

CARLOS H. HERNÁNDEZ

Licenciado en Química (UCV, 1984).
 Master of Science in Architecture studies (Massachusetts Institute of Technology MIT, USA, 1987).
 Profesor Titular (UCV). Doctor en Arquitectura (UCV, 2012).
 Línea de investigación: Estructuras transformables, tensadas y textiles.
 carlos@grupoestran.com

*Este trabajo contó con la colaboración del profesor José Romero, profesor Simón y el bachiller Mario D'Anniballe del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela (IMME-UCV), el profesor Carlos Graciano y el bachiller Jean Carlos León de la Universidad Simón Bolívar, y el ingeniero Raúl Cebrián. También ha contado con el financiamiento del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico-CDCH de la UCV, así como aportes de las empresas Estran C.A., DecoAbrusci y Circa C.A.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE CUBIERTAS TEXTILES SOMETIDAS A VARIACIONES EN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS*

EVALUATION OF THE STRUCTURAL BEHAVIOUR OF TEXTILE COVERS (FABRIC STRUCTURES) SUBJECTED TO CLIMATIC VARIATIONS

RESUMEN

Este trabajo aborda el problema de las estructuras textiles cuando pierden la tensión previa o pretensión lo que ocurre, entre otros, debido a factores climáticos que influyen a través de tres variables: temperatura superficial, velocidad de vientos y humedad.

En el trabajo se intenta validar esta hipótesis evaluando el comportamiento estructural de cubiertas textiles sometidas a variaciones en las condiciones climáticas, y con él se aspira a generar una herramienta de ensayo y diseño que permita predecir la pérdida de pretensión en las cubiertas de acuerdo a las condiciones climáticas a las que serán sometidas en su vida útil.

En esta primera etapa se desarrolló un banco de trabajo que permite estudiar el efecto de la temperatura superficial, la humedad y las cargas de viento sobre la pérdida de pretensión en modelos físicos a escala, que con un sistema de adquisición de datos y control automatizado permite llevar un registro de cómo varían las fuerzas de tracción sobre la membrana mientras es sometida a ciclos de carga y descarga bajo diversas condiciones de temperatura y humedad.

Descriptores

Estructuras textiles, pérdida de pre-tensión, condiciones climáticas.

ABSTRACT

This paper addresses the problem of textile structures when lose pre-tension due to climatic factors influenced through three variables: surface temperature, winds speed and humidity. This document attempts to validate this hypothesis evaluating the structural behavior of textile covers (fabric structures) subjected to variations of climatic conditions, also aims to generate a tool for testing and design that allows to predict the loss of pre-tension on the covers (membranes) according to the climatic conditions to which they will be subjected in its useful life.

In this first stage was developed a workbench that allows to study the effect of the surface temperature, humidity and the wind loads on the loss of pre-tension in physical scale models, in the meantime a computerized control and data acquisition system allows to keep a record of the traction forces variations over the membrane while it is subjected to cycles of loading and unloading under different conditions of temperature and humidity.

Descriptors:

Fabric Structures, Pre-Tension loss, Climatic Conditions.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE CUBIERTAS TEXTILES SOMETIDAS A VARIACIONES EN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS

Un modelo simplificado de una membrana anticlástica¹ es el de dos cuerdas perpendiculares entre sí que se encuentran en un punto. Si las cuerdas se tensan en direcciones opuestas el punto de encuentro se inmoviliza; a medida que aumentamos la tensión en las dos cuerdas, se requerirá cada vez una fuerza mayor para desplazar el punto de encuentro de las cuerdas, en otras palabras, el sistema es más rígido al aumentar la tensión de las cuerdas y será menor su deformación al aplicar una fuerza externa del sistema.

Esta tensión que aplicamos a un sistema de cables o membrana anticlástica para darle rigidez es la pretensión. *Una membrana o malla anticlástica tiene un comportamiento estructural adecuado solo si está en un estado tensionado* (Pauletti R., 2008).

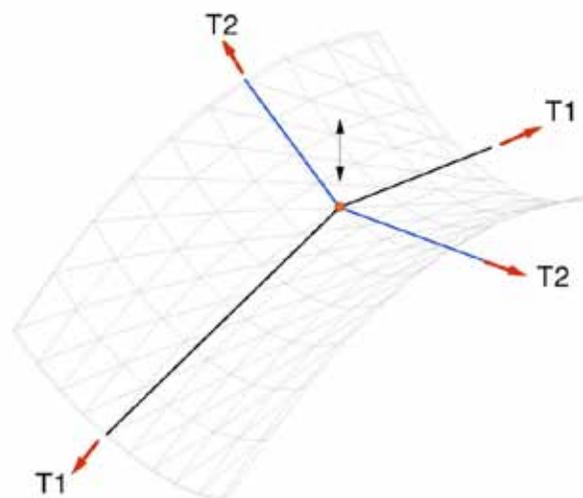
La pérdida de la pretensión reduce la rigidez del sistema aumentando su deformación ante cargas externas. Si la pérdida de la pretensión supera ciertos límites la membrana comenzará a flamear o deflectará con el riesgo de acumular agua o nieve, en ambos casos comprometiendo la durabilidad de la membrana. Por ello, es de gran importancia conocer y poder predecir el proceso de pérdida de ésta, para establecer planes de mantenimiento que permitan mantener los niveles óptimos de la tensión inicial en las estructuras de membranas anticlásticas y evitar que éstas lleguen a niveles críticos de pérdida de la pretensión. La pérdida de la pretensión se debe al comportamiento propio del material, pero existen adicionalmente factores externos que influyen en la pérdida de pretensión de las membranas los cuales está el factor climático, por lo tanto, el clima influye en la vida tensional de las membranas.

