

- D.I. Fernando Sierra
- D.I. Ever Patiño Mazo

Objetos

a partir de la rigidización de estructuras de membrana¹

La búsqueda formal en el diseño involucra muchas variables. La presente investigación se basa en la experimentación con el material para buscar de una manera mas objetiva, morfologías que además de ser ricas estéticamente, puedan servir como base de una economía constructiva. Se fabricaron modelos de objetos a partir del estudio de las membranas tensadas, las cuales al generar doble curvatura dotan de estabilidad a la forma. Esos objetos elaborados en Lycra tensada con estructura metálica se rigidizaron y reforzaron con resina de poliéster y fibra de vidrio. Esta técnica siempre había sido una etapa intermedia para el cálculo y desarrollo de cubiertas tensadas, nunca el resultado final.



Introducción

son diversos los procesos productivos y conceptuales para encaminar el problema de diseño. El actual proyecto justifica métodos experimentales de formalización y fabricación de objetos, los cuales podrán ser tomados como base para un proyecto de diseño contemporáneo en donde la forma encuentra su equilibrio por acción de las fuerzas y la "intuición" actuando sobre ella.

En el estudio de estructuras de membranas se parte, en ausencia de un software especializado, del estudio de un modelo en Lycra tensada (o tejido elástico) que ha sido rigidizada, el cual servirá para el análisis morfológico y la toma de medidas y superficies.

En la formalización, el proyectista ha podido jugar con un sin número de posibilidades morfológicas que deben su estética, a las propiedades de la tela elástica que

¹- Ponencia presentada en el II Simposio Latinoamericano de Tenso Estructuras. Caracas, Venezuela. Mayo, 2005.

responde frente a diferentes apoyos o presiones de una manera orgánica y sinuosa, la membrana en una disposición como éstas logra organizarse de tal modo, que el volumen que en definitiva pueda encerrar, esté cubierto con la mínima superficie.

La técnica de rigidización de ese modelo a escala es una parte del proceso irremplazable en el diseño de la cubierta. El método enunciado a continuación puede ser el fin mismo, el resultado y producto del proyecto, o llegado el caso puede entrar a sustituir variables dentro de una metodología convencional de diseño.

El modelo

El proceso intermedio de rigidizar por medio de resinas (o cualquier sustancia rigidizante como yeso, acronal) el modelo a escala del proyecto, es común en el desarrollo de una cubierta tensada. En este modelo construido con algún tipo de tela elástica, o lycrada, la forma aparece por sí sola, al tensar el material las curvas se ubican donde son necesarias, estabilizando el sistema; calcular este tipo de curvas, puede ser un proceso muy complejo. Por tanto tomar la información directamente del modelo es la mejor forma de estudiarlas. "Aquí se trata de conocer exactamente la forma en longitudes, anchuras y alturas; en coordenadas, ángulos, curvaturas o curvas de nivel; en desarrollos y cortes. Es esencial en el cálculo estático y cantidad de materiales" (Biónica y Diseño, en proceso de edición).

Con estas medidas tomadas del modelo se traza la moldería para la cubierta en escala real, que va a ser fabricada esta vez con telas plásticas de elasticidad poco considerable.

La propuesta de la investigación es convertir esta fase intermedia del modelo rigidizado en un resultado, en un proceso de formalización y manufactura de objetos.

Los mismos esquemas o clasificaciones de estructuras de membrana que se estudian en el diseño de cubiertas, se pueden utilizar para el desarrollo de objetos. La traducción en este caso sería en el factor de escala y de tipología del producto. Al ser la clasificación tipológica un factor tan amplio, los esquemas podrán crecer o decrecer, o simplemente mutar según el caso específico de diseño.

