

ESTRUCTURAS TRANSFORMABLES LA EXPERIENCIA DEL IDEC

¹Profesor Titular, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción , Facultad de Arquitectura, Universidad Central de Venezuela, los Chaguaramos, Caracas, Venezuela . Telf. +58-212-5764081 fax: . +58-212-5763850, E-Mail: chhm@alum.mit.edu.

RESUMEN

En este trabajo queremos mostrar las experiencias en estructuras transformables que realizamos en el IDEC desde 1985. Estudiamos y construimos modelos a escala para diferentes geometrías, bóvedas, domos, etc. Estos estudios nos llevaron a la necesidad de construir prototipos a escala real, que se materializaron en tres desarrollos:

En 1987 se diseño y construyo un primer prototipo (bóveda Transformable) con el objetivo de determinar y resolver problemas constructivos, de manejo, de estabilidad tanto estructural como a factores ambientales. Los ensayos de este prototipo llevaron a la construcción de versiones mejoradas. El Segundo ejemplo que se desarrolló fue la estructura para el Pabellón de Venezuela en la expo 92 de Sevilla. Para esta edificación de 770 m² se diseñó una estructura transformable de aluminio que se despliega en un solo sentido (tipo acordeón), que se construyo enteramente en Venezuela, se llevo a España, donde se desplego. Como tercer ejemplo estudiamos la factibilidad de desarrollar una Cubierta Plegable de láminas de metálicas delgadas con capacidad estructura. Esto como un paso hacia la combinación de las mallas transformables de barras tipo tijera con cubiertas metálicas. Se Desarrollo una cubierta transformable donde el componente estructural es a su vez la membrana de protección.

Palabras clave: Estructuras Transformables, Estructuras metálicas, mallas plegables. Sistema de tijeras, Laminas plegadas.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras transformables de bóveda que utilizan el mecanismo de tijera para su plegado, han sufrido un largo desarrollo dentro del IDEC. Comense a trabajar con el Dr Waclaw Zalewski y otros estudiantes del MIT en 1985, donde exploramos las posibilidades geometricas para la construccion de edificaciones usando el mecanismo de tijeras o aspas, asi como otros sistemas de transformabilidad. Construimos modelos a escala de domos, bovedas y estructuras planas, trianguladas o no, con sistemas de tijera simples o dobles (**Fig. 1 y 2**) , de igual forma exploramos maneras de producir el desplegado de las estructuras y se desarrollaron artefactos para efectuar este proceso. Se realizaron algunos proyectos de aplicaciones de las estructuras transformables entre los que podemos mencionar: Reticula estructural transformable para una estacion espacial, Paragua transformable para cubrir espacios públicos, Sistema transformable para edificaciones no permanentes de exposiciones, Sistema constructivo de un piso transformable para plantas de ensamblaje.

- Proyecto para el sistema estructural de la estación espacial de la NASA 1990. En este proyecto se escogió una estructura transformable con un sistema de desplegado de resorte

en un solo sentido. La operación de construcción de la estación comienza con el despliegado de la plataforma la cual esta basada en módulos cúbicos de 5 mts x 5 mts x 5 mts. Que se despliegan automáticamente en tres dimensiones a una velocidad controlada. (Fig. 3).

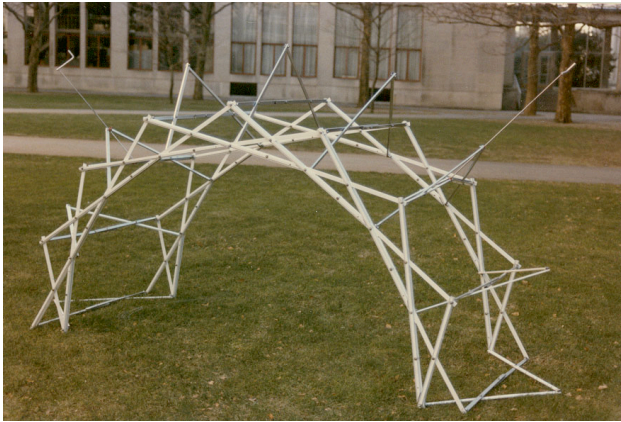


Figura 1 Bóveda Transformable de doble Tijera.

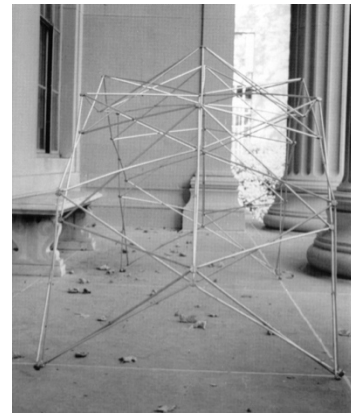


Figura 2 Bóveda Transformable de Tijeras sencillas trianguladas.

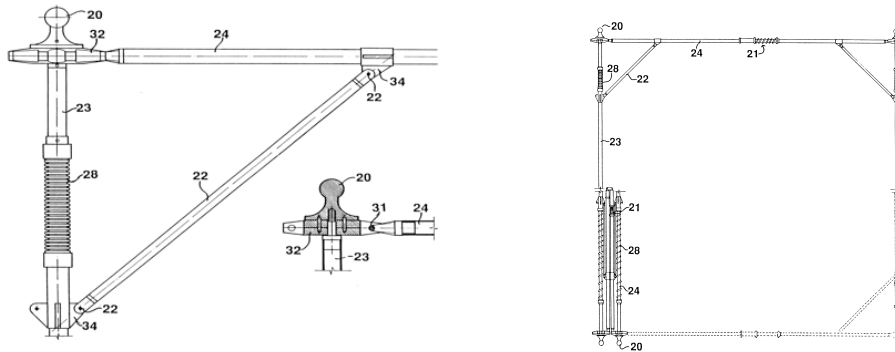


Figura 3 Malla Reticular Transformable para la Estación Espacial.