En este trabajo se intenta comprobar esta hipótesis y para ello, como primera etapa, se

desarrolla un banco de ensayos que permite estudiar el efecto de la temperatura superficial, la humedad y las cargas de viento sobre la pérdida de pretensión. El banco de ensayos puede reproducir de manera controlada e independiente cada una de las diferentes variables de interés para el estudio, permite ensayar estas variables en modelos físicos a escala y con procesos de ciclos acelerados que en un menor tiempo pueden simular el comportamiento de las membranas en su ciclo de vida normal reduciendo el costo del estudio. Por otro lado, el resultado de estos estudios permitirán validar un modelo matemático que se desarrolla en paralelo.

Para la realización de los ensayos es necesario que el banco de ensayos esté automatizado ya que este debe realizar de forma repetitiva cada uno de los ciclos establecidos y a su vez contar con un sistema de adquisición de datos que permita llevar un registro de cómo varían las fuerzas de tracción sobre la membrana, mientras es sometida a ciclos de carga

Figura 1. Modelo realizado por Carlos H. Hernández



y descarga bajo diversas condiciones de temperatura y humedad.

Para el diseño del banco se establecieron las condiciones de trabajo, la geometría de la membrana, las fuerzas de pretensión, los rangos de temperatura, humedad y fuerzas del viento, de manera de dimensionar la estructura del banco y los sistemas de aplicación y medición de las diferentes variables.

DEFINICIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO

Condiciones climáticas

Se seleccionaron las condiciones de trabajo con base en las características de las zonas climáticas definidas por el grupo de acondicionamiento ambiental de IDEC de la Facultad de Arquitectura de la UCV (Hobaica, 1984).

Para la determinación de la temperatura superficial se combinaron factores extremos de temperatura, insolación y velocidad de viento que casi nunca se encuentran asociadas en el territorio venezolano pero que nos permitió establecer el extremo máximo de la temperatu-

ra superficial. En el cuadro 1 se establecen las condiciones de trabajo seleccionadas:

Condiciones geométrico/estructurales

Se construyó un modelo virtual para determinar las fuerzas resultantes, la pretensión requerida y la geometría que nos permitiera la construcción del modelo físico.

Se utilizó para ello el programa EASY (de Technet) donde se construyeron mallas para paraboloides de 0,90 x 0,90 mts y 1,80 x 1,80 mts con relaciones Flecha/luz 1:5, 1:15. (figura 2) y se cargaron con cargas verticales de 40 Kg/m² y de 80 Kg/m² tanto en presión como en succión (basados en los rangos determinados previamente en las condiciones climáticas para las áreas a estudiar) (figura 3).

Se estableció en el modelo una retícula de 300 mm x 300 mm donde se calcularon las cargas verticales y las deformaciones por nodo, lo que nos permitirá la ubicación del lastre en los ensayos donde sea aplican las cargas de vientos (cuadro 2).

El modelo nos permite definir el patronaje para la construcción del modelo físico con la misma geometría del modelo virtual.

Cuadro 1. Condiciones de trabajo

Determinación de la temperatura superficial (cf. Rosales,2014):

$$T_{sol-Taire} = T_{aire} + (\alpha Es - hr (10^{\circ}C)) \div hcr$$

$$\alpha = 0,2$$

$$hcr = 15 \text{ watts/m}^2 \text{ }^{\circ}C$$

Conductividad térmica

$$hr = 5 \text{ watts/m}^2 \text{ }^{\circ}C$$

Coeficiente de intercambio radiactivo

$$Es = 1000 \text{ watts/m}^2$$

$$T = 35^{\circ}C$$

Temperatura en condiciones de máxima insolación 45°C - 50°C, poco viento y máxima temperatura.

