



Parasoles fotovoltaicos del tipo anillo desplegable

Natalia TORRES*, Diana PEÑA^a, María José CEJA^b,
Structural Morphology in Architecture SMIA^c

*Candidata a Doctor. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona Tech.

Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés. ETSAV.
Pere Serra, 1-15. 08173 Sant Cugat del Vallès.

natalia.paola.torres@upc.edu

^aDr. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona Tech. diana.peña@upc.edu

^bMtr. Sistemas Ambientales. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
ceja@itesm.mx

^cGrupo de Investigación vinculado al LITA. Laboratorio de Innovación y Tecnología de la
Arquitectura UPC. info@smia-experimental.com

Resumen

El presente artículo describe la exploración geométrica de parasoles fotovoltaicos del tipo anillo desplegable, como una nueva propuesta de diseño urbano sostenible. Su configuración se logra a través de la combinación de polígonos regulares desplegables, conformados por barras anguladas articuladas, junto con el uso de lonas textiles con tecnología fotovoltaica como alternativa de cubierta, la cual se adapta a la geometrías generadas por los polígonos y al movimiento de cierre y apertura de la estructura.

Esta investigación surge como un proyecto de diseño para generar áreas de sombra contextualizadas dentro de la plazoleta ubicada entre los edificios CIAP y Biotecnología en Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Monterrey, México. El objetivo es obtener la energía necesaria para iluminar la plazoleta y proponer dentro del mobiliario urbano conexiones para la carga de aparatos electrónicos.

De esta forma el diseño innovador del parasol, explora en diferentes configuraciones geométricas las distintas etapas de despliegue para obtener un rendimiento óptimo en todas sus posiciones, logrando que, aunque el parasol se encuentre en su etapa de despliegue más cerrada, aun así capta energía solar. Además las geometrías resultantes generan áreas de sombra cambiantes que se adaptan tanto a la radiación solar como al uso funcional de la plazoleta.

El artículo finalmente expone los resultados, detalles constructivos y cálculos energéticos de la geometría escogida para demostrar su viabilidad y las ventajas sostenibles al incorporar en el diseño de membranas, estrategias para crear fuentes de energía renovables.

Palabras Clave: Parasoles, estructuras desplegables, transformable, adaptable, fotovoltaico, sostenible, membrana desplegable, polígonos.

1. Precedentes

1.1. Parasoles en la arquitectura.

Los parasoles arquitectónicos aplicados como elementos a escala urbana, son una estrategia de diseño ideal como estructura auto portante para cubrir áreas específicas al aire libre que requieran de sombra permanente o en intervalos de tiempo específicos. Son en general estructuras transformables, que se abren y se cierran, adaptándose según la necesidad del usuario y a las condiciones climáticas de lugar.

Su origen proviene del diseño de un artefacto personal de protección contra la lluvia, que incorpora una estructura desplegable compuesta por una serie de barras en posición radial, articuladas a un mástil central y cubiertas con un textil, su invención se relaciona en China y data del siglo XI a.C.

El concepto de paraguas a gran escala y su principio mecánico, se ha implementado en la actualidad con nuevas tecnologías en sistemas eléctricos, hidráulicos e implementación de nuevos materiales y ha trascendido a nivel arquitectónico gracias a las propuestas de Frei Otto. En 1971 proyecto las Grandes sombrillas para Exposición Federal de Jardinería en Colonia, Alemania (Otto et al [12]). Mollaert [11] refiere al proceso de despliegue de estos parasoles, describiendo que a medida que se eleva el mástil, las puntas de los brazos se proyectan hacia arriba hasta tomar su posición final determinada por la geometría de la membrana. Y en la etapa de plegado de la estructura, se retiran los brazos en voladizo para compactar lo más posible la estructura cuando no está en uso (figura 1).

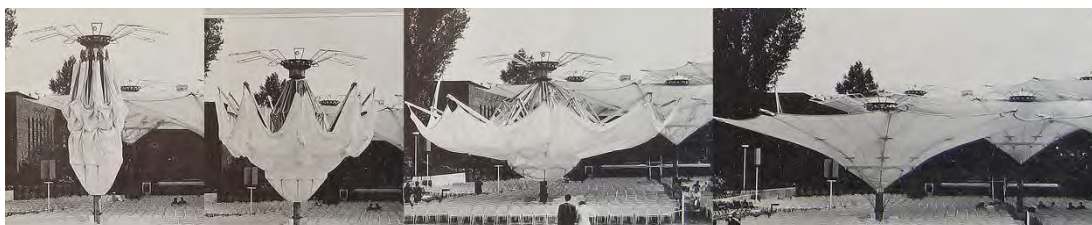


Figura 1. Grandes parasoles. Exposición Federal de Jardinería. Colonia, Alemania. (Otto [11]).

