

DISEÑO DE REFUGIO EMERGENTE CON SISTEMAS PLEGABLES

EMERGENCY REFUGE DESIGN WITH PLEGABLE SYSTEMS

Carlos Cesar Morales Guzmán¹

Resumen

La siguiente investigación se desarrolló fundamentada en los espacios emergentes, ya que la creciente necesidad de espacios temporales es elevada por los desastres naturales que son más frecuente, por lo que este estudio se basó en generar y diseñar un sistema plegable que pueda ayudar a formar espacios más rápidos e itinerantes, en específicos para la Cruz Roja Mexicana, ya que actualmente no tiene ningún sistema estructural emergente propio. La presente investigación se centra en diseñar y construir un sistema transformable basado en el método desarrollado por el Dr. Félix Escrig, que brindó los conceptos necesarios para desarrollar una mejor propuesta y generar sistemas transformables más rápidos. Esto conllevó a analizar modelos digitales que fueron simulados con el software WinTess que realizó el análisis estructural de dichas estructuras plegables con una membrana textil, esto nos ayudó a verificar la seguridad estructural del modelo, se abordó el diseño del nodo con una serie de modelos digitales que nos brindaron premisas y cotas para proponer una articulación más flexible para su manufactura.

Palabras Claves: Espacios Emergentes, Cubiertas Ligeras, Sistemas Plegables, Detalles Constructivos y Simulación Estructural.

Abstract

The following research was developed on the basis of emerging spaces, as the growing need for temporary spaces is elevated by the natural disasters that are more frequent, so this study was based on generating and designing a folding system that can help to form faster and more itinerant spaces, specific to the Mexican Red Cross, as it does not currently have any emerging structural system of its own. So the present research focuses on designing and building a transformable system based on the method developed by Dr. Félix Escrig, which gave us the concepts to develop a better proposal and generate faster transformable systems. This led us to analyze digital models that were simulated with WinTess software that performed the structural analysis of these folding structures with a textile membrane, this helped us to verify the structural safety of the model, addressed the design of the node with a series of digital models that gave us premises and dimensions to propose a more flexible articulation for its manufacture.

Keywords: Emerging Spaces, Light Covers, Folding Systems, Constructive Details and Structural Simulation.

¹ Facultad de Arquitectura, Universidad Veracruzana, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, <https://orcid.org/0000-0002-4499-6968>, dr.arqmorales@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se analiza como la tendencia de la edificación se inclina a ser más esbelta e itinerante. Lo que implica es realizar una serie de pasos para diseñar un sistema estructural más ligero y de rápida transformabilidad, para conseguir esto, es necesario contar con un mapa conceptual, que se usará como guía aproximada y obtener los parámetros más adecuados para este tipo de estructuras.

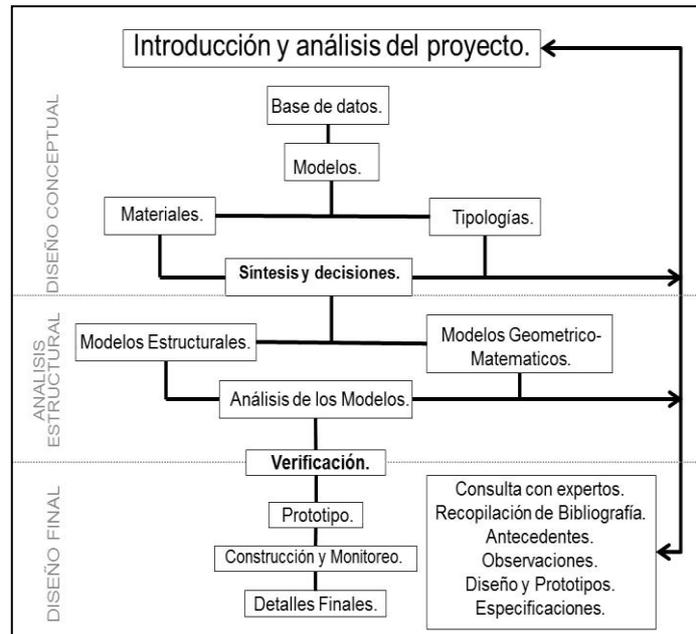
Para lograr la concepción de la forma con mayor exactitud en los sistemas plegables, se tomarán tres etapas de desarrollo, primeramente, se abordará en la búsqueda de una metodología; el cual se buscará los métodos teóricos de diseño, que ayudara a definir las diferentes tipologías de sistemas transformables y materiales que se pueden utilizar, por lo cual el siguiente paso se apoya en realizar la geometría de la estructura. Existen métodos para proyectar este tipo de geometrías como; el propuesto por Dr. Félix Escrig, el cual se tomará para aproximar y adecuar nuestra propuesta y proponer una simplificación al método geométrico, que pueda facilitar la construcción modular de un sistema plegable. (1, p.53)

La siguiente etapa es la simulación estructural; para ello se contempla el uso del software especializado para simular los modelos estructurales y geométricos que tomen en cuenta la tipología del diseño conceptual, la simulación de los modelos en este tipo de sistemas estructurales, implica el diseño de detalles constructivos aproximados para perfeccionar las uniones de la cubierta plegable, ya que el detalle de unión es crucial para la construcción de estos sistemas estructurales transformables. En dichos puntos se analiza de manera precisa la distribución de los esfuerzos que actúan sobre ellas, para evitar los movimientos desfavorables a la hora de izamiento. (2; 3)

El principal logro de esta investigación se basará en el diseño final; es por ello por lo que la elaboración del modelo experimental ayudara a verificar el diseño de una estructura plegable, con el objetivo de que se pueda realizar los detalles constructivos finales para su manufacturación, y así sea más eficiente para monitorear su comportamiento estructural en los espacios arquitectónicos, y compararlos con el uso de otros sistemas. (4)

Para tener una idea de cómo diseñar este tipo de estructuras se considera una recomendación de un experto en la materia (figura 1), en la que podemos observar que el Dr. H. Berger, provee una serie de parámetros aproximados para encontrar los pasos del diseño de una estructura ligera, esta tabla servirá como referencia para elaborar la metodología de diseño de un sistema plegado tensado. (5)

Figura 1. Desarrollo del esquema conceptual del procedimiento de diseño de un sistema plegado tensado, basado en el esquema del Dr. H. Berger (5)



METODOLOGÍA CONCEPTUAL

Hipótesis

Para poder desarrollar estructuras plegables para espacios emergentes definiremos los conceptos de diseño plegable y que usaremos como herramientas para diseñar nuestro prototipo final de dicha investigación, con ellos generamos los conceptos y parámetros que tendremos que obedecer para configurar nuestra estructura, así como el Arq. Hoberman que realizaba ensayos de modelos que analizaba el menor número de conexiones para formar el modelo plegable. (6)

Concepto de Diseño: Estructuras desplegadas basadas en pantógrafos.

Unidades de tijera, también llamadas elementos tipo tijera o elementos pantográficos, el método consisten en dos barras rectas conectadas a través de una articulación pivotante, llamada bisagra intermedia, permitiendo que las barras pivoten alrededor de un eje perpendicular a su plano común. Al interconectar dichos miembros a sus nodos finales usando articulaciones pivotantes, se crea un enlace transformable bidimensional. Alterando la ubicación del intermediario de la bisagra o la forma de las barras da lugar a dos tipos de unidades básicas distintas: unidades traslacionales y polares, estos nudos se catalogaron por el Dr. Escrig están concretas y planteadas en su metodología, así como expuestas en otros documentos, derivados de sus escritos. (7)

Para esta investigación, la clasificación más importante es cómo están divididos los módulos de rejillas compuestas por tijeras. Con los trabajos del

profesor Escrig y la tesis doctoral del Niels Temmerman (Tabla 1), que aportan clasificaciones tanto de las estructuras móviles de tijeras con configuraciones de módulos de rejilla. En especial en el libro de Escrig: "Arquitectura Transformable", clasifica los módulos de rejilla de tijera de acuerdo con su posible configuración compacta:

-Cuadrángulo: rejilla de doble capa, donde la Estructura de barras rígidas conectadas entre sí por el sistema tipo tijera en un módulo cuadrículado.

