

Desarrollo de la forma de una tenso estructura en el diseño por computadora.

Development of the form of a strong structure in computer design.

Desenvolvimento da forma de uma estrutura tensa em design de computador.

Carlos César Morales Guzmán¹; Calixto Martínez Cruz²; Héctor Rivera Torre³; Avatar Flores Gutiérrez⁴

¹ Arquitecto. Post-Doctorado en Arquitectura y Post-Doctorado en Ingeniería. Universidad Veracruzana. E-mail: k_the_best@hotmail.com

² Arquitecto. Maestro en Construcción, Universidad Veracruzana. E-mail: cmartinez@uv.mx

³ Arquitecto. Maestro en Construcción, Universidad Veracruzana. E-mail: htorres@uv.mx

⁴ Arquitecto. Doctorado en Arquitectura, (Titular "C"), Universidad Autónoma de Querétaro. E-mail: avatar.flores@uaq.mx

Recibido: 10 de agosto 201. Aceptado: 1 de octubre de 2017.

Morales, C.; Martínez, C.; Rivera, H.; Flores, A. (2017). Desarrollo de la forma de una tenso estructura en el diseño por computadora. Procesos urbanos Número 4, Ene-Dic. 136-148. DOI:dx.doi.org/10.21892/2422085X.356

RESUMEN

El origen de la investigación se desarrolla en la metodología de traslación geométrica de una superficie mínima, la incógnita, es elaborar una metodología de diseño que se ajuste a un programa virtual y éste, desarrolle el diseño físico de los modelos de tenso estructuras, del que pueden resultar una variedad de formas. La difícil transición de la forma, es la aplicación del patronaje, ya que el sistema se somete a las medidas constructivas del material, para ello se desarrolla un método que generará simulaciones geométricas, creando diseños de velarías de una forma más sencilla, mediante un software de uso común.

Palabras clave: metodología del diseño, geometría aplicada, modelo computacional.

ABSTRACT

The origin of the research is developed in the methodology of geometrical translation of a minimum surface, the unknown, is to develop a design methodology that fits a virtual program and this, develop the physical design of the models of tense structures, which may result in a variety of forms. The difficult transition of the form, is the application of the pattern, since the system is subjected to the constructive measures of the material, for it is developed a method that will generate geometric simulations, creating designs of tense structures in a simpler way, using software of common use.

Keywords: design methodology, applied geometry, computational model

RESUMO

A origem da pesquisa é desenvolvida na metodologia de tradução geométrica de uma superfície mínima, o desconhecido, é desenvolver uma metodologia de design que se encaixa em um programa virtual e, desenvolver o design físico dos modelos de estruturas tensas, que pode resultar em uma variedade de formas. A difícil transição da forma, é a aplicação do padrão, uma vez que o sistema é submetido às medidas construtivas do material, pois desenvolve um método que irá gerar simulações geométricas, criando projetos de velarías de forma mais simples, por meio de software de uso comum.

Palavras-chave: metodologia de projeto, geometria aplicada, modelo computacional.

1. Introducción

Las cubiertas textiles han existido en diversas culturas desde el origen de las civilizaciones que se desarrollaron alrededor del mundo, siendo éstas, uno de los sistemas constructivos más utilizados por el hombre por su fácil montaje, ligereza y atractivo visual.

A pesar de que el empleo de los materiales textiles en construcciones ligeras es tan antiguo, los orígenes de la tecnología estructural textil, se dieron en el siglo XIX. Al mecanizarse el hilado y el tejido de las telas, se pudieron crear grandes tiendas portátiles para las carpas de los circos ambulantes, que abundaron en la última parte de ese siglo.

Hoy en día, se consideran como un diverso sistema constructivo para una amplia gama de programas arquitectónicos, con características especiales propias del sistema. La investigación partirá de la búsqueda de la forma mediante el uso de la geometría y una metodología del diseño, en donde sus traslaciones se adecuarán a un programa virtual, mismo que permitirá conocer las superficies mínimas analizadas por la geometría analítica, y posteriormente desarrollar la figura de la cubierta ligera.

Para entender este tipo de sistema estructural, la cubierta textil se define como una tenso estructura¹ que tiene una superficie delgada y flexible, gracias a las formas que adopta, pueden llegar a soportar las diversas cargas a través de su membrana, ya que los esfuerzos que se generan dentro de sus miembros, se reparten con mucha facilidad a sus basamentos.

Las membranas tensionadas o velarias son superficies fabricadas con lonas ó material textil, en donde las cargas a tensión son transmitidas de la lona a los tensores conectados a postes o puntos de anclaje.

Las formas básicas de las velarías son:

1. Tipo paraboloide o anticlástica. (fig. 1) Este cuenta con una curva negativa y una curva positiva. La deformación de la membrana se da al elevar dos de sus extremos a puntos positivos y dos a puntos negativos del plano; así pues, contará con dos uniones altas y dos uniones bajas.
2. Tipo conoide. (fig. 2) Al tener una membrana elástica, la deformación puntual se dará al aplicar una fuerza perpendicular en el interior de ella; es decir, existirá un punto de mayor altura en el espacio.
3. Con valles y crestas. (fig. 3) La superficie de la membrana sufrirá una deformación lineal, cuando se aplica una fuerza uniforme por medio de elementos como un arco.

Por medio de la combinación de estas tres formas básicas, podremos obtener un sinfín de formas compuestas, de ahí que las membranas tensionadas obtengan amplias posibilidades formales y de composición con el lugar, como por ejemplo:

Posibilidad de usar diseños estándares repetitivos o especiales según el caso. Soluciones que son difíciles de hacer con otros materiales.

Flexibilidad del espacio que generan.
Iluminación y adaptabilidad.
Posibilidad de transformación de acuerdo al uso del espacio.