El sistema de parasoles diseñado por Otto es nuevamente utilizado en la propuesta de escenografía para Pink Floyd en 1977, adaptando sistemas de elevadores en cada elemento, para que aparezcan en el escenario durante el espectáculo (figura 2a). Dentro de las aplicaciones más importantes se encuentra las propuestas realizadas por SL Rash, parasoles de gran tamaño, con un alto grado de tecnología y sistemas eficientes de mecanizado que cubren diámetros de más de 50 metros (SL Rasch [14]) (figura 2b).

Escrig [4] proyecta a nivel de maqueta estructuras de parasoles de gran tamaño resueltas con el sistema tipo tijera para cubrir temporalmente una procesión religiosa en la Plaza de San Francisco, Sevilla, España. Para la cubierta de la estructura incorpora una capa superior textil que colabora con el comportamiento estructural del conjunto y una capa inferior textil para obtener un mayor aislamiento térmico (figura 2c).



a.

b.

c.

Figura 2. a) Parasoles escenario Pink Floyd. Diseñadas por Ted Happold y Frei Otto. b) Parasol desplegable para las áreas de rezo en la Meca. Mezquita del Profeta de Medina. Arabia Saudita. SL Rasch. c) Maqueta para proyecto de sombrillas de la Plaza de San Francisco. Escrig.

También bajo el concepto de parasol se han desarrollado en la actualidad múltiples diseños como estructuras fijas que no requieren del movimiento de plegado, generando estructuras permanentes de sombra con una amplia gama de alternativas en tamaño, forma y costo (figura 3).

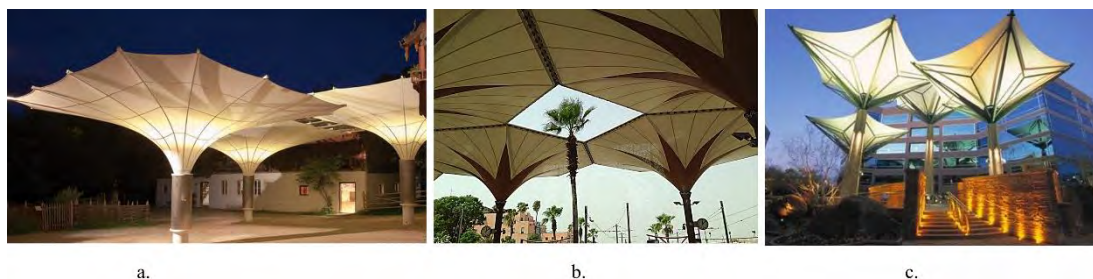


Figura 3. a) Parasol Bahama® largo. b) Cubierta estación de trenes Marrakech. Marruecos. c) Parasol tipo lámpara. Shyam Pressing Works.

La propuesta de parasoles fotovoltaicos que se describe en este artículo mantiene el concepto de sombrilla, que incorpora como elemento estructural, además del mástil, un anillo desplegable que soporta las secciones de membrada, la forma está basada en la geometría de polígonos desplegables a partir de barras anguladas y el sistema tipo tijera (Torres y De Matos [16]). Una alternativa de diseño que permite generar sombras cambiantes según la apertura y cierre del anillo, proporcionando sombra en todas sus posiciones de apertura.

1.2. Panel solar flexible.

La propuesta del parasol a partir de un anillo desplegable combina la incorporación de paneles fotovoltaicos que permita tener un doble uso del dispositivo, al proveer de sombra y energía eléctrica a los alumnos y colaboradores del ITESM Campus Monterrey. Actualmente 5,432.87 MWh de la energía eléctrica que utiliza ITESM Campus Monterrey es renovable (16%), por su parte 24,270.35 MWh es baja en emisiones (73%), y solamente 3,239.01 MWh es convencional (10%). También en este campus, en 2018 está iniciando la operación de un campo de generación de energía renovable en la azotea de los edificios CIAP y Residencias, con una capacidad de 390 kWp y una generación anual estimada de 697 Mwh (Departamento de Energía y Sostenibilidad. ITESM [3])

Para entrar en contexto sobre la generación de energía solar fotovoltaica y la importancia de incluir este tipo de tecnologías en el diseño, se menciona el estudio realizado por la Universidad de Cambridge (IPCC [8]) donde se estima que las emisiones de CO₂ provenientes del sector proveedor de energía a nivel mundial se doblen o incluso multipliquen para 2050 comparadas con las 14.4 GtCO₂ generadas en 2010, a menos que la intensidad de emisión sea significativamente reducida.

