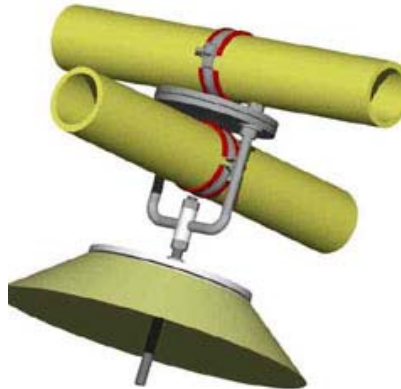




ETSAB

ETSAV



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA - ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA -
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DEL VALLE - DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
ARQUITECTÓNICAS 1

**DISEÑO DE ESTRUCTURA TRANSFORMABLE POR DEFORMACIÓN DE UNA
MALLA PLANA EN SU APLICACIÓN A UN REFUGIO DE RÁPIDO MONTAJE**

Tutor: Dr. José Ignacio Llorens
Co-tutor: Dr. Ramón Sastre Sastre

Autor: Arq. Nelson Rodríguez

BCN Diciembre 2005

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo es fruto de muchos encuentros, desencuentros y discusiones con personas que contribuyeron lograr el objetivo y a las cuales debo dar mis más sinceros agradecimientos:

A la Universidad Central de Venezuela y el CDCH, por otorgarme la beca que hizo posible la realización de este trabajo, a mis compañeros del Instituto de Desarrollo de la Construcción IDEC de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, en especial a sus directores Alberto, Milena y Carlos, por la confianza

A los profesores del Departamento de Construcción Arquitectónicas I, Alrun Jimeno, Jauma Avellaneda, Fernando Ramos y especialmente al tutor prof. José Llorens, por su constante oposición crítica y al co-tutor prof. Ramón Sastre por su interés y apoyo.

Al Dr. Dieter Strobel de Technet, por el apoyo incondicional, colaboración, asesoramiento y soporte técnico

Al Dr. Jürgen Hennicke del Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart, por sus aportes y conversaciones sobre construcción ligera

A Carlos Hernández y Anna M. Floreani, por su sabiduría, enseñanzas, amistad y paciencia

A Lunia, por su apoyo solidario

A Ángel Moros por sus oportunos consejos en los momentos críticos

A mis compañeros de doctorado y amigos de la “red” que dejo en España, Diana, Suyapa, Luis Felipe, Brenda, Leiris, Pili, Wladi y Gabriele cuyo fervor, comprensión, disposición y ayuda secundaron este trabajo

A Eric Rosenthal, por los momentos irrepetibles y por lo que significas en mi vida

A mi familia, Nelson, Morella, Nakary y Karyna por su comprensión en la distancia

A mis sobrinos, Alanny, Magglio y Valery, cuyos recuerdos y fotos enviadas siempre alegraban los momentos críticos.

A la fuerza divina, por la oportunidad

A todos, gracias...

INDICE

Contenido	pag.
Portada	
Índice	1
Resumen	5
Introducción a la investigación	10
Capitulo I Estado del conocimiento	
Resumen y contenido del capítulo	13
Introducción al capítulo:	
<i>La insoportable levedad de ser "light"</i>	14
1.- Antecedentes y fundamentos técnicos	16
1.1Arquitectura ligera y movilidad. Reseña de casos	16
Ser "light", el salto a la movilidad estructural	20
El último nómada, el refugio	28
Refugios Comerciales	35
Refugios, prototipos experimentales y proyectos especiales	36
Principales características de la tienda iglú	38
Características estructurales de las tiendas o carpas	41
1.2.- Construcciones eficientes, las mallas deformadas	43
1.3.- Fundamentos técnicos de las mallas deformadas y su aproximación a las estructuras transformables	49
Métodos de diseño y obtención de la forma	50
1.4.-Clasificación de las estructuras móviles y su relación con las mallas pre-flectadas	55
Estructuras de barras articuladas	58
Estructuras por el movimiento de una superficie	59
Estructuras pre-flectadas	59
1.5.- Ámbito general de la Investigación	62
Planteamiento del problema	62
Objetivo General, específico y metodología de la investigación	63
1.6.- Estudios iniciales, ensayos previos y análisis comparativo de prototipos experimentales	
Modelo de barras de acero	65
Modelo de barras de listones de madera	66
Modelo de barras de perfiles huecos de poliéster con fibra de vidrio	67

1.7.-Estudio comparativo entre una malla de borde abierto y una malla de borde cerrado. Geometrías y características constructivas	68
Cúpula de Borde Abierto	69
Cúpula de Borde Cerrado	75
Comparativa del estudio geométrico-constructivo	79
Referencias bibliográficas al final de capítulo	82
Índice de figuras, cuadros, tablas y gráficos	82