Las membranas tensionadas se caracterizan por la estabilidad de su estructura. Los elementos rígidos y flexibles de este sistema estructural, interactúan entre sí, logrando la estabilidad necesaria para que los esfuerzos, tanto de compresión como de tracción se canalicen a través de la superficie de la membrana. Los elementos rígidos trabajan a compresión (postes, arcos y puntales); estos se unifican con los elementos flexibles que trabajan a tracción (cables y membranas). Mediante la combinación de sus elementos de apoyo y las cargas actuantes (peso propio de la membrana, vientos, nieve, etc.), la membrana adquiere la forma necesaria para que la estructura logre su estabilidad

óptima, es decir, ésta adquiere una doble curvatura o forma anticlástica para soportar dichos esfuerzos.

El comportamiento de la membrana viene dado a lo largo de sus dos direcciones principales (fig. 4), encontrándose una relación directa luz-flecha, es decir, a mayor curvatura mayor absorción de cargas; entonces determinamos que en la membrana, siempre actuarán dos tipos de fuerzas: la tracción y la compresión.

Mientras estas dos fuerzas ejercidas se mantengan en equilibrio, la estructura de la membrana tensionada también lo estará, pues a diferencia de lo que ocurre en los sistemas constructivos más convencionales, la deformidad, se considera como una característica útil e importante de las Velarías. (Berger (1996), Conrad (1979)).

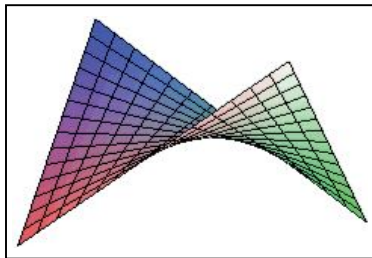


Fig. 1. Tipo Paraboloides, esta geometría es la más utilizada para realizar la forma reglada de una velaría, utiliza solo cuatro nodos para su desarrollo,
Fuente: fcm.ens.uabc.mx

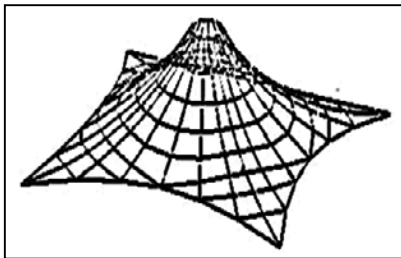


Fig. 2. Tipo conoide. Esta superficie está desarrollada por una parábola, pero su colocación de nodos son la que delimita su figura.
Fuente: fcm.ens.uabc.mx

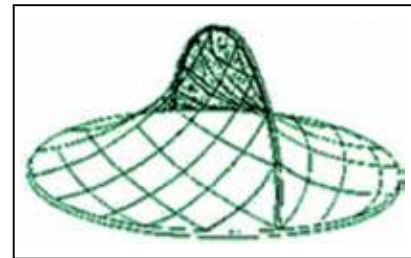


Fig. 3. Con valles y crestas. Este desarrollo geométrico es de forma libre, ya que su superficie se genera dependiendo de otras figuras que equilibran su geometría.
Fuente: fcm.ens.uabc.mx

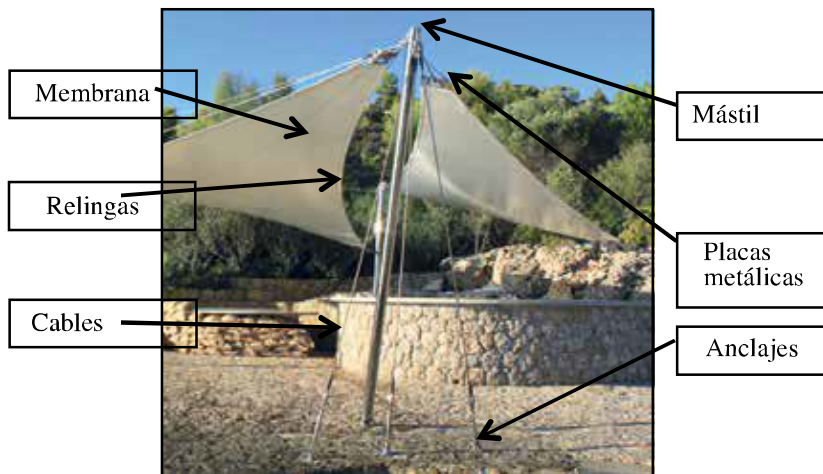


Fig. 4. Elementos de la Membrana Tensionada, estos elementos ayudan a equilibrar el sistema tensado.
Fuente: velarias.com

La propuesta para la investigación, consiste en el desarrollo de una geometría elaborada por medios virtuales que genere la superficie de una velaria², esta ayudará a formar el patronaje de la superficie, este parámetro se seguirá en todo la secuencia del diseño propuesto al iniciar la geometría, que nos brindará las soluciones necesarias para trasladar un volumen en el espacio. En esta situación, surgen los primeros problemas del método (fig. 5), el uso de otras geometrías de referencia para llegar a la elaboración de la superficie reglada, pero en este caso nos enfocaremos en la geometría analítica, esta busca la forma de la superficie en coordenadas y cuadrantes, lo que nos ayudará a resolver la figura de la velaria.

Anteriormente, se ha comentado que las cubiertas textiles están formadas de paraboloides Hiperbólicos, por ello son uno de los sistemas constructivos más atractivos, que han causado gran controversia en los diseñadores.

Se caracterizan por cubrir grandes claros, rápido montaje, atractivo visual y bajo costo comparado con los otros métodos constructivos y son una posibilidad muy atractiva para poder resolver proyectos de diferentes magnitudes.

Pese a los métodos existentes para su creación, ninguna ha sido determinante hasta ahora, que marque una normatividad constructiva. Gracias a los avances tecnológicos hasta la fecha, podemos instrumentar un método para la creación de una velaria, que nos permita generar, obtener y saber a ciencia cierta cómo es su geometría, y el método para generarla.

El problema común y más importante del diseño de una velaria es la definición de su forma, (fig 6) por su tensión, esta no puede ser dada por una simple función matemática, sino un conjunto de ellas. Consecuentemente, es el primer y más importante paso en el diseño de estas cubiertas.

Por lo general, las condiciones de los bordes ya se encuentran establecidas mediante parábolas, lo que lleva a encontrar la geometría apropiada para la membrana. En este caso, trabajar en un software que nos permita el manejo en 3D, sería una gran herramienta visual, que nos permita comprender la interacción del patronaje en la superficie y poder conocer las dimensiones exactas. En esta investigación se buscará generar ajustes en la geometría de la superficie parabólica, hasta poder obtener un patronaje, que sirva para la búsqueda de la forma y la aplicación de un modelado real de un prototipo arquitectónico.