-Triangulado: rejilla de doble capa, donde la barra de la estructura está conectada con un sistema tipo tijera en un módulo triangular.

-Enlace paralelo de rejillas de tijera lineal, donde la estructura está compuesta por barras rígidas compuestas por un sistema tipo tijera y su desplegado puede ser directo o no. (8)

Tabla 1. Clasificación de las cuadrículas de tijera curvadas por separado. (8)

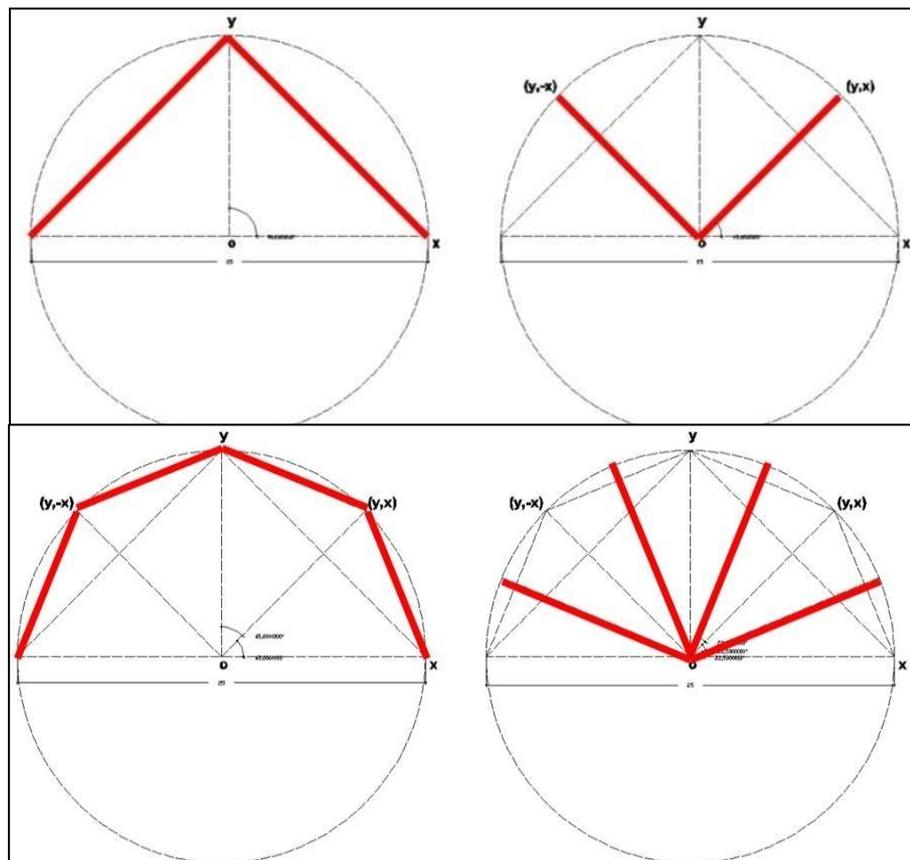
	Cuadrángulo rejilla de doble capa			Triangulado rejilla de doble capa			Enlace paralelo de rejillas de tijera lineal	
Tipo (s) de unidad de tijera								
Módulo básico en posición desplegada								
Poliedro descrito por módulo básico en posición desplegada								
Módulo básico en posición completame nte doblada								
Curvatura no circular	X	X	X	X	X	X	X	X
Despliegue	plega ble	plega ble	plega ble	incompat ible	incompat ible	Plegab le*	Plegab le*	Despleg ado Directo
Necesita arriostram iento externo	X	X	X					
Compacidad ***	+	++	-	++	++	+	--	+
Longitud de varilla individual		X		X	X			
Cubo de articulaci ón única	X	X	X	X	X	X**		

Geometría aplicada al proyecto

Descrito lo anterior se desarrolla una metodología más sencilla derivada de la geometría descriptiva gráfica, vista anteriormente de las unidades polares, es un método sencillo para realizar una propuesta constructiva de la estructura experimental. Para iniciar el desarrollo de la geometría de referencia, se toma de base el trazo cilíndrico esférico, que en nuestro caso no exceda de 6 m de diámetro, porque lo que brindara una mayor facilidad de formalizar la figura de la malla, para lograr el diseño de esta estructura, se procede a analizar paso a paso la geometría de referencia y observar detalladamente el procedimiento con el cual se generó cada punto de la estructura como se verá en el siguiente proceso. (9)

El proceso de esta geometría comienza con la propuesta de una circunferencia de 6 m de diámetro, Porque este es el mínimo de espacio emergente que se utiliza para la Cruz Roja Mexicana, este claro cubrirá los espacios para los campamentos de los paramédicos o ayuda de siniestros en los diferentes tipos de catástrofes en México, la estructura podrá alcanza a cubrir grandes claros si fuese necesario (figura 2). (10; 11)

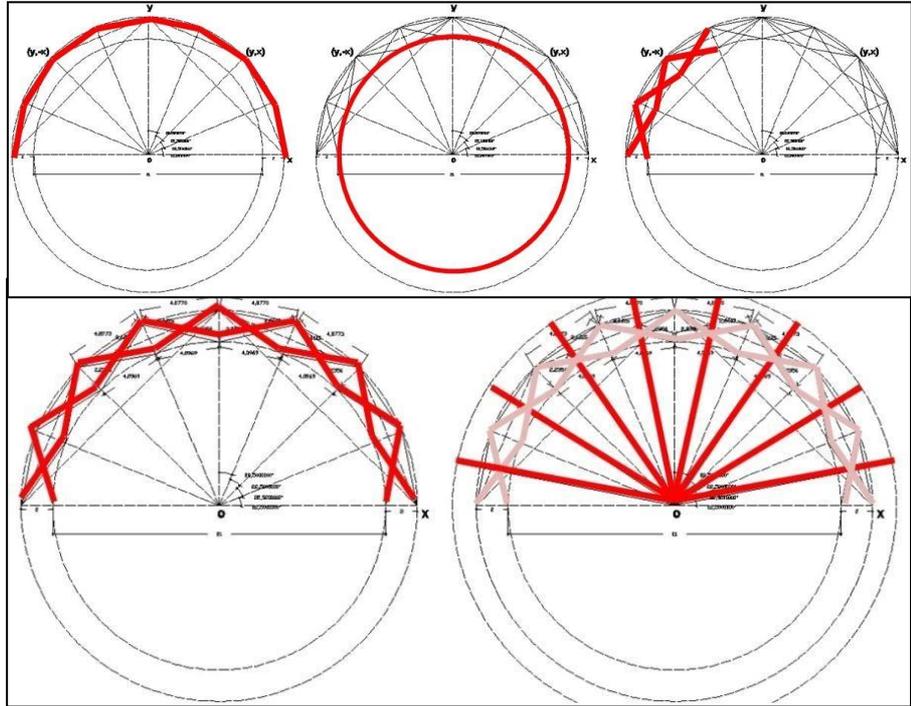
Figura 2: Desarrollo geométrico de la estructura plegable. Fuente: Fotos Experimentales (11)



Después de generarse las líneas, se une el punto donde se cruza el eje (Y) a la circunferencia, hacia los dos puntos donde corta la línea de tierra, estas líneas trazadas tendrán el nombre (x-y) las cuales estarán formando un triángulo como se muestra en la (figura 3) por lo que, se procede a hacer lo

mismo hacia el otro lado, localizando el centro de la línea de tierra, trazando dos líneas a 45°y así formando las figuras de tijeras.