Capítulo 2 Desarrollo técnico experimental

Resumen y contenido del capítulo	84
Introducción al capítulo	
<i>El cálculo de mis tormentos</i>	86
2.1. La presencia del material: plásticos como material de construcción	87
Propiedades Mecánicas	89
Ensayo experimental de comprobación del límite de rotura del material	91
2.2 Definición geométrica	
Form-finding (búsqueda de la forma)	95
2.3 Simulación por modelo físico	96
Obtención de la Forma de la membrana pretensada y su unión con la estructura pre-flectada	100
2.4 Simulación por computadora	102
Procedimiento General para la obtención de la forma	103
Construcción del modelo	103
Proceso de obtención de la forma de la malla por curvas de flexión	107
Estudio del efecto de la rigidización de la estructura en la geometría	113
Comparación de las coordenadas obtenidas por el modelo físico y las obtenidas por el modelo informático	113
Estudio de la transformabilidad de la malla para volver a su posición horizontal	114
Estudio de las reacciones en las bases	115
Comprobación de la reacción = 0	116
Obtención de la forma de la membrana rigidizadora	117
Estudio de la pretensión de la membrana	118
Unión de la membrana pretensada con la malla de barras pre-flectadas	121
Estudio del efecto de la pretensión sobre la forma de la malla rígida pre-flectada	122
Comparación de los esfuerzos de la pre-flexión iniciales con los Esfuerzos de preflexión iniciales + esfuerzos de pretensión finales	123
Estudio de la pre-tensión + pre-flexión	124
Estudio de las reacciones de preflexión + pretensión en los nudos de las bases	125
Estudio de los esfuerzos durante el proceso de erección y comprobación de la Tensión de las barras	125
2.5 Comprobación de la tensión inicial de la malla	127
Cálculo de la tensión de la barras por pre-flexión durante el	

proceso de erección	129
Cálculo de la tensión de las barras por pre-flexión + pre-tensión	135
Comprobación del pandeo	140
2.6 Estudio de la influencia de la sección de la barra en la pre-flexión inicial y la geometría final en la tensión de las barras críticas	141
2.7 Comprobación de la obtención de la forma, prueba de la capacidad de flexión de la barra	146
Comprobación de los cálculos y mediciones experimentales	148
2.8 Simulación del comportamiento estructural ante cargas externas:	
Análisis Estático	149
Condiciones para el cálculo	150
Matrices de Rigidez y Esfuerzos	150
Procedimiento de Cálculo	151
2.9 Comportamiento de la estructura ante cargas externas de viento	153
Hipótesis N° 1 de viento a 90° con laterales cerrados	154
Deflexión de la malla	155
Comprobación de la tensión de la barra crítica bajo una carga externa de viento a 90° obtenida por ensayo de túnel de viento	163
Hipótesis N° 2 Carga de viento a 45° con laterales cerrados	165
Deflexión de la malla	165
Comprobación de la tensión de la barra crítica bajo una carga externa de viento a 45° obtenida por ensayo de túnel de viento	172
2.10 Comportamiento de la estructura ante cargas externas de nieve	174
Comprobación de la tensión de las barras críticas bajo una carga externa vertical de nieve	180
Índice de figuras, cuadros, tablas y gráficos al final del capítulo	184
Capítulo 3 Desarrollo constructivo: prototipo y aplicaciones	
Resumen y contenido del capítulo	189
Introducción al capítulo <i>ser eréctil</i>	190
3.1.- Detalles Constructivos	192
Tipología de nudos en mallas deformadas	193
3.2.- Catálogo de fabricación de los componentes, detalles y piezas del prototipo "SUDAKA TENT"	194
Índice de codificación de componentes, detalles y piezas para la fabricación del prototipo	197
Catálogo de componentes, detalles y piezas	201
3.3.- Armado de piezas, ensamblaje de la malla del prototipo "SUDAKA TENT"	223
3.4.- Proceso de erección y montaje de la malla prototipo "SUDAKA TENT"	228
Primer método ensayado	229
Segundo método ensayado	231
Tercer proceso de montaje con segundo método de montaje	237

Proceso de montaje de la membrana	241
3.5.- Evaluación del prototipo	243
Análisis de los resultados obtenidos en la evaluación	243
Recomendaciones para la optimización del sistema	250
3.7 Catálogo re-diseño de detalles y piezas	253
Catálogo de la membrana textil	265
3.8.- Aplicaciones sugeridas	274
Módulo Básico	275
Módulo Básico con accesorios de alero	279
Módulo Básico con accesorios de ampliación	281
Módulo Básico con accesorios de crecimiento	283
Combinación de crecimiento de cuatro módulos en dos sentidos	285
Referencias bibliográficas al final de capítulo	287
Índice de figuras, cuadros, tablas y gráficos	288
Conclusiones y recomendaciones	289
Bibliografía (incluido en CD-ROM)	297
Apéndices	
Apéndice-A. Construcción del modelo informático	
Apéndice-B. Procedimiento de transformación de la malla a estructura	
Apéndice-C. Tabla de Coordenadas finales obtenidas en el proceso de obtención de la forma y coordenadas bajo carga externa de viento a 90°	
Apéndice-D. Procedimiento de búsqueda de la forma de la membrana	
Apéndice-E. Coeficientes teóricos	
Apéndice-F. Coeficientes ensayo túnel de viento	
Apéndice-G: Esfuerzos en las barras pre-flectadas y membrana con carga externa de viento a 90°. Hipótesis N° 1	
Apéndice-H: Acciones sobre la estructura bajo carga externa de viento a 90°	
Apéndice-I: Esfuerzos en las barras pre-flectadas y membrana con carga externa de viento a 45°. Hipótesis N° 2	
Apéndice-J: Acciones sobre la estructura bajo carga externa de viento a 45°.	
Apéndice-K: Acciones sobre la estructura bajo carga externa de Nieve	
Apéndice-L: Esfuerzos en las barras pre-flectadas y membrana con carga externa de Nieve.	
Apéndice-M: Cálculo de pretensión de la membrana y proceso de patronaje	
Anexos	
Anexo N° 1. Glosario	
Anexo N° 2. Plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRFV)	
Anexo N° 3. Método de la densidad de la fuerza y análisis estructural para una carga externa	
Anexo N° 4. La membrana textil	
Anexo N° 6: Resultados del cálculo, esfuerzos de nieve $q=0.35$ KN	
Videos	
Video N° 1: Proceso de erección modelo físico	
Video N° 2: Proceso de erección Prototipo con andamio	
Proceso de erección Prototipo con grúa	
Montaje de la membrana	
Video N° 3: Resultado final	