Para lograr que funcione esta metodología geométrica, se utilizará el software Auto CAD 2010, es un programa de dibujo que nos permite obtener mediante sus herramientas de dibujos en 3D, todas las características primarias de una superficie parabólica, que nos servirán para poder generar los modelos necesarios y así obtener superficies suavizadas por las derivaciones de un en mallado calculado por coordenadas, con ello se desarrollará un patronaje que servirá para generar la forma; teniendo como fin el obtener un método de desarrollo para generar una velaria, y posteriormente un procedimiento breve de patronaje para una propuesta de tenso estructura en el espacio. (Engel (2006), Morales (2012), Sánchez (1992)).

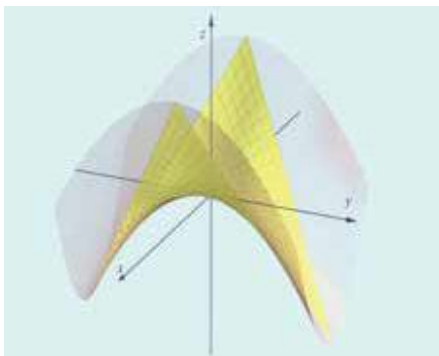


Fig. 5 y 6. El desarrollo de la forma de una tenso estructura gestada por un software de diseño, nos ayuda a formar diferentes tipos de cubiertas ligeras, de igual forma, nos brinda una serie de propuestas para aplicarlas en los espacio arquitectónicos.

Fuente: Hernández Bonilla, Hernández Vázquez, (2012).

Para diseñar una cubierta textil en general, la forma del objeto diseñado, es algo que el arquitecto decide a partir de una serie de parámetros, en consecuencia el concepto estructural también está implícito en estos parámetros. Si vamos a construir un espacio de gran magnitud pensaremos en cubiertas con base en bóvedas, constituidas por grandes cerchas de acero o madera laminada, cúpulas, etc. Pero en ningún caso, la forma exacta del edificio será consecuencia directa de los esfuerzos estructurales que debe soportar.

En la estructura tensada el proceso es un poco diferente. Si hemos decidido utilizar un tipo de arquitectura en la cual la mayor parte de esfuerzos son de tracción, es muy posible que la mayor parte de los elementos estructurales sean del tipo cable, lámina, tendón, etc., los cuales solamente admiten esfuerzos de tracción.

Si es así, se deben diseñar formas que garanticen que en cualquier momento y bajo cualquier tipo de carga, la estructura y sus elementos estén sometidos a esfuerzos de tracción. Encontrar estas formas no siempre es inmediato, y el método para conseguirlo se le llama Búsqueda de la Forma (form finding). En realidad no hay solamente un método, sino una diversidad de ellos. Los más usuales son los siguientes:

Método-geométrico:

Es utilizado en aquellas formas donde la geometría es conocida, (fig. 7), tal es el caso, por ejemplo, de las cubiertas neumáticas esféricas, cilíndricas, elipsoides, etc. Con un programa de CAD y conocimientos geométricos no demasiado avanzados, podemos generar fácilmente este tipo de formas.

Método-constructivo:

De la misma forma que se construyen los encofrados para las cáscaras de hormigón armado, (fig. 8), utilizando las propiedades de las superficies regladas, en donde un conjunto de rectas moviéndose sobre unos bordes no paralelos producen unas superficies alabeadas complejas, podemos generar superficies alabeadas tensadas. El caso del paraboloides hiperbólico es un

ejemplo paradigmático de este método.

Método-modelístico:

Se trata del método más antiguo usado, sobre todo cuando los ordenadores no existían o no eran asequibles para el diseñador. (fig. 9) Hacer maquetas con materiales deformables (licra, látex, etc.) o simplemente modelando yeso o arcilla, se obtenían formas alabeadas o soportes sobre los que se podía dibujar y diseñar una superficie tensada. De hecho, este método convive actualmente con cualquier otro, ya que muchas veces el disponer de una maqueta es una necesidad para el proyectista o para el cliente.

Método-simulación:

Es el método más utilizado hoy en día. Se trata de usar un programa informático especializado para generar este tipo de formas. (fig. 10) En esta investigación se utilizará el programa educativo WinTess3. Hay una gama de software en el mercado, pero para nuestro caso Win Tess3 es mejor opción por el uso más amigable para el descubrimiento de la forma por simulación.

Método-pompas-jabón:

Es también un método muy antiguo, utilizado a fondo en las investigaciones del IL de Frei Otto. A partir de cualquier marco rígido o deformable, sumergido en agua jabonosa obtenemos superficies que, debido a la tensión superficial, son mínimas y al mismo tiempo son óptimas como superficies tensadas. Evidentemente tienen el grave problema de ser efímeras, en la actualidad ya no son ocupadas, sólo se hace referencia de manera pedagógica.

Descrito los métodos y simulaciones existentes para desarrollar una tenso estructura, se elige el método geométrico, ya que la mayoría de los softwares existentes en el mercado son muy caros y el desarrollo de esta investigación es mostrar alternativas de cómo generar una patronaje por medio de AutoCAD con casi la misma precisión que un paquete digital especializado. (Morales (2012), Moore (2000), Otto (1962))

2. Metodología Desarrollo Geométrico

Modelos

Razonando lo anterior, se realiza el análisis experimental de modelado de velarías, lo más óptimo, es el modelado físico ya que por medio de este, podemos interpretar el espacio en el que se va ocupar y la posibilidad de diseñar estructuras cuyo principal modo de trabajo sea a tracción, y como consecuencia, se puedan cubrir mayores claros con un peso propio muy reducido con relación a las cargas que deben soportar. Sin embargo, la forma arquitectónica de estas cubiertas es definida por los elementos estructurales que la conforman, el orden de los mismos y la congruencia de las cargas que están siendo aplicadas.

