicas.- Zonas donde la intensidad y la frecuencia de los sismos es de baja magnitud.

Regiones asísmicas.- Son zonas de mucha estabilidad en su corteza, generalmente son de tipo continental y muy antiguas.

En México se ubican dos regiones sísmicas claramente detectadas (Imagen 2), la primera que abarca los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, en donde tienen lugar los epicentros pero que sus efectos repercuten de forma importante en los estados de Nayarit, Puebla, Estado de México, Distrito Federal, Hidalgo y Veracruz, y la ciudad de México, a través de sus ondas sísmicas. En esta primera región los sismos se producen por los choques de las placas de Cocos y la de Norte America, generándose el fenómeno de subducción al penetrar la placa de Cocos por debajo de la placa de Norteamérica.

Y la segunda región sísmica que abarca los estados de Baja California Norte y Sonora en donde el fenómeno de transcurción de las placa de Norte Americana está produciendo la separación de la península De Baja California del resto del continente.



Imagen 2. Libro "Construcciones Antisísmicas". Arq. José Creixell M. Editorial CECSA.

Los sismos más significativos en la historia contemporánea del país han sido:

3 de enero de 1920.- Originado en el Edo., de Veracruz. De 8 grados. 650 muertos.

3 de Junio de 1932.- Originado en Puebla. 8.5 grados. 330 muertos.

28 de Julio de 1957.- Mayor ciudad afectada México D, F. 8 grados. 68 muertos. Se le conoce como el sismo del ángel.

28 de Agosto de 1973.- Mayores ciudades afectadas México D. F., Puebla en su zona oriental y el centro de Veracruz. 7.3 grados. De 1 200 a 3 000 muertos.

19 de Septiembre de 1985.- mayores ciudades afectadas México D. F., Michoacán y Jalisco. 8.1 grados. Se calcularon entre 10 000 y 12 000 personas fallecidas.

25 de Octubre de 1995.- Originado en el estado de Colima. 8.1 grados. Saldo de 1 000 muertos provocados básicamente como consecuencia de un tsunami generado por el sismo.

20 de Enero de 2003.- Originado en Colima pero también afectó los estados de Michoacán y Jalisco. 7.9 grados. Decenas de muertos por derrumbes en sus casas.

A través de estos eventos históricos nos percatamos que los huracanes y los sismos son eventos naturales que generan un alto grado de desestabilización en las zonas donde se presentan, y que su frecuencia y su fuerza se han incrementado de forma considerable en las últimas décadas.

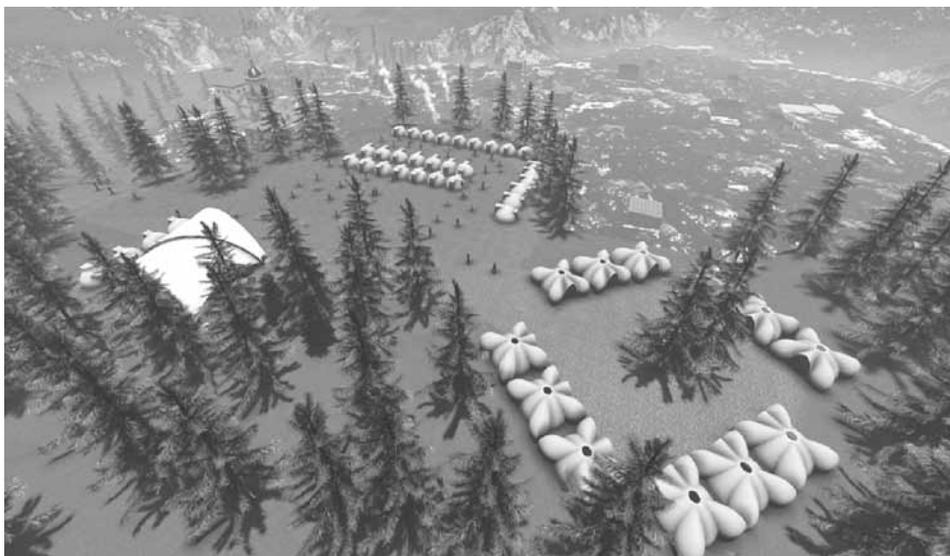
De acuerdo a las devastadoras cifras y estadísticas mencionadas, y peor aún según los pronósticos planteados por los expertos, podemos esperar que a mediano plazo la ocurrencia de huracanes en nuestro país sea todavía mayor en cantidad y en grados de devastación. Y con respecto a los sismos, que continúan siendo a la fecha impredecibles para la ciencia, se espera que a mediano plazo sus efectos continúen afectando a las zonas sísmicas detectadas, al menos con la misma ocurrencia actual.