Resumen:

Este trabajo estudia los sistemas no convencionales de tecnologías arquitectónicas ubicándose dentro de las estructuras de rápido montaje utilizando como método de generación de la forma las curvas de flexión. El estudio comprende la demostración técnica y viabilidad constructiva de conseguir formas tridimensionales en equilibrio, ligeras, y móviles a través de este método.

Esta investigación plantea problemas asociados al comportamiento estructural de las mallas de barras pre-flectadas arriostradas con membranas textiles. La generación de la forma, procesos de diseño, métodos de montajes, detalles constructivos y aplicaciones arquitectónicas de estas cubiertas son parte de este trabajo.

La investigación abarca actividades teóricas, descriptivas y bibliográficas, referidas al estado del arte de las cubiertas ligeras de mallas pre-flectadas, siendo necesario visitas técnicas a edificaciones, encuentros con especialistas del área, entre otras. Se hace especial énfasis en las actividades experimentales, centrándose en demostrar la potencialidad técnica de la propuesta a través de la realización de modelos físicos y digitales, con el uso de programas de cálculo estructural de segundo orden (Easy-Technet).

Para la comprobación de la hipótesis, planteada en este trabajo. Se realizó la construcción de un prototipo a escala natural incluyó el diseño de piezas y detalles constructivos. Este prototipo fue financiado por el Centro de Desarrollo de Cooperación para el Desarrollo CCD-UPC (España) y el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico CDCH-UCV (Venezuela), cuyo resultado se evaluó de acuerdo al funcionamiento estructural y geométrico.

Esta investigación tiene una orientación eminentemente tecnológica y contribuye a enriquecer los conocimientos existentes sobre los métodos de transformación de mallas deformadas con componentes pre-flectados, que hasta ahora son los menos estudiados.

Palabras clave:

Arquitectura ligera
Mallas pre-flectadas
Estructuras transformables
Estructuras de rápido montaje y móviles
Superficies sinclásticas y anticlásticas
curvas de flexión.

ABSTRACT:

In this document, present it the results obtained in the doctoral thesis research, made in the department of Arquitectural Constructors in the School of Architecture in Barcelona (UPC) Spain, under the tutorship of Dr. José Llorens and Dr. Ramón Sastre as co-author, collaborating also with Dr. Jurgen Hennickly of the Institute of Light Structures of the Stuggart University, and with Dr. Dieter Strobel from the Technet Company in Stuttgart.

A concise description of the potentialities of the light structures of rapid assembly utilised as a constructive method in the bending of a flat wire-netting to obtain a geometric balanced form with a textile membrane hanging prestressed. The emphasis will be made in search of a process of form, assembly and the structural behaviour in the presence of faced-external weights which permits defining it as a pliable structure.

When flat the grill is a mechanism with measures of liberty. The articulate knot causes friction among its components, the bar moves parallel with another causing in all the squares a robic shape and the net has the behaviour of a parallelogram. This movement causes changes in the length of the diagonal between the knots where two of them move of the net and the angle changes between the Bars indicate that the initial general form was altered conforming the double curvature.

The method in obtaining the form by the bending curves part, if and when, the net is curved, act over its charge of the equal magnitude and the same sense, in which the net may be uniformly shared in all the bars that the forms deforming almost the entire net homogeneously, thus generating the dome supported in four points with perimetral arcs on its borders. In this sense, the result of the form structure was proven.

The bending general behaviour of the net to the bending depends on the cross of the bar, the value of the modules elasticity and the rigidity of its nodes. The Bars transmit forces of compression and the traction of the membrane. With this experimental research has proved that this new experimental typology substitutes weight by force, naming it **PREBENDING STRUCTURES**. It reinforces the principle of the ant that to charge with more weight that of its proper weight the sustainable skeleton generates a structural efficiency.

Nelson Rodríguez
Barcelona 2006