

EVOLUCIÓN DE LAS TENSO ESTRUCTURAS EN VENEZUELA

Carlos H. HERNANDEZ¹,

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

En este trabajo se abordará el desarrollo de las Tenso estructuras en Venezuela. Se hará una revisión de los proyectos más importantes construidos desde el siglo XX hasta nuestros días.

Comenzaremos por los puentes colgantes y atirantados, siendo este tipo de tenso estructuras las más antiguas que se pueden encontrar en el país. Las primeras referencias encontradas fue un proyecto del año 1873 de un puente colgante de tres (3) tramos y cuatro (4) torres, sobre el río Guaire en la ciudad de Caracas (Venezuela). Este proyecto fue realizado por el Ing. Luciano Urdaneta, pero no se tienen referencias de la construcción del mismo [18].

A principio del siglo XX, y en el proceso de modernización del país, se comenzaron a construir pequeños puentes colgantes, como por ejemplo: el puente sobre la quebrada Cordera (1929) (Fig.1) de 55 mts de luz que formaba parte de la gran carretera de los Andes (Venezuela). O puentes muy sencillos de tableros de vigas de acero y madera. Algunos de estos puentes sobrevivieron en los años 80, pero en el transcurrir del tiempo, la mayoría de ellos fueron sustituidos por puentes de vigas de concreto.

A finales de los años veinte el gobierno de Venezuela compró en el exterior un grupo de puentes que representaban un gran adelanto tecnológico. Eran puentes colgantes de acero, compuestos de elementos estandarizados. El origen de los mismos es incierto. No sabemos el nombre de la fábrica que los elaboró, ni tampoco su lugar de origen. Algunos se lo atribuyen a la oficina de Eiffel (Francia).



Fig.1 Puente quebrada Cordero

Se tiene referencias de cuatro (4) de estos puentes: el puente sobre el río Uribante (Fig.3) de 163 mts de luz que tenía un tablero de madera. El puente sobre el río Guárico (Fig.5) de 125 mts de luz, cerca de la población del Sombrero, que forma parte de la carretera oriental. Era un puente descrito para la época como *puente de hacer moderno, de cables parabólicos, tipo semi-rígido y con piso de concreto armado*, [1-4] con una longitud total de 213 mts 33-125-33. Posee torres articuladas de 16.15 mts, (Fig.4) sobre las que se apoyan 8 cables de cada lado del tablero de 6 mts de ancho. Este puente fue montado entre los años 1927 y 1930 por un montador inglés de nombre John Brown. En el año 1957 este puente fue trasladado al río Cuyuni (Fig.6-7) [5] en la población de El Dorado, al sur de Venezuela, donde permanece hasta nuestros días. El puente sobre el río Torbes que se encuentra en la carretera Tariba – San Cristóbal (Fig.2) (Venezuela). Tiene una luz de 112,80 mts (29,95-112,80-29,95) y torres de 18,87 mts de alto con un tablero de 6 mts de concreto.

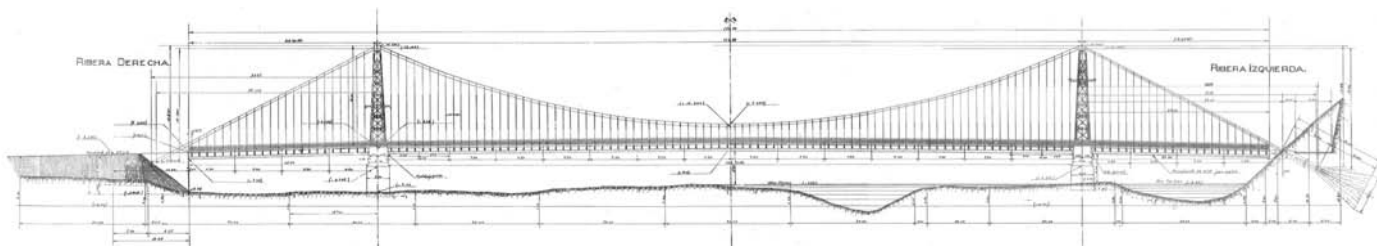


Fig.2 Puente sobre el río Torbes 1932



Fig.3 Puente sobre el Uribante

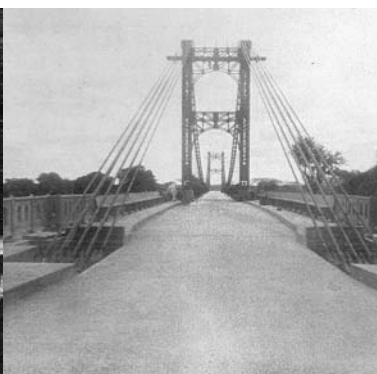


Fig.4 Torre



Fig.5 Puente sobre el Guarico 1930



Fig.6 Torre Puesto sobre el Cuyuni



Fig.7 Anclaje de la torre



Fig.8 Colocacion de cables (lago de Maracaibo)

En la década de los 60, y en una nueva etapa de modernización del país, se construyeron dos (2) imponentes puentes que van a permitir la conexión de las capitales de dos de los estados (Zulia y Bolívar) más importantes del país con la capital (Caracas). En estos casos hubo una mayor participación de diseñadores y de empresas venezolanas.

El puente General Rafael Urdaneta (Fig.9), ubicado en el Edo. Zulia, cruza la parte más angosta del Lago de Maracaibo, al noroeste de Venezuela, y conecta a esta ciudad con el resto del país. Es uno de los puentes más espectaculares a escala mundial. Tiene una longitud de 8.687 metros, 17,40 mts de ancho y 134 pilas, y fue para el momento uno de los más largos del mundo.



Fig.9 Puente R. Urdaneta seccion atirantada

Este puente está elaborado de concreto pretensado, con cinco (5) tramos centrales atirantados (32 tirantes de $\varnothing 74$ mm) (Fig.8) formados por seis (6) torres de 92,50 mts, para lograr luces de 235 mts. Tiene una altura de 50 mts sobre el nivel del lago, que permite el paso de los grandes tanqueros. Para el diseño del puente se convocó a un concurso internacional, y por la propuesta presentada, a dicho concurso, el mismo fue ganado por el Ing. Ricardo Morandi (Italiano), el consorcio Precomprimidos C.A. (Venezuela) en asociación con Julios Berger Ag y asociados (Alemania). Fue la única propuesta en concreto realizada. Esta propuesta tenía la ventaja de ser una construcción más resistente al clima húmedo de Maracaibo, lo cual disminuiría considerablemente los gastos de mantenimiento y las importaciones de insumos.

Esta obra fue construida en 40 meses (1959-1962) con un gran aporte tecnológico nacional, tanto en los implementos, como en los procesos de su construcción.

El puente sobre el río Orinoco (Venezuela) o puente de Angostura (Fig.10), nombre que proviene por su ubicación en la parte más estrecha del río. Está localizado a 5 kilómetros de Ciudad Bolívar (Venezuela), conectando a esta ciudad con el norte del país. Es un puente colgante de estructura de acero, que tiene una longitud de 1.678,5 mts de estribo a estribo, con una calzada de 14,6 mts para cuatro (4) canales de tráfico vehicular.