Estos pronósticos nos dan señales para que las autoridades y la sociedad mexicana en su conjunto estemos mejor preparados con herramientas y protocolos de protección ante estas futuras eventualidades.

## **PROPUESTA DE DISEÑO**

La propuesta de diseño presentada en este esfuerzo de investigación va encaminada a satisfacer de manera momentánea la necesidad de habitación de los desplazados por este tipo de eventos naturales y también de las derivadas por eventos del tipo social. Y para ello hemos proyectado que los módulos, tanto los de habitación como los de servicio, sean: confortables, resistentes al intemperismo (solamente por corto tiempo), de colocación inmediata, fácil de construir, temporales, fáciles de desmontar y de materiales con características de biodegradabilidad.

Para hacer lo más eficiente posible a la villa de albergue nos hemos concentrado en el diseño de cuatro tipos de módulos, que aunque los tres primeros comparten los mismos principios estructurales y de construcción, son diferentes en su diseño arquitectónico:



**Imagen 3. Vista aérea de conjunto, propuesta de albergue.**

Módulo habitacional.- Diseñado para funciones de albergue unifamiliar para cuatro personas, de una superficie total de construcción de 7 metros cuadrados y un espacio de 2.20 m<sup>2</sup> para el guardado de pertenencias. La forma del módulo es semiesférica y para la aeración y ventilación se diseñaron con una ventana y una puerta de acceso que se ubican en contraposición una de la otra para lograr ventilaciones cruzadas al interior.

Módulo para área de sanitarios colectivos.- Diseñado para cumplir las funciones primarias de sanidad de función colectiva y con separación de sexos. Se ubican siete muebles sanitarios del tipo seco, que cumplen su función de controlar las excrecias humanas mediante la separación de los sólidos de los líquidos para su posterior transformación en abono. El área para cada módulo es de 10 metros cuadrados y su aeración e iluminación se logra mediante la puerta de acceso y con una ventana cenital ubicada en el centro de la cúpula.

Módulo de regaderas colectivas.- Es un diseño similar al módulo de sanitarios en donde se substituyen las regaderas en lugar de los sanitarios secos.

Comedor colectivo de estructura plegable.- este módulo es el único que modifica substancialmente el concepto estructural de la villa, habiendo sido diseñado para construirse mediante estructuras de las llamadas plegables cubiertas con material tipo lona y sin paredes.

La estructura base de los tres primeros módulos está diseñada para dar una superficie semi-esférica, porque es la geometría con superficie mínima que cubre el máximo en volumen y es la forma más simple para construirse, lográndose mediante una cimbra del tipo inflable. La superficie resultante

será cubierta mediante espuma de poliuretano aplicada por aspersión, que será después de su rigidización la cubierta final del módulo.

## PROPUESTA CONSTRUCTIVA

La propuesta estructural para la construcción de los prototipos de la villa por desarrollar, se encuentra dentro de la clasificación de Heino Engel<sup>5</sup> como “superficie activa” y en la subclasificación “membrana de curvatura simple” porque ofrece múltiples ventajas operativas y de costo.

Las estructuras de superficie activa son sistemas superficiales flexibles en los que la redirección de las fuerzas se efectúa mediante la resistencia de la superficie y una forma adecuada de la misma, en donde los elementos de la estructura están sometidos a sollicitaciones de membrana, es decir a fuerzas que actúan en paralelo a la superficie resultante de diseño. No resisten flexiones pero son muy eficientes ante los esfuerzos cortantes y de compresión.

Generalmente este tipo de estructuras derivan en formas cupulares que son superficies que presentan doble curvatura y el mismo empuje en todas las direcciones con inflexiones en un mismo sentido y de forma radial. De todas estas resultantes radiales se puede decir que la más sencilla es la esfera. Las cúpulas presentan de manera general dos componentes básicos, el primero son los nervios que se encuentran dispuestos Radialmente y el segundo son los anillos que se determinan a diferentes alturas. (Imagen 4)