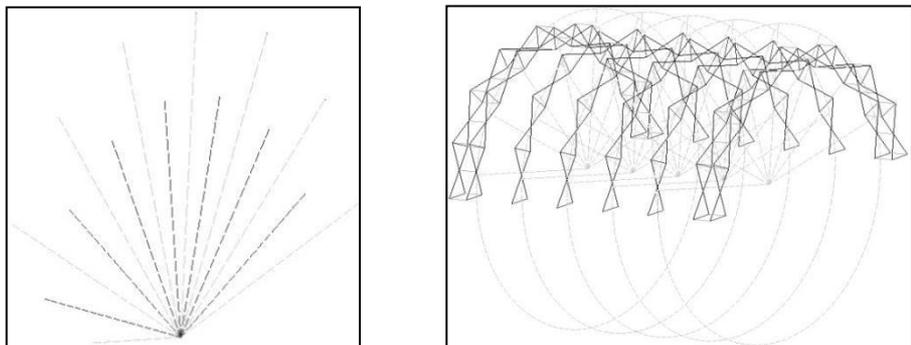
Figura 3: El desarrollo de la representación gráfica de la estructura. (11)



Una vez trazadas las líneas que forman los ángulos a 45° del centro de la circunferencia y la "Y", se tienen cinco puntos de intersección que cortan la circunferencia que se unirán trazando líneas entre ellas. Después se unen las nuevas intersecciones entre las líneas de los ángulos de 22.5° y los de 45°, ya realizado esto, se generará otra circunferencia de 5.5 m de diámetro, el círculo interior surgió debido al peralte efectivo que se está tomando como referencia, el cual es de .5 m. (12; 13)

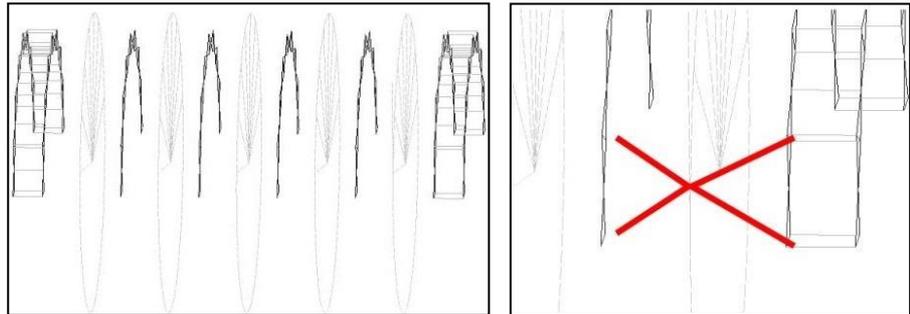
A continuación de tener todas las líneas que forman las cruces, se reproducen siete vigas de tijereta en el plano Z. Posteriormente, se traza otra circunferencia de 6.5 m de diámetro tomando el mismo centro de las circunferencias anteriores (figura 4, 5). (14)

Figuras 4, 5: La segmentación de los arcos. (14)

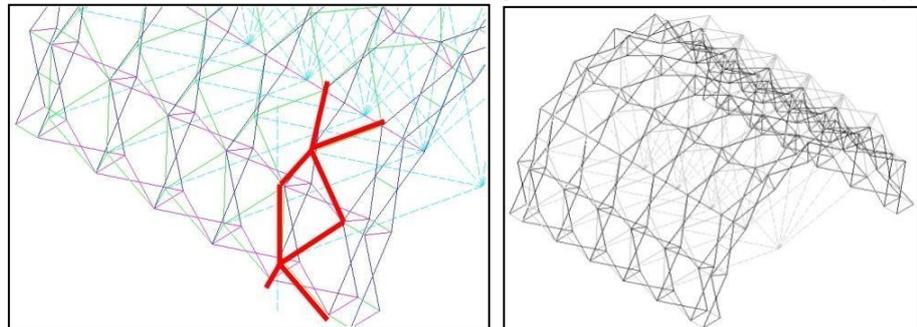


Antes de la unión de los contraventeos, primero se refuerza el marco con atiesadores horizontales para mantenerlo rígido y tenga espesor. Después se copia a la distancia equidistante del marco. Justo al centro entre marco y marco se colocan las bisectrices que interceptan cada "x" y las bisectrices que representan la separación de "x" a "x" (figura 6), estas bisectrices servirán para colocar los contraventeos de la estructura. Obteniendo la estructura de esta manera (figura 7), en el plano (X, Y, Z): Por último se trazarán las líneas de los contraventeos (líneas en rojo), uniendo los puntos de la parte exterior de cada "x" a la bisectriz o línea que pasa por la intersección, el centro de las "x" (figura 8), de esta forma se unirán todos los puntos de la estructura hasta terminarla, formando el cuerpo de la nave. (Figura 9). (15)

Figuras 6, 7: Unión de Marco plegables. (15)



Figuras 8, 9: Desarrollo final del modelo. (15)

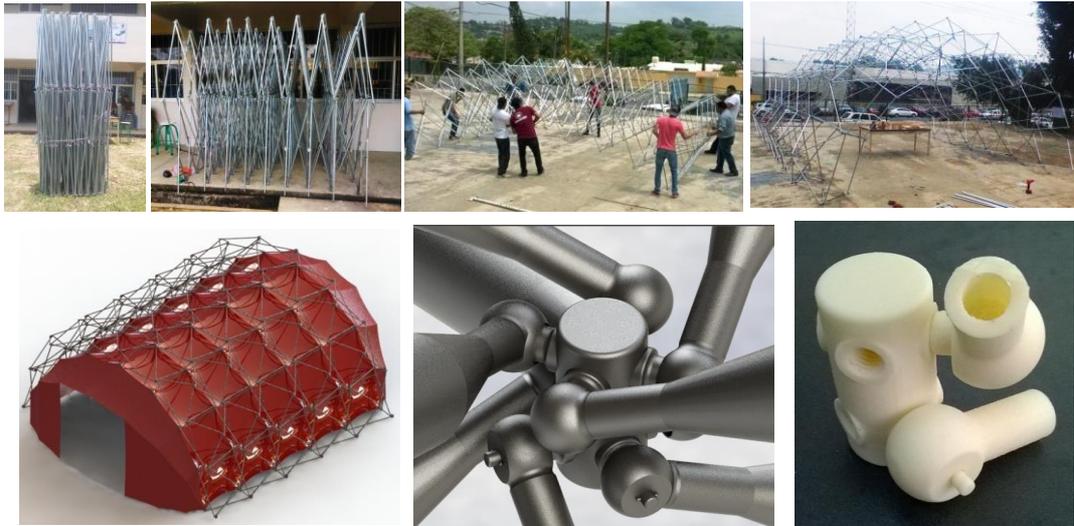


Propuesta del Modelado Experimental

Descripción. La cubierta cilíndrica unidireccional está compuesta por nodos flexibles de acero, el nodo se diseñó de la forma más sencilla para poder ser eficiente, las conexiones de la unión se eligieron de forma tubular para que pudiera tener una mejor conexión con los miembros (figuras 10 a la 16).