Las torres tienen una altura de 119 mts desde donde se soportan los tres (3) tramos colgantes:



Fig.10 Puente de Angostura



Fig.11 Segundo Puente sobre el Orinoco (Orinokia)

puente Orinokia (Fig.11), comunica la ciudad de Puerto Ordaz (Venezuela) con el norte del país. Es de tipo atirantado con configuración de abanico y torres en forma de H.

El mismo esta elaborado con una estructura mixta: acero y concreto. Tiene una extensión de 3.156 m, cuatro (4) torres principales de 120 m de altura, 39 pilas, dos (2) estribos, 388 pilotes, una altura libre sobre el nivel de aguas máxima de 40 metros, y un ancho total del tablero de 24,7 m, con cuatro (4) canales de circulación más una trocha ferroviaria.



Fig.12 Puente Orinokia construcción de torres

El método de construcción usado fue el lanzamiento del tablero metálica desde las dos orillas, y en el tramo central se llevaron las secciones en barcazas (Fig.13). Se izaron las torres de concreto que se construyeron con encofrados deslizantes (Fig.12).

El diseño del puente viene de la mano del Ing. Paúl Lustgarten y la compañía constructora brasileña Odebrecht.

El Puente Mercosur (tercer puente sobre el río Orinoco) (Fig.14) que unirá las poblaciones de Caicara del Orinoco (Venezuela), en el estado Bolívar y Cabruta en el estado Guárico (Venezuela). Este puente consta de dos pisos, tiene una estructura mixta: acero y concreto, con una longitud aproximada de 11090 m, un ancho de calzada de 20.20 m, la cual albergará una vía ferroviaria debajo de los cuatro (4) canales de circulación vehicular. A su vez este puente estará formado por un puente principal atirantado y dos (2) tramos de acceso. El puente principal es una estructura continua en celosía metálica que tiene un largo de 1080 m. Con una luz principal de 360 m entre los apoyos coincidiendo con el eje del canal de navegación de más de seis (6) tramos o luces secundarias de 120 m.



Fig.14 Tercer Puente sobre el Orinoco (Mercosur)

el central de 712 mts y los dos (2) laterales de 218 mts anclados sobre roca granítica al sur y sienita gris al norte.

Este puente fue inaugurado en el mes de enero 1967, en ese momento, era el noveno puente del mundo y el primero de América Latina. Fue diseñado por el Ing. Paúl Lustgarten (venezolano) y construido por la empresa Precomprimido C.A. Esta obra fue construida en tres años.

Los puentes de cables desaparecen de la escena nacional durante el resto del siglo XX. Luego reaparecen en tres grandes proyectos de puentes atirantados que forman parte del sistema ferroviario nacional del país.

El segundo puente sobre el Orinoco o



Fig.13 Emsamblaje del tablero seccion central

Este puente tiene una altura de 40 m medidos sobre el nivel de aguas máximas. En el canal de navegación, la estructura es soportada por un sistema de cables de alta resistencia que transfiere la carga a las torres. El sistema de cables es complementado con sistema de fijación de la estructura al tope de las pilas mediante bielas metálicas, trabajando en conjunto con guías metálicas, dispositivos de bloqueo y juntas especiales para atender y dar respuesta al diseño de sismo. Las torres tendrán configuración en diamante con el extremo superior en



Fig.15 Construcción



Fig.16 Catedral de Barquisimeto



Fig.17 Vista interior

Y invertida con una altura máxima de 135,5 m medidos desde el tope del cabezal.

La empresa encargada de la obra es Odebrecht, y se estima su culminación en el año 2011.

El tercer puente es un segundo puente sobre el lago de Maracaibo (Venezuela) llamado **Puente Nigale** (nombre Aborigen). Tiene una extensión de 10.800 mts, con tres islas artificiales, un tramo submarino de 5,2 km, y un nuevo puente de cables atirantados, con amplias luces para facilitar la navegación de alta calado. Se estimaba su culminación para el año 2011, pero debido a retrasos en los trabajos preliminares no hay fecha de la misma.



Fig.18 Arriba construcción, abajo terminado, Maracaibo



Fig.19 Arriba montaje de laminas, abajo terminado, Barcelona



MALLAS DE CABLES

En los años sesenta se construyeron varias cubiertas de mallas de cables, en su mayoría para edificaciones deportivas, con excepción de la catedral de Barquisimeto en el Edo. Lara.

La Catedral de Barquisimeto (Fig.16), fue proyectada por el Arq. Jan Berkam, para la Diócesis de Barquisimeto en el año 1959, con un área de 3.600,00 m², pero sólo se llegó a construir una versión de menor área entre los años 1967 y 1968. Constituyó una obra de arquitectura e ingeniería bastante avanzada para su época.[7]

La cubierta, con una geometría poco convencional, esta conformada por dos (2) paraboloides hiperbólicos construidos con una malla de cables que se apoyan en una torre central (Fig.15), y un arco exterior de concreto. Esta malla de cables tiene la particularidad de que los cables de acero son post tensados recubiertos de concreto. Estos nervios soportan una



Fig.20 Anclajes de los cables



Fig.21 Modelo de malla transformable , sistema de tijera.

cubierta de paneles de acrílico que terminan de conformar el techo (Fig.17).

Los siguientes ejemplos fueron proyectados por el ingeniero Waclaw Zalewski: el primero en la ciudad de Barcelona Edo. Anzoátegui en el año 1965 (Fig.19), donde se requería cubrir la edificación en un corto tiempo, por lo tanto, se propuso un método para construir la cubierta: una malla de cables sin conexión entre ellos, que se pretensaría para darle rigidez, una vez que se puede transitar sobre la malla, se le cuelgan paneles de lámina galvanizada de 30 cm sobre los que se coloca poliestireno expandido y luego una capa de tres centímetros de mortero liviano para cubrir, proteger los cables y recibir la impermeabilización (Fig.20) . Este método tuvo un gran éxito y se conoció como el método Zalewski.

El segundo ejemplo es una edificación deportiva en la ciudad de Maracaibo complejo deportivo Pachenco Romero(1967) (Fig.18), donde la malla se apoya en un arco central metálico y los borde rectos de las graderías a ambos lados de éste creando una superficie anticlastic.



Fig.22 Estructura Transformable Estran 1 aplicacion como pabellon itinerante.

TRANSFORMABLES

En relación a las estructuras transformables se distinguen los trabajos realizados por el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) de la Universidad Central Venezuela. Dicho Instituto realiza investigaciones desde el año 1985, trabajando con estructuras transformables, basadas en el sistema de transformación de tijeras o aspas, construyéndose varios modelos de diversas topologías, con o sin mecanismos de despliegue. Estas investigaciones llevaron al desarrollo de la estructura denominada Estran 1. Esta estructura se comenzó a desarrollar en el año 1987.

Estran 1 (Fig.22) [12/14] permite generar una bóveda cilíndrica de 7 mts de radio y 8 mts de profundidad (112 m²) a partir de un paquete de 4.2x1.5x1.5 mts.