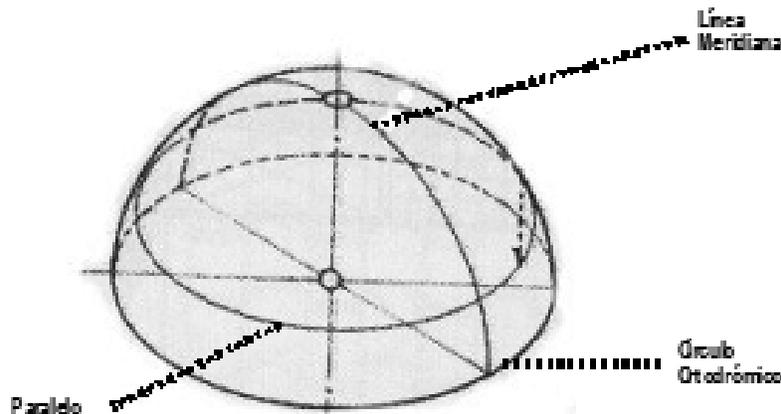


Imagen 4. Tesis “Metodologías para el diseño de estructuras a través del trazo con geometría descriptiva y modelos experimentales”. Mtro. en Arq. Ernesto Noriega Estrada.

Los nervios generan una curva denominada meridiano considerada como una sección semi-circular que actúan en sentido vertical, que corta sobre el eje de la superficie, mientras que los anillos generan una circunferencia completa llamada paralelo que son secciones horizontales y que cortan perpendicularmente el eje de la superficie.

En las cúpulas semiesféricas la transición de las fuerzas de los paralelos a los meridianos se da entre los 45° y 60° con respecto al eje vertical, pudiendo ser tangenciales y actuar de manera perpendicular a las fuerzas meridianas y a lo largo del paralelo. En la parte superior trabajan a compresión y en la inferior a tensión limitando movimientos hacia fuera de la cúpula.

También se presenta la fuerza meridiana que actúa a lo largo de la línea con el mismo nombre y se da solamente con cargas verticales y siempre de compresión. La base de la cúpula recibe la fuerza meridiana (también se le conoce como zunchos o cornisa), y contiene los elementos hacia el exterior, en donde los materiales aplicados en su construcción van a determinar el tamaño de la sección para resistir los esfuerzos de flexión producidos por las deformaciones estáticas.

Los fundamentos de esta teoría estructural los aplicamos en nuestra propuesta de investigación mediante el uso de las cimbras conocidas como neumáticas, que son estructuras estabilizadas mediante diferencias de presión a través de inyección de gases, líquidos o algunos sólidos granulares, habiendo experimentado al día de hoy con membranas de tela y materiales plásticos.

Estos materiales empleados nos han beneficiado para los fines de nuestros objetivos por su extrema delgadez, alta flexibilidad y su resistencia, que han podido soportar las cargas gravitacionales propias más las de la espuma de poliuretano, las de viento aplicadas y en menor medida las fuerzas de impacto. Además la inyección de aire para su inflado la hemos experimentado mediante un compresor de baja potencia conectada a la corriente eléctrica de un vehículo automotor, con el fin de substituir el suministro de electricidad, en el supuesto de que en la zona de contingencia ha sido suspendida por el mismo evento.

La curvatura resultante de la cimbra genera una superficie cupular de doble inflexión que se amolda perfectamente a las necesidades del diseño arquitectónico propuesto, logrando grandes ventajas a la cúpula final construida:

Ligereza.- La cimbra neumática para cada módulo no rebasa los 6 kilogramos de peso.

Rapidez de construcción.- En los ensayos realizados al día de hoy la construcción de cada módulo requiere de 180 minutos.

Operatividad.- Por las circunstancias al momento de la edificación es de suponerse que la mano de obra por emplearse no tendrá antecedentes de constructores, por lo tanto el sistema estructural deberá ser fácilmente aplicable.

Reciclado.- Se pretende que los materiales de la cimbra resistan como mínimo una aplicación de seis usos.

Prefabricación.- Después de perfeccionar la cimbra se pretende que la cimbra para el módulo pueda ser manufacturada en serie.

### TRAZO GEOMÉTRICO

Una vez conceptualizada la forma de la estructura, se procedió al trazo geométrico de la misma con la finalidad de verificar que la forma fuera la correcta a través del desarrollo de patrones que se pudieran cortar y unir. El trazo se realizó como a continuación se describe paso por paso.