De esta forma, buscando aportar una solución ante el aumento de emisiones de CO₂ y los impactos que pudiese implicar, se ha seleccionado incorporar tecnología de generación de energía fotovoltaica a la cubierta del anillo desplegable; la intención es generar energía renovable para ser utilizada en cargar equipos electrónicos y dirigiendo la energía sobrante a la red del campus.

En 2017, a nivel global se cuantificó una capacidad instalada de 385,674 MW de generación de energía por medios fotovoltaicos, que en comparación con la registrada en 2007 de 8,679 MW, corresponde a un aumento de 44 veces de capacidad en 10 años (IRENA [9]). El aumento registrado de capacidad instalada fotovoltaica corresponde directamente al abaratamiento de costos de las celdas solares (figura 4), donde en enero de 2015 las celdas cristalinas en China presentaron un costo de 2.38 USD por Watt pico contra un costo de 0.59 USD por Watt pico en diciembre de 2015, lo cual representa una reducción del costo en 75% en 5 años (IRENA [10]). El abaratamiento de los costos de los fotovoltaicos ha permitido el aumento de generación de energía renovable en México, resultando en una generación de

8.735 Pentajoules por medios fotovoltaicos en 2014 a 11.186 Pentajoules de generación en 2016 (SIE [10]).

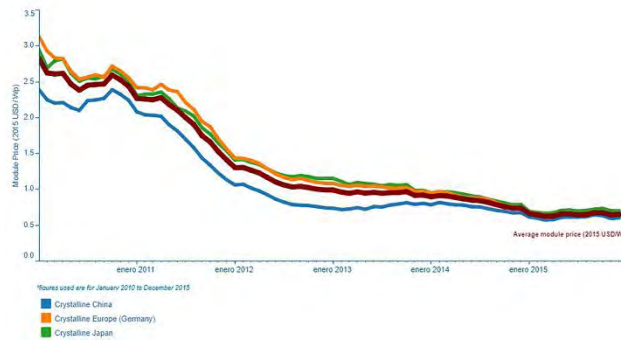


Figura 4. Costo de fotovoltaico solar 2010 a 2015 (IRENA [9]).

En el desarrollo de membranas fotovoltaicas se presenta la propuesta de “Under the Sun” de Nic Goldsmith para el Museo Nacional del Diseño Cooper-Hewitt y el Smithsonian en Washington DC, Estados Unidos en 1998, donde se incluye por primera vez el uso de sistemas fotovoltaicos flexibles en una estructura tensada (FTL [5]).

A diferencia de en México, donde no existe actualmente una membrana arquitectónica fotovoltaica comercial, Reino Unido cuenta con un producto en desarrollo y aplicación solamente en ese país que es resultado de la colaboración entre Inside2Outside Ltd y la Universidad de Nottingham (Ibrahim et al [6]) el cual consiste en una lona con un sistema fotovoltaico integrado aplicado hasta el momento en sistemas de sombreado (figura 5a).

Pvilion es una empresa localizada en Nueva York, Estados Unidos, especializada en estructuras tensadas que inició sus labores en 1970 y que para 2007 inició investigación y desarrollo en la combinación de sistemas fotovoltaicos flexibles en las estructuras, realizando con éxito proyectos como sistemas de sombras para estacionamientos y envoltentes de viviendas. En la figura 5b es posible observar uno de los proyectos de estructura tensada en combinación con sistemas fotovoltaicos de Pvilion, un sombreado para estacionamiento que con sus 80 paneles tiene una capacidad instalada de 5 kW (D’Augustine [2]).



Figura 5. a) Sistema de sombreado con fotovoltaico integrado de Inside2Outside.
b) Estructura tensada de Pvilion.

2. Anillos desplegables.

El principio del movimiento en los anillos desplegables consiste en barras anguladas articuladas a partir del sistema tipo tijera, la agrupación de módulos de tijeras permite generar despliegues concéntricos, a diferencia de la agrupación de tijeras con barras rectas donde se obtiene un despliegue lineal o con curvatura variable (figura 6). La geometría del anillo desplegable varía según el ángulo de apertura entre barras y la geometría de la barra.