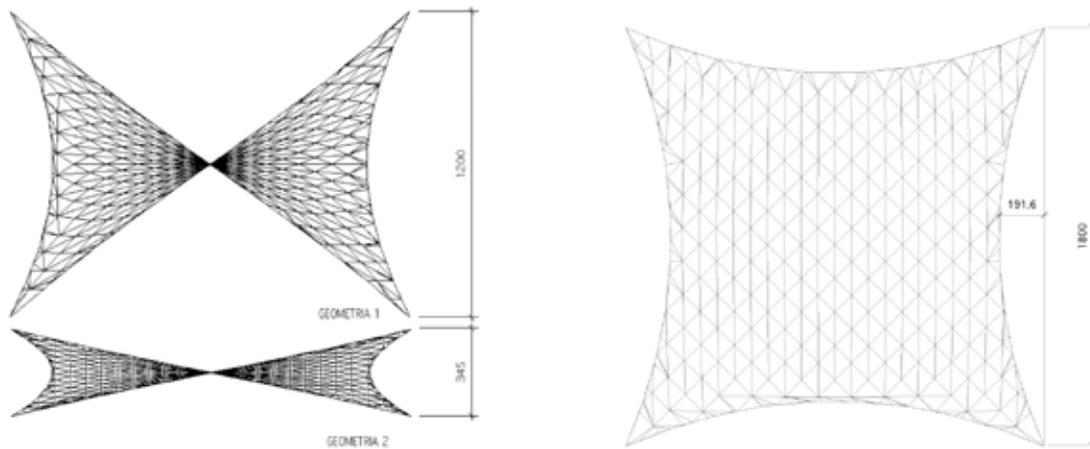
Rangos de trabajo

	Mínima	Máximo
Fuerzas	40Kg/m ²	75Kg/m ²
V. Viento		120 Km/h
Temperatura	30°C	50°C
Humedad		80%

Fuente: C.H. Hernández, 1997.

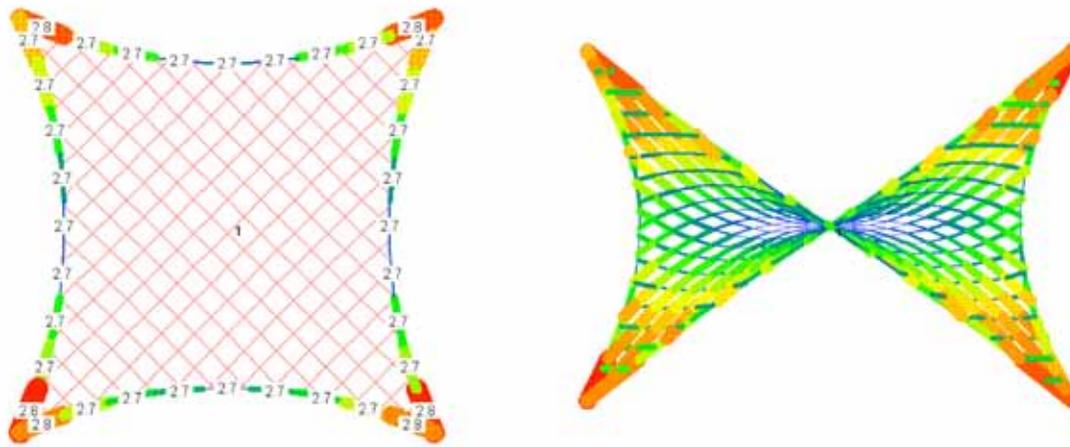


Figura 2. Geometría de los paraboloides de relaciones Flecha/luz 1:5(Geom.1), 1:15 (Geom.2)



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

Figura 3. Salida gráfica del programa donde se muestran las fuerzas resultantes en las relingas a la izquierda y sobre la superficie de la membrana a la derecha



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

Cuadro 2. Resumen de los resultados

Geometría	Carga	Resultante Extremos KN	Fuerza en Tela U/T KN	Deformación MTS
1	Pretensión	5,3	0,1/0,1	
1	40 KN	6,1	0,1/0,2	0,01
1	80 KN	6,2	0,1/0,2	0,01
2	Pretensión	4,4	0,1/0,1	
2	40 KN	5,4	0,1/0,2	0,03
2	80 KN	7,1	0,1/0,3	0,03

Fuente: C.H.Hernández, 1997.

DISEÑO DEL BANCO DE ENSAYOS Y EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Fue diseñado el banco de trabajo con base en las condiciones anteriormente establecidas. Éste permite contener una pequeña membrana de aproximadamente 2,8 m² con flechas variables y espacio para alojar los diferentes dispositivos requeridos para simular las diferentes condiciones de ensayo y los equipos de medición (figuras 4 y 5).

Figura 4. Marco de soporte



Fuente: D'Anniballe L. M., 2010

Estructura de soporte

La estructura de soporte consiste en un marco poco deformable en forma de prisma de planta cuadrada de 2000 mm x 2000 mm x 1200 mm construido con tubulares estructurales ECO (1) de 100 mm x 100 mm, soldados en las aristas. El marco tiene unas patas ajustables que permiten su nivelación (figura 4).