1. Se proyectan los ejes “x”, “y” y se dibuja un arco de medio punto (M. P.) con radio igual a “Z”. Dibujo que representa la Vista en Alzado (V. A.).
2. Con la misma medida de radio “Z” se dibuja una circunferencia “a” en la parte baja del arco de medio punto (M. P.) antes trazado, esta es la Vista en Planta con la misma proyección del eje “y” y se marca otro eje “x”.
3. La mitad del arco de medio punto en V. A. Se divide en cuatro (4) partes iguales y con líneas horizontales se marcan los cortes “a, b, c, d”. (Imagen 5)

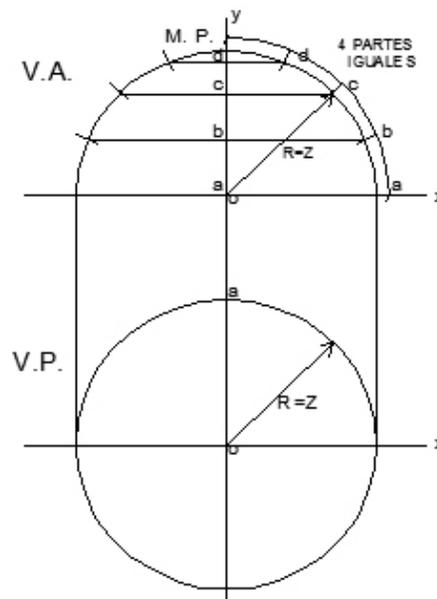


Imagen 5

4. Donde se intersectan los cortes con el arco de Medio Punto en V. A. se proyectan hasta el eje “x” en vista de planta (V.P.).

5. Con las medidas de radio “b, c, d” (que fueron las intersecciones antes marcadas) se dibujan círculos concéntricos haciendo centro en el punto “o” (estos representan los cortes). (Imagen 6)

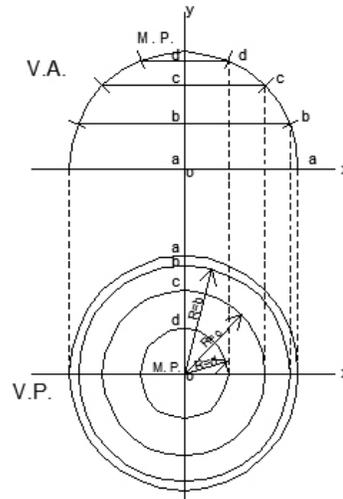


Imagen 6

6. La circunferencia se divide en dieciséis partes iguales en V. P.

7. Se marca solo la mitad con números del “1 al 6” las divisiones antes hechas. Estos son los arcos que determinan la estructura en su vista de planta. (Imagen 7)

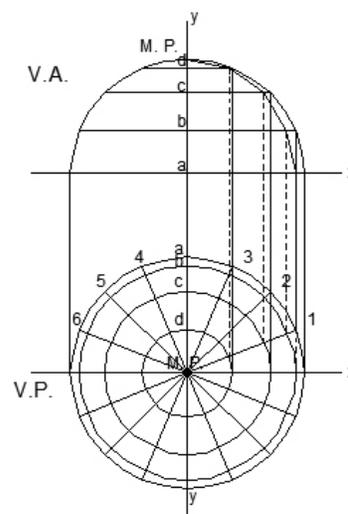


Imagen 7

8. Para dibujar el arco 1:

8.1 En V. P. se ubica la intersección “1,a” en vista de planta (arco 1 con corte “a”) y se proyecta hasta el corte “a” en vista de alzado.

8.2 Nuevamente en V. P. se ubica el arco “1” con la intersección del círculo “b” y se proyecta hasta el corte “b” en V. A.