-Proposición para unas cubiertas semi-permanentes [2]. En este proyecto se escogió utilizar un grupo de grandes paraguas que pudieran desplegarse para la realización de actividades tales como: ferias y exposiciones utilizándose como postes de iluminación el resto del tiempo. (Fig.4)

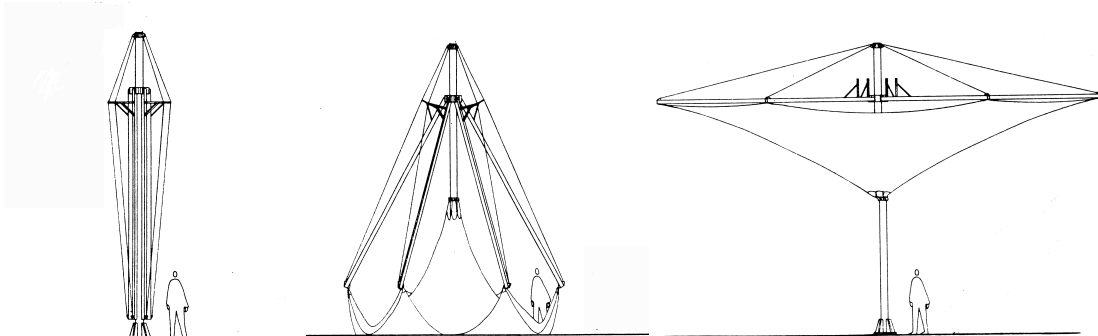


Figura 4 Paraguas Transformables.

- Proyecto para un espacio temporal de exhibiciones. Diseñado para ser montado y

desmontado en un periodo de 3 semanas. La estructura está compuesta por una serie de retículas espaciales, triangulares, transformables, unidas y soportadas por columnas de aluminio colocadas en los vértices de los triángulos. La cubierta esta elaborada con nylon recubierto de teflón unido a la estructura de aluminio. **(Fig. 5).**

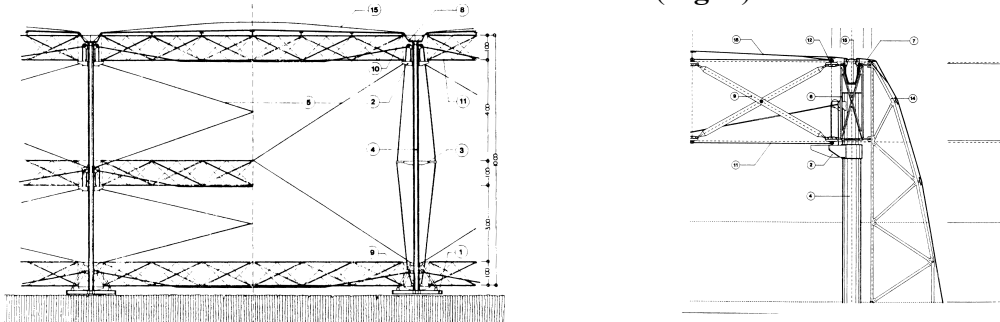


Figura 5 Sistema Transformables para edificaciones de exposiciones temporales. (building Technology group, proyecto, MIT 1985)

-Proyecto de un piso transformable para una planta ensambladora de vehículos **(Fig.6)**. Este tipo de piso le otorga a la planta independencia del terreno, fácil transportabilidad, rápida instalación y máxima flexibilidad espacial, permitiendo cambios de configuración y de locación, el paso de las instalaciones y su mantenimiento, a la vez provee una base solida que distribuye las cargas permanentes o temporales a todo el suelo .

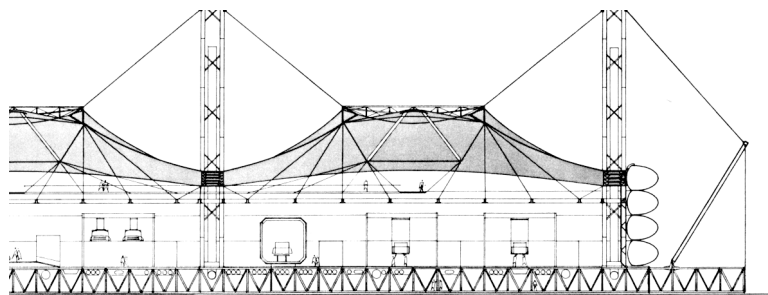


Figura 6 Sistema Transformable para pisos de plantas ensambladoras. (B.Metioni)