Así pues, en esta experimentación, llevamos a cabo la combinación de las iteraciones de elementos tales como anillos de compresión y mástiles en puntos altos haciendo de la configuración de este modelo aún más complejo y estéticamente más interesante.

Para realizar este modelo, se cortó una sección circular de la tela lycra, misma que fue seccionada en 24 partes unidas entre sí con una costura a base de hilo elástico, esta costura fue necesaria para que al momento de izar la membrana las fuerzas de tensión y compresión se generaran de una forma más adecuada, (fig. 11) entre cada sección se ubicaran 6 puntos altos de la membrana y un anillo principal que se encontrara en el centro de la membrana.

Lo más interesante del modelo propuesto es la linternilla que soportara y equilibrara toda la estructura de una manera más estética y funcional para que librará todo el espacio central sin ningún apoyo (fig. 12) en donde se ubicarán 6 puntos altos de la membrana para que esta a su vez se encuentre totalmente equilibrada.

La utilización de linternillas en los postes, ayuda a evitar que se rasgue la membrana al utilizar un mástil en cada uno de los puntos altos de la estructura. Con el uso de los anillos de compresión como elementos intermedios de la estructura, entre los mástiles y la membrana, permitirán repartir de manera puntual los esfuerzos que se aplican en los puntos altos de la estructura (Fig. 13). Así es como surge la idea de un conoide, puesto que se aplica un esfuerzo perpendicular al interior de la membrana, los esfuerzos que se generan en la velaría se trasladan a través de la membrana de forma que la linternilla central se encuentre totalmente equilibrada respecto a las fuerzas que actúan en ella. Cada uno de los 6 puntos altos que se ubican perimetralmente en la membrana, se encuentran tensionadas por 6 mástiles que halan hacia arriba al anillo mediante cuatro cables anclados a la parte superior del mismo mástil (Figura.4); a su vez, un mástil inclinado se encuentra apoyado sobre el mástil central que tensiona a la membrana y que mediante un cable tensor va anclado a la superficie del modelo.

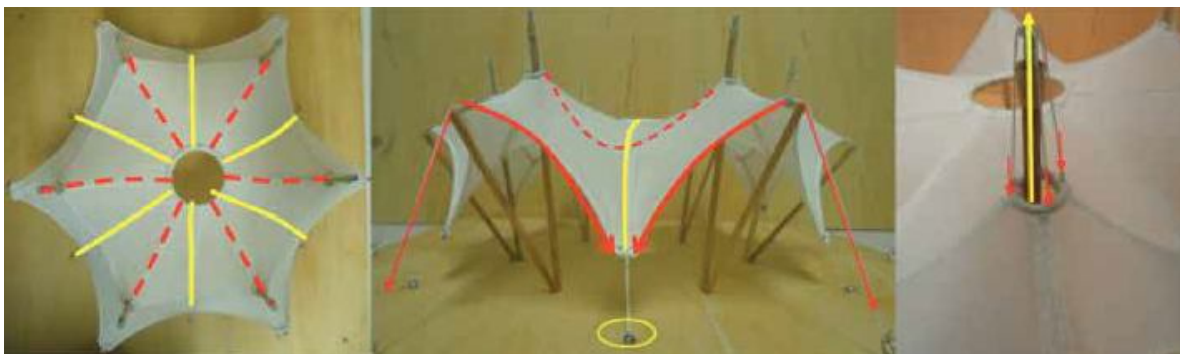


Fig. 11 a la 13. En nuestra experimentación podemos observar que las fuerzas de tracción (línea punteada roja) y las fuerzas de compresión (línea amarilla) actúan en conjunto sobre la superficie de la membrana por la acción de fuerzas de compresión de los anillos de compresión. También observamos que las relingas se encuentran totalmente tensionadas por un cable que las hala hacia la superficie (flecha roja) y que además trabaja en conjunto con el mástil inclinado de la estructura. En cuanto a los mástiles de los puntos altos actúan con un esfuerzo puntual los anillos actúan a compresión.

Fuente: Hernández Bonilla, Hernández Vázquez, (2012).

Desarrollo

Posteriormente el método descrito a continuación, se basa en los principios físicos del modelo experimentado anteriormente, éste se realizara para generar una velaría mediante la ayuda de un software llamado "Auto CAD 2010", que nos permite generar dibujos en 3D, mismo que será resumido para conocedores del programa, ya que mediante el proceso de esta investigación se dará a conocer un método de realización de una superficie mínima y no el aprendizaje del programa, y sólo se le dará énfasis a la utilización de los comandos para la realización de dicha investigación.

Para obtener las curvas de la superficie, primeramente se proyecta en un plano en donde posteriormente se aplicará la geometría de la parábola, en principio la parábola se forma por una serie de puntos localizados en el espacio por coordenadas; Dicho de otra manera, es la que está en un punto equidistante a un plano cualquiera. Para calcular nuestro modelo propuesto necesitaremos calcular 2 parábolas, las que se analizan mediante la siguiente ecuación $y = \sqrt{2p(x)}$, (figura. 14, 15, 16)

esto nos sirve para obtener una gráfica que nos arrojará puntos para poder dibujar la parábola buscada, el orden de colocación de estas curvas no es importante ya que a la hora de hacer la traslación al programa, éste tiene la virtud de manipular la geometría en ambos planos.

Simplificando la ecuación anterior y obviando su desarrollo, dado que el objetivo de esta propuesta es el diseño de una superficie que se realiza con los datos obtenidos de la tabla, mediante el uso del software se grafica y se obtiene la parábola buscada. Desarrollando la ecuación antes vista, se generan 2 parábolas (figura. 17, 18, 19) mismas que serán utilizadas para el diseño de la velaría, estas curvas resultantes generaron la forma que se pretende dar a la cubierta.

Como se puede apreciar, las curvas obtenidas con el uso del software, en las que solo se analizó una parte de dicha curvatura y este programa tiene la virtud de hacer espejos (mirror) y copia la figura analizada en su otro extremo, generando la mitad de la curva faltante y se obtiene la superficie total de la cubierta que se busca realizar.