Se le puede dar infinidad de formas al tejido elástico al tensarlo, montarlo en perfiles con formas predeterminadas, modificarlo con apoyos puntuales o lineales, introducirle dispositivos inflables o simplemente

Clasificación básica estructuras de membrana para objetos

Tabla 1

	MEMBRANA ABIERTA	MEMBRANA CERRADA
MEMBRANA ABIERTA		
MEMBRANA CERRADA		

dejarlo colgar de forma que la gravedad lo moldee. "Las fuerzas son el origen funcional de las formas" (Alexander, Christopher, 1976) por tanto ayudarán de manera activa al diseño del sistema.

Si en la proyectación de la forma se eligen geometrías en donde se privilegien ciertos esfuerzos y en donde la misma estructura siga las trayectorias de las cargas, se podría hablar de una membrana que está participando activamente del sistema estructural. Esta elección puede ser no tan complicada si se toma en cuenta la aseveración de Horst Berger al decir que el único componente del alfabeto de las estructuras de membrana es el paraboloides hiperbólico, superficie compuesta de dos arcos parabólicos perpendiculares entre sí, ambos polígonos funiculares, en donde la transmisión de las fuerzas es realmente eficiente.

Si estas formas se fijan por medio de la acción de la resina, de manera que puedan retirarse los elementos conformadores (tensores, dispositivos inflables, apoyos) se obtienen cascarones livianos de formas complejas que no requieren moldes y que luego pueden reforzarse con sucesivas capas de resina y fibra de vidrio.

Este sistema de generación de formas lo consideramos particularmente apto para la creación de objetos a escala doméstica, para lo cual se trabajó en varios prototipos.

Metodología

Caracterización del material

Primero se hicieron pruebas de mojabilidad entre la resina y las telas elásticas, obteniéndose los mejores resultados con telas de Nylon puro y lycras poliéster (single nit de microfibras, pol - lycra 14%). Pero finalmente se escogió la lycra, pues el Nylon tiene una elasticidad limitada.

Los nombres comerciales de las telas evaluadas son:

- Cretona. Tejido plano algodón 100%
- Lycra. Single nit de microfibras, poliéster - lycra 14%
- Lycra. Filamento, poliéster - lycra 7%
- Lycra Algodón. Fibra corta de algodón, poliéster - lycra 7%
- Fornax. Terry de filamento, poliéster 100%
- Super Astor. Piqué de filamento, poliéster 100%
- Champion 9. Doble punto trilobal, poliéster 100%
- Nylon trilobal. Tejido punto trilobal, Nylon 100%

Aunque en ninguno de los casos anteriores se obtuvo un grado de mojabilidad tal que permitiera considerar a la combinación de resina y lycra como un nuevo material compuesto, sí podía percibirse una notable diferencia en la forma como ciertos tejidos recibían la resina, sobre todo entre tejidos naturales y sintéticos.

Características	Valor	Método Andercol No.
Apariencia	Rosada turbia	IT-1.01
Valor ácido	32 Máximo	IT-1.14
Viscosidad Brookfield (eps), 25°C		IT-1.06
(Aguja 2,20 R.P.M., 5 minutos)	1100 - 1300	
(Aguja 2,20 r.p.m., 10 minutos)	490 - 710	
(Aguja 2,2 r.p.m., 5 minutos)	1010 - 1290	
% Sólidos	58 - 62	IT-1.11
Tiempo de gel (minutos), 25°C*	9-12	IT-3.04
Reactividad:		IT-3.04
Temperatura de exotermia (°C)	145-165	
Tiempo de exotermia (minutos)	20-26	
Molienda	5 mínimo	IT-1.04
* Tiempo de gel: 100 gramos de CRISTALÁN 809 1ml de MEK - peróxido		

Información técnica
Resina Cristalán 809

Tabla 2

Los tejidos naturales producían cierto rechazo a la resina, dando acabados rugosos y poco atractivos, mientras que los tejidos sintéticos (sobre todo los mencionados al principio) daban buena impregnación y acabados lisos.