1.1 Boveda transformable.

No es hasta 1988 cuando se diseña y construye un primer prototipo a escala real con el objetivo de determinar y resolver problemas constructivos, de manejo, y de estabilidad tanto estructural como a factores ambientales, resistencia al desgaste por uso y aceptación por los usuarios potenciales. El diseño de la estructura se sustento en criterios de economía y de sencillez constructiva, utilizando elementos existentes en el mercado local o de muy fácil fabricación. Como forma estructural fue seleccionada la bóveda cilíndrica de marcos no triangulados ya que esta geometría es una de las formas mas sencillas de construir. Un mayor número de elementos de dimensiones iguales, nodos mas simples y una geometría totalmente compatible le otorgan ventajas sobre otras configuraciones y formas estructurales. El resultado fue una retícula espacial transformable de superficie generatriz cilíndrica no triangulada que desplegada tiene 8 mts de profundidad por 14 mts de luz con 7 mts de radio. Genera un área cubierta de 112 m² , y plegada conforma un paquete

compacto de 4,2 x 1 x 1 mts, con un peso de 500 Kg . Esta estructura esta formada por tres arcos paralelos, un arco central y dos exteriores unidos por catorce brazos iguales, perpendiculares a los arcos y colocados sobre planos radiales generados por el eje de rotación del cilindro y los nodos en los arcos. Cada arco esta constituido por seis ensamblajes tipo tijera, que a su vez esta conformados por perfiles de aluminio de sección rectangular (**Fig.7**).

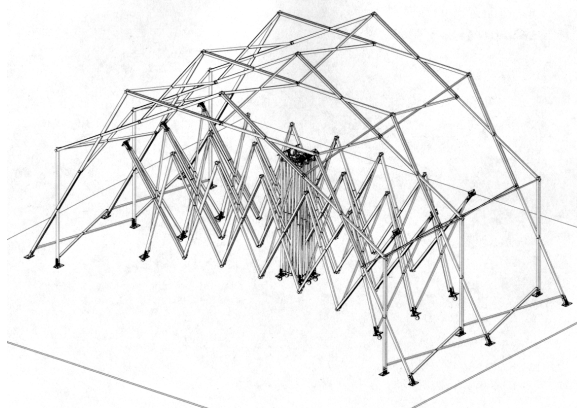


Figura 7 Bóveda Transformable.

El proceso de despliegue de una estructura transformable, es un elemento clave para su éxito. En las primeras versiones construidas con perfiles comerciales de aluminio se ensayaron varios procedimientos de despliegue. El primer procedimiento de despliegado se apoyaba en el uso de una grúa para elevar la estructura y prevenir que el paquete estructural toque el suelo . Una vez en posición vertical, Se halan en dirección diagonal y hacia afuera los cuatro perfiles que forman las esquinas del paquete, alejándose del centro de éste, dicha operación se continúa hasta que la estructura comienza a levantarse en el centro; en este momento la grúa debe comenzar lentamente a elevarse y el proceso de halado revertirse, en este momento se empuja siguiendo la dirección del arco que comienza a formarse, hasta llegar a los toques que señalan que la estructura a llegado a su configuración abierta (**Fig.8**).

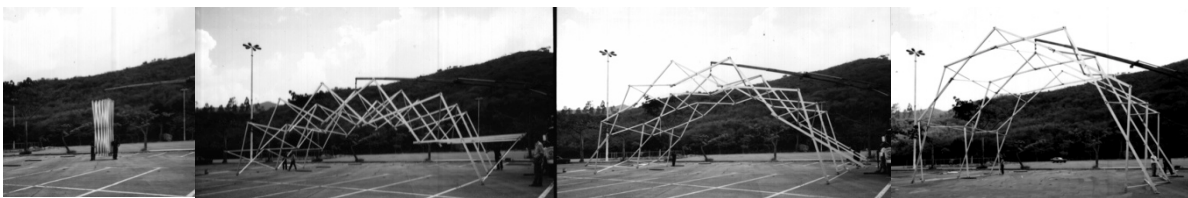


Figura 8 Proceso de Despliegue.

Los siguientes procedimientos que se ensayaron fueron sin el uso de grúa, con winches colocados en lugares estratégicos dentro de la malla estructural de manera de utilizar el mecanismo de tijera para expandirla. Estos ensayos nos llevaron a la conclusión que cada método de despliegado genera diferentes patrones de esfuerzos en los mecanismos de tijeras y que estos esfuerzos son mayores, en todos los casos, que aquellos producidos por las cargas de viento una vez que la estructura se ha desplegado y por lo tanto los componentes de la estructura deben ser calculados de acuerdo a los requerimientos de despliegado.

Otro punto que ha recibido especial atención han sido las cubiertas, todas las cubiertas fueron elaboradas con una membrana de poliéster recubierta de PVC con un peso de 600

gr./m². se escogió este material por su poco peso, bajo costo, y resistencia al plegado. Las primeras tres membranas construidas fueron planas y solo en la versión del pabellón itinerante se introduce una membrana anticlastica que permitió darle a la membrana mayor capacidad de resistencia al viento y redujo el numero de conexiones a la estructura. En el primer prototipo la membrana se colocó en la cara externa de la malla, plegándose junto con la estructura. Esta solución no resultó muy adecuada ya que la membrana se deterioraba muy rápido, por lo que las siguientes membranas se colocaron en la cara interior. Se probó diferentes métodos de colocación de la membrana, unos durante el proceso de despliegue y otros al finalizar este: En el primer método ensayado, se despliega la estructura hasta el punto donde comienza a levantarse del suelo, en este momento se extiende la cubierta bajo ella y se cuelga directamente sobre la estructura en los soportes que esta tiene para ello y se procede a continuar con el proceso de despliegue, en el cual la estructura se levanta llevando con ella la cubierta. Como proceso alternativo se ensayo el levantar la cubierta una vez que la estructura a sido totalmente desplegada y estabilizada, utilizando para este fin un sistema de poleas las cuales son colgadas de la estructura antes del despliegue total y que luego permiten elevar la cubierta desde abajo. Posteriormente se trabaja en proveer a la malla estructural de una membrana anticlastica que permita una mayor estabilidad estructural. Se estudian varias posibilidades, usando modelos físicos y el programa de generación de mallas EASY. Esto permite tener una membrana mas rígida y por lo tanto aumenta la resistencia de la estructura frente al viento.