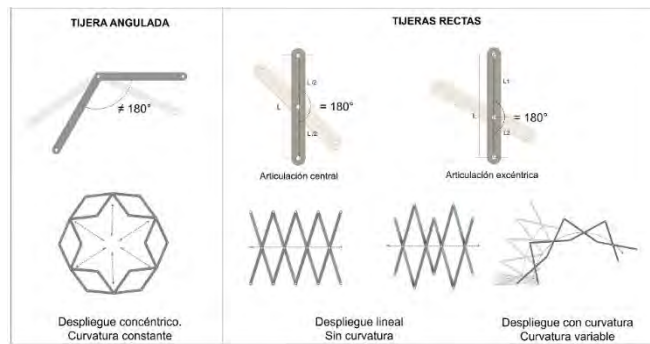


Figura 6. Tipos de despliegue según la geometría de las barras. Tijera angulada y tijeras rectas.

Uno de los principales exponentes de este tipo de estructuras desplegadas y que explora diferentes configuraciones a partir de tijeras anguladas es Chuck Hoberman [7] que demuestra con sus diseños de juguetes, esculturas y escenarios las innumerables posibilidades de diseño con este sistema desplegable. Para definir la geometría inicial de la barra angulada y así mismo la cantidad de elementos tijera para configurar un anillo desplegable se parte de la geometría de polígonos regulares, los cuales se caracterizan por tener todos sus lados y ángulos internos iguales.

A partir del ángulo interno de un polígono específico, se determina el ángulo de cada barra y la cantidad de tijeras necesarias, que dependerá del número de lados del polígono regular a desarrollar (Torres y De Matos [16]) (figura 7). En consecuencia se define el ángulo de una barra angulada con la siguiente fórmula:

$$\alpha = 180 - (360/n) \quad \alpha = \text{ángulo interno del polígono regular} \quad n = \text{lados del polígono regular}$$



Figura 7. Definición de la tijera angulada según la geometría de un triángulo (Torres y De Matos [6])

La exploración geométrica con diferentes polígonos y variación del perímetro de la barra como forma lineal y arqueada permite presentar diversas configuraciones expuestas en la figura 8. Las diversas posibilidades conllevan a proyectar aplicaciones arquitectónicas como fachadas móviles, cubiertas retractiles o en este caso específico parasoles a gran escala.

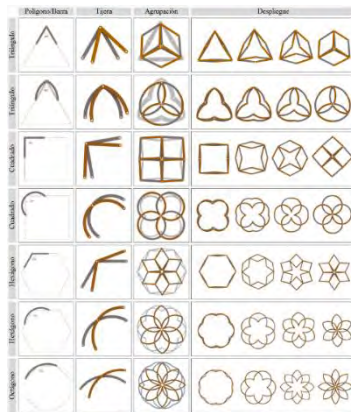


Figura 8. Exploración geométrica de anillos desplegables a partir de polígonos regulares.

3. Diseño de parasol del tipo anillo desplegable.

La plazoleta ubicada entre los edificios CIAP y Biotecnología en Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Monterrey, México; es una explanada sin áreas de sombra que cuenta con 14 macetas en hormigón, diseñadas como mobiliario urbano con un diámetro de 5.50 metros. A partir de estos elementos se proyectan 14 parasoles del tipo anillo desplegable en cada maceta para cubrir un diámetro de 6.00 metros (figura 9).



Figura 9. Fotomontaje proyección de parasoles fotovoltaicos de tipo anillo desplegable.

La geometría escogida corresponde a un hexágono regular, esta se selecciona como una opción viable que permite una longitud de barra adecuada para a cubrir el diámetro necesario, en comparación con otras geometrías que requieren mayor longitud de barra o más elementos (figura 10).

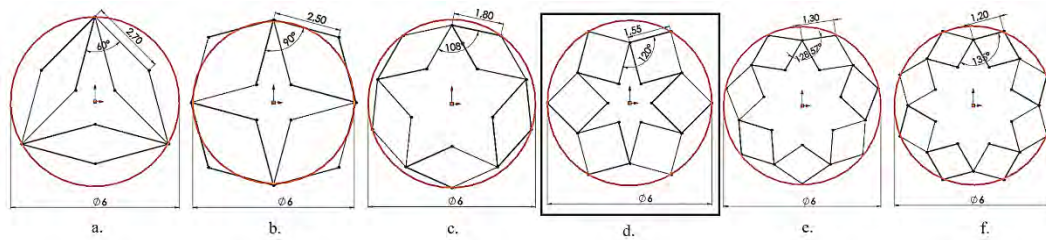
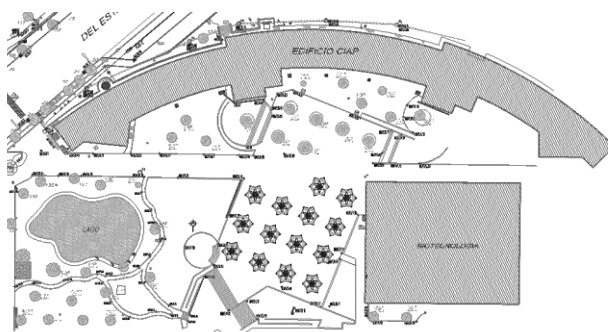


Figura 10. Variación de geometrías de anillos desplegables por polígono con un diámetro definido de 6.00 metros

La geometría del hexágono establece las secciones de la membrana para la cubierta, generando geometrías de rombos radiados que se transforman según la posición de despliegue del anillo.