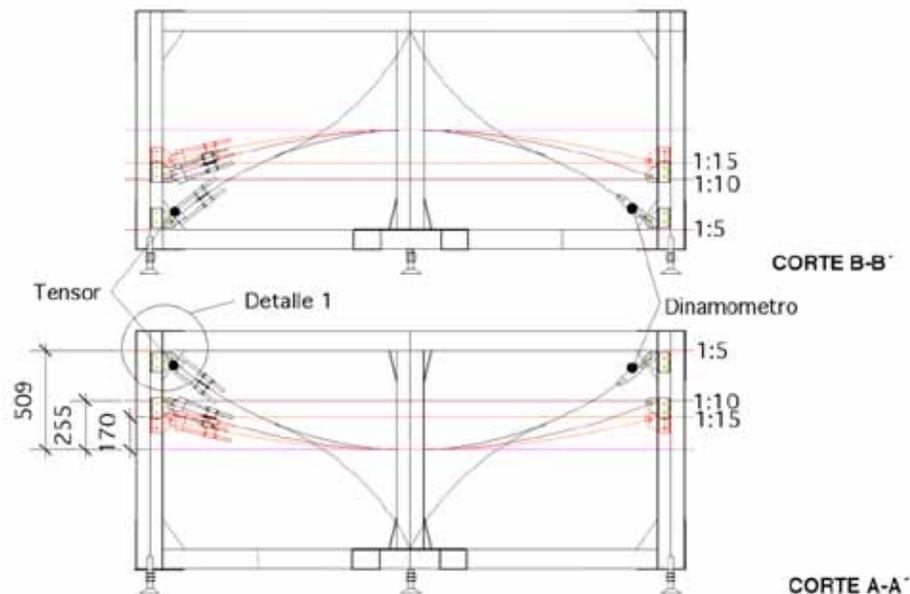
Sobre los paralelos de las aristas verticales se fijan unas bases metálicas que permiten la conexión de la membrana, estas bases se pueden ajustar para producir paraboloides de relaciones Flecha/luz 1:5, 1:10, 1:15 (figura 5).

A este marco básico se le adiciona una segunda estructura en forma de mesa que contiene los mecanismos para el sistema de aplicación de viento. Dicha estructura se fija mediante cuatro pasadores al marco básico cuando es requerida.

Mecanismo de introducción de la tensión y medición

La conexión de la membrana con el marco estructural se realiza a través de un elemento que permite la introducción de la tensión (ten-

Figura 5. La bases se ajustan para diferentes curvaturas



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

sor) (figura 6) y mediante una celda de carga los tensores se ubican uno en el extremo del paraboloide que está mas alto en relación con el plano horizontal de base (punto alto) y el otro en el extremo perpendicular a éste que se encuentra en un punto bajo del paraboloide, en los extremos opuestos a los tensores se colocan las celdas de carga. En ambos casos los terminales permiten dos grados de libertad para asegurar una perfecta alineación, asegurando que solo existan cargas axiales sobre los tensores y celdas de carga. El sistema permite la introducción de cargas de tracción hasta de 2.400 Kg.

Para medir las cargas de tracción sobre la tenso estructura se utilizan celdas de carga de Tipo S, marca HBM, con capacidad para medir hasta 1-360,77 Kg (3.000 lb.) con posibilidad de exceder la carga máxima en 120% (figura 7). Estas celdas utilizan galgas extensiométricas resistivas colocadas en forma de puente de

Wheatstone las cuales detectan la deformación sufrida por la celda y la reportan de manera analógica en un equivalente de la fuerza aplicada en una relación de 3mV por Voltio de alimentación con una sensibilidad de 3 mV/V: el rango de temperatura de operación es de -30 a +70°C. Las celdas se conectan a un circuito de acondicionamiento de señal, compuesto básicamente por un amplificador instrumental, con filtraje pasa bajos ($f_c = 50$ Hz) y una referencia de tensión de alta calidad, y a una entrada analógica de un módulo de adquisición de datos USB-6009 que permite a la computadora recoger los datos de carga (D'Anniballe, 2010).

Sistema de aplicación de las cargas de viento

El principal problema para reproducir la carga aplicada por el viento es la distribución homogénea de ésta sobre la superficie de la membrana. Con este objetivo fueron estudiados varios métodos, escogiéndose uno que se consideró el mas sencillo de aplicar y a la vez el que proporcionaba una distribución mas homogénea de la carga. En el método escogido, la carga de viento se aplica a través de un colchón de aire que se apoya sobre la membrana.

Al marco principal del banco se le conecta una estructura tipo mesa dentro de la cual se encuentra un marco metálico al que se le ha fijado una superficie rígida (lámina de aglomerado). Este marco está colgado de la estructura principal por un sistema de plegamiento (figura 8) de barras articuladas que limitan el movimien-

Figura 6. Celda de carga



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

Figura 7. Celda de carga



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

Figura 8. Mecanismo para mantener la horizontalidad del marco



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

to horizontal del marco, pero a su vez permiten el movimiento vertical, de esta manera se asegura que el marco esté horizontal durante todo el recorrido. El desplazamiento del plano se produce con la ayuda de un Actuador lineal (Dynamat) con capacidad de empuje de 3Kn a una velocidad de 10mm/seg, colocado en el centro del marco y la estructura principal. Este motor es el que aplica la fuerza requerida. La fuerza aplicada se mide con una celda de carga colocada entre el actuador lineal y el marco.