En el año 2005 se presentó la oportunidad para completar e incorporar modificaciones que se habían propuesto en los últimos estudios realizados, con la construcción de un pabellón itinerante de unos 300 M² (**Fig.9**).



Figura 9 Pabellon Transformable que utiliza dos modulos de boveda.

En el desarrollo de este pabellon nos ocupamos de la fase productiva, se modificó la estructura cambiando la perfilera de aluminio a perfiles tubulares de acero con la finalidad de reducir los costos (a cambio de peso), buscando hacer la estructura mas comercial. Se trabajó fundamentalmente en el desarrollo de los equipos y procedimientos para la producción industrial de los perfiles. Se diseñó un detalle para resolver las perforaciones en los perfiles para el paso de los ejes, y se desarrolló el procedimiento y equipo para cortar la perforación y añadir un refuerzo, que es remachado, en lugar de ser soldado. También en este trabajo incorporo una nueva cubierta para la malla estructural, que por su nueva geometría, con doble curvatura, la hace mas estable y capaz de soportar cargas de viento.

2.1 Pabellón de Venezuela en Expo Sevilla 92

Son pocas las oportunidades en que se conjugan una serie de circunstancias que permiten

impulsar un desarrollo tecnológico como en el caso del Pabellón de Venezuela. Una idea, un lugar de investigación y desarrollo con los instrumentos adecuados, un ambiente de innovación en la industria y un proyecto con los recursos, fueron tal vez las condiciones más destacadas que permitieron este proceso. Este proyecto fue la primera ocasión para demostrar, en una gran escala, la aplicación del concepto de estructuras transformables.

La construcción del Pabellón de Venezuela para Expo Sevilla 92 se planteaba en su momento bajo ciertas condiciones: limitaciones de tiempo para su diseño y construcción, exigencia de una edificación de carácter temporal, además de suponer una fuerte inversión económica debido a los altos costos de la construcción en el lugar, fueron algunos de los aspectos más relevantes que impulsaron la escogencia del uso de las estructuras transformables, y por sobre todo, constituía una oportunidad para ensayar la idea de las estructuras transformables y llevar una proposición tecnológica de vanguardia a ésta exposición universal.



Figura 10 Pabellon de Venezuela EXPO 92.

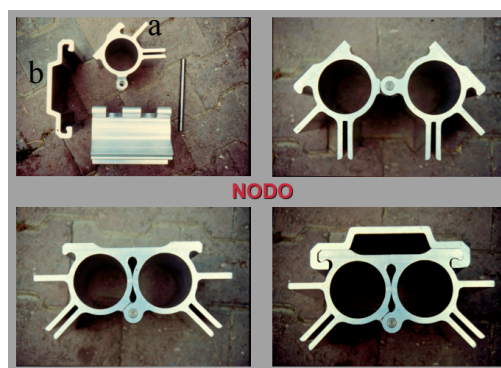


Figura 11 Nodo- bisagra.

El edificio del pabellón es concebido básicamente como el contenedor de una sala audiovisual (**Fig.10**), la cual debido a sus requerimientos geométricos hizo necesario la adopción de una estructura libre de soportes intermedios. Se selecciona una estructura transformable que se pliega en una dirección, formada por cerchas paralelas, abisagradas en sus nodos de manera de permitir un plegamiento tipo acordeón, esta solución se adapta muy bien a los requisitos de la sala audiovisual y al mismo tiempo requiere de pocas partes móviles que facilitan sus producción y el proceso de despliegue.

La estructura se divide en dos grupos de cerchas, un grupo de cerchas de 12 mts. que van desde el muro de contención de la plaza a un apoyo intermedio donde se ubicará la cabina de proyección de la sala, otro grupo de 18 mts que tiene cerchas dobles, que van desde el soporte central a la cumbrera del edificio, y desde la cumbrera hasta el muro de contención en el fondo de la edificación. Para los cerramientos laterales se diseñaron cerchas de aluminio de dimensión variable que se conectan a las cerchas del techo y al piso y contribuyen con la distribución de las fuerzas laterales producidas por el viento. A la estructura se incorpora un sistema de paneles ligeros, tipo sándwich de 50 mm de espesor y dimensiones 2 x 2 mts para crear los cerramientos, estos paneles se diseñaron para proveer de aislamiento termal y acústico a la edificación y al mismo tiempo proporcionar los acabados internos y externos de la sala audiovisual.

Debido a la importancia de la bisagra para que se pueda producir el movimiento tipo acordeón, gran parte del trabajo de diseño se concentro en esta . Inicialmente el diseño de la bisagra se planteó como un elemento adicional a la cercha pero en la búsqueda de

simplificar el número de piezas a producir se llegó a la conclusión que debía diseñarse un conector que sirviese de bisagra y a la vez de acople de los componentes de la cercha, los cuales consideramos, debían ser elementos tubulares de producción estándar y no perfiles especiales. El nodo final (**Fig.11**).esta conformado por dos piezas: la primera (**a**) que permite el amarre de todos los elementos tubulares que forman las cerchas y la conexión de los elementos de rigidización que serán incorporados una vez despegada la estructura. Al aparearse esta pieza con otra igual de una cercha contigua, se forma una bisagra que permite una rotación de 45 grados. La segunda pieza (**b**), que denominamos grapa, permite el bloqueo de la bisagra y a la vez constituye el elemento de ajuste y soporte del cerramiento de la edificación.