8.3 Con el mismo procedimiento anterior se proyectan “c” y “d” con “1” y se unen todos los puntos.

9. Los arcos “2” y “3” en vista de alzado, se obtienen de la misma forma descrita en el punto 8

10. Se termina la vista en alzado hasta proyectar los arcos “4”, “5”, “6” como se hizo con los anteriores. (Imagen 8)

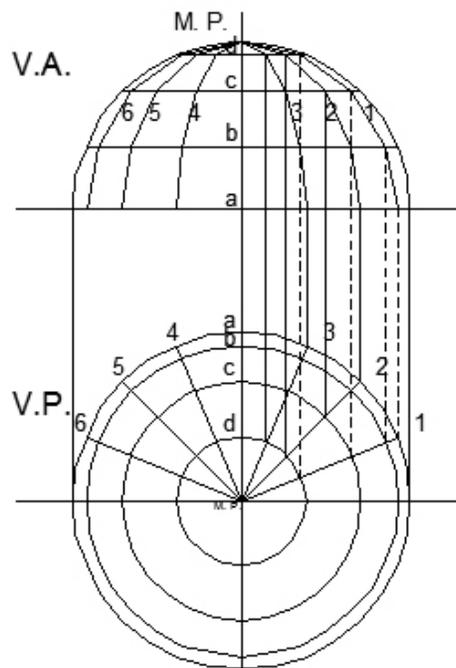


Imagen 8

## PLANTILLA

11. Para obtener la plantilla, se mide el perímetro del arco en vista de alzado (V. A.) directamente de los cortes “a, b, c, d, M.P.”, ó a través de la formula  $P = d/4$  y se pasan a una línea de “eje” auxiliar vertical trazada previamente.

12. De vista en planta se traza un eje auxiliar por ejemplo entre el eje vertical “y” y el arco “3” a la mitad.

13. El ancho de plantilla, se mide en V. P. Primero en el arco “a” del eje auxiliar hacia el eje vertical “y” y del eje auxiliar hacia el arco “3”, estas medidas se pasan al eje auxiliar en el corte “a” trazado con anterioridad.