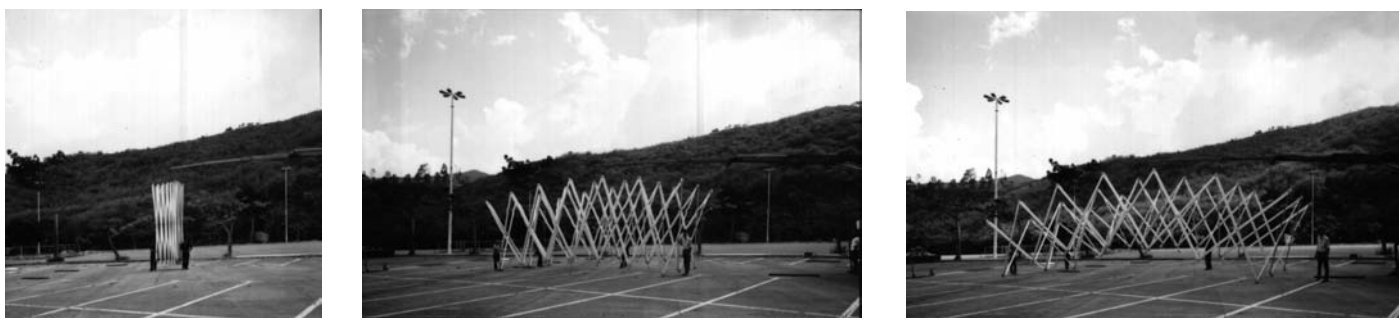


Fig.23 Despliegue de la boveda transformable Estran 1

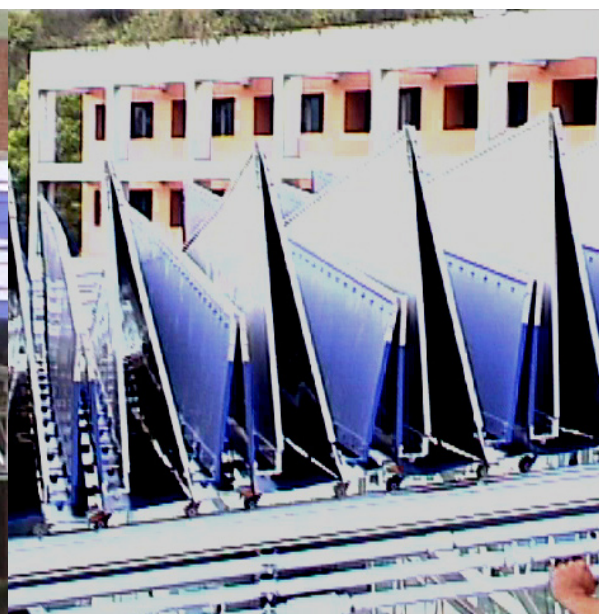


Fig.24 Cubierta transformable de laminas metalicas delgadas

Fig.25 Cubierta plegada

Las estructura Estran 1, esta formada por tres (3) arcos paralelos, un (1) arco central y dos (2) exteriores, unidos por catorce (14) 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 (6) ensamblajes tipo tijera, cada uno formado por elementos lineales de aluminio de sección rectangular, un elemento central de mayor sección (45 mm. X 100 mm.) y dos elementos exteriores, uno a cada lado del anterior de menor sección (32 mm. X 75 mm.) todos pivotando sobre un eje común en un mismo plano.

Construida en dos versiones, con perfiles tubulares de aluminio y perfiles tubulares de acero.

La conformación geométrica de la estructura induce a que el movimiento de despliegue (Fig.23), en su fase inicial, sea un proceso de crecimiento o expansión en el plano horizontal de los dos ejes coordenados partiendo del eje central del paquete que actúa como foco de expansión, esto hace que el paquete crezca de su medida inicial compactada de 0.80 x 0.80 mts en el plano horizontal, a 20 X 8 mts .

Los veinte metros corresponden al desarrollo del arco que se formará al continuar el proceso de despliegue que es a partir de ese momento, un movimiento de elevación de la zona central de la estructura para llegar a su altura máxima de 7 mts.

La maniobra se puede realizar con una grúa y cinco operarios en pocos minutos. Una vez que la estructura a sido desplegada se colocan los elementos de trabado que evitan que la estructura se repliegue, y a la vez mejoran su comportamiento estructural. Luego se procede a colocar la cubierta textil la cual se debe colgar por debajo de la malla estructural mediante ganchos ajustables.

Otras investigaciones del Instituto, entre los años 1998 y 2006, se dirigieron a estudiar la factibilidad constructiva de estructuras transformables de láminas y de barras plectadas. En el primer caso se buscaba producir un módulo de cubierta transformable de láminas rígidas con capacidad para soportar cargas por sí misma, como un paso hacia la combinación de cubiertas metálicas con sistemas estructurales transformables de barras. Para esto se diseñó una cubierta formada por seis (6) módulos independientes de 24 m de longitud x 5,56 m de ancho. Esta cubierta utiliza como soporte las cerchas de acero existentes, añadiéndoles una extensión para cubrir la totalidad del área (Fig.24).

Cada módulo está conformado por 33 pares de láminas trapezoidales de aluminio, en cuya posición desplegada forman

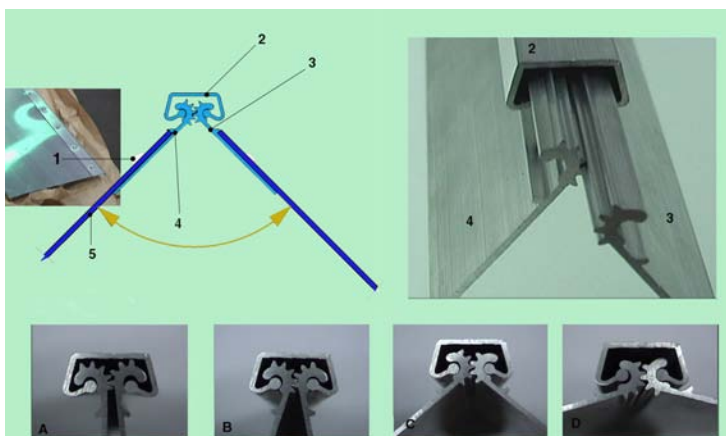


Fig.26 Detalle de junta superior

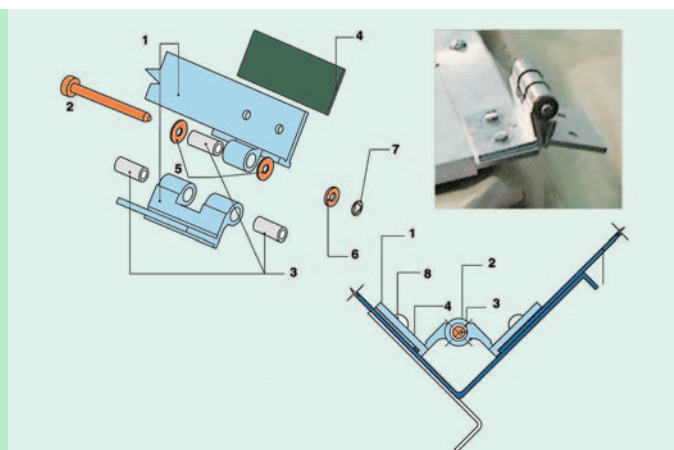


Fig.27 Junta inferior



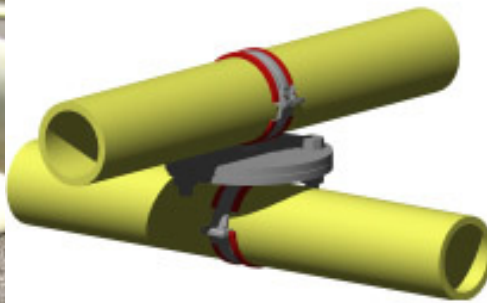
Fig.28 Proceso de deformación modelo de malla preflexada.

prismas cónicos que se alternan para generar un movimiento geométrico en el techo. Estos conjuntos de láminas se pliegan en forma de acordeón en un mismo sentido, desde una dimensión inicial de 24 m hasta un ancho final de 4,60 m (Fig.25).