Colgado de la superficie del marco móvil se coloca un colchón construido con vinil parcialmente lleno de aire el cual al entrar en contacto con la superficie de la membrana asume su forma (figura 9). A medida que la distancia entre el marco y la membrana disminuye, la presión dentro del colchón aumenta, transmitiendo la fuerza que el motor aplica sobre el colchón, mediante el movimiento del plano rígido a la membrana como presión. La presión es normal a la superficie e igual por unidad de área lo que asegura la aplicación de la fuerza de forma homogénea y de igual manera que como se aplica en el modelo computacional (Luetich, 2010).

Sistema de aplicación de temperatura

Como lo que se quiere reproducir es la temperatura superficial producida por la cantidad de insolación y no la temperatura ambiente, se desecharon sistemas de calentamiento por convección en los que se calienta aire alrede-

dor de la membrana. Para ello la decisión fue inclinarse por un sistema de calentamiento por radiación que permite calentar la superficie de la membrana sin calentar el ambiente. El sistema escogido consta de dieciséis (16) lámparas infrarrojas industriales de 250 watts (figura 10) teniendo una potencia máxima total de 4.000 Watts. Las lámparas se colocan bajo la tenso estructura para cubrir un área de 2,4 m². Con la radiación infrarroja el calor irradiado se puede direccionar con mucha precisión evitando que se pierda energía, lo que hace este método muy eficiente. Debido a la geometría tridimensional de la superficie de la membrana se utilizó una base ajustable para mantener la distancia y la perpendicularidad entre la lámpara y la membrana. La regulación de las lámparas nos permite llevar la temperatura superficial a 60 °C (D'Anniballe, 2010).

Se diseñó un sistema de control que permite un calentamiento homogéneo de la superficie: las lámparas se dividen en cuatro circuitos independientes, cada uno controlado por un sensor (sensores digitales duales temperatura/humedad) colocado bajo la membrana dentro de bolsillos para evitar la exposición directa de las lámparas, y en el centro del área de acción del circuito correspondiente, produciendo cuatro lazos de control independientes (figura 11). El sistema permite controlar la cantidad de potencia que se le entrega a la lámpara logrando que irradie la cantidad necesaria de

Figura 9. Colchón



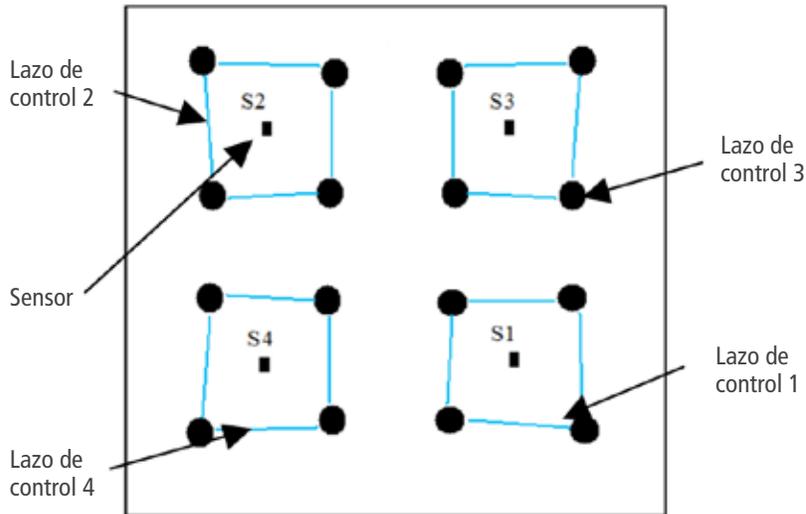
Fuente: C.H. Hernández, 1997.

Figura 10. Lámparas infrarrojas



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

Figura 11. Diagrama de ubicación de los sensores



Fuente: D'Anniballe L. M., 2010

energía en todo momento para así mantener estable la temperatura en la superficie: el sistema de control puede compensar el efecto de la diferencia de distancia lámpara/membrana e incluso permite compensar el efecto de enfriamiento por corrientes de aire. Aunque el sistema estará cerrado durante los ensayos, durante los ajustes del sistema de control todas las caras del banco estaban abiertas para facilitar el acceso, las lámparas enfrentadas a la corriente de aire se encendían con mayor frecuencia que las alejadas, para compensar el enfriamiento, pudiendo de esta manera asegurar una temperatura homogénea en toda la superficie.

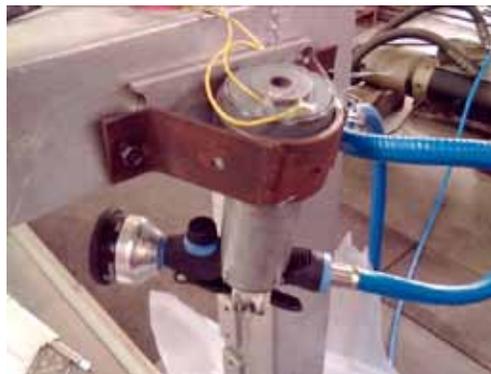
El periodo de calentamiento de la membrana a 50 °C es de 3 min, para acelerar el enfriamiento se utiliza un extractor: extracción de aire 11,4 m³/min; inyección de aire 8,6 m³/min. (potencia 40 vatios) lo que permite renovar el volumen total (2,6 m³) en 54 seg. El extractor se acciona mediante *triac* controlados desde la computadora.