14. Sucesivamente con el arco “b, c, d” hasta el M. P.

15. Se unen los puntos obtenidos y éste es el primer gajo de la plantilla. (Imagen 9)

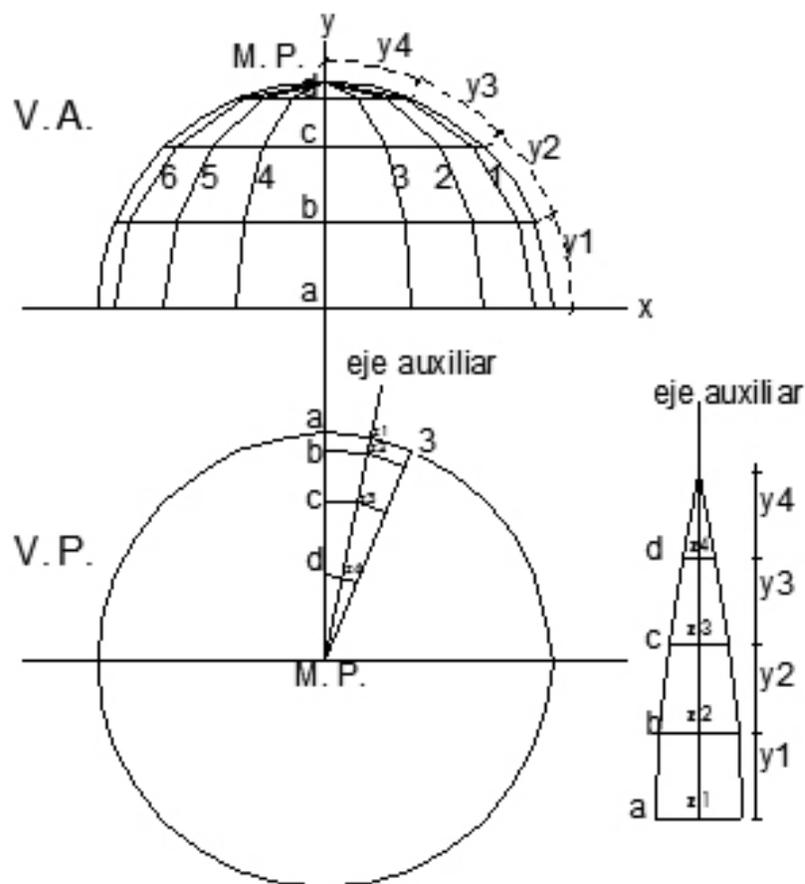


Imagen 9

16. Finalmente se repite dieciséis veces la plantilla anterior, para obtener el modelo completo. (Imagen 10)

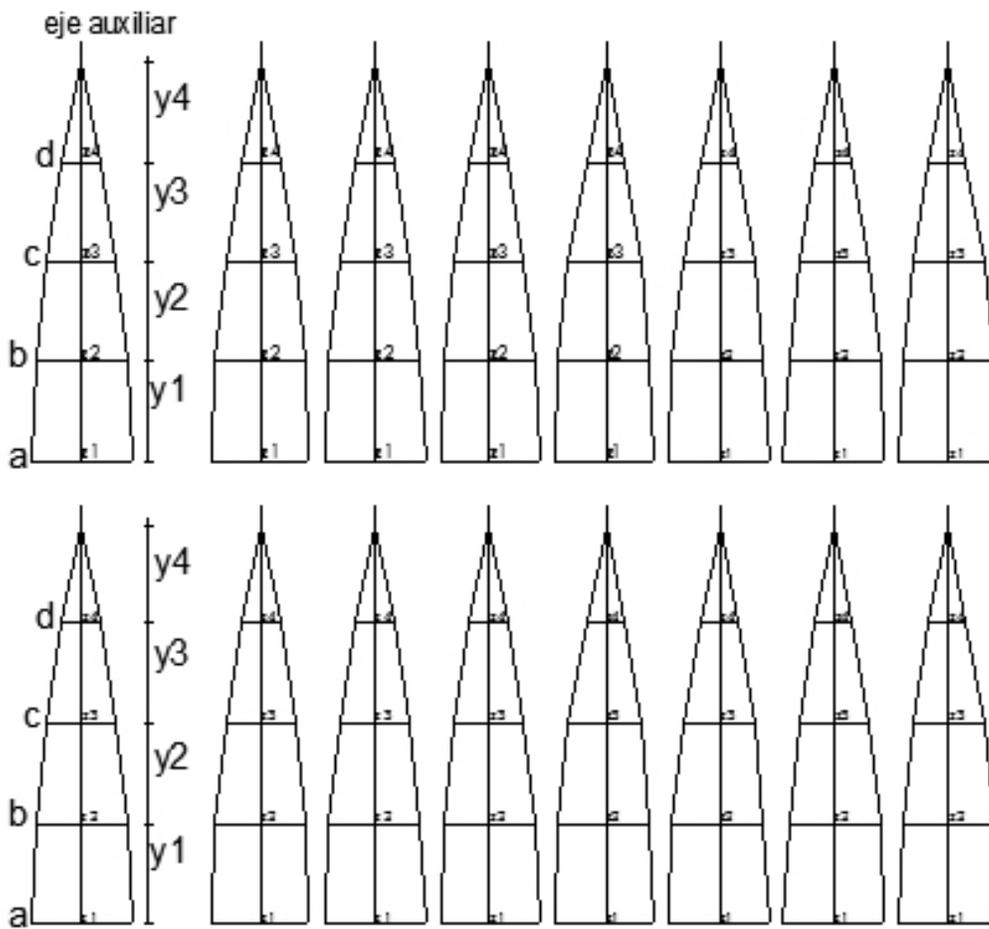
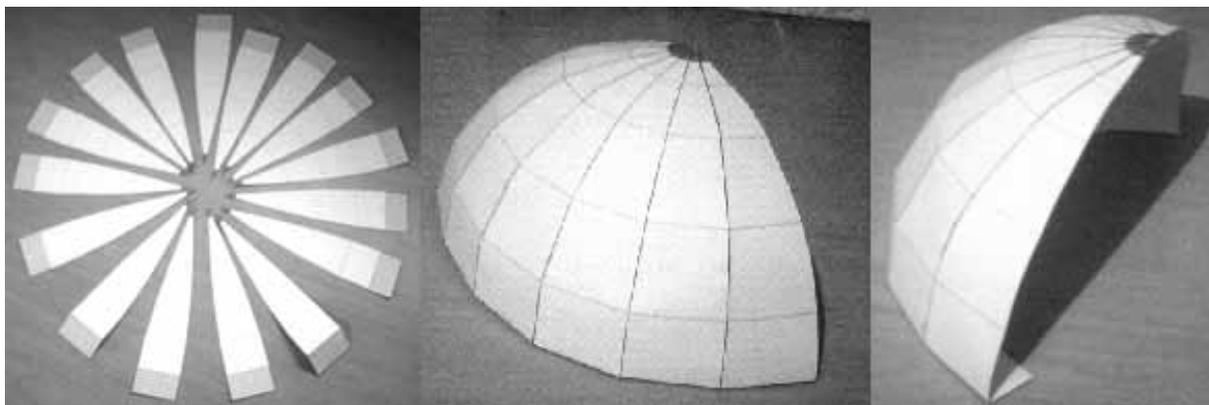


Imagen 10

Cabe señalar que a esta superficie base, se le incorporaron dos elementos más, el primero es un prisma rectangular truncado con curva de circunferencia que se acopla a la superficie y que va a permitir marcar la puerta de entrada a la misma, el segundo, también es un prisma que se ubica entre el tercer y cuarto anillo de abajo hacia arriba y que va a marcar el vano para una ventana.