Las láminas se apoyan sobre ruedas que se desplazan sobre un riel que actúa también como canal. Para impulsar el movimiento de los módulos, se utiliza un sistema de guayas de arrastre accionadas por un motor que se ubica detrás



Fig.29 Nodo



de la pantalla de la fachada del edificio. Las láminas de aluminio deben tener un espesor de 1,6 mm.

Uno de los retos más importantes de este proyecto era diseñar juntas que permitieran la movilidad, y que a su vez fueran estancas y transmitieran los esfuerzos.

Estudiando estas juntas, se encontró una solución ingeniosa con una bisagra que se produce con dos perfiles de aluminio cuyo borde es la sección de un engranaje

(Fig.26), 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. 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 puede 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. (Fig.27). en una de las láminas, produce un canal en posición desplegada con capacidad para recoger el agua de las dos láminas adyacentes bajo precipitaciones de 400 mm/m². 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. [15/17]



Fig.30 Pabellon de Venezuela en Expo Sevilla 1992.

La segunda línea de investigación es realizada por el Prof. Nelson Rodríguez. La misma está enfocada hacia el estudio de las formas sinclásticas (bóveda de doble curvatura en el mismo sentido y apoyada en cuatro puntos) encontrada a través del método de la curva de flexión, donde las barras están sometidas a solicitaciones estáticas normales que generan la forma, lo cual hace que internamente la malla tenga unos esfuerzos iniciales, que en estos casos son predominantemente de flexión.

Para la comprobación experimental del método de las curvas de flexión se construyó un prototipo experimental en escala 1:1. (Fig.28). En él se observó el comportamiento de las barras y del nudo durante el proceso de preflexión. Como resultado del proceso de



Fig.31 Piezas que conforman el nodo. Fig.32 Ensamblaje de las cerchas. Fig.33 Paneles de cerramiento.

pre-flectado, las barras mantuvieron su curvatura sin presentar deformaciones no deseadas ni roturas, alcanzando las luces teóricas indicadas; tanto en el modelo físico, como en el informático. Este comportamiento indica que la selección el material (PRFV) fue acertado para la construcción del prototipo, otorgándole resistencia a la flexión y ligereza. El peso global / área cubierta es de 3.57 Kg/m^2 , lo que significa que se obtuvo una estructura bastante ligera.

El nudo (Fig.29). funcionó bien en el proceso de abertura y cierre de la malla, permitiendo que la malla pase de la conformación geométrica de cuadrado o damero a rombos, exigencia indispensable que debía cumplir para que sea una estructura transformable. En términos globales el proceso de montaje se llevó a cabo sin que se presentaran roturas en las barras.

Como ejemplos de aplicaciones de Estructuras Transformables tenemos dos edificaciones: los pabellones de Venezuela en Expo Sevilla '92, y Expo Hannover 2000 en Alemania.

El pabellón de Venezuela en Expo Sevilla '92 (Fig.30): Estaba conformado de la siguiente forma: una plaza ascendente con treinta y seis mástiles (36), de 20 mts de altura cada uno, un mecanismo que le permite desplegar cuatro (4) velas en direcciones opuestas conformando un tamiz de luz transformable, esta plaza llevan a una edificación contenedora de una gran sala audiovisual, cuya geometría esta representada por una estructura libre de soportes intermedios, y por una sección longitudinal de forma triangular. La cubierta de la sala audiovisual esta formada por una trama estructural, con una luz de 30 mts en el sentido longitudinal y 22 mts en el sentido transversal. Esta trama esta conformada por cerchas paralelas conectadas entre si por medio de nodos abisagrados, que facilitan el movimiento tipo acordeón, permitiendo al conjunto plegarse en una dirección.

Los lapsos de ejecución del proyecto fueron muy cortos (la edificación se diseño y fabrico en 11 meses), por ello, la estrategia de llevar una estructura producida y ensamblada casi totalmente en paralelo; con la construcción de la infraestructura de la edificación, permitió cumplir con los plazos y demás requerimientos, y sobre todo, constituyó una oportunidad para ensayar la idea de las estructuras transformables y llevar una proposición tecnológica de vanguardia a ésta exposición universal.

El nudo extruido de aluminio (Fig.31)., parte fundamental del la estructura transformable, esta constituido por dos piezas: la primera pieza (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.



Fig.34 Despliegue de la estructura.



Fig.35 Colocacion en su posicion final.



Fig.36 Fijacion de los paneles

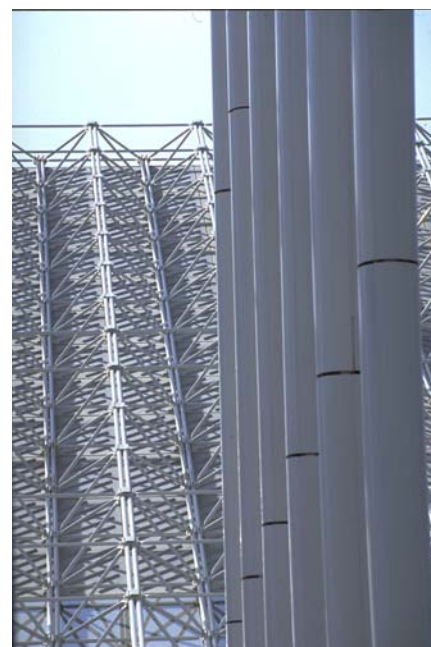


Fig.37 Estructura terminada

Las cerchas se conformaron con elementos tubulares de 73.7 mm. de diámetro que constituyen los cordones inferiores y superiores de las cerchas. Para los elementos diagonales se utilizaron tubos 49.5mm. los cuales se aplastaron en los extremos, para ser admitidos por el nodo dentro de las dos aletas paralelas las cuales se fijan con tornillos de acero (Fig.32).

La estructura se ensambló en dos paquetes: uno de veintidós (22) cerchas de 19 mts de longitud y otro de once (11) cerchas de 14 mts, que se enviaron a España por barco.