Resistencia Mecánica

Como se dijo antes no hubo integración entre la resina y la tela como para poder hablar de resina reforzada por la tela, sin embargo se construyeron probetas y se les sometió a pruebas de resistencia a la flexión, obteniéndose los resultados esperados: la resina con lycra tiene el mismo comportamiento mecánico que la resina sola. En la tabla 2 se relaciona la información técnica y el comportamiento mecánico de la resina empleada.

Esto no se considera para nada un resultado desalentador, pues se buscaba principalmente que la tela elástica sirviese como elemento conformador del modelo, y no necesariamente como refuerzo, por lo mismo se planteó desde el principio reforzar los modelos con fibra de vidrio en el interior.

El objetivo del proyecto ha sido desde un principio proponer un sistema con el que se pueda generar objetos de plásticos reforzados con fibra de vidrio, dentro de cierto lenguaje formal condicionado por la técnica empleada, casi sin necesidad de molde. Lo cual ya supone de por sí un ahorro bastante grande en cuanto a costos de fabricación.

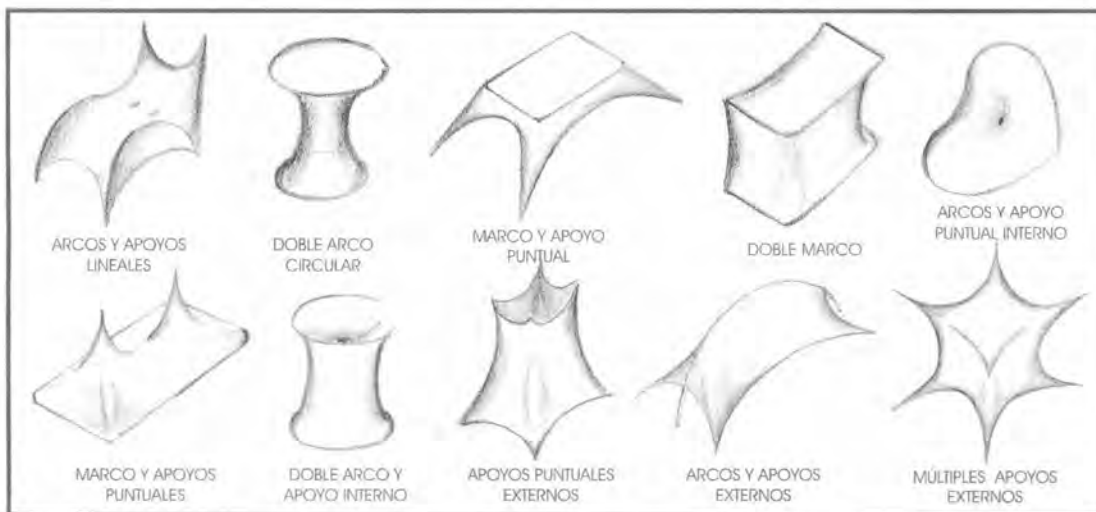
Estudio del lenguaje formal

Desde el estudio de las membranas tensadas y las construcciones neumáticas se sabe que la manera de generar formas estables en membranas es dotándolas de doble curvatura. Cuando una membrana debe su forma a la tracción externa, ésta suele tener curvatura anticlástica, y cuando debe su forma a presiones contenidas en su interior ésta es de curvatura sinclástica. Para decirlo en un lenguaje más coloquial: Si es tensada desde el exterior tomará formas similares a la de una silla de montar, y si es conformada por algo que se infla en su interior tomará formas esferoides. Se estudiaron múltiples posibilidades formales que resultaron de la búsqueda y de la combinación de las estructuras abiertas y cerradas y de los tipos de apoyo. Al ser el fin de la búsqueda un objeto de escala manipulable, muchas veces se emplearon apoyos lineales complejos, como perfiles de curvas cerradas. En la figura 2 se ven algunos ejemplos de formas logradas en experimentos con los estudiantes.