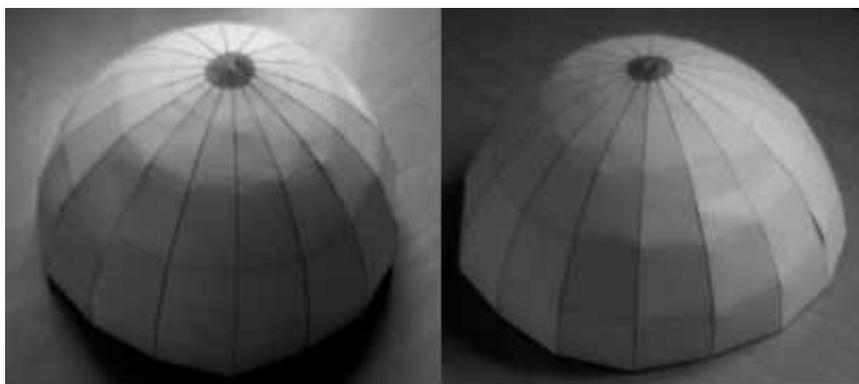
## MODELOS DE ESTUDIO

Cuando se obtuvieron los trazos geométricos asistidos por computadora, se procedió a la impresión a escala 1:20 en papel bond, (para verificar que el trazo fuera correcto) se recortó la plantilla 16 veces y se unió con cinta adhesiva por la parte posterior. (Imagen 11)



**Imagen 11.** 16 gajos de plantilla recortados y unidos con cinta adhesiva tomando como referencias los círculos paralelos.

En esta etapa fue importante desarrollar este modelo porque se pudo observar y corregir errores de trazo en las plantillas obtenidas. Si en este proceso no se hubiera realizado este modelo de estudio, lo más probable es que la maqueta a escala 1:1 tuviera deformaciones obtenidas desde el trazo. (Imagen 12)



**Imagen 12.** Modelo media esfera. Escala 1:20. Material: Papel bond, cinta adhesiva.

El siguiente paso en este proceso, fue el desarrollo de un segundo modelo a escala 1:10, pero en esta ocasión se simulaban los materiales y el procedimiento constructivo que se propuso desde un principio.

En este caso se usó material de película flexible 100% de vinilo transparente calibre 6 de espesor. Con este material se cortaron los 16 gajos que componen la superficie y las partes que corresponden a la ventana y la puerta, cabe señalar que en el modelo anterior hecho con papel se pudieron observar problemas de empalme de material en el punto más alto donde convergen todas las piezas. Por lo tanto, se decidió para el modelo siguiente realizar un corte en la punta de cada gajo para unir a través de un círculo y que no ocurrieran estos mismos problemas. Para unir cada gajo, se utilizó cinta adhesiva de presión de PVC delgado. (Imagen 13)



**Imagen 13. Unión de cada gajo de película de vinilo con cinta adhesiva de presión de PVC y círculo en el punto más alto de la estructura.**

En la base de la estructura se empleó la misma película flexible de vinilo para contener el aire que se le inyectaría.

Para poder introducir aire al interior de la estructura, se utilizó un tubo del mismo material flexible que posteriormente se conectó a una pistola de aire. En ese momento se pudo observar que la presión interior de aire propició la deformación en la base de la estructura lo que obligó a pensar en algún sistema de anclaje a una base. (Imagen 14).



**Imagen 14. Deformación de la base de la estructura debido a la presión interna de aire.**

Se analizaron diferentes posibilidades para fabricar la base y evitar la deformación. Para este caso se utilizó cartoncillo de papel cascarón rígido como base, unido con clips en forma de gancho; logrando una mínima deformación y una relativa estabilidad en la estructura. (Imagen 15)



**Imagen 15. Estructura montada sobre una base rígida de papel cascaron.**

Sin embargo, al analizar las posibilidades reales del sistema constructivo, esto implicaría transportar placas de PVC mucho más grueso o algún otro material que diera esa estabilidad, por lo tanto, se decidió colocar en todo el perímetro de la base anillos de metal unidos con cinta adhesiva de presión de PVC. Esto permitió mantener estable la estructura sobre una base de madera que simula el terreno, con estas consideraciones, se pensó sobre algún sistema real de anclaje en un terreno real y no simulado, pero para este momento de la investigación fue suficiente este mecanismo puesto que la estructura se encontraba preparada para el siguiente paso. (Imagen 16)