Para el despliegue de los paquetes de cerchas se decidió efectuar esta operación como si fuera una cortina, y para ello se diseñó una viga con riel en el cual se mueven once (11) carros sobre los que se cuelgan las veintidós (22) cerchas plegadas en el centro de la viga. Las cerchas de los extremos son haladas 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.34)

Luego de desplegada la estructura y aún suspendida de la viga-riel, se procedió a la colocación de las grapas que bloquean el repliegado de las cerchas; se colocaron elementos tubulares perpendiculares, a las cerchas, que trabajan para absorber los esfuerzos laterales a la que es sometida la estructura por efectos del viento sobre los cerramientos laterales, estos a la vez, sirven para mantener la estabilidad dimensional.

Se procedió luego a desplazar la trama estructural hasta apoyar el extremo de uno de los dos planos sobre la cabina de proyección, en la cual se habían fijado previamente algunos soportes provisionales que permitieron la rotación de los planos. (Fig.35).

Una vez apoyado el plano estructural se procedió a desplazar la viga riel hacia el muro posterior. Este movimiento permitió que los planos se separen formando una “V” invertida. El movimiento se continuó hasta que la cumbrera llegó a su posición final. A la estructura se le incorporó un sistema de paneles ligeros, tipo sándwich (Fig.33) de 50 mm. de espesor y de dimensiones 2 x 2 mts. para los paneles de cubierta, y 1.97 x 1.77 mts para los paneles de fachadas laterales con un peso de cincuenta kilogramos (50 kg.).

Cada panel está compuesto por una cara externa moldeada, fabricada con resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio de 3mm. de espesor, acabada con gelcoat gris claro, y una cara interna conformada por una lámina de acero galvanizada de 0.7mm. de espesor cubierta con una película de P.V.C. color gris oscuro.

El interior es de espuma de poliuretano. Los paneles son soportados por elementos tubulares que cuelgan desde los nodos donde son introducidos como gavetas (Fig.36-37), desde los laterales del edificio, que se conectan entre si por juntas machihembradas.

El proyecto (**pabellón de Venezuela en Expo Sevilla`92**) fue asignado, a través de un concurso, a los Arquitectos: Henrique Hernández y Ralph Erminy, en conjunto con un equipo del IDEC de la Universidad Central de Venezuela, quienes se ocuparon del diseño, desarrollo y cálculo de la estructura transformable



Fig.38 Pabellon de Venezuela Expo Hannover.



Fig.39 Mecanismos de despliegue



Fig.40 Colocacion de los petalos.

que se planteó para esta edificación. El equipo estuvo conformado por los ingenieros: W. Zalewski y Mibelis (autor del diseño), M. Rodríguez (cálculo estructural) y Manuel Urdaneta (despliegue). La fabricación estuvo a cargo de las empresas: Albarca, Alcanven y Friobox. [9/13]

El pabellón de Expo Hannover 2000, fue diseñado por el arquitecto Fruto Vivas. El Arq. Vivas, tomó como base una flor de Venezuela para el mundo. (Fig.38)

Esta edificación constaba de una estructura de acero ensamblable, que era rematada por una cubierta transformable; formada por dieciséis hojas (16) o pétalos construidos con una membrana textil, y soportados por un mástil central de 18 mts de alto. Los pétalos eran elevados mediante un sistema hidráulico que los abría o cerraba de acuerdo con las condiciones climáticas.

El mástil de 18 metros de altura, se diseñó como una cercha tubular de 3,5 m aislado del resto de la edificación para facilitar el proceso de construcción, por lo que hubo que arriostrarlo con diagonales laterales para soportar la torsión que moviliza la asimetría de la acción del viento sobre la cubierta.

Los pétalos eran cerchas triangulares curvadas con brazos laterales, sobre los que se fija la membrana de forma anticlástica, que se construyó con material pretensado de Ferrari al que se le aplicó una pretensión que oscilaba alrededor de los 0,7 a 1 kN/m.

Estas estructuras se ensamblaron fuera del pabellón sobre un bastidor provisional, y luego se llevaron a su posición, con una grúa para evitar la interferencia con la construcción del resto de la edificación. (Fig.40) La conexión al ser conexiones móviles, se realizó de forma muy rápida a través de pasadores para movilizar los pétalos. Se diseñó un sistema de pistones hidráulicos que permitió movilizar los 1600 Kg. de cada pétalo en 90 segundos. Los pistones eran de longitudes variables para que lograra las diferentes posiciones a los que se llevan los diferentes pétalos (el viento considerado durante el movimiento de los pétalos fue de $12 \text{ m/s} = 43 \text{ km/h.}$) (Fig.39)

Se debe hacer hincapié en relación a la tecnología utilizada para la construcción y desarrollo del pabellón de Sevilla'92, ya que la misma fue 100% nacional, a diferencia del proyecto y construcción de la cubierta móvil del pabellón de Hannover 2000, que fue realizado por empresas internacionales: J. Bradatsch, B. Rasch, Gawenat & T. Elser de S.L., Rasch con Frei Otto del Atelier Warmbronn, Stuttgart y J. Young de Buro Happold, Londres. [8]

TEXTILES

Las membranas textiles han entrado a Venezuela con relativo retraso, a pesar de que la ubicación del país dentro de la franja ecuatorial; le da un clima moderado, permite la utilización de espacios abiertos todo el año, a lo que se le suma la presencia de vientos máximos en la costa de 7 m/s, condiciones ideales para el uso de cubiertas textiles.

Los primeros ejemplos de estos textiles fueron de estructuras importadas, entre las que cabe mencionar el Domo Bolivariano, (Fig.41) ubicado en la ciudad de Barquisimeto, construido con arcos metálicos tubulares y una membrana de fibra de vidrio con PTFE (teflón); así como algunas cubiertas inflables que se utilizaron como depósitos.

Posteriormente (1978) se realizó una propuesta para cubrir la plaza de toros de la ciudad de San Cristóbal, en el estado Táchira. La misma fue encargada al Ing. Horst Berger, pero no tuvo para ese momento mayor



Fig.41 Domo Bolivariano Barquisimeto.

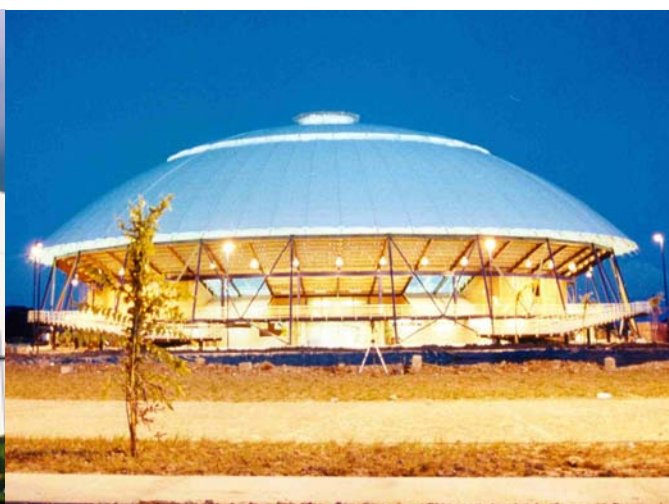


Fig.42 Cubierta Diverxity Caracas.