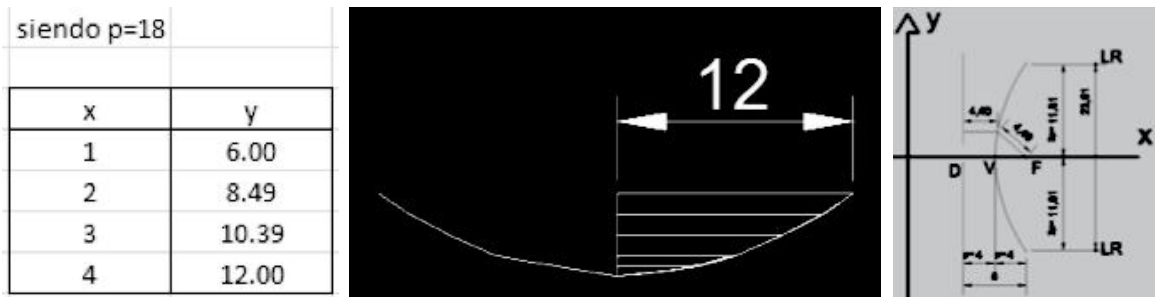


Fig. 14, 15, 16. Arriba la Imagen de la parábola p1, calculada y diseñada para la realización de velaría. Fuente: López, (2012).

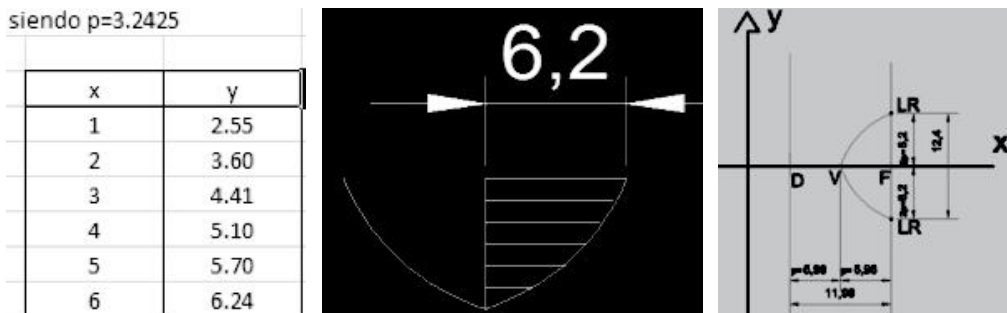


Fig. 17, 18, 19. Desarrollo de la Imagen de la parábola p2, calculada y diseñada para la realización de velaría. Fuente: López, (2012)

Teniendo los dos arcos p1 y p2, se trazara un círculo con un radio de 13.5 m, el cual se dividirá en 6 partes para formar un hexágono (fig. 20, 21) dejando otro círculo con radio de 1.5 m en la parte de en medio del círculo. Se trazarán 6 circunferencias con radio de 7.7 m las cuales tocarán por 2 tangentes a las líneas que se trazaron para generar el hexágono a los que se les realizara un corte para obtener solo el contorno de la parte de adentro del primer círculo creado, quedando como resultado la planta de la velaría que se procede a materializar.

A continuación, se establecerán las alturas en unidades que tendrá cada punto, que será en orden ascendente; se darán 2 unidades para

el primer punto, 8 unidades para el segundo y 12 unidades para el ultimo (fig. 22), esto con el fin de poder darle medidas reales a la velaría que se pretende realizar. Las dos parábolas que se generaron con anterioridad, se ocuparán para empezar a crear la velaría, para esto las nombraremos p1 y p2 de las cuales se tomará la mitad de estos dos arcos, aún en esta parte, se tuvieron que reajustar las longitudes obtenidas para una mejor adecuación. Dándonos como resultado que p1 tendrá 12.65 unidades de distancia y p2 tendrá 8.63 unidades de distancia (fig. 23, 24), estas mismas servirán para generar la forma de la superficie mediante su unión con 2 arcos que se obtendrán a partir de simples circunferencias.

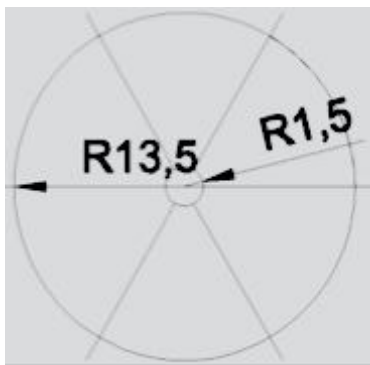


Fig. 20. A la Izq. Imagen de la división de un hexágono dejando un círculo en medio. Fuente: López, (2012).

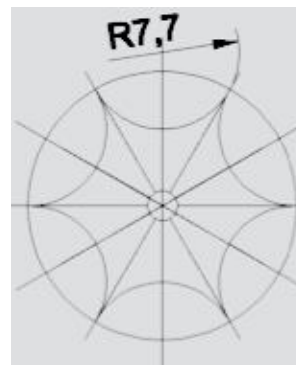


Fig. 21. A la Izq. Imagen vista planta de la división de un hexágono para formar la base de la velaría. Fuente: López, (2012).

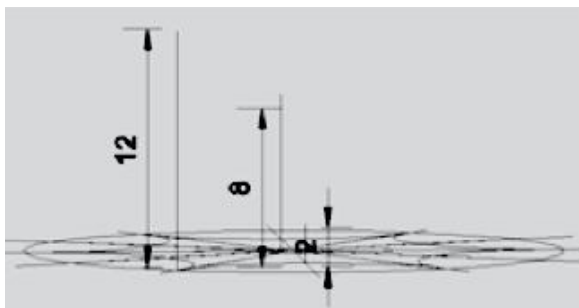


Fig. 22. A arriba Imagen vista en isométrico de las alturas que se le han dado a la velaría. Fuente: López, (2012).

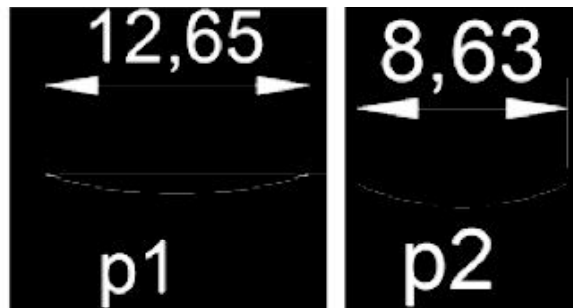


Fig. 23, 24. Arriba la Imágenes de las 2 curvaturas que crean la velaría. Fuente: López, (2012).