Las cerchas se conforman con elementos tubulares de 73.7 mm de espesor que constituyen los cordones inferiores y superiores de las cerchas. Estos tubos, una vez cortados a la medida y pintados reciben los nodos que se incorporan deslizándolos hasta su posición final prefijada con una matriz (cada 2 mts). El tubo se perfora usando al nodo como guía y éste se fija con pernos de acero. A pesar de que teóricamente, los cordones de las cerchas son iguales y pueden ser ubicados en cualquier posición de la estructura, los cordones fueron fabricados en parejas y ajustados para un acople perfecto dado que cualquier pequeña desviación podría afectar el despliegue posterior de la estructura. Para los elementos diagonales se utilizaron tubos 49.5mm. los cuales se aplastaron en los extremos, se cortaron y perforaron para ser admitidos por el nodo dentro de las dos aletas paralelas a las cuales se fijan con tornillos de acero. Las cerchas se colocan paralelas unas a las otras y se conectan a través de los nodos de manera alternada, el primer par en el cordón inferior y el siguiente en el cordón superior, de forma que cada cercha pueda rotar 45° con respecto a la siguiente para permitir el despliegue tipo acordeón. De esta forma se ensamblaron dos paquetes, de 2.80 mts de ancho por el largo de las cerchas, uno de 22 cerchas y otro de 44, que se embarcaron a Sevilla.

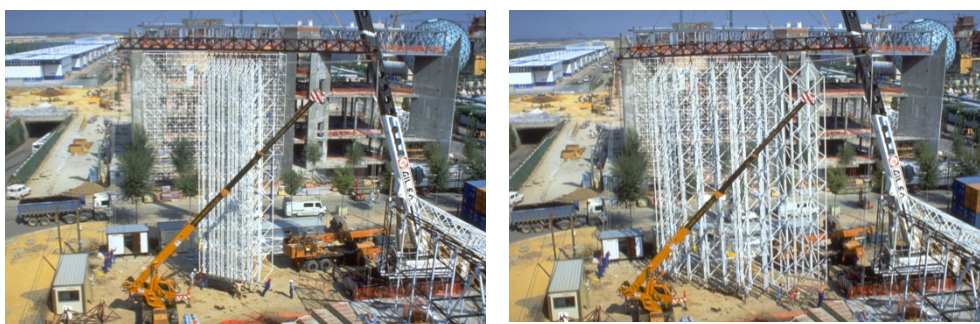


Figura 12 Proceso de Despliegue.

El proceso de erección de la estructura se divide en dos etapas: en la primera se despliega y colocan las cerchas de 12 mts. Y en la segunda se despliega y colocan las cerchas de 18 mts. El despliegue de los paquetes de cerchas se efectúa como si fuera "una cortina", para ello se diseña una viga con riel en el cual se mueven once (11) carros sobre los cuales se cuelgan las veintidós (22) cerchas plegadas en el centro de la viga, el paquete se levanta por un extremo usando la viga-riel y por el otro extremo, con ayuda de una pequeña grúa, la cual evita que las cerchas se apoye sobre el terreno y se dañe durante el giro que efectúan para que el paquete se coloque en posición vertical. Las cerchas de los extremos se halan con cuerdas desde abajo usando los extremos de la viga como puntos de apoyo.

De esta forma las cerchas comienzan a girar hasta completar los 45 grados que les permite la bisagra, los carros se van desplazando a lo largo del riel a medida que esto sucede (**Fig.12**). Luego de desplegada la estructura y aún suspendida de la viga-riel, se procede a la colocación de las grapas que bloquean el repliegado de las cerchas; se colocan elementos tubulares perpendiculares a las cerchas que trabajan para absorber los esfuerzos laterales a que es sometida la estructura por efectos del viento sobre los cerramientos laterales, estos a la vez, sirven para mantener la estabilidad dimensional. Se procede luego a desplazar la trama estructural hasta apoyar el extremo (**Fig.13**), en el caso del primer grupo, en el muro de contención de la plaza para inclinarlo luego hasta apoyarse en la estructura de la cabina de proyección, el segundo grupo se apoya uno de los dos planos sobre la cabina de proyección en la cual se habían fijado previamente algunos soportes provisionales que van a permitir la rotación de los planos, una vez apoyado el plano estructural se procede a desplazar la viga riel hacia el muro posterior. Este movimiento permite que los planos se separen formando una “V” invertida. El movimiento se continúa hasta que la estructura llega a su posición final (**Fig.14**).