Para obtener una mayor capacidad de recolección de energía solar, se propone una inclinación del anillo 20° hacia al sur, según localización de Monterrey (figura 11).



Planta localización de parasoles. Plazoleta Edificio CIAP. Tecnológico de Monterrey.

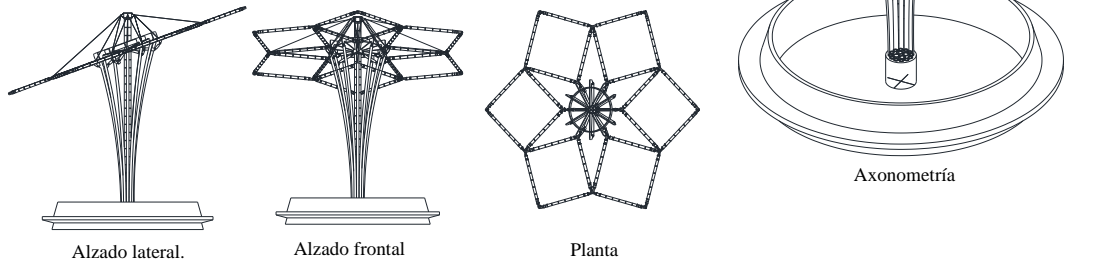


Figura 11. Planos estructura parasol fotovoltaico.

4. Estructura.

La estructura principal se propone en bambú, un material de construcción resistente y ligero que toma cada vez más popularidad en la aplicación de proyectos arquitectónicos, gracias a sus excelentes capacidades estructurales, además complementa el diseño sostenible del parasol al ser un material natural, renovable y con bajas emisiones de CO2.

El pilar es diseñado como una estructura arboriforme que consiste en una columna central de 6.50 metros de altura rodeada por barras de bambú que se bifurcan a medida que se acerca al anillo desplegable. Los cimientos de pilar consisten en un cilindro de hormigón a la vista y otra parte enterrada, posicionado en el centro de la maceta. Dos anillos en acero rodean la columna central e incorporan las platinas necesarias para sujetar las barras de bambú, el anillo desplegable y la membrana en su máximo punto de altura (figura 12).

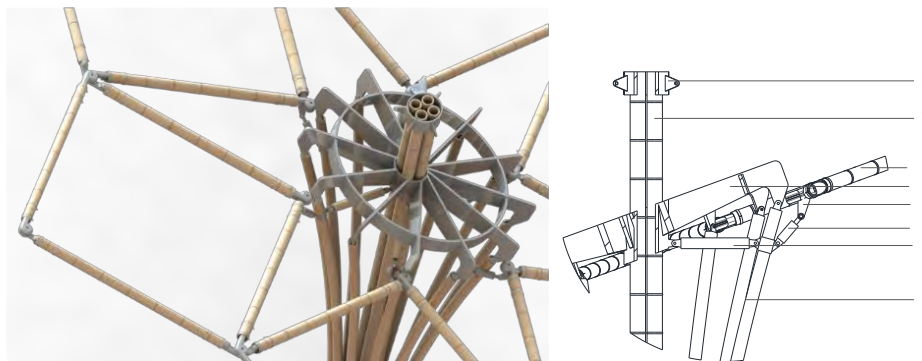


Figura 12. Detalle anillos de sujeción. (1) Platina anclaje tela. (2) Columna en bambú. (3) Barra de bambú. (4) Anillo en acero con platinas radiada para sostener la estructura desplegable. (5) Platina de anclaje barra de bambú cilindro hidráulico. (6) Cilindro hidráulico. (7) Barra de bambú horizontal (8) bambú perteneciente a la estructura del pilar.

Para el diseño del anillo desplegable, se definen dos componentes para su configuración, los nodos y las barras de bambú. Se establece que un módulo de tijera para formar un hexágono desplegable debe implementar dos barras anguladas, el ángulo específico, según la fórmula mencionada anteriormente y aplicada a la geometría seleccionada, corresponde a: $\alpha = 120^\circ$

La agrupación de seis módulos tijeras anguladas con ángulos correspondientes a 120° forma un hexágono desplegable. Para obtener esta configuración geométrica a partir de barras de bambú, el diseño de los nodos incorpora el ángulo específico, de esta forma el nodo central que articula dos barras anguladas y los nodos extremos que enlaza módulos de tijeras son piezas en acero, con un diseño determinado para conectarse a la barras de bambú y lograr el movimiento de apertura y cierre del anillo (figura 13).