Las parábolas obtenidas anteriormente, se ocuparán en este plan trabajo, para empezar a dar forma a los márgenes que limitan la velaría (fig. 25). Cabe añadir, que para este modelo solo se necesita realizar la geometría de dos arcos, estas se unirán mediante circunferencias simples, (fig. 26) que deben de coincidir en los dos puntos de los dos arcos

ya obtenidos, mismos que tendrán el 10% de la distancia entre dichos puntos. Después de obtener los arcos restantes, se procede a copiar todos por simple geometría y con la ayuda del comando "mirror" podremos sacar la parte que nos resta (Fig. 27). Para hacer más fácil el copiado del resto de partes de la velaría ocuparemos la herramienta "Modeling,

Meshes, edge surface" la que nos genera una membrana que nos ayudará a tener una mejor visualización de lo que se está haciendo. Ocupando estas herramientas se podrá ver la imagen de una sección del diseño.

Continuando con el proceso, si colocamos el modelo con vista en planta, se aprecia en la figura el modelo en volumen y las 6 partes en donde deberá ir el volumen de la superficie realizada," (fig. 28 a la 30). Para generar el resto de la velaría se ocupara el comando "array", que nos permite generar copias de la figura desarrollada mediante una circunferencia, esta nos servirán de guía en al ejecución del comando antes mencionado, ya que la ventana de herramientas nos pedirá la guía de referencia. Seleccionando la opción de circunferencia, le pediremos que se copiar 6 veces, y seleccionando el punto de partida, tendremos como

resultado la superficie construida tal como el experimento físico anterior.

Después de generar el volumen, nos da un parámetro de diseño más exacto para desarrollar el patronaje, y para realizar esto, necesitamos sustraer la primera parte que se realizó para poder alinear dicha sección en un plano horizontal, para que posteriormente se pueda obtener la longitud efectiva de la geometría parabólica del modelo y así realizar por patronaje el resto de las partes que se necesitarán para formar la superficie completa.

Primeramente, comenzamos la sustracción de una sección de la velaría (figura 31), la que se dividirá y cortará lo más corto posible para poder manipular mejor cada pieza por separado y así poder alinearlas a un plano horizontal para posteriormente unir las.

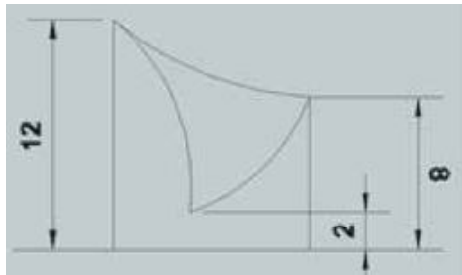


Fig. 25. muestran las curvas con las que se origina el diseño de esta velaría.
Fuente: López, (2012).

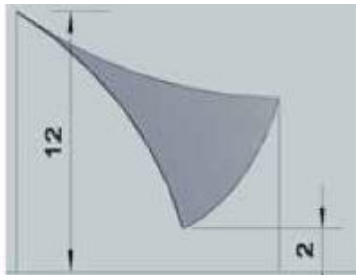


Fig. 26. Imagen vista en corte de la primera mitad de sección que generará la velaría.
Fuente: Alfredo López, (2012).

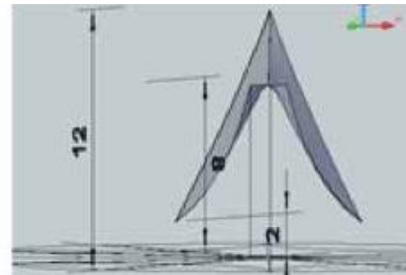


Fig. 27. A la Izq. Imagen vista en corte Utilización del comando mirror, que genera la otra cara de la sección.
Fuente: López, (2012).

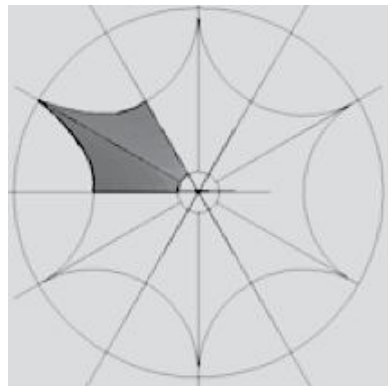


Fig. 28. A arriba imagen vista en planta de la primera sección que genera la velaría.
Fuente: López, (2012).

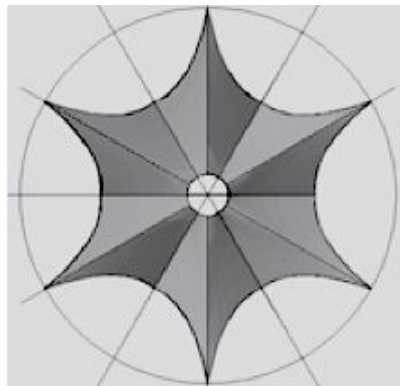


Fig. 29. Imagen vista en planta de la formación completa de la velaría, generada por el comando array, antes mencionado.
Fuente: López, (2012).

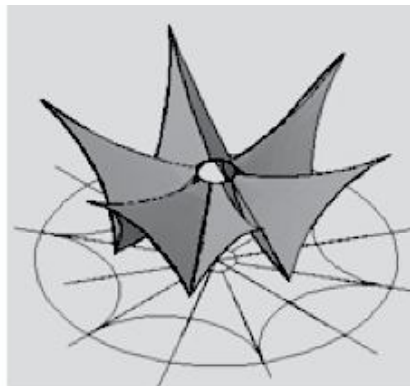


Fig. 30. Imagen vista isométrica de la formación completara de la velaría, generada por el comando array,
Fuente: López, (2012).