También se diseñaron otros nodos para cada conexión variable que tendrá la cubierta, dando mayor versatilidad al sistema, por último se agregó un nodo de contraventeo para integrar la estructura en un solo sistema y no se tuviera que desmontar nada por separado, mejorando el proceso constructivo de la cubierta transformable. (16; 17)

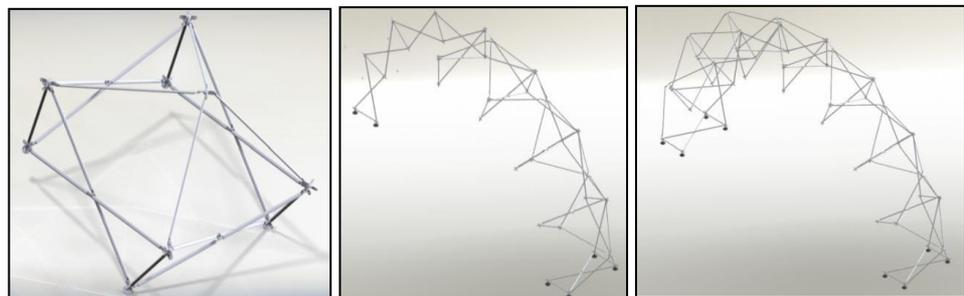
Figuras 10 a la 16: Propuesta Experimental. (18, p.102)



Tipo y Proceso de Montaje: El proceso constructivo de la estructura y su montaje, es de fácil ejecución si se usa una grúa para desplegarla, también puede ser armada por partes, ya que sus nodos articulados le dan esa flexibilidad. La estructura está diseñada para transformarse las veces que sean necesarias, ya que el nodo versátil que se ha diseñado se le puede integrar diversos accesorios que puedan permitir una ejecución exitosa. (19, p.73; 20)

Ventajas. La utilización de nodos articulados y flexibles son una de las grandes ventajas de este sistema plegable, ya que con esto puede construirse la cubierta de forma más rápida y eficiente, debido a que sus conexiones son más sencillas y con accesorios más simples de manipular; es vital que su armado previo sea lo más rápido posible para que en el montaje sea lo más expedito para construirse (figura 17 a la 19). (21, p.98)

Figuras 17 a la 19: Propuesta Experimental 2. (21, p. 98)



Desventajas. El problema que pudiera tener, sería el peso propio de la estructura, ya que no sería tan fácil desplegarla, esto debido a que sus miembros de acero en su conjunto pueden alcanzar pesos demasiado grandes dificultando la maniobra de construcción. (22, p.87; 23)

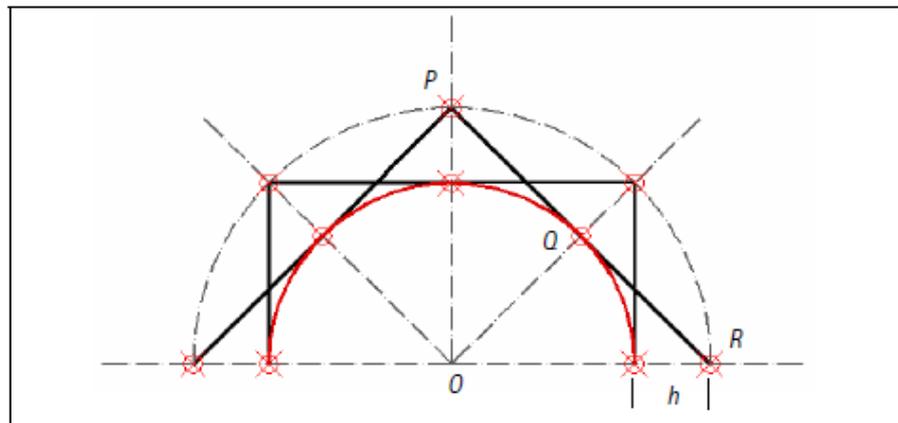
DISEÑO FINAL DE LA PROPUESTA FINAL

Geometría Final

Para realizar la propuesta final se desarrolló una serie de experimentaciones en relación con la metodología anterior, por ende, nuestro resultado será una estructura itinerante sencilla y fácil de construir, primeramente, recordamos que una unidad polar se obtiene simplemente moviendo el intermedio de la bisagra de una unidad de transición plana lejos del centro de la barra. Esta excentricidad de la articulación crea la curvatura de la unidad y se convierte en una desplegada curvada.

Esta construcción geométrica se basa en un arco circular elegido, marcado en rojo en figura 20. Posteriormente, una cuadrícula curva de cuatro por cuatro se construye conectando a los paralelos de los arcos polares colocados (dirección B) por enlaces traslacionales planos (dirección A). (24, 25, p. 136)

Figura 20. Construcción geométrica del enlace de cuatro unidades. (25, p.136)



Evidentemente, todas las unidades de tijera obedecen a la restricción de despliegue geométrico mencionado anteriormente, que se representa gráficamente mediante una elipse en los enlaces U1, U2 y U3, desarrollado en un plano común, como se muestra en la figura 21.

La unidad de transición U1 pertenece a la fila A en la figura 21, mientras que las unidades polares U2 y U3 pertenecen a la dirección perpendicular B. Cuando se desarrolla este enlace en un plano común, las elipses que imponen la restricción de despliegue y se puede dibujar, como se muestra en la figura 21. (26)

Todos los compases, tanto traslacionales como polares, tienen la misma longitud, la única diferencia entre las unidades de transición y las polares es la ubicación de la bisagra intermedia, en relación con el medio de las barras. La configuración resultante se muestra en la figura 22. (27, p.71)

Figura 21. Vista en perspectiva y vista desarrollada de las unidades U1 (plano traslacional) y U2, U3 (polar): representación gráfica de la condición de despliegue mediante elipses. (26)

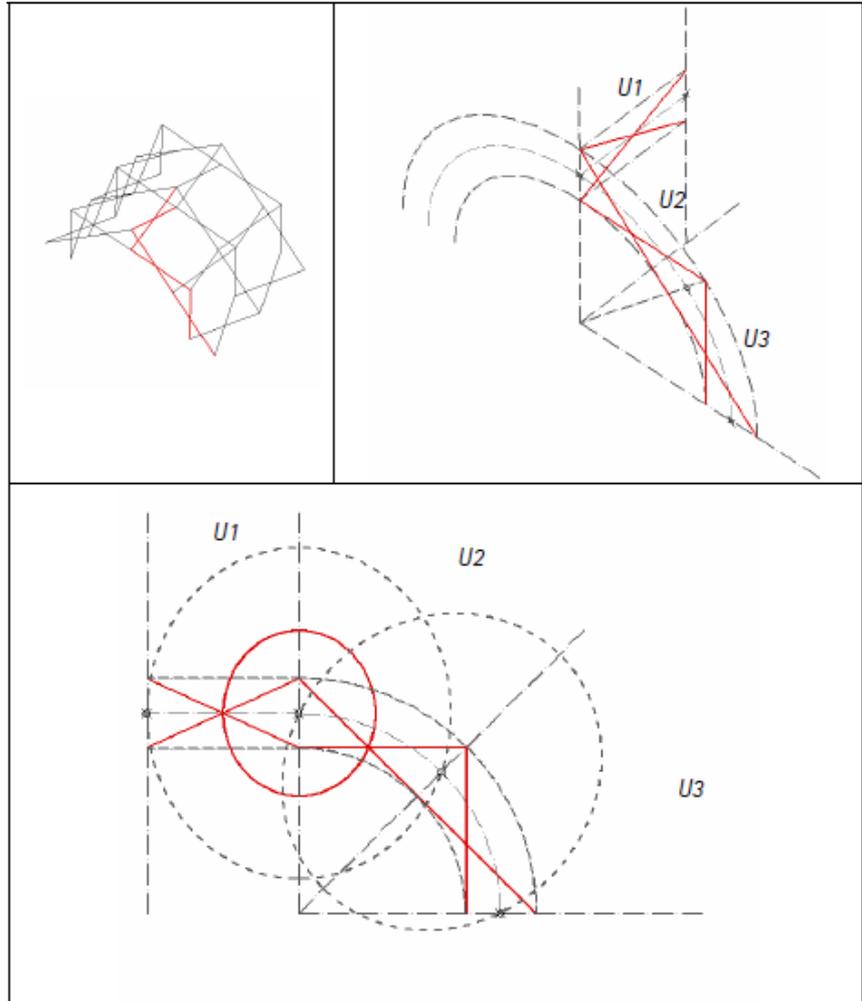
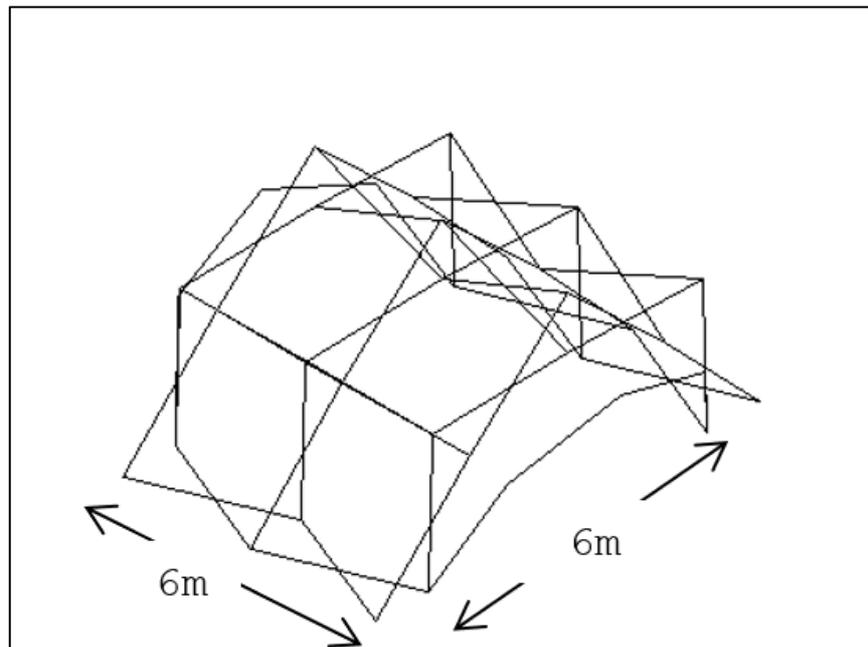