La temperatura ambiental se registra con un sensor digital conectado al sistema de control y permite llevar un registro de la temperatura ambiente independiente de la temperatura de la membrana.

Sistema de aplicación de humedad

La humedad se varía introduciendo agua en forma de neblina con un aspersor dentro del mismo sistema aislado que se utiliza para los ensayos de temperatura. Para ello se utiliza un motor lineal o *plumger* que acciona (abriendo o cerrando) un aspersor tipo pico de manguera multifunción (figura 12). La humedad se mide dentro del cajón mediante los sensores integrados duales que envían la información de forma digital a la computadora la cual ajusta el tiempo de aspersion y temperatura necesarios para llegar al nivel de humedad (80%). Para cerrar el ciclo, los extractores y las

Figura 12 . Aspersor con Plumger



Fuente: D'Anniballe L. M., 2010

lámparas (figura 13) se accionan para sacar el aire húmedo y llevar la humedad al nivel de la humedad del ambiente.

Sistema de control automático

“El banco de ensayos debe funcionar por largos periodos con poca supervisión humana. En caso de que el proceso se detenga bruscamente, el sistema de supervisión debe almacenar los datos de interés del proceso de forma automática y se debe garantizar que el sistema no se salga de control en caso de fallas eléctricas o de pérdida de comunicación” (D’Anniballe, 2010).

El control del banco se realiza con un computador equipado con una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments modelo USB 6009 (figura 14).

El sistema de control se complementa con tres micro controladores PIC 18 los cuales reciben la data de los sensores (sensores digitales duales), las órdenes del computador, y accionan los diferentes dispositivos, lo que se hace a través de triac que energizan las lámparas, extractores, etc.

Se cuenta con dos módulos de potencia: el módulo de alta potencia que se encarga del manejo del sistema de calentamiento (figura 15) y el módulo de potencia empleado para el manejo de dispositivos del proceso como actuadores o difusores. El sistema permite adquirir data de temperatura, humedad y de tensión.

Figura 13. Extractor



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

En la figura 16 se muestra un diagrama de bloques de cómo se interconectan las diferentes secciones que componen a los módulos.

ENSAYOS

Probetas

La membrana es confeccionada según el patronaje obtenido del modelo informático (programa EASY). Su geometría es de un paraboloide hiperbólico simétrico de 1.800 mm de lado (para el primer grupo de ensayos con una relación luz/flecha de 1:5, geometría 1).

Los cortes de los patrones se realizan de manera que cuando se ensamblan la trama y la urdimbre en los cuatro patrones estén ubicadas de la misma manera para asegurar una homogeneidad en el comportamiento y para que todas las probetas sean comparables.