Dicha sección se dividirá en 12 partes verticales (fig. 33, 33), se cortarán y separarán para poder trabajar. Esto con el fin de eliminar la curvatura hecha por la velaría. Teniendo los cortes verticales hechos, se seguirá cortándola por su horizontal en 8 partes, para poder tener fragmentos chicos para que el alineamiento sea preciso y así poder evitar algún error en el patronaje.

Teniendo todas las partes de las superficies cortadas, pasarán a alinearse en un plano horizontal para poder generar la unión de todas las partes, esto gracias al uso del comando alinear, (fig. 34), y con la ayuda de una línea puesta como eje horizontal se alinearán de manera individual y consecutivas hasta volver a unir todas las piezas que se generaron en los cortes antes realizados. Así conseguimos la alineación de la mitad de la primera sección. En seguida, se procede a unirlas y el resultado da la unión no completa del patronaje, y sujeta

a 4 partes de la original, esto con el fin de obtener secciones de unión para generar la curvatura deseada en la superficie.

Esta semi-unión comprenderá de cuatro partes, de la que en un principio era una sola (fig. 35). Posterior a la unión, se tendrá que efectuar un corte de sección, esto para obtener el contorno de las 4 secciones; teniendo el contorno se le dejarán en las márgenes de los costados de las 4 partes proporcionales, puntos de fijación para el cocido de la superficie (fig. 36). Se realiza esto para que posteriormente se puedan unir y no se alteren las dimensiones con las cuales se empezó a trabajar. Dichos márgenes se toman en cuenta ya que el traslape es necesario para que la velaría mantenga el mismo diseño del software, los resultados deben de ser exactos en unión y dimensiones. Para que la impresión del resultado sea efectiva y se pueda reproducir en un material adecuado a una escala más grande.

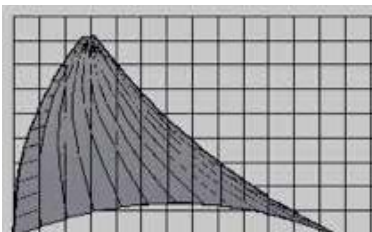


Fig. 31. Imagen vista en planta primera mitad de una sección de velaría.
Fuente: López, (2012).

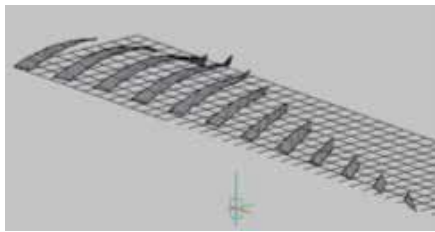


Fig. 32. Imagen vista isométrico cortada a 12 partes primera mitad de una sección de velaría.
Fuente: López, (2012).

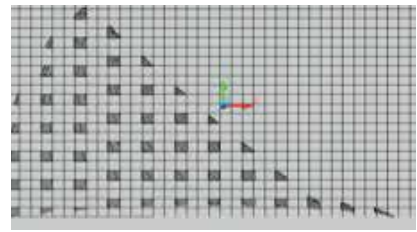


Fig. 33. Imagen vista en planta primera mitad de una sección de velaría, en cortes horizontales como verticales.
Fuente: López, (2012)

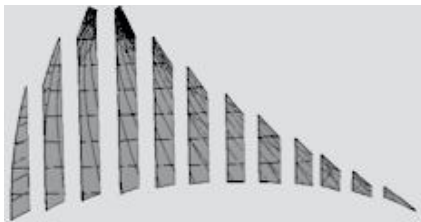


Fig. 34. Imagen vista en planta. La primera mitad alineada con la horizontal.
Fuente: López, (2012).

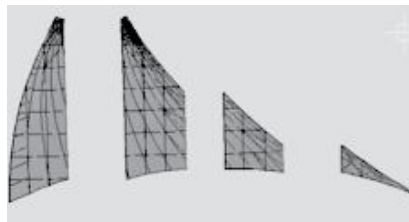


Fig. 35. Imagen vista en planta. Sección unida para formar el primer módulo de patronaje.
Fuente: López, (2012).



Fig. 36. A la Izq. Imagen vista en planta de la sección alineada y acomodada de la primera pieza de la velaría.
Fuente: López, (2012).

3. Resultado

En consecuencia, terminado el patronaje de la figura principal de la superficie, podremos realizar el modelo final, mismo que utilizaremos para representar físicamente la figura final, Para este modelo lo que utilizamos fue una tela resistente que ayudará a ajustarse al patrón de la plantilla antes realizada. La primera actividad, es imprimir el patrón obtenido, (fig. 37), para que por medio de este hacer un molde que nos servirá para poder generar las 12 piezas necesarias para construir la superficie parabólica.

Una vez obtenidas las piezas, se marcarán en la tela, para que posteriormente se corten la con la longitud efectiva de la velaría (fig. 38, 39), e ir uniendo de dos en dos las piezas y respetando las pestañas para poder coser

el solape. Este procedimiento se repetirá para las 5 secciones restantes las que al final se unirán entre sí, para obtener la velaría completa.

Continuando con el desarrollo de la velaría se elaboró el modelo a una escala 1:20 donde se confirmó y comprobó que el programa que procesó su forma es igual, (fig. 40 a la 42), este método ayuda a que el diseñador obtenga una metodología de diseño más real, y de cómo se manufactura el diseño de una superficie mínima, y orienta a las diferentes posibilidades en las que se pueden generar las geometrías de este tipo de estructuras, este modelo se comportó igual que los modelos más pequeños, sólo que su manufactura fue mucho más larga, ya que en la construcción de una tenso estructura, los materiales definen los parámetros constructivos de estas estructuras. (Morales (2012)).



Fig. 37. Arriba se muestra la impresión del patronaje
Fuente: López, (2012).



Fig. 38. Arriba se muestra la tela ya marcada y cortada con ayuda del patronaje.
Fuente: López, (2012).



Fig. 39. Arriba la unión con costura de hilo de la primera sección. De la velaría.
Fuente: López, (2012).



Fig. 40 a la 42. Proceso de erección del modelo de velaría desmontable.
Fuente: Hernández Vázquez, Hernández Bonilla, (2012).