Figura 22. Estructura ABIERTA: vista en perspectiva y vista superior. (27, p.71)



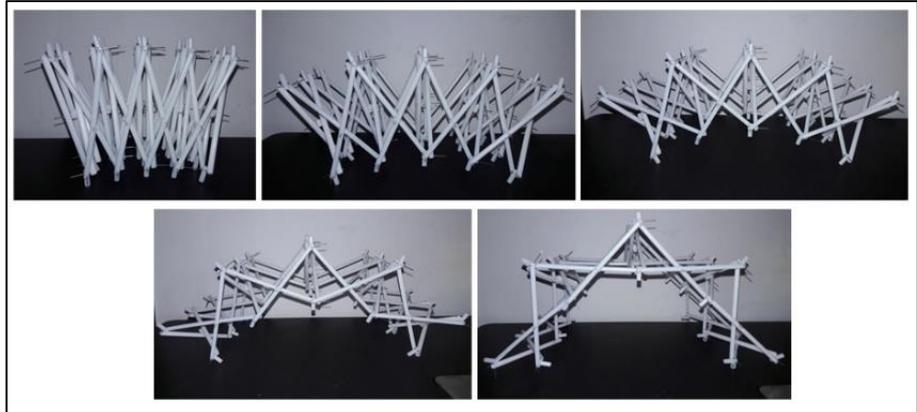
Cabe señalar que, aunque las unidades polares se usan aquí, se requiere una elipse para imponer la restricción de despliegue. Esto se debe a que las unidades polares de la dirección transversal suelen vincularse con las unidades de transición desde la dirección de la cuadrícula longitudinal. La utilización de círculos solo es válida para unidades polares, mientras que la elipse es válida para ambas unidades.

Por lo tanto, mezclar unidades polares y traslacionales requiere el utilizar elipses para que funcione dicho método. (28, p.43)

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE LA PROPUESTA FINAL

En la siguiente fase de la investigación se ha analizado el efecto de la geometría y sus partes constructivas en la cubierta de un sistema plegable, por ello se realiza un modelo experimental, que es un factor primordial para conocer la viabilidad de la estructura, por lo que se optó por realizar dos modelos a escalas, el cual obtuvo como resultado que la estructura se hicieran con menos barras (figura 23), y comprobar el movimiento que puede tener la cubierta plegable.

Figuras 23: Vista Transversal; el movimiento de la cubierta plegable se adecua gracias a que se simplificó su forma geométrica. (29)



Posteriormente se incluye la membrana textil dentro del modelo para comprobar la flexibilidad de dicha pieza, ya que es importante observar la interacción adecuada de la membrana con la cubierta transformable, por lo que dicho modelo simplifica el diseño de las conexiones de la membrana y sus uniones estandarizadas, (figura 24) por ende el segundo modelo se planteó construirlo con tubería galvanizada para darle mayor estabilidad y verificar el peso con respecto a la unión de membrana. (29)

Figuras 24. Vista Longitudinal: La utilización de la membrana en la cubierta plegable se adecua gracias a la forma geométrica cubierta. (29)



SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DEL PROYECTO

La simulación estructural del proyecto de la investigación se basa en el código del LRFD, que adopta un rango de seguridad para los miembros estructurales de 1 a 1.05 de resistencia del material (aluminio estructural). Por lo que se considera los siguientes requerimientos de rendimiento para materiales isotrópicos; coeficiente de número de poison para el aluminio: .33 para diseñar.

Para determinar las cargas se basará por las normas de construcción del Distrito Federal en México, por lo que se selecciona las cargas recomendadas en dicha norma para cubiertas no transitables, dichos parámetros de carga son los siguientes; Carga Muerta: 30 kg/m², Carga Viva Máxima: 40 kg/m², Carga Viva Accidental: 20 kg/m², en la tabla 2 en donde se desglosa la combinación de cargas que tendrá en la simulación de la estructura. (30, p.76)

Tabla 2. Combinación de Cargas por el Reglamento de Construcción del D.F. (30, p.76)

Primera Combinación:	(CM (1.4) + CVM (1.7))
Segunda Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) + SISX (1.1) + SISX (.33))
Tercera Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) + SISX (1.1) – SISX (.33))
Cuarta Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) – SISX (1.1) + SISX (.33))
Quinta Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) – SISX (1.1) – SISX (.33))
Sexta Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) + SISZ (.33) + SISZ (1.1))
Séptima Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) + SISZ (.33) – SISZ (1.1))
Octava Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) – SISZ (.33) + SISZ (1.1))
Novena Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) – SISZ (.33) – SISZ (1.1))
Décima Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) + WX (1.1))
Onceava Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) – WX (1.1))
Doceava Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) + WZ (1.1))
Treceava Combinación:	(CM (1.1) + CVA (1.1) – WZ (1.1))

Para este caso, se seleccionó una membrana Serge Ferrari-Fluitop-T2-702, con una resistencia de RK (daN/5 cm) 420/420, y unos tubos circulares de 31.7 mm de diámetro y 1.27 mm de espesor de aluminio con aleación de 6063-T5, no se tiene cables, ya que el esfuerzo en la membrana es pequeño por su tamaño. El cálculo se realiza en el software Wintess, que verifica los miembros por el reglamento del LRFD, porque lo que su resultado será viable.