Curvatura anticlástica y sinclástica
Fig. 1



Algunas posibilidades formales
Fig. 2



Resultado

Habiendo estudiado las posibilidades formales de la técnica se procedió a elaborar diversas propuestas por parte de los profesores que lideraron el proyecto y de los estudiantes a cargo.

Finalmente se eligió una silla para ser construida, de la que mostramos su proceso constructivo en las figuras 4, 5, 6, 7 y 8.

La presente técnica es, hasta donde pudimos rastrear, una nueva forma de crear objetos de fibra de vidrio, o en otros tipos de resina reforzados con diferentes clases de fibras, sin necesidad de construir un molde rígido en el mismo material. Esto representa una innovación significativa, pues como ya se dijo antes, la elaboración del molde es una de las etapas más complejas y costosas del proceso de fabricación de un objeto en fibra de vidrio.



Modelos de las sillas

Fig. 3

Montaje de la tela sobre dos perfiles metálicos

Fig. 4



Fig. 5

Tensión de la tela y los marcos



Ubicación de dos soportes intermedios puntuales

Fig. 6



Fig. 7

Aplicación de la Resina de Poliéster para rigidizar la tela



Se ha observado que las formas de doble curvatura negativa se prestan para el tipo de contornos que tiene el casco de una embarcación. Sería otro proyecto estudiar las posibilidades de aplicación de esta técnica al diseño naval, sobre todo a embarcaciones pequeñas.

Búsqueda Objetiva de la Forma

Después de elaborar los modelos y analizar las posibilidades formales de las estructuras tensadas en el proyecto de diseño de objetos, se constata que el método de búsqueda objetiva de la forma desarrollado por Frei Otto para el diseño arquitectónico, es igual de práctico a menor escala; su utilización como un medio de experimentación morfológica, lleva al proyectista a encontrar la forma en la construcción tridimensional.

El diseño en este método estaría en hacer el dibujo del boceto en paralelo a la construcción del modelo, el dibujo del boceto en el papel sería reemplazado por la construcción del modelo, en donde no sólo juegan la intuición y la intención del diseñador, sino las fuerzas que interactúan en la tela, en los soportes, y en general en todo el sistema estructural.

Aplicación del "Gel Coat" en el exterior y el refuerzo de fibra de vidrio en el interior

Fig. 8



“El proyectista se puede dejar guiar por su intuición e imaginación, sin estar atado a muchas de las cuestiones prácticas, físicas o analíticas, pero conociendo la lógica mecánica y las formas y posibilidades que de ello se derivan, o sea dominando la manipulación de formas estructurales genuinas. Este saber le permitirá mirar mas allá de los límites de las múltiples construcciones ya probadas y derivar nuevas formas no convencionales.” (Engel, Heino, 2001)

La síntesis creativa estaría dada como una experiencia vivida, manipulable, transformable, en donde las posibilidades del material y de la forma estarán descubriéndose directamente.

No significa, que la búsqueda deba terminar allí; el proceso propuesto anteriormente a la exploración con la tela y la estructura era en gran medida la culminación del proyecto. Pero si continuamos realizando la analogía con el proyecto arquitectónico, la forma encontrada, el modelo, podría llevarse a la escala real por diversos procesos de manufactura que variarían según la funcionalidad del objeto. “Cada decisión formal o constructiva implica unas posibilidades de producción y de montaje” (Hennicke, Jürgen) ; si estamos hablando de un mueble, se podría realizar una traducción a un proceso de tapicería, o simplificar y sintetizar la forma en la búsqueda de otros procesos.

Conclusiones

- Las telas elásticas son una poderosa herramienta para producir objetos en plásticos reforzados con fibras, dentro de cierto lenguaje formal. Es decir, los tipos de forma que pueden producirse por este sistema son limitados, si bien lo contrario también es cierto: producir este tipo de formas por el método tradicional de moldes también sería bastante difícil y a veces hasta imposible.
- Las telas elásticas impregnadas en resina no son un nuevo material compuesto. La lycra no aporta estructuralmente como refuerzo a la resina, sólo permite mantener una forma rígida mientras se aplica un verdadero refuerzo. Sin embargo objetos que no necesiten ser manipulados podrían funcionar solo con Lycra y resina.