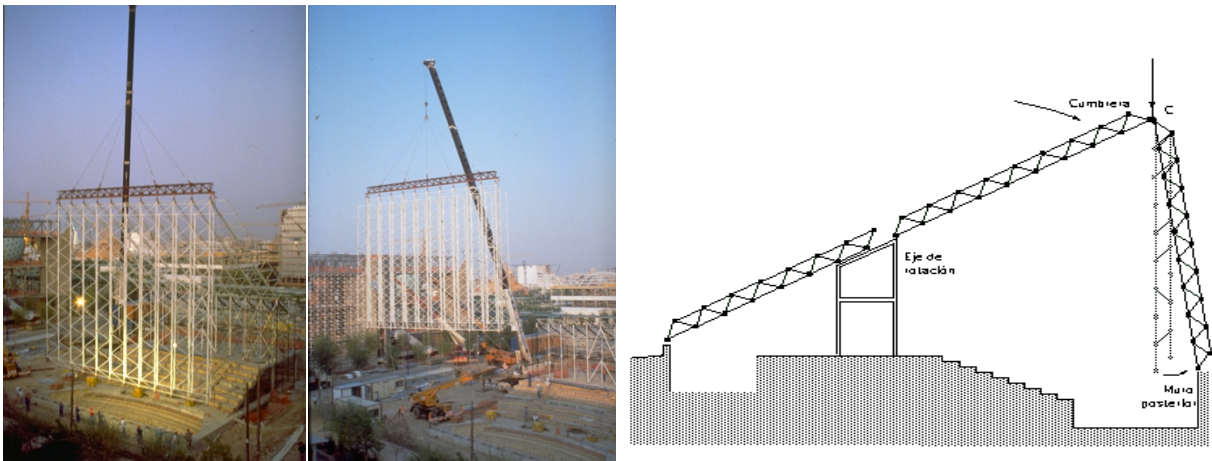


Figura 13 Colocación de la Malla Estructural. Figura 14 Esquema del Montaje.

Una vez colocada la estructura se incorpora el sistema de paneles ligeros, Cada panel está compuesto por una cara externa moldeada, fabricada con resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio y una cara interna conformada por una lámina de acero galvanizada cubierta con una película de P.V.C. color gris oscuro. El interior es de espuma de poliuretano. Las dimensiones de los paneles surgen de la dimensión modular de la estructura de 2 x 2 mts. y de la proyección vertical y horizontal de este módulo cuando los planos estructurales están en sus posiciones inclinadas finales. Los paneles se colocan sobre un elemento tubular que recorre todo lo ancho de la estructura, y que son soportados por las grapas de los nodos inferiores. Los paneles se introducen por los extremos laterales de la estructura y luego corren sobre los tubulares hasta su posición final, donde se fijan con arandelas colocadas entre la grapa y el panel, esta arandela presiona al panel contra los rieles de soporte. Para la colocación de los paneles se utilizó la propia estructura como andamiaje.

Este proyecto constituyó una gran oportunidad y un gran reto en el diseño de estructuras transformables. Exigió desarrollar en muy corto tiempo un sistema estructural, un proceso de montaje y un sistema de cerramientos donde los modelos y ensayos prácticamente no

existieron. El paso directo del diseño a la obra hizo de la edificación final el prototipo de ensayo.

3.1 Láminas Plegadas

Como tercer ejemplo de los desarrollos en estructuras transformables tenemos una cubierta plegable de láminas de Aluminio donde el componente estructural es a su vez la membrana de protección. Se utiliza la capacidad portante que adquieren las láminas delgadas cuando se doblan en determinadas geometrías para asumir los compromisos estructurales. De igual forma se utiliza la geometría de la lámina para lograr la estanqueidad de la cubierta, sin necesidad de compuestos sellantes o juntas flexibles y se demuestra la factibilidad técnica de la utilización de láminas delgadas para la construcción de cubiertas transformables donde la lámina asume los compromisos estructurales.

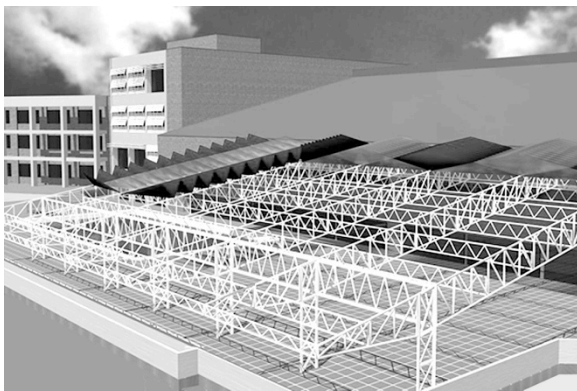


Figura 15 Techo de láminas Metálicas Plegables. Figura 16 Prismas Cónicos.

Se diseña una cubierta de 853 m² conformada por seis módulos independientes de 24 mts de longitud x 5,56 mts de ancho. Cada módulo se pliega desde una dimensión inicial de 24 mts, hasta una posición final de 4,60 mts (**Fig.15**) utilizando un sistema de guayas de arrastre accionadas por un motor. La geometría escogida produce un movimiento oscilante durante los procesos de pliegue y despliegue y, para contrarrestarlo, se desarrolla un sistema de arrastre y de guías capaces de absorber movimientos de rotación dentro del movimiento de desplazamiento de las láminas.

La geometría escogida fue la resultante de la combinación de un prisma cónico que se origina al extruir un triángulo equilátero de mayor dimensión hacia uno de menor dimensión separados entre sí 5,56 m. La relación de altura entre los triángulos equiláteros se determinó equilibrando el aspecto formal de la cubierta, la altura promedio del doblez y el efecto de ésta sobre la cinemática de la cubierta, obteniéndose una relación de 2:1, el resultado de la combinación de los prismas cónicos se puede apreciar en el conjunto que es una sucesión de secciones de rombos que se desplazan de fila en fila (**Fig.16**).