En la tabla 3 se observa que todas las barras con mayor esfuerzo de momento y tensión, las cuales no superan el Ratio de seguridad establecido a la unidad (1), se menciona que, para el tipo de estructura, la comprobación

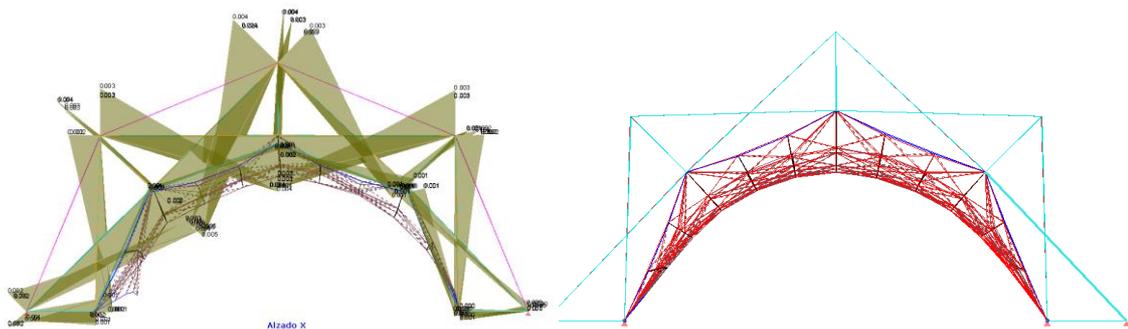
sigue siendo la unidad, pero por comprobación de seguridad es de 1.25 en los tubos, ya que este tipo de estructura no es transitable.

Tabla 3. Se observa que los esfuerzos a considerar siguen siendo los axiales, ya que el sistema funciona como celosía en toda la cubierta. (30, p.76; 31)

DATOS BARRAS RÍGIDAS					
Barra	Axial	M.max	Tensión	Ratio	Estructura
	T	Tm	kg/cm ²		
4	-0.067	0	-440.9	0.69	Ø31.7·1.27_A105
7	-0.08	0.001	-490.1	0.77	Ø31.7·1.27_A105
4	-0.067	0	-440.9	0.69	Ø31.7·1.27_A105

Especialistas como el Dr. Ramón Sastre y Dr. José Ignacio Llorens Duran, consideran en este tipo de ejercicios un factor de seguridad de 1,65, ya que es posible considerar la aleatoriedad en las cargas y las incertidumbres del modelo de análisis en relación con la geometría real, sin embargo, en este ejercicio, el Ratio se dejó a la unidad porque se manejan factores parciales para cargas y resistencias por la falta de información de este tipo de estructuras transformables, y en nuestro caso, la geometría debe tener rigidez a la hora de estar completamente desplegada y mantenerse en la misma posición para estar en el rango de la seguridad (figura 25, 26).

Figuras 25, 26. Los momentos en la cubierta son muy bajos por los rigidizadores verticales, los desplazamientos rondan por 47 mm el cual no sale de nuestro factor de seguridad que es de 50 mm. (30, p.76; 31)

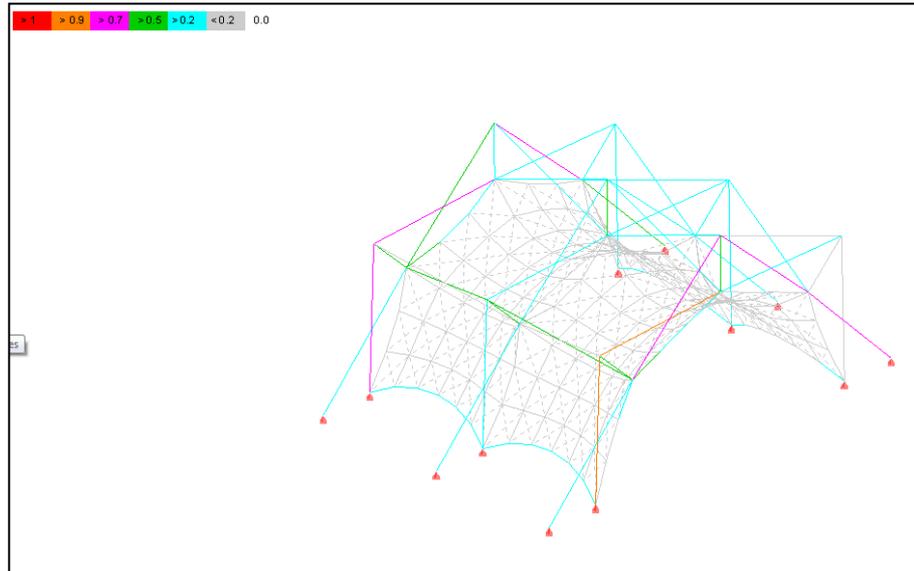


Si siguiendo con los resultados de los análisis del programa podemos verificar también la seguridad estructural de la membrana textil, este tipo de miembros trabajan solo a tracción, por lo que se debe tener cuidado para saber cuánta tensión pueden soportar, (figura 27) por esto la importancia de conocer las propiedades de los materiales y su módulo de elasticidad (tabla 4). (30, p. 76; 31)

Tabla 4. En la tabla podemos verificar las tensiones que soporta la membrana. (27)(31)

TRACCIÓN MÁXIMA EN LA MEMBRANA				
Barra	Nudos	T/metro	kg/5 cm	Ratio
286	35-41	0.103	5.1	0.09

Figura 27. En la figura podemos observar los Ratios de los tubos y de la membrana y como interactuando entre sí. (30, p.76; 31)

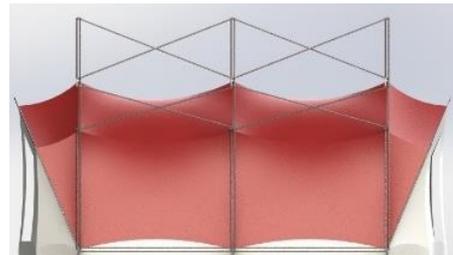
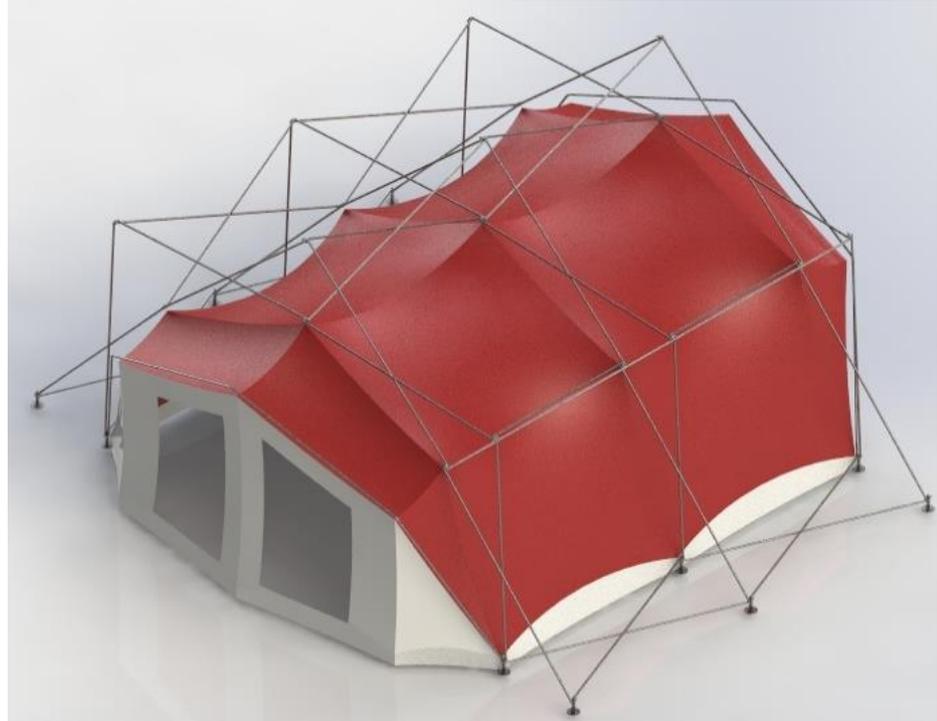


DETALLES FINALES

La propuesta final se constituye con una estructura que medirá 6 m en sección transversal y 6 m de longitud, implementa un solo nodo estándar para toda la estructura, gracias a la simplificación de la geometría, se diseñó una propuesta constructiva mucho más funcional, (figuras 17, 18, 19) los cálculos ayudaron a definir dimensiones adecuadas para las tijeras y en consecuencia se formaron los accesorios y el nodo adecuado para un sistema transformable. En esta parte final de la investigación se mostrará cómo serán los detalles constructivos de la cubierta plegable, y como mejora la manufacturación de dicha estructura.