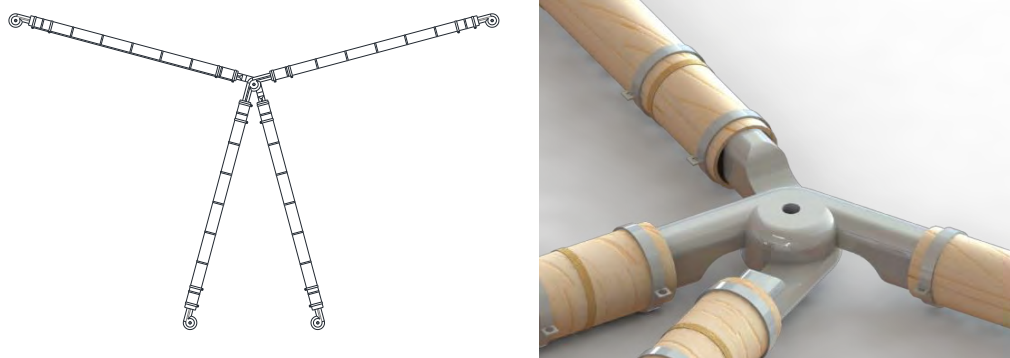


Figura 13. Configuración tijera angulada en bambú, detalle nodo.

4. Membrana.

El desarrollo del diseño de la membrana se define a partir de las geometrías resultantes al enlazar los módulos de tijeras anguladas, de esta forma se configuran dos tipologías de rombos delimitados por la posición de las barras de bambú y los ejes radiales del polígono. De esta manera se propone secciones de membranas no continuas que se posicionan dentro de los marcos de las barras anguladas y rombos radiados que se articulan tanto a las barras como a mástil central.

La propuesta de distribución de paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado corresponde a 18 paneles de 1,20 x 0,55 metros que actúan en la posición abierta del anillo desplegable y 12 paneles de 0,3643 x 1,72 metros que actúan en la posición cerrada del anillo desplegable (figura 14).



Figura 14. a) Posición abierta del parasol. b) Posición cerrada del parasol.

Para la fijación de la tela es importante considerar las diferentes posiciones de apertura del anillo desplegable, la membrana debe responder de manera adecuada a este movimiento y sus puntos de fijación deben ser estables para garantizar la seguridad en cada etapa del despliegue. Para ello se propone bordes rígidos paralelos a las barras de bambú, platinas metálicas que atrapan la tela y disponen de ollaos a los largo de la platina. El sistema de barra y tela/cable se articula por medio de abrazaderas metálicas que permiten sujetar la membrana sin interferencias durante el movimiento de despliegue y que se posicionen de manera adecuada en cada etapa del despliegue (figura 15 a).

La solución para fijar al mástil los extremos de la tela correspondiente a los rombos concéntricos, consiste en un anillo superior en lo más alto de la columna central, el diseño de anillo de sujeción cuenta con las platinas posicionadas según cada sección de membrana y sujeta los cables correspondientes a través de terminales con horquilla en cada caso. Esta sujeción permite los grados de libertad suficientes para que la membrana pueda plegarse sin interferencias (figura 15b).

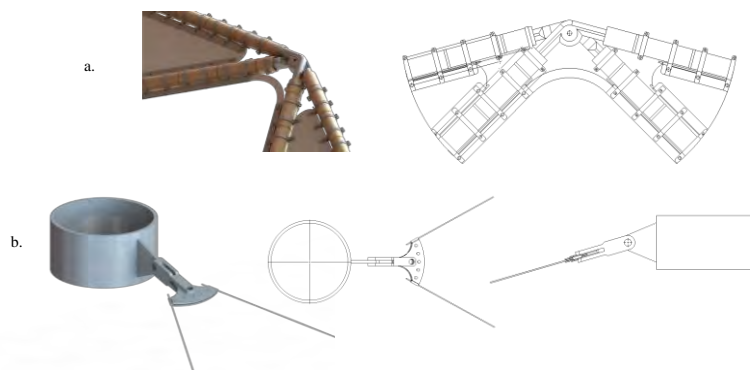


Figura 15. a) Detalle de sujeción de la membrana con las barras de bambú. b) Detalle de sujeción membrana y mástil.