- + Si se hicieran procesos de patronaje como los empleados en la construcción de una carpa que permitieran cortar y coser piezas en tela de fibra de vidrio para obtener el tipo de formas que se obtendrían con lycra tensada, podría eliminarse la lycra del proceso y tensar directamente la tela de fibra de vidrio, carbono, etc. Pero probablemente esto complejizaría el proceso hasta volverlo no práctico.
- + Dado que existen softwares especiales para calcular los esfuerzos a los que está sometida una membrana en tensión, estos mismos programas podrían emplearse para analizar esfuerzos de tracción generados en el interior de los objetos.
- + Las membranas tensadas desde la periferia producen curvatura anticlástica y las que son sometidas a presiones desde el interior producen curvatura sinclástica. Se ha observado cierta similitud entre el tipo de formas producidas por este sistema y las formas aero o hidro dinámicas, lo que da indicios de la posibilidad de diseñar, por ejemplo, embarcaciones pequeñas en esta técnica.
- + El tamaño de los objetos que pueden producirse tiene un límite que depende del punto en el que el peso de la resina aplicada que aún no se ha curado comienza a deformar la tela. Este límite aún no se ha calculado, pues depende del tipo de tela y del tipo de resina empleada. También podría incluirse dicha deformación en el diseño, como lo que hace el Ingeniero Heinz Isler. Esto podría ser ventajoso, pues el tipo de arcos que genera la gravedad en telas que cuelgan por sus extremos, resulta ser el más eficiente de todos cuando se le hace trabajar a compresión.
- + El método de búsqueda objetiva de la forma puede ser una herramienta muy útil para el diseño de objetos, estudiando posteriormente un proceso de manufactura para llevar a cabo la forma encontrada en escala real.

Agradecimientos

El presente trabajo contó con la participación de estudiantes en el diseño y fabricación de los modelos y prototipos: Carolina Londoño, Verónica Londoño,

Liliana Hincapié, Verónica Salazar, Natalia Gil, Juan Fernando González, Carlos Zuluaga, Clara Castro, Javier Cardona, Juan Carlos Cano, Clara Vanegas, Laydi Ruiz, Tomás Pérez, Ana Cristina Alzate, Ana María Rodríguez, José Arango, Juliana Betancour, Paola Ortiz, Carolina Mejía.

La empresa privada colaboró con la donación y manejo de la materia prima:

PRODUTEX S.A. Donación de telas elásticas

PUBLIFIBRAS S.A. (Ing. Andrés Valencia) Manejo y donación de fibra de vidrio

COMPAÑÍA DE EMPAQUES S.A. Donación de fique para experimentos con fibras naturales.

También se contó con la colaboración y asesoría permanente de Piedad Gañán y Jorge Saldarriaga del Grupo de Investigación en Nuevos Materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana.

ALEXANDER, Christopher (1976) "Ensayo sobre la síntesis de la forma". Ediciones Infinito, Argentina.

ENGEL, Heino (2001) "Sistemas de Estructuras". Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona.

HENNICKE, Jürgen W. "Ligero y Amplio". Aspectos sobre el diseño construcción de amplias estructuras ligeras. En: Temas de Disseny. Servei de Publicacions. Milán.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN BIÓNICA U.P.B. Biónica & Diseño: De estrategia Natural a Innovación. "Manual de Biónica". (En Proceso)

OTTO, Frei. IL 35 Pneu und Knochen | Pneu and Bone Karl Krämer Verlag; 1995

HERZOG, Thomas. Construcciones Neumaticas. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1977.

SALVADORI, Mario. HELLER, Robert. Estructuras para Arquitectos. Kliczkowski Publisher. Buenos Aires. 1998.