Cabe hacer mención que los accesorios de los nodos serán de mucha utilidad para conectar la membrana a la cubierta plegable, teniendo una simplificación constructiva óptima, (figuras 20, 21) esto se obtiene por la regulación de la cubierta y con la estandarización de una matraca de montacarga y con ello pueda darse rápidamente la rigidez de la membrana, (figuras 22 a la 25) en consecuencia, esto mejora el rendimiento y costo de la construcción, ya que hay accesorios que ya existen en el mercado y se puedan utilizar en el modelo final. (32)

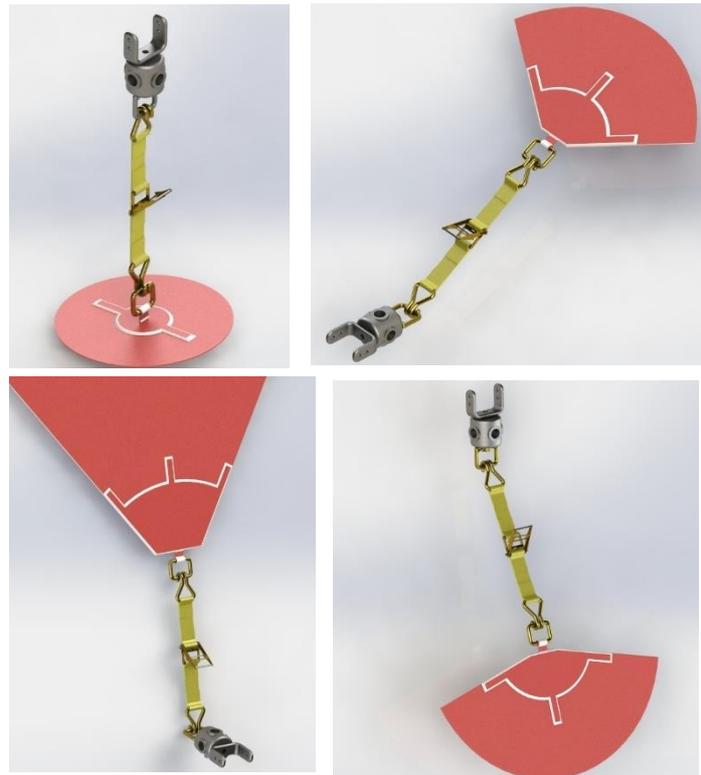
Figuras 17, 18, 19. Forma final de la cubierta plegable. Registrado ante el IMPI. (32)



Figuras 20, 21. El detalle estructural se realizó por medio de un modelado en 3D para verificar los movimientos que podría tener la estructura. Registrado ante IMPI. (32)



Figuras 22 a la 25. Diseño de los detalles en 3D de las uniones de membrana a la estructura.
Registrado ante IMPI. (32)



CONCLUSIÓN

La investigación se basó en el principio metodológico del diseño geométrico descriptivo, esta hipótesis de referencia sirvió para realizar un sistema plegable, el cual fue un factor muy importante para una primera aproximación conceptual, la metodología de la cual nos basamos fue del Dr. Félix Escrig, este expuso el desarrollo geométrico simplificado y su viabilidad para manufacturar sus partes, en consecuencia, ayudo a crear una geometría más rápida para diseñar las estructuras plegables.

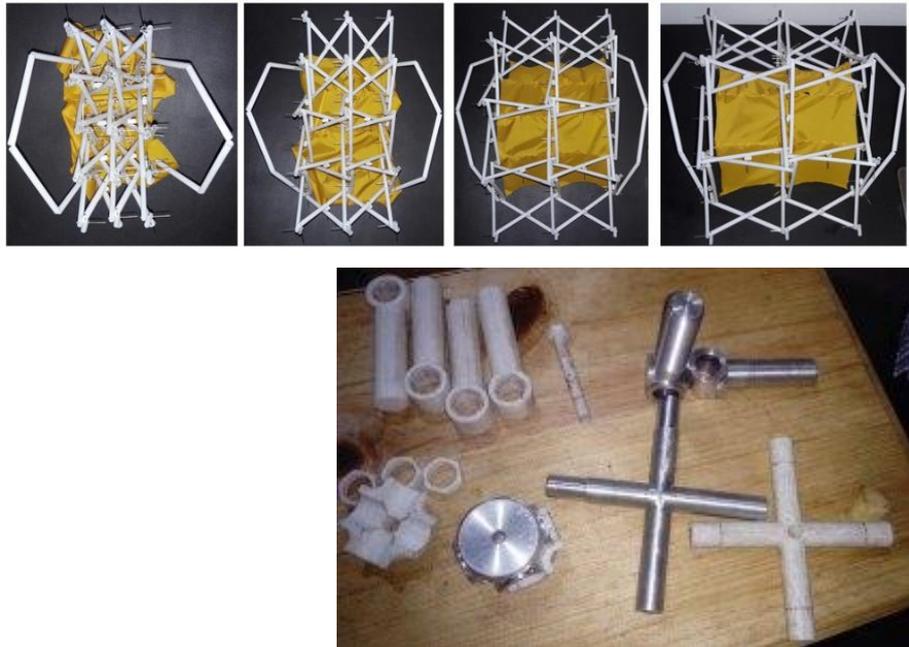
Posteriormente, las ideas conceptuales, coadyuvaron a crear un modelo físico de una cubierta plegable, este proceso desarrollo una metodología de diseño, que genera una premisa teórica constructiva. Ofreciendo un parámetro de descubrimiento acotado en la experimentación para desarrollar una propuesta constructiva de una cubierta plegable.

Para el cálculo de la estructura se utilizó la simulación por medio de un software llamado WinTess que realizo un análisis estructural global de la estructura, ya que este tipo de estructuras tiende a ser deformables por sus conexiones flexibles, esto porque las uniones articuladas materializan su movilidad y puedan retornar a su estado inicial. Finalmente, con los parámetros de combinaciones de cargas reglamentadas por la norma, se tiene un planteamiento aproximado de resultados óptimos para el diseño constructivo del prototipo, con el objetivo de demostrar la viabilidad de la propuesta final.

En cuanto a las aplicaciones tecnológicas en la fase de diseño final, se realizó una propuesta aproximada de diseño constructivo, esta se vio reflejada en el diseño de detalles constructivos realizados en sus uniones. Así como también, el considerar la membrana estructural desde un principio en el diseño, para conocer las tensiones reales que iban a interactuar en la estructura plegable.

Aunque no todo está concluido en esta investigación, hay puntos que tendrán que estudiarse a fondo, y así realizar un estudio más detallado de los diferentes tipos de materiales que se pueden ocupar para desarrollar un sistema plegable, (figuras 26, 27).

Figuras. 26, 27. Modelos y prototipados de la cubierta. (32)



REFERENCIAS

1. ESCRIG, F. VARCÁRCEL, J.P. Estructuras espaciales desplegadas curvas. *Revista Informes de la Construcción*. 1998. Vol. 39, no. 393, p. 53 – 71. ISSN: 1998-3234. <https://doi.org/10.3989/ic.1988.v39.i393.1606>
2. MORALES GUZMÁN, C.C. Diseño de Sistema Flexibles Estructurales en el Espacio Arquitectónico. In: *Simposio Internacional de la IASS-SLTE 2008*. Acapulco-México. ISBN 9789703254347
3. MORALES GUZMÁN, C.C. Diseño de Sistemas Geométricos Flexibles Estructurales en el Espacio Arquitectónico. In: *Congreso Internacional de Diseño y Tecnología de Producción*. Ciudad de México, 2010.
4. CANDELA, F., PIÑERO, E.P., CALATRAVA, S., ESCRIG, F. y VALCARCEL, J.P. *Arquitectura Transformable*. Publicación de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, Sevilla, 1993. ISBN: 84-600-8583-X
5. MORALES GUZMÁN, C.C. Diseño de Sistemas Estructurales Flexibles en el Espacio Arquitectónico. In: *IV Simposio Latinoamericano de Tenso estructuras 2011*. Montevideo Uruguay, 2011.