Ahora al analizar el comportamiento de la tela en las dos posiciones de despliegue, abierta y cerrada, se observa en la figura 14 que cuando el hexágono está abierto los rombos radiados son los que deben estar trabajando a tensión y las otras secciones de membranas se encuentran en estado plegado.

En cambio en la posición cerrada, se pliegan los rombos concéntricos y se tensan los rombos que rodean en mástil hasta configurar un cuadrado. Por consiguiente es necesario definir la posición máxima de apertura y de cierre del hexágono desplegable ya que estas definen la longitud necesaria de los cables y proporcionan la forma final de la membrana trabajando a tensión.

Finalmente se propone que la disposición del patronaje corresponde al sentido del pliegue de la membrana, las costuras ayudan al que se doble de una forma ordenada, aunque la distribución de los paneles solares colaboran también en el sentido de plegado de la tela.

5. Paneles fotovoltaicos.

El Campus Monterrey de ITESM se encuentra localizado en la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, México, y tiene las siguientes características (Catedra de Investigación en Energía Solar y Termociencias [1])

Coordenadas geográficas: 25°39'04.99" N, 100°17'22.34" a una altura de 536 metros sobre el nivel del mar.

Temperatura máxima promedio anual: 28.5 °C

Temperatura mínima promedio anual: 16.1°C

Datos de irradiación solar (figura 16)

Radiación directa promedio anual: 4.157 kWh/m²

Radiación global promedio anual: 4.944 kWh/m²

Radiación directa promedio mensual (kWh/m ²)	Radiación global promedio mensual (kWh/m ²)
Enero: 3.638	Enero: 3.461
Febrero: 4.040	Febrero: 4.212
Marzo: 5.042	Marzo: 5.432
Abril: 4.283	Abril: 5.700
Mayo: 4.011	Mayo: 5.890
Junio: 4.373	Junio: 6.118
Julio: 4.347	Julio: 6.001
Agosto: 4.689	Agosto: 5.933
Septiembre: 4.0429	Septiembre: 5.133
Octubre: 4.213	Octubre: 4.551
Noviembre: 3.982	Noviembre: 3.758
Diciembre: 3.229	Diciembre: 3.146

Figura 16. Datos de irradiación solar. (Catedra de Investigación en Energía Solar y Termociencias [1])

Se han seleccionado los siguientes paneles fotovoltaicos flexibles para la propuesta:

	Estructura Abierta	Estructura Cerrada
Nombre de panel	85 Watt semi-flexible marca Sunplugged	FLEX-02 80NS Marca MiaSolé
Cantidad	18	12
Capacidad	85.0 W	80 W
Vmp	17.85 V	20 V
Voc	22.2 V	24.8 V
Isc	5.3 A	4.55 A
Imp	4.75 A	3.99 A
Tecnología	Si-Mono (36 celdas)	CIS (40 celdas)
Dimensiones	0.55 m x 1.2 m	0.36 m x 1.72 m

Figura 15. Características paneles seleccionados, HelioScope® .

El inversor tiene las siguientes cualidades:

Nombre: UNO-DM-2.0 TL-PLUS

Poder máximo: 2.0 kW

Poder mínimo: 0 W

Voltaje Máximo: 600 V

Voltaje Máximo MPPT: 530 V

Voltaje mínimo MPPT: 210 V

Voltaje Mínimo: 150 V

7. Conclusiones.

7.1. Generación de energía

El despliegue de los anillos de la estructura es posición abierta y cerrada permite aprovechar la luz solar para generación de energía en cualquiera de sus modalidades de sombra arquitectónica.

Utilizando el software HelioScope® se ha realizado una modelación energética del potencial de generación de energía de la estructura desplegable con el sistema fotovoltaico del apartado 5 y con una inclinación de 20° al sur.

Se estima que, en posición abierta, el potencial de generación anual de energía es de 2.14 MWh.

Se estima que, en posición cerrada, el potencial de generación anual de energía es de 1.39 MWh.

Estimando, con la apertura variante de la estructura, se podría alcanzar un potencial de generación de 1.77 MWh. Este potencial de energía puede ser aprovechado para instalar conexiones eléctricas para cargar equipos electrónicos. Adicionalmente la energía restante puede ser inyectada a la red eléctrica federal y así reducir el consumo de electricidad convencional del campus.

Las emisiones de CO₂ potenciales a reducir por la apertura variante de la estructura con sistema fotovoltaico son 1.03 toneladas de CO₂ equivalente, si se utiliza el factor de emisión del sistema eléctrico nacional.

Si se colocase la estructura desplegable en las 14 macetas de la plaza, la energía renovable generada equivaldría a 24.78 MWh.