Fig.43 Coliseo de Guanare.

repercusión en el mercado de la construcción, por falta de credibilidad en esta tecnología o por falta de una oferta local de empresas capaces de desarrollar los proyectos y de construir las estructuras.

En 1997 se abrió una línea de investigación en el IDEC, sobre estructuras textiles, lo que dio origen a la realización de varios proyectos, entre ellos el de la cubierta textil para el museo de Taima Taima.

En el año 1998 se construyeron las primeras cubiertas textiles: en Caracas (Venezuela) en un parque de diversiones de un centro comercial de la ciudad de 600m² (Tecnidec) (Fig.42). Esta cubierta textil consistía en una cubierta de planta rectangular formada por una sucesión de curvas convexas y cóncavas, con una luz de 12 mts, donde los puntos altos se apoyaban en mástiles tipo A. y en Guanare en el estado Portuguesa (Venezuela) (empresa Conacero, C.A.), el Coliseo. Esta consistió en un Domo construido con una estructura espacial de acero a la que se le colocó una membrana (10800 M²) como elemento de cobertura. (Fig.43)

A partir del año 1998, el mercado sufre una rápida expansión que nos llevó a un pico en el año 2006, con la construcción de cubiertas textiles para 4 de los estadios de la copa América 2007 que se realizó en Venezuela. Con un incremento de más del 400% en ocho años.

Para el año 2008, se estima un mercado de más de 20000 m². Donde habrá una gran cantidad de cubiertas menores de 500 m². Una de los factores que ha contribuido a este crecimiento, ha sido el esfuerzo que se ha hecho desde la Universidad Central de Venezuela (UCV) promoviendo la tecnología a través de la educación, inicialmente, dictando cursos para el mejoramiento profesionales y postgrado. Y, posteriormente, estableciendo cursos para estudiantes de Pregrado. En los actuales momentos, en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Central de Venezuela y en la Universidad Experimental del Táchira, Edo Táchira, existen materias permanentes relacionadas con el tema.

Entre los proyectos representativos de la arquitectura textil de Venezuela se pueden mencionar:

Cubierta Hard Rock Café, Centro Comercial Sambil, Caracas (1999). (Fig.44) [20]

Cubre un área total de 430m². Esta cubierta se compone de cuatro módulos, definidos por bordes rígidos conformados por ocho (8) arcos de madera laminada, soportados por columnas de concreto.

La membrana anticlástica, cuya forma es similar a la de una silla de montar, une cada par de arcos proporcionándole estabilidad lateral. Los arcos están fabricados en madera “zapatero”, secada al horno y laminada en frío con pegamento fenólico. La membrana es de poliéster de alta tenacidad con protección PVC (Ferrari 702) y se encuentra unida al arco a través de un riel de aluminio ubicado a lo largo del mismo. Las aguas van a los apoyos sobre las columnas de concreto



Fig.44 Cubierta Hard Rock Cafe Caracas.

Fig.45 Cubierta de Taima Taima, Edo. Falcon.



Fig.46 Detalle conexiones.



Fig.47 Interior.

donde un embudo de acero inoxidable las recoge.

El proceso de tensado de la cubierta se realizó a través de la estructura de soporte (arcos) los cuales podían pivotar en su base y abrirse hasta lograr la pretensión deseada.

Diseño y construcción Grupo Estran C.A.

Cubierta cancha de usos múltiples Sabana Grande Edo. Trujillo. (2003) (Fig.45) [21]

Esta cubierta de 2370 M2 esta soportada por una estructura de arcos de acero sobre columnas tubulares (galvanizados) inclinadas, techo a cuatro aguas, la membrana esta tensada en el perímetro con bordes libre. La cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF . Diseño y construcción Conacero CA

Cubierta Museo Arqueológico de Taima Taima. Edo Falcón (1998/2004) [20]

Es una cubierta de 800M2 esta conformada por diez (10) conchas independientes que se solapan entre si. Las conchas que tienen forma triangular en planta se combinan girándolas 180 grados (Fig.46)y variando la altura a la que se fijan, sin tocarse entre ellas. Cada concha o unidad estructural esta formada por dos arcos que parten de un punto común y se abren formando un triangulo en planta, cada arco esta formado por ocho (8) secciones tubulares, en cada punto de conexión de estos elementos tubulares sale, perpendicular al arco, una cercha en V. Las siete (7) cerchas que se producen varían su longitud de acuerdo a la abertura entre los arcos, la inclinación de las V se varia para que el eje central de las cerchas se mueva sobre una curva virtual sobre las que se fijan dos Guayas que forma dos catenarias invertidas que se fijan a las bases de soporte; al tensarse estos cables centrales se comprimen los arcos tubulares, quienes son los encargados de soportar las cargas producidas por la presión del viento.

Los cables asumen las cargas de succión o empuje por debajo de la cubierta evitando que esta se eleve (Fig.47). El conjunto se mantiene pretensado de manera que nunca se aflojen los cables o que se separen los segmentos tubulares, los cuales se mantienen unidos entre si por esta pretensión. Los cuatro planos que se producen entre cada par de cerchas se arriostan por cruces de cables de acero inoxidable.

La luz entre los apoyos en el muro de contención y las columnas metálicas es de veinte metros (20mts), y la distancia entre los apoyos sobre las columnas es de ocho metros (8mts). La cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF Ferrari 1002. Diseño y construcción Grupo Estran C.A

Estadio Metropolitano, San Cristóbal ,Edo Táchira. (2005) (Fig.48-49) [21]



Fig.48 Estadio Metropolitano vista desde el campo.



Fig.47 Vista exterior.



Fig.50 Cubierta Qta. Monte Verde Caracas

Fig.51 Interior .

Cubierta de 2800M2 que cubre la gradería del estadio de béisbol de 15000 espectadores. Soportada por mástiles tubulares perimetrales y puntales inclinados de 35 mts de volado arriostrados por cables. La membrana en forma de plegaduras, con puntos bajos hacia el exterior, tiene gran participación estructural. Tiene cables de refuerzos tanto en las aristas convexas como las cóncavas. Los puntos de fijación internos están soportados por un par de cables que llevan las fuerzas a puntales laterales arriostrados a la estructura de concreto. La cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF. Diseño y construcción Conacero CA

Cubierta Salón Quinta Monte Verde, Caracas (2005) (Fig.50) [20]

Cubierta de 445M2 de planta rectangular cerrada en todo el perímetro. Ésta es soportada por dos arcos de 18mts de luz



Fig.52 Cubierta Caruachi vista lateral, Edo. Bolívar.

Fig.53 Vista desde el río.

y 3,5 mts de flecha, con rayos que amarran la cuerda inferior de manera de evitar empujes laterales en las columnas de soporte (Fig.51). La membrana se fija en los puntos bajos perimetrales sobre pies de amigos mixtos acero/concreto desde donde se tensa la cubierta. La cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF Ferrari 1002. Diseño y construcción Grupo Estran C.A

Cubierta Plaza Mirador / Centro de Atención al Visitante. Central Hidroeléctrica Caruachi. Puerto Ordaz, Edo. Bolívar. (2005 / 2006) (Fig.52-53) [20].