6. HOBBERMAN, Chuck. Iris Pavilion. In: Portfolio. Hoberman. [Consultado 16 Agosto del 2018] Disponible en: <https://www.hoberman.com/portfolio/iris-pavilion-2/>
7. ESCRIG, F. Estructuras espaciales de barras desplegadas. *Revista Informes de la Construcción*. 1984. Vol. 36 no.365, p. 35 - 46, ISSN: 1998-3234. <https://doi.org/10.3989/ic.1984.v36.i365.1895>
8. TEMMERMAN N. *Diseño y Análisis de estructuras de barras desplegadas para arquitectura móvil Aplicaciones*. [on-line]. Vrije Universiteit Brussel, 2007. Disponible en: <https://www.vub.be/arch/phd?p=completed>
9. MORALES GUZMÁN, C.C. Adecuaciones Geométricas Orgánicas Aplicadas al Diseño de Cubiertas Retráctiles. In: *XI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación 2012*. Valencia, España, 2012. ISBN: 978-84-8363-964-1
10. MORALES GUZMÁN, C.C. Análisis de Cubiertas Plegables. In: *I Foro de Ingeniería Estructural y Geotecnia*. Poza Rica, México, 2013.
11. MORALES GUZMÁN, C.C. Retractable System Design for Light Covers. In: *First Conference Transformables*. Sevilla, España, 2013. ISBN 978-84-939565-3-0
12. MORALES GUZMÁN C. C. Desarrollo y construcción de una tenso estructura en la práctica académica. In: *Congreso Internacional de Ciencia y Sustentabilidad. Academia Journal* 2014. Disponible: <https://cics.academajournals.com> y <https://drive.google.com/drive/folders/0B4GS5FQQLif9fnJTFVpS-k5LM2YtTWN2NW1GQTVKaENsanU-1dEc0OHplQnAxR0FaZEJ1Sik>
13. MORALES GUZMÁN, C.C. Diseño de Cubiertas Transformables. In: *I Congreso de Tecnologías para la Arquitectura*. Poza Rica, México, 2014.
14. MORALES GUZMÁN, C.C. Construcción de un Paraguas Transformable Tensado. In: *II Congreso Internacional de ingeniería Civil*. La Habana, Cuba, 2014. ISBN 978-959-261-467-3
15. MORALES GUZMÁN, C.C. Diseño de sistemas transformables para sitios emergentes; construcción experimental. In: *III Congreso Internacional de Arquitectura*. Guayaquil, Ecuador, 2015. ISBN 978-9942-8657-5-5
16. LLORENS DURAN, J. I. El Pabellón de Venezuela en Expo 2000 Hannover en II Jornadas latinoamericanas de Arquitectura y urbanismo 2001. Institut Catala de Cooperació Iberoamericana-ICCI, Col.lecció Amer&Cat N° 3. pag. 130-137 Barcelona, España.
17. LLORENS DURAN, J. I. Los detalles constructivos de las tenso estructuras. In: *IV Simposio Latinoamérica de Tenso Estructuras*. Montevideo, Uruguay, 2011. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/15512/PONENCIA_LLORENS. Sin ISBN
18. MORALES GUZMÁN, C.C. Prototipo de Diseño de una Cubierta Retráctil Tensada. *Revista de Arquitectura*. 2013. Vol. 15, no. 1, p. 102 - 110, ISSN: 2357-626X Editorial Universidad Católica de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://doi.org/10.14718/RevArq.2013.15.1.11>
19. MORALES GUZMÁN, C.C. Proceso de diseño de sistemas transformables En las cubiertas ligeras. *Revista Modulo Arquitectura*. 2015. Vol. 14. no.1, p. 73 - 96, ISSN: 2389-7732. Recuperado de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/640>
20. MORALES GUZMÁN, C.C. Experimental Construction of a Light Retractable Cover. In: *Simposio Internacional de la IASS-STLE*. Brasilia, Brasil, 2014.
21. MORALES GUZMÁN, C.C. Construcción Experimental de un sistema Transformable Tensado Plegable. *Revista de Arquitectura*. 2016. Vol. 18, no. 1, p. 98 - 110, ISSN: 2357-626X. Recuperado de <https://doi.org/10.14718/RevArq.2016.18.1.9>
- 22.- MORALES GUZMÁN, C.C. Desarrollo y Construcción Experimental de una Cubierta Transformable. *Revista Modulo Arquitectura*. 2016. Vol. 16, no. 1. P. 87 - 118, ISSN: 2389-7732. Recuperado de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/1519>

23. LLORENS DURAN, J. I. Reporte del VI Simposio Latinoamericano de Tenso-estructuras. Realizado conjuntamente con el Congreso de la IASS, Brasilia, 2014. *Revista Informes de la Construcción*. 2015. Vol. 67, no. 537, p. 1. ISSN: 1998-3234. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4059/4626>
24. GARCÍA-DIEGO, CH. LLORENS DURAN, J.I, POPPINGHAUS, H. Venezuela's pavilion in the Hannover Expo 2000. *Revista Informes de la Construcción*. 2008, Vol. 53, no. 473, p. 11 - 26, ISSN:1998-3234. Recuperado de <https://doi.org/10.3989/ic.2001.v53.i473.668>
25. MORALES GUZMÁN, C. C., MARTÍNEZ CRUZ, C., RIVERA TORRE, H. Y FLORES GUTIÉRREZ, A. Desarrollo de la forma de una tenso-estructura en el diseño por computadora. *Revista Procesos Urbanos*. 2017. Vol. 4, no. 1, p. 136-148. ISSN: 2500-5200. Recuperado de <https://doi.org/10.21892/2422085X.356>
26. ESCRIG, F. *Modular, ligero, transformable: un paseo por la arquitectura ligera móvil*. Ed. Editorial, Universidad de Sevilla, 2012. ISBN 9788447214273
27. MORALES GUZMÁN, C.C. Diseño y desarrollo de patrones de la forma de una tenso-estructura. *Revista de Arquitectura*. 2018. Vol. 20, no.1, p. 71 - 87, ISSN: 2357-626X. Recuperado de <https://doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.1.1544>
28. PUERTAS DEL RIO, LINARES. Estructuras Espaciales Desmontables y Desplegables. *Revista Informes de la Construcción*. 1990. Vol. 42, no.409, p. 43 – 53, ISSN: 1998-3234. Recuperado de <https://doi.org/10.3989/ic.1990.v42.i409.1442>
29. MORALES GUZMÁN, C. C. Diseño de Cubiertas Ligeras Tensadas. Estancia Post Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya 2017 - 2018.
30. Morales Guzmán, C.C. Diseño y construcción de un paraguas plegable para espacios arquitectónicos. *Revista de Arquitectura* 2019. Vol. 21 no. 1, p, 76 - 89, ISSN: 2357-626X. Recuperado de <https://doi.org/10.14718/RevArq.2019.21.1.1623>
31. WinTess3: Manual de diseño. [Consultado 10 Agosto del 2011 al 25 de Enero 2019]. Disponible en: <http://tecno.upc.edu/wintess/manual/>
32. Morales, C. C. *Diseño de conexiones para cubiertas emergentes*. Estancia Post Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México 2018 - 2019.

Submetido: 20/08/2020
Aceito: 06/01/2021