Figura 14. Procesador principal



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

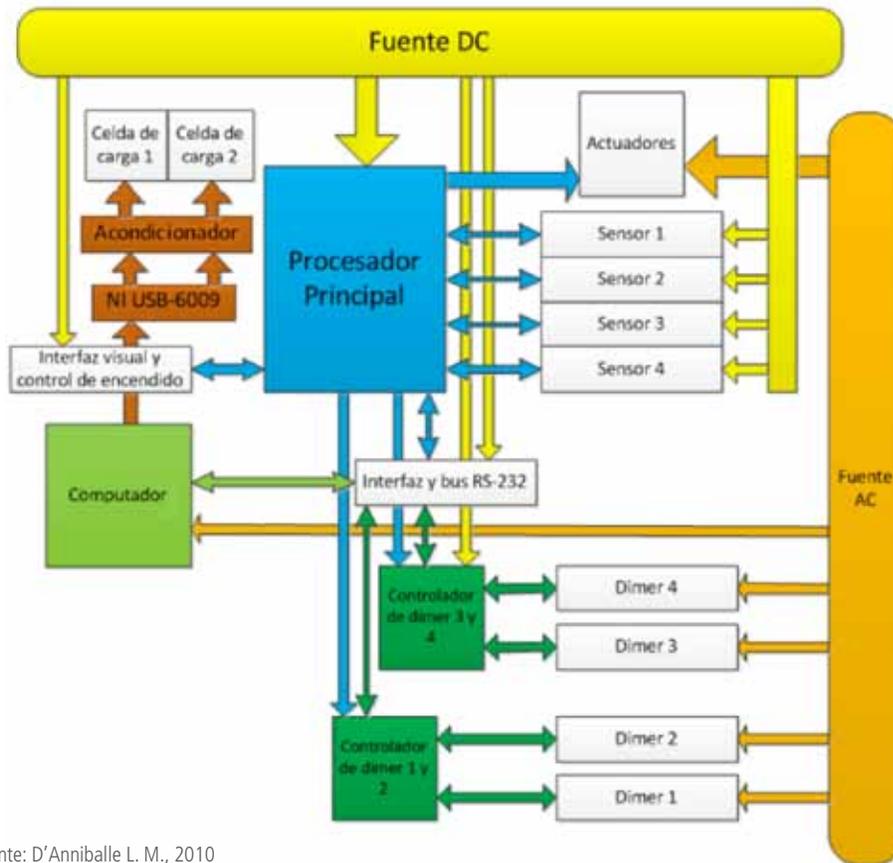
Figura 15. Módulo de alta potencia



Fuente: D’Anniballe L. M., 2010



Figura 16. Estructura del hardware



Fuente: D'Anniballe L. M., 2010

La membrana está reforzada en las aristas por una guaya (relinga) de $\varnothing 6$ mm, 6 x 19 iwrc, con terminales inoxidables roscados en los extremos y colocada dentro de un bolsillo. En los vértices la membrana remata en puños idénticos que aprisionan el extremo de la membrana y reciben las guayas de las relingas. A la membrana se le hace un bolsillo con una barra plástica para evitar que resbale. Los puños al igual que las guayas de las relingas son removibles y se usan en todas las membranas a ensayar. El puño está construido de dos piezas en lámina de acero inoxidable de 1 mm doblada en los bordes. A una de las piezas se le sueldan los tubos que permiten el paso de la guaya (figura 17).

Ensayos del equipo

Se realizaron pruebas con los sistemas para verificar que se comportaba de acuerdo a las

especificaciones del diseño y a las simulaciones virtuales que se hicieron durante el diseño de los circuitos de control y que tenían la robustez necesaria para soportar largos periodos de funcionamiento.

Figura 17. Probeta



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

Para el sistema de temperatura se programaron rutinas de ensayo para realizar varios ciclos tomando la temperatura ambiente como mínima y llevando la membrana a 55°C.

En el gráfico 1 se muestra el comportamiento del sistema. La línea negra muestra la temperatura ambiente, mientras que las líneas de colores representan la temperatura sobre la membrana medida por cada uno de los sensores. Se observa un comportamiento bastante parecido en los diferentes sensores, las diferencias están en la pendiente para alcanzar los valores máximos y mínimos y esto es debido a las diferencias geométricas en las diferentes ubicaciones de los sensores en cuanto a la distancia lámparas/membrana o a la ubicación del extractor, variaciones que el sistema de control compensa para llegar a las temperaturas establecidas como máxima y mínima de la forma más rápida posible.

Para el caso de la humedad se hicieron ensayos para realizar ciclos de 30% a 55% de humedad.

El comportamiento del sistema se muestra en el gráfico 2, donde la línea negra representa la humedad dentro del banco de ensayos y las líneas de colores la humedad sobre la membrana registrada por los diferentes sensores. La variación se debe a la diferencia de ubicación de

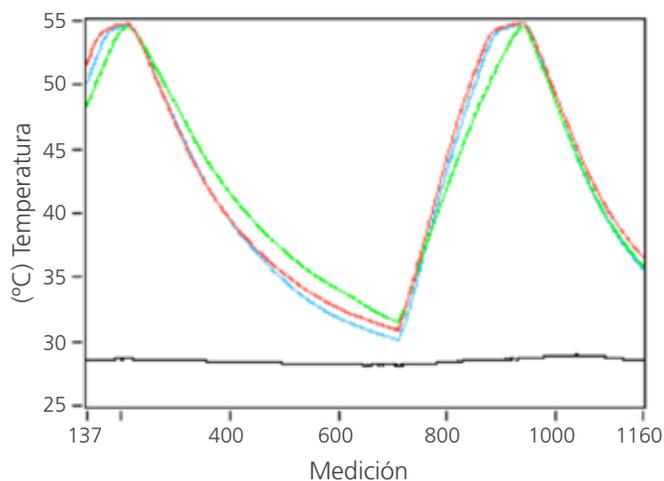
los sensores en relación al aspersor y al extractor, afectando principalmente las medidas iniciales. El sistema lleva de forma satisfactoria la humedad al valor máximo establecido, regulando el promedio de humedad dentro del banco.

Desde el punto de vista de la medición de las cargas, éstas se comportaron de la forma esperada, aumentando al bajar la temperatura (contracción del material) y disminuyendo al calentarse la membrana (dilatación del material). De forma contraria, cuando la humedad disminuye la carga disminuye, y viceversa.