Uno de los problemas fundamentales en el diseño de una cubierta rígida transformable se origina por el hecho de que la superficie de cubierta está formada por numerosos componentes, relativamente pequeños, articulados entre sí. ¿Cómo hacer entonces que la cubierta sea estanca pero permitiendo a la vez la articulación que la transforma?

El estudio derivó al uso de bisagras rígidas para permitir la transmisión de los esfuerzos y realizar los movimientos entre láminas. La estanqueidad se logra con dobleces en la misma

lámina que generan solapes y canales cuando el conjunto de láminas está desplegado y dirigen de las aguas hacia los lugares de recolección.

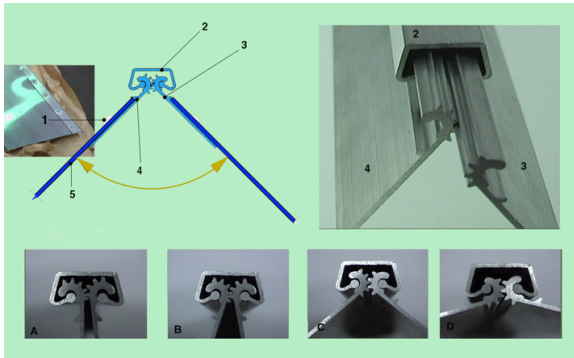


Figura 17 Bisagra Superior.

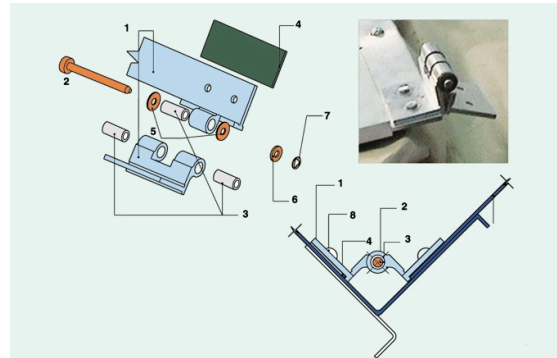


Figura 18 Bisagra Inferior.

Al estudiar las bisagras se encontró una solución ingeniosa con una bisagra que se produce con dos perfiles de aluminio cuyo borde es la sección de un engranaje y en la cual, a diferencia de la mayoría de las bisagras, el efecto no se produce por rotación de los elementos sobre un eje sino por desplazamiento de dos secciones de engranaje (**Fig.17**). Esta bisagra permite una conexión continua entre los bordes colindantes de las láminas, lo cual es muy conveniente para su trabajo estructural, a la vez el perfil que mantiene unidos los engranajes le confiere estanqueidad a la junta. Esta bisagra sólo pudo utilizarse en las juntas de cumbrera dado que en las juntas inferiores el polvo y los sedimentos acumulados afectarían el mecanismo; en todo caso, la junta colocada en forma invertida no es estanca. En las juntas inferiores un doblez de 10 cm en una de las láminas produce una canal en posición desplegada con capacidad para recoger el agua de las dos láminas adyacentes bajo precipitaciones de 400 mm/m^2 . Las bisagras están separadas del fondo de la canal por un perfil de aluminio en “L”, para evitar que el polvo penetre el mecanismo de la bisagra y que ésta no represe la salida del agua y de los sedimentos acumulados (**Fig.18**).

Al utilizarse un sistema de plegado cónico, sólo las aristas superiores de la cubierta son paralelas. Las aristas inferiores forman un ángulo entre ellas provocando que el movimiento –durante el proceso de plegado o desplegado– sea de rotación sobre el punto de intersección (f) de los ejes imaginarios que se obtienen al prolongar las aristas fuera de las láminas. Esto conduce a que el extremo más cercano al eje de rotación recorra una menor distancia que el extremo más alejado. Estas longitudes diferentes de recorrido se alternan en el plegamiento del siguiente par de láminas, donde el punto de giro cambia de signo de manera que el extremo que antes recorrió una menor distancia ahora recorrerá la mayor. El resultado es un movimiento de oscilación donde hay desplazamientos laterales en los apoyos que deben ser absorbidos necesariamente por el canal guía.

El movimiento de las láminas se efectúa usando un sistema de dos cables que se mueven alternadamente en sentido opuesto para halar o empujar el primer par de láminas de cada conjunto, y éstas, a su vez, “halan” las otras láminas utilizando los cables perimetrales de restricción, o empujan utilizando los topes (**Fig.19**) colocados en el borde inferior de la canal de las láminas. La geometría que se escogió para la cubierta es muy adecuada desde el punto de vista estructural y estético pero desde el punto de vista cinemático produce un movimiento múltiple de rotación y traslación que introduce complicaciones en los mecanismos de plegado con repercusiones en la confiabilidad del sistema. Por ejemplo, una

geometría donde las aristas de las láminas fuesen paralelas simplificaría significativamente el sistema.