Fig.54 Qta. Los borbones Cumana, Edo Sucre



Fig.55 Vista del pasillo



Fig.56 Laboratorios Orpin Farma, Guarenas, Edo Miranda



Fig.57 Vista cubierta estacionamiento

Esta cubierta de 3700 M2 cubre un gran anfiteatro a orillas de río Caroni (Venezuela). Su planta rectangular y la estructura de soporte consisten en seis (6) arcos metálicos de celosía de sección triangular que cubren una luz de 62 mts, con una flecha de 19 mts. Los arcos de los extremos están inclinados y conectados lateralmente a tierra mediante cables. La membrana esta construida en cinco (5) paños que se conectan a los arcos en su cordón inferior. Los tres (3) paños centrales se conectan en sus puntos medios laterales a fundaciones desde donde se les aplica la pretensión. El material de la cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF (Seaman).

Arquitectura, detalles e ingeniería: Grupo Estran C.A. Construcción y Montaje: Conacero C.A.

PH Residencias Los Bordones, Cumaná, Edo Sucre. (2006), Área aproximada 120 m². (Fig.54-55) [22]

Esta propuesta esta conformada por una serie de pequeñas membranas tensadas en conjunto que se perciben como



Fig.58 Estadio Cachamay Puerto Ordaz, Edo. Bolivar exterior



Fig.59 Vista desde el campo

pérgolas, estas membranas crean áreas de sombra dentro de la terraza de esta vivienda privada. También se colocó una cubierta de contacto en el acceso a la terraza y otra en el área lateral de la terraza. . Arquitectura, detalles , ingeniería y construcción Deco Abrusci Estructuras Textiles.

Cubiertas Laboratorios Orpin Farma, Guarenas, Edo Miranda (2007). (Fig.56-57) [22]

Esta cubierta de 400 m². esta ubicada la sede de Laboratorios Orpin Farma. Tienen el objeto de establecer una conexión



Fig.60 Estadio Las Carolinas, Edo. Barinas vista exterior

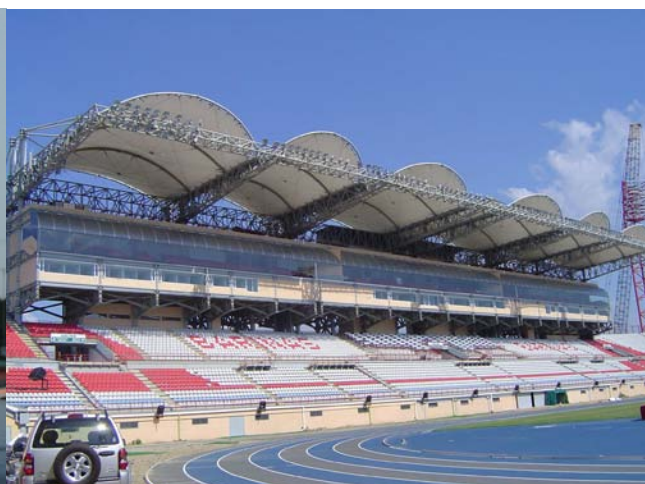


Fig.61 Vista desde el campo

entre el edificio nuevo y la antigua sede para proteger el paso peatonal. Igualmente contempla dos estructuras adicionales de bastidores con membrana tensada, para protección de los aparcaderos del personal administrativo. Arquitectura, detalles , ingeniería y construcción Deco abrusci Estructuras textiles.

Estadio Cachamay, Ciudad Guayana, Edo Bolívar. Ampliación de 10000 a 41600 asientos. (2006/2007). (Fig.58-59) [21]. La cubierta para la gradería del estadio tiene una área de 22000M2 esta soportada por cerchas tridimensionales en voladizo (45mts) perimetrales al ovalo. la membrana se fija a los arcos radiales , con relingas libres hacia el exterior y hacia las cerchas de arriostamiento interior. El material de la cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF (Seaman). Diseño y construcción Conacero CA

Estadio Agustín Tovar de la Carolina, Barinas, Edo. Barinas, Remodelación para aumentar el aforo de 11000 a 30000



Fig.62 Polideportivo Pueblo Nuevo, Edo. Tachira.

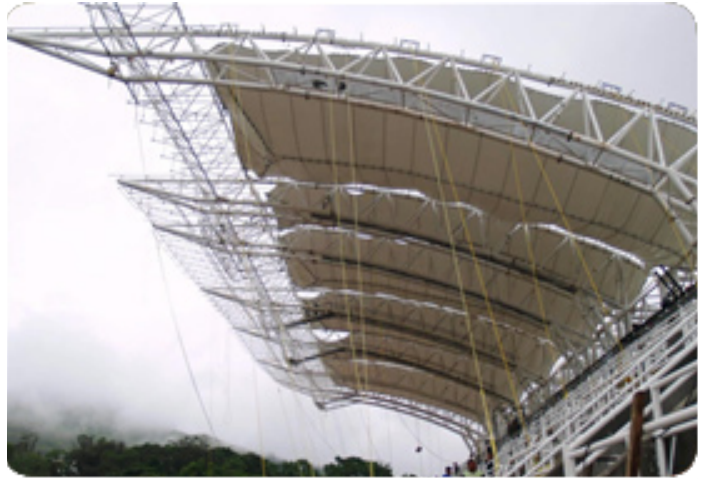


Fig.63 detalle de la estructura.

asientos, (2006/2007). (Fig.60-61) [21]

En esta primera etapa se cubrió una sección de la gradería de 4500 espectadores 5300 M2 de membrana. La estructura consta de arcos metálicos apoyados sobre unos marcos de cercha tridimensional que vuelan sobre la gradería, equilibrados por un singular contrafuerte en forma de medio arco . La membranas se fijan puntualmente con relingas libres en todos los sentidos. El material de la cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF (Seaman). Diseño y construcción Conacero CA.

Cubierta Polideportivo Pueblo Nuevo. San Cristóbal, Edo Táchira
Ampliación de 28000 a 40000 asientos. 2006/2007. (Fig.62-63) [21]

Para la ampliación de la tribuna principal, se incorpora una cubierta textil de planta rectangular formada por ocho (8) módulos de 14 mts y tres (3) de 7 mts. Doce (12) cerchas triangulares curvadas vuelan sobre las tribunas y son equilibradas con la estructura de concreto de la gradería.

La membranas fijas a las cerchas parten de un borde recto hacia el campo de juego, y se alabean mediante un punto bajo y un cable sobre el eje central longitudinal del paño. El material de la cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF. Diseño CAC arquitectura.

Cubierta Olímpico Metropolitano. Mérida, Edo. Mérida . (2005/2007). (Fig.64)

Este recinto esta conformado por 40.000 asientos. Comienza su construcción en el año 2005, pero se paraliza y es retomada en el año 2006. De planta ovalada las graderías están separadas en cuatro (4) secciones todas ellas cubiertas. La seccione norte-sur con seis (6) módulos y las sección este-oeste con nueve (9) módulos.

La cubierta vuela sobre las tribunas con cerchas tridimensionales colgadas de soportes verticales equilibrados con vientos hacia el perímetro de la edificación.