7.2. Anillos desplegables

La exploración de anillos desplegables a partir de polígonos regulares y el sistema tipo tijera genera múltiples configuraciones geométricas que varían según la cantidad de lados del polígono y la forma de la barras, esto permite considerar entre las diferentes alternativas geométricas la opción más adecuada entre el diámetro a cubrir, la longitud de barra necesaria o cantidad de elementos a utilizar para un proyecto específico.

La metodología de los polígonos regulares permite hallar el ángulo exacto para proyectar las barras anguladas que forman un módulo de tijera y de esta forma, con la correcta agrupación de tijeras, configurar un anillo desplegable determinado por el polígono escogido.

Las geometrías resultantes obtenidas de la exploración con diferentes polígonos llevan a considerar una aplicación arquitectónica de parasoles transformables, basado en el hexágono regular y la implementando las membranas como la cubierta ideal para este tipo de estructuras.

Para la proyección arquitectónica, el diseño se fundamenta en la necesidad de generar nuevas fuentes de energía y utilización de materiales sostenibles, de manera que se propone una estructura en bambú que incorpora en su cubierta paneles flexibles fotovoltaicos. La combinación de estos elementos genera un elemento arquitectónico capaz de generar energía y al mismo tiempo de proporcionar áreas de sombras cambiantes atractivas para el peatón en medio de la explanada de la plazoleta.

El análisis de las diferentes etapas de despliegue del hexágono, define la geometría de las secciones de membranas a proyectar, así como el sentido de pliegue y el sistema de fijación ideal para que la tela tome la posición adecuada en cada etapa del despliegue.

El resultado son secciones de membranas discontinuas con forma de rombo, que sujetan de manera perimetral al marco que las sostiene por medio de platinas y abrazaderas metálicas.

Este artículo pretende dar a conocer nuevas aplicaciones de las estructuras desplegadas integradas con sistemas sostenibles, la investigación reúne un primer acercamiento al planteamiento de la estructura y los datos de la energía almacenada, aclarando que se encuentra en curso su análisis estructural y viabilidad constructiva.

Citas:

- [1] Catedra de Investigación en Energía Solar y Termociencias. Casa Solar prototipo del ITESM: Meteorología. <http://itesm-ces.blogspot.mx/>. Web. 12 Mayo. 2018.
- [2] D'Augustine C, Pvilion. Flexible Solar. <http://www.pvilion.com>. Web. 12 Mayo. 2018.
- [3] Departamento de Energía y Sostenibilidad del Tecnológico de Monterrey, Mayo de 2018.
- [4] Escrib F. Ed., *Modular, ligero y transformable. Un paseo por la arquitectura ligera móvil*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. 2012.
- [5] FTL., Design Engineering Studio, 2018. Timeline. <https://ftlstudio.com>. Web. 12 Mayo. 2018.
- [6] Ibrahim H., Wagdyb A., Beccarellia P., Carpenter R., Cilton J., Applicability of Flexible Photovoltaic Modules onto Membrane Structures Using Grasshopper Integrative Model. *International Symposium on "Novel structural skins - Improving sustainability and efficiency through new structural textile materials and designs*. Procedia Engineering 155, 2016, 379 – 387.
- [7] Hoberman C. (1990). Hoberman Associates - Transformable Design. <http://www.hoberman.com/>. Web. 12 Mayo. 2018.
- [8] IPCC., Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.
- [9] IRENA., *Renewable Electricity Capacity and Generation Statistics*, march 2018. www.irena.org. Web. 12 Mayo. 2018.
- [10] IRENA, 2018. *Solar PV Costs 2010-2015*. www.irena.org. Web. 12 Mayo. 2018.
- [11] Mollaert M., Retractable membrane roofs. *Transactions on the Built Environment vol 21*. WIT Press, www.witpress.com. 1996.
- [12] Otto F. Ed., *IL 5 – Wandelbare Dächer / Convertible Roofs*, Mitteilungen des Instituts für Leichte Flächentragwerke (IL), Universität Stuttgart. 1972.
- [13] Otto F., Nerdinger., Winfried and Technische Universität München. *Architekturmuseum Frei Otto : complete works : lightweight construction, natural design*. Birkhäuser, Basel ; Boston, 2005.
- [14] SL Rasch., *Umbrellas. Seeking Excellence in Architecture*. sl-rasch.de. Web. 30 Abril. 2018.
- [15] SIE., *Balance Nacional de Energía: Producción de energía primaria*. <http://sie.energia.gob.mx/>. Web. 12 Mayo. 2018
- [16] Torres N., y De Matos HA., Estructuras Desplegadas. Sistema tipo tijera. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais. Brasil*. Volume 1, N. 35 – 1º sem. 2019.