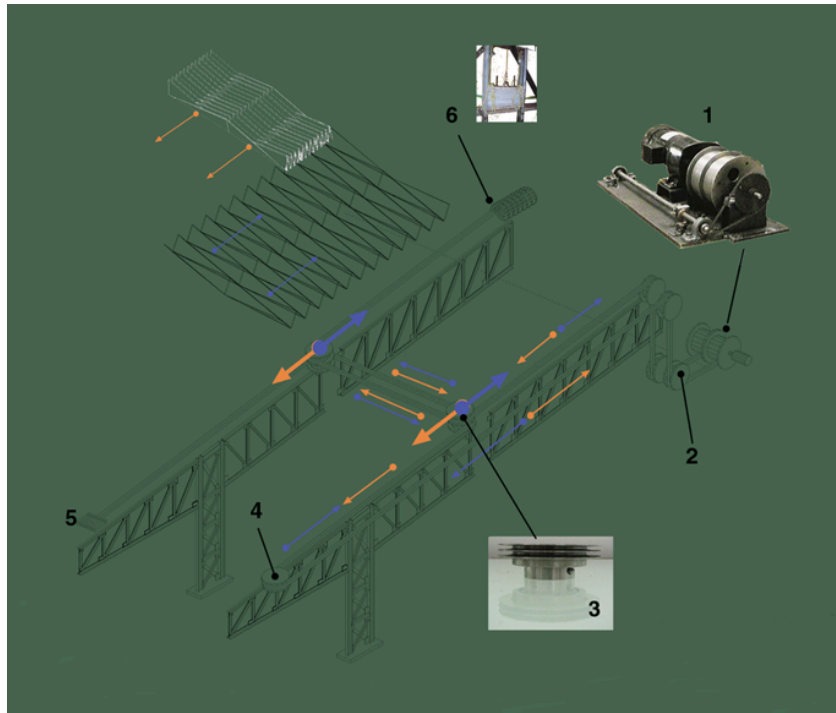


Figura 19 Sistema de Movimiento.

CONCLUSIONES

Unos detalles adecuadamente diseñados y ejecutados contribuyen al buen funcionamiento y durabilidad de las estructuras transformables. El desarrollo de métodos e implementos industriales de fabricación facilitan la consecución de detalles sencillos y eficaces y a la reducción de los costos de producción. De las observaciones que surgieron durante la construcción del Pabellón itinerante se sugiere que: se estandarice a uno o dos tipos de perfiles para facilitar la construcción del herramental necesario para la producción. Y el diseño de un sistema de bloqueo para la estructura plegada así como de puntos de amarre y/o rodaje para el manejo de la estructura en almacén.

El pabellón de Venezuela mostro tres características importantes de las estructuras transformables: Construcción controlada, movilidad y rápido ensamblaje, la contribución tecnológica que el pabellón de Venezuela trajo es de trascendental importancia, he inspirado muchas concepciones que han ampliado el uso de las estructuras transformables.

La escogencia de la geometría es muy importante para el desempeño tanto estructural como cinemático de las estructuras.

Se pueden construir cubiertas transformables de láminas rígidas delgadas con un buen desempeño estructural .

Se puede resolver el problema de estanqueidad de las juntas por la geometría de la propia lámina o por ingeniosas uniones mecánicas. Y se pueden obtener juntas móviles con un buen desempeño estructural.

Una buena solución de las juntas móviles permitirá un buen comportamiento cinemático del sistema. Las juntas deben estar diseñadas de manera que no acumulen suciedad o se corroan ya que esto traería graves problemas de mantenimiento en detrimento de la movilidad del sistema.

Estas estructuras han sido un aporte clave que abre fronteras en la arquitectura, mostrando la factibilidad de una arquitectura móvil y transfigurable, demostrando que es posible construir estructuras transformables, de una forma sencilla, que permiten ser manipuladas fácilmente y diseñadas con gran eficiencia estructural, dando un gran impulso al desarrollo de esta tecnología.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Waclaw Zalewski, por sus ideas, consejos y colaboración en la realización de todos estos proyectos.

REFERENCIAS

- [1] *Arquitectura deployable*. Textos de Arquitectura, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. Sevilla, 1993.
- [2] Hernández, C. (1987) "Deployable Structures". Tesis de grado para obtener el título de Master of Science in Architecture. MIT, Massachussets.
- [3] Hernández, C. (1996) "New Ideas in Deployable Structures" Mobile and Rapidly Assembled Structures II,. Editores: F. Esgrig and C.A. Brebbia. Computational Mechanics Publications, Southampton, UK. Pag: 63-72. ISBN: 1 85312 398 6
- [4] Hernández, C. Stephens, R. (2000) "Development of folding aluminum sheet roof" MOBILE and RAPIDLY ASSEMBLED STRUCTURES III. Editores: F. Esgrig. Computational Mechanics Publications, Southampton, UK. Pag: 63-72. ISBN: 1 85312 817 1
- [5] Hernández, C. (1991) "Deployable Structures" RAPIDLY ASSEMBLED STRUCTURES, Topics in Engineering Vol. 8. Editor P.S. Bulson, Computational Mechanics publications. Southampton UK y Boston USA 991. pp. 237-248. ISBN: 1 85312 136 3
- [6] Hernández, C. (1993) "Expandable Structure for the Venezuelan Pavillon at Expo'92" Space Structures 4, Vol 2 ,Edited by G.A.R Parke and C.M. Howard, Thomas Telford Services LTD. London . pag: ISBN: 07277 1968 8
- [7] Hernandez, C. (1993) "Pabellon de Venezuela Expo `92. Sevilla". Editor: Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- [8] Hernandez ,C. (1997). "Experiencia en el Desarrollo de Estructuras Transformables". Trabajo de ascenso para pasa a la categoria de agregado, Facultad de Arquitectura , Universidad Central de Venezuela.
- [9] Hernandez, C.; Cebrian R. (2010) " Deployable Vault Structure Improvements and Development of Production Stage". Tecnología y Construcción. T&C ISSN:0798-96901: , 26 III, p.45 – 55.