Fig.64 Estadio Olimpico Metropolitano de Merida, Edo. Merida.

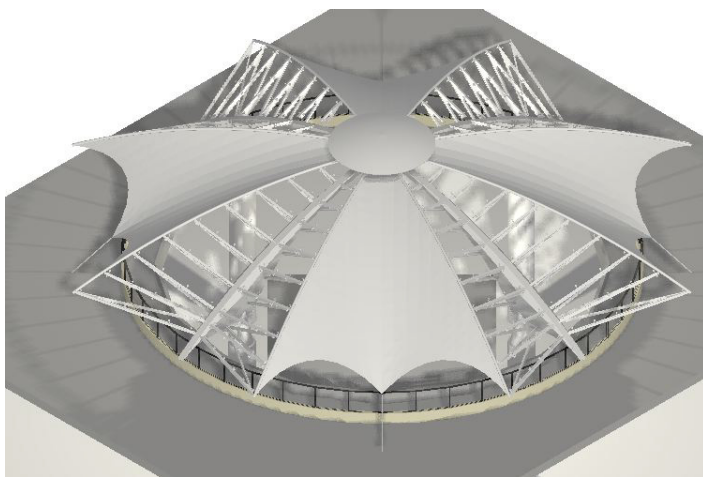


Fig.65 Tragaluzes C.C. Líder, Caracas.

Las membranas se fijan sobre a cerchas y se quiebran mediante un cable colocado en eje central de cada paño que se tensa desde el perímetro externo de la gradería. El material de la cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF.

Tragaluz: Centro Comercial Líder. Caracas (2008). (Fig.65) [20]

Los tragaluzes están formados por ocho (8) secciones, cuatro (4) de ellas por una membrana anticlástica pretensada opaca, y cuatro (4) secciones de estructura metálica con un cerramiento acristalado. Estas secciones metálicas se apoyan sobre cuatro (4) columnas de concreto y un anillo metálico central para conformar dos arcos en cruz que son los que soportan todo el conjunto. Cada una de estas

secciones metálicas están constituidas por un eje central construido en base a láminas para formar una sección de arco tridimensional hueca, de la cual parten nueve (9) pares de brazos que sostienen a dos (2) arcos tubulares que parten del anillo central, pero no se apoyan en el perímetro exterior y que van a servir como elementos de soporte de la membrana que llena el espacio entre cada modulo.

La membrana se fija a través de un riel de aluminio atornillado a los arcos tubulares, y se tensa en tres puntos en el perímetro exterior, uno de los cuales va a la losa de entrepiso. El material de la cubierta es poliéster recubierto de PVC con PVDF (Seaman). Arquitectura, detalles e ingeniería: Grupo Estran C.A. Construcción y montaje: Conacero C.A.

FUTURO

La economía venezolana viene creciendo en los últimos 18 trimestres del año a un ritmo promedio del 10%, y se espera que siga creciendo en los próximos años. Este crecimiento asegura que los ambiciosos programas de infraestructura seguirán realizándose, como por ejemplo: la construcción de la red ferroviaria nacional, importantes obras de vialidad y de infraestructuras deportivas. Todo esto abrirá las puertas a nuevas aplicaciones de tenso estructuras.

Las condiciones climáticas adecuadas, una tecnología que ha podido ganarse la confianza del mercado, un grupo importante de nuevos profesionales que manejan la tecnología y una industria de la construcción en expansión, auguran que continúe apareciendo nuevos proyectos de arquitectura textil en el país

Esta rápida expansión ha generado la aparición de una gran cantidad de empresas confeccionadoras, asegurándonos que propuestas como la de la plaza de toros de Mérida del año 78, puedan ser realizadas en el país. Las empresas manufactureras han estado haciendo inversiones importantes en equipamiento y tecnología (inclusive desarrollos propios) para aumentar su capacidad y calidad de producción.

Uno de los problemas que este crecimiento ha generado es que no todas las empresas que dicen construir estructuras textiles tienen la preparación técnica adecuada, y comienza a ser necesario establecer normas que permitan regular el diseño de este tipo de estructura y asegurar la calidad de las obras.

REFERENCIAS

- [1] Memorias del MOP 1955-56 P.44
- [2] Memorias de obras publicas 1929 tomo I, Estados Unidos de Venezuela.
- [3] Memorias de obras publicas 1930 tomo I, LXXV, Estados Unidos de Venezuela.
- [4] Memorias de obras publicas 1930 tomo II, Doc. 106, Estados Unidos de Venezuela.
- [5] Silva M. *El Hierro en el siglo XX en Venezuela*. Tesis doctoral Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2006.
- [6] Cilento A. *Puentes y Puentes colgantes*. Tecnología y Construcción, IDEC/UCV, IFA/LUZ, vol. 16 II, 2000, PP.9-24.
- [7] Oficina técnica Jahn. Portal, recuperado en agosto 2008, www.grupojahn.com
- [8] Ch. García-Diego (1); J. Lorens (2) y H. Poppinghaus (1), Arquitectos El Pabellón de Venezuela en la Expo 2000 de Hannover Informes de la Construcción, Vol. 53 n° 473, mayo/junio 2001.
- [9] Hernández C. & Escrig F., 1994: *El pabellón de Venezuela en la EXPO 92. Una estructura desplegable en duraluminio*. Informes de la Construcción, vol.45, # 429, enero/febrero, p. 61 a 69.
- [10] Hernández, C. *Deployable Structures*. Tesis de grado para obtener el título de Master of Science in Architecture. MIT, Massachussets. (1987)

- [11] Hernández, C. “*New Ideas in Deployable Structures Mobile and Rapidly Assembled Structures II*” Computational Mechanics Publications, Southampton, UK .(1996).
- [12] Hernández, C. *Estructuras Transformables Estran 1*. Tecnología y Construcción Vol. 4 Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, 1988.
- [13] Hernández C. *Pabellón de Venezuela Expo '92. Sevilla*. Editor: Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Junio 1993.
- [14] Hernández C. *Estructuras Transformables*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UCV, Trabajo de ascenso, Capitulo 2, 1997.
- [15] Hernández, C. *Factibilidad constructiva de cubiertas plegables de láminas delgadas*. Tecnología y Construcción Vol. 19, II, 2003, p. 23- 41.
- [16] Hernández, C. *Cubierta tensil para el área de excavación del Museo Arqueológico de Taima Taima*. II Simposio Latinoamericano de Tenso Estructuras, CD de las memorias, Caracas,2005.
- [17] Hernández, C. *Developing Feasibility for Foldable Thin Sheet Coverings*. IASS Symposium, p. 234 Beijing, China, 2006.
- [18] Silva M. *Puentes metálicos sobre el río Guaire*. Tecnología y Construcción Vol. 20, I, 2004, p. 29- 42.
- [19] Banco Central de Venezuela, Portal, www.bcv.org.ve..
- [20] Empresa Grupo Estran CA, Portal, www.grupoestran.com.
- [21] Fichas informativas suministradas por Conacero CA.
- [22] Fichas informativas suministradas por Deco Abrusci Estructuras Textiles.