4. Discusión

La presente investigación se decidió para términos académicos y aprendizaje aplicado el método geométrico, el cual desarrolla la superficie, por medio del estudio de la geometría analítica, esta será una de las herramientas más útiles para generar el proceso de la forma de una velaría y su patronaje. Posteriormente, para configurar la superficie mínima en un velaría utilizaremos el software Auto Cad 2010, llegando a diferentes propuestas experimentales que ayudan a entender la geometría de las velarías y creando una metodología de diseño para formar su superficie patronada para su posterior producción. Para encontrar el desarrollo adecuado de los modelos físicos de estas cubiertas, se implementó el uso de la geometría analítica, por ello es importante tener en cuenta el espacio en donde se vaya a crear dicha estructura.

Para formar los modelos aproximados para una primer encuentro con el diseño de velarías, se deben de tomar en cuenta las características principales para el diseño de las cubiertas, con las que se determina de manera condicional y definitiva la forma de su diseño, tras la generación de parábolas adecuadas con la curvatura idónea, esto se trata de modelar las formas singulares que se adecuen a los espacios arquitectónicos. Es importante destacar que las tenso-estructuras se diseñan, la mayoría de las veces de forma libre, ya que el mismo sistema es tan versátil que se presta a efectuar dicha adaptación. Esta es una característica elemental que ayuda a formar diferentes posibilidades de tenso estructura, llegando a disponer de una serie de formas complejas en las que se puede resolver un espacio arquitectónico, sin embargo siempre se deben de respetar las geometrías con las que se crea una forma óptima, que pueda absorber los esfuerzos que interactúan en su interior.

Por ello, este método geométrico presentado en esta investigación puede facilitar las propuestas arquitectónicas de la tenso estructura en los proyectos de arquitectura, la mayor parte del aprendizaje de estos sistemas estructurales nuevos,

no se enseñan por la falta de un softwares especializados, por ello se realizó esta alternativa metodológicas que puedan aplicar los estudiantes y profesionista de la arquitectura en sus proyecto de investigación o anteproyectos de diseño.

5. Conclusiones

Las velarías son sistemas estructurales que se han caracterizado por su forma, en los que se hace tardado diseñar con las herramientas tradicionales. En esta investigación se generó un método con el cual obtiene una aplicación práctica al diseño geométrico que se aplica a gran variedad de figuras y formas en las que se puede construir una tenso estructura, permitiéndonos detectar a detalle, la superficie que se genera a través de la aplicación de este método.

En la construcción de este tipo de cubiertas se requiere un enfoque diferente en cuanto a los medios de diseños convencionales, ya que este tipo de sistemas nos ofrece infinidad de formas, una tenso estructura puede ser diseñada para prácticamente todas las condiciones funcionales, sus requerimientos y confecciones pueden hacer frente a varias necesidades por su fácil construcción.

En cuanto a su aporte al quehacer arquitectónico, es influenciado por su avance tecnológico que ha tenido lugar durante las últimas décadas. Las estructuras a tracción se usan hoy en proyectos de gran importancia urbanística y arquitectónica: desde espacios transitorios a espacios permanentes, desde viviendas unifamiliares a gigantescos estadios, desde techos de aeropuertos a fachadas de rascacielos.

Todas estas aplicaciones y ventajas nos lleva a la conclusión que al generar un método de diseño que pueda hacer una traslación más exacta de la forma de un superficie mínima, en el que se analice la distribución de esfuerzo internos en la membrana, hasta llegar a los apoyos que absorben esos esfuerzos aplicados en la superficie, con la ayuda de la geometría, que sin la aplicación de ésta en su diseño, no tendría un buen funcionamiento la tenso estructura, por ello se pensó en generar un método que aplicara

la geometría básica en el diseño de una velaría y encontrar la forma más óptima en que trabajan, esto, con la ayuda de un software (Auto CAD 2010) que fue utilizado para generar modelos de velarías en 3D, permitiéndonos saber las dimensiones exactas de todos sus lados; como son distancias, ángulos de inclinación, alturas, curvaturas y longitud de superficie, etc. Y la utilización de esos datos obtenidos en estos programas, y poder generar patronajes

para la manufactura de esas estructuras y superficies confeccionadas con cubiertas textiles que facilitan la interpretación del espacio-cubierta, generando gran diversidad de formas y variadas posibilidades de diseñar una velaría.

Dícese de otra forma "El proceso constructivo de una velaría se lleva a cabo con una adecuación geométrica la cual genera la forma".

Referencias

Banco, A. (2007): *Arquitectura Textil, Transformación del Espacio*, 1ª, Ed, Editorial Poseidón. Madrid, España.

Berger, H. (1996); "Light Structures, Structures of light, the art of tensile Architecture." 1a Edition Basel; Berna, Suiza.

Conrad, R. (1979), "Frei Otto: Estructuras, estudios y trabajos sobre la construcción ligera", 1a Ed, Editorial Gustavo Gili, Barcelona.

Engel, H. (2006); "Sistema de Estructuras", 4a Ed.; Editorial Gustavo Gili, S.A.; México

Hernández Vázquez, L.; Hernández Bonilla, O. (2012); Tesis: *Detalles de Tenso Estructuras en la Arquitectura*; Director de Tesis; Dr. Carlos Cesar Morales Guzmán, Universidad Veracruzana. Poza Rica, Veracruz, México.

López Valdez, A. (2012): Tesis: *Desarrollo de Geometrías Hiperbólicas por Computadora*; Director de Tesis; Dr. Carlos Cesar Morales Guzmán, Universidad Veracruzana. Poza Rica, Veracruz, México.

Moore, F. (2000); "Compresión de las Estructuras en la Arquitectura", 1a Ed. Editorial interamericana Mcgraw-Hill.

Morales Guzmán, C. (2012) *Arquitectura Tensada*, Estancia Post Doctoral. UPC, Barcelona, España.

Otto, F. (1962) "Cubiertas Colgantes", Versión española Folguera Francisco, 1a Ed.; Editorial Labor S.A; Barcelona.

Sánchez Sánchez, F. (1992): *Estructuras Ligeras para Grandes Luces*, 1ª, Ed, Editorial Fundación Emilio Pérez Piñero. Sevilla, España.