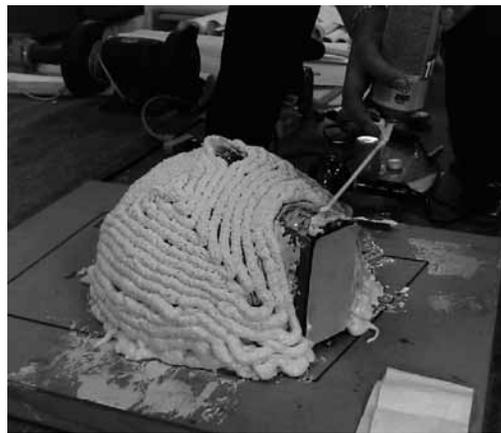
**Imagen 16. Detalle de anillo metálico en la base para atornillar en un bastidor de madera.**

Una vez atornillada la estructura en todo su perímetro a la base, nuevamente se presurizó inyectando aire. Se pudo observar que la estructura se mantenía estable con una mínima deformación en la base, pero con pequeñas aberturas entre las uniones de los gajos. Para compensar esto, se realizó una pequeña abertura en la parte alta que permitiera la salida de exceso de presión que propiciaba esta deformación.

Preparado y listo este modelo de estructura, se colocaron con cinta adhesiva dos cartoncillos que cubrieron y delimitaron tanto la puerta como la ventana. Pensando en el material y el procedimiento de aplicación para las estructuras finales, se decidió utilizar espuma de poliuretano en aerosol marca “touch ‘n foam max fill” que es un sellador de expansión y aislante que detiene la infiltración de aire. Cabe señalar que se analizó el proceso de desmoldar, y para tal fin, se impregnó la superficie con aceite vegetal.

Resultó complicada la colocación de espuma de poliuretano al principio, puesto que el material lanzado sobre la superficie se caía con facilidad, además que era una capa muy delgada pensando en una aplicación similar al panel de poliestireno. El resultado no fue el esperado porque esto no iba a permitir realizarlo con rapidez como originalmente se pensó.

Al cabo de algunos minutos, se tomó la decisión de aplicar la espuma de abajo hacia arriba de manera continua como si fuera un solo “hilo”, esto permitió mantener la espuma y evitar que cayera, aunque se pudo observar que se desplazó un poco hacia abajo. Es importante señalar que la temperatura ambiente cuando se aplicó la espuma fue de 23.7°C a 23.9°C y al cabo de 15 minutos la espuma solo había secado superficialmente. Esto significó que al apagar momentáneamente la secadora con la que se inyectaba el aire bajara toda la estructura junto con la espuma y por ende se propició la deformación. En ese momento, se procedió a encender nuevamente la pistola de aire para corregir la forma. (Imagen 17).



**Imagen 17.** Aplicación de la espuma de poliuretano de manera continua en forma de hilo.

Al cabo de aproximadamente tres horas, se detuvo la inyección de aire y se verificó que no hubiera deformación alguna. Con éxito se pudo constatar que la espuma se mantuvo estable y se procedió a desmoldar la estructura base.

## **CONCLUSIONES**

Existen varias conclusiones que podríamos señalar y que son importantes para la continuidad de la investigación.

Primero: que la estructura neumática que proponemos, ha tenido una evolución que nos permite afirmar que el trazo realizado es correcto.

Segundo: Que el material propuesto, significa múltiples ventajas por su ligereza y rapidez constructiva.

Tercero: Existen dos posibilidades de construcción. La primera es una estructura neumática de baja presión como la descrita en este proceso a la que se le inyecta aire de manera ininterrumpida para poder aplicar la espuma. Y la segunda que ofrecería una ventaja adicional, es contar con una estructura neumática de alta presión, es decir, que sea hermética, que no permita la salida de aire para poder aplicar la espuma sin la necesidad de estar inyectando aire continuamente, pensando que en momentos de contingencia probablemente no se cuente con energía eléctrica. Y aún cuando se pensara en una planta de energía a gasolina, significaría menor consumo de combustible.

Cuarto: Las ventajas que ofrece la espuma de poliuretano son aceptables para el proceso de investigación pero no así para los últimos modelos que deben ser biodegradables.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Arq. José Creixell M. construcciones antisísmicas. Editorial CECSA. 1969

Mtro. Ernesto Noriega Estrada. Tesis de grado de maestría. UNAM Facultad de Arquitectura. 2007.

Engel Heino. Sistemas de estructuras, Editorial Gustavo Gili. 2003