Patrón

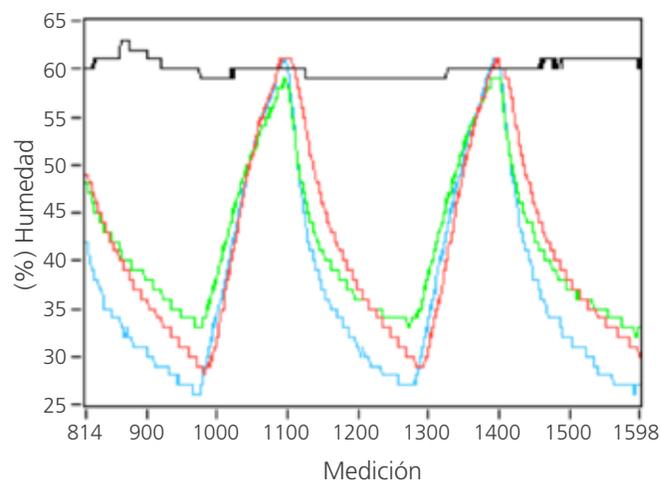
Se coloca una membrana nueva en el banco de ensayos, se lleva hasta una pretensión de 440 Kg, se deja caer la pretensión por 15 min y se vuelve a pretensar a la carga anterior. La membrana se deja en el banco durante 36 días sin más manipulación. Se midió la tensión en las celdas de carga, la temperatura ambiente y la humedad. Con este patrón se establece el proceso de pérdida de pretensión debido a las características propias del material. En el gráfico 3 se observa caída rápida de la pretensión; la pretensión sube al producirse una segunda aplicación de tensión y luego comienza a descender hasta estabilizarse a las 80 horas. Esta caída rápida se

Gráfico 1. Comportamiento de la temperatura



Fuente: D'Anniballe L. M., 2010

Gráfico 2. Comportamiento de la humedad



Fuente: D'Anniballe L. M., 2010

produce por el reacomodo de las fibras dentro de la membrana (*creep*). La pérdida de pretensión continuará muy lentamente, solo afectada por los cambios de temperatura ambiente entre el día y la noche del laboratorio de estructura.

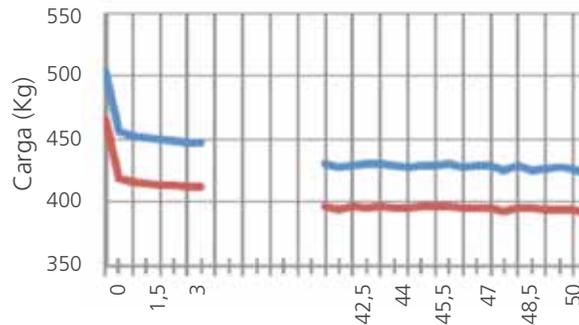
CONCLUSIONES

El banco de ensayos permite ensayar Paraboloideas Hiperbólicas de 2,8 m² de área con relaciones de Flecha/luz 1:5, 1:10, 1:15, y aplicarles y medir tensiones hasta de 1.360,77 Kg. con una precisión de +1 Kg.

Permite calentar por radiación la membrana de forma homogénea de 20 °C a 60 °C y regresar a temperatura ambiente en ciclos de 30 minutos; para la temperatura máxima de trabajo el ciclo se puede realizar en 25 minutos o 57 ciclos por día.

La humedad de banco se puede mantener en un rango de 20% a 80% y es posible realizar ciclos completos en 12,5 minutos.

Gráfico 3. Pérdida de pretensión del Patrón



Fuente: C.H. Hernández, 1997.

El banco permite llevar la membrana a las condiciones de trabajo y dentro de los rangos establecidos.

La membrana ensayada establece el patrón de la pérdida de pretensión debida al reacomodo de las fibras en el material, cuya pendiente nos permitirá extrapolar esta pérdida en un tiempo mayor y nos servirá para comparar la pérdida cuando se apliquen otras condiciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM G141-96. (2004). "Addressing Variability in Exposure testing on Nonmetallic Materials" Annual book of ASTM Standards, Vol. 14.04.
- D'Anniballe L. M. (2010) "Automatización de un Banco de ensayos de Tensio estructuras para realizar pruebas de temperatura y humedad". Trabajo Especial de grado para optar al Título de Ingeniero Electricista, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
- D'Anniballe, L. M.; Romero, J. (2010) "Automatización de un Banco de Ensayos para Tensio estructuras", en: *Modelos Computacionales en Ingeniería: Desarrollos Novedosos y Aplicaciones*, R. Chacon, F. León, Duarte, O. Verastegui (editores) 2010 SVMNI, Pág. EC78-EC84.
- Hernández, C.H. (1997) "Evolución de los estados tensionales en Cubiertas Textiles". Ejercicio de evaluación, Facultad de Arquitectura, Universidad Central de Venezuela.
- Hobaica, M. H. (1984) "Caracterisation des zones climatiques au Venezuela pour la conception thermique des batiments", Tesis, Centre Scientifique et Technique du Batiment. Paris.
- Luetich J.J. "Unidades de presión" www.luventicus.org/articulos/, consultado en agosto 2010.
- Pauletti R., M.O. (2008) "Static Analysis of Taut Structures" In: Eugenio Oñate ; Bernard Kröplin.(Orgs.). *Textile Composites and Inflatable Structures II*. 1 ed. Dordrecht: Springer-Verlag, 1, p. 117-139.
- Rosales, L. (2004) "Guía de Estudios, Tema 2 Clima", Departamento de Acondicionamiento Ambiental, Escuela de Arquitectura, Universidad Central de Venezuela.