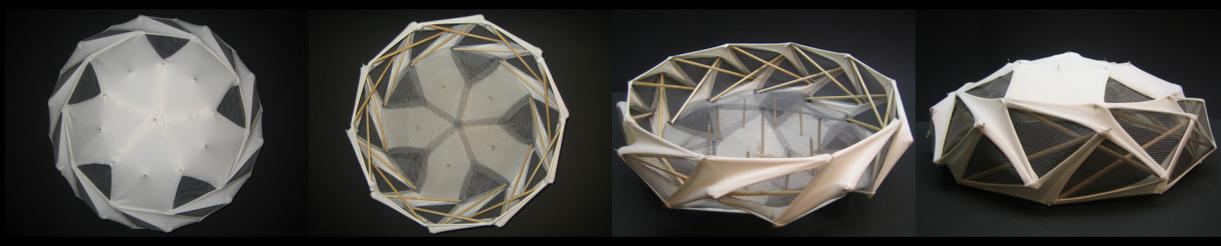


APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DEL **TENSEGRITY** A LAS CONSTRUCCIONES TEXTILES ATIRANTADAS

Fuller: “Islas pequeñas de compresión en un mar de tensión”

Universidad Politècnica de Catalunya
Doctorado: Construcción, Restauración
y Rehabilitación Arquitectónica
Doctorando: **Diana Maritza Peña**
Tutor: Dr. Josep Ignasi de Llorens
Codirector: Ramon Sastre





APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DEL **TENSEGRITY** A LAS CONSTRUCCIONES TEXTILES ATIRANTADAS

Tesis doctoral para obtener el título de doctor
otorgado por la **Universidad Politécnica de Cataluña**
al arquitecto **Diana Maritza Peña Villamil**
bajo la tutoría del Dr. Josep Ignasi de Llorens
y del Dr. Ramon Sastre



Doctorado en **Construcción, Restauración y Rehabilitación Arquitectónica**
Departamento de **Construcciones Arquitectónicas I**
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona
Barcelona, Febrero de **2012**

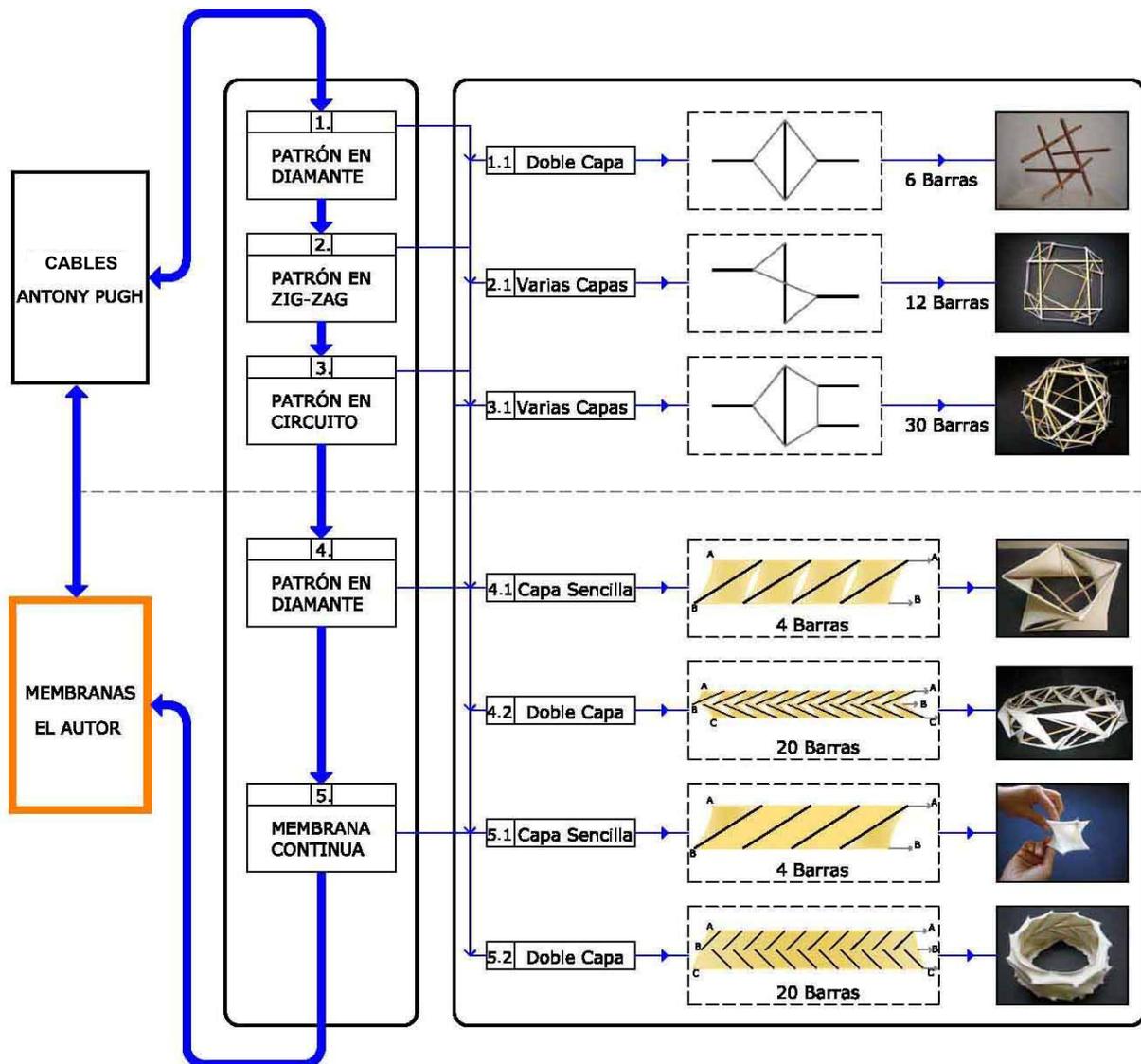
RESUMEN

El propósito de esta tesis es el estudio de la **aplicación de los principios del Tensegrity a las construcciones textiles atirantadas**. El estudio del concepto básico de la unidad Tensegrity, sus clasificaciones según investigadores anteriores (Anthony Pugh) y el aporte personal de nuevas generaciones de forma por medio de la geometría y programas informáticos, otra tipología y un método constructivo sencillo de realizar teniendo en cuenta aspectos tan importantes como la pretensión del sistema para buscar el equilibrio del mismo.

Palabras clave

Unidad Tensegrity
Obtención de la forma
Patrón en membrana continua
Patrón en diamante
Capa sencilla
Doble capa
Método constructivo
Pretensión

ESQUEMA



Esquema comparativo entre Anthony Pugh & la propuesta del autor.

CONCEPCIÓN Y MODELIZACIÓN DEL TENSEGRITY

En el desarrollo de esta tesis se proponen los siguientes modelos tensegrity obtenidos por medio de un **método intuitivo y experimental**. Comprobamos el importante poder de los modelos físicos de estudio en las estructuras espaciales.

Se construyeron casi 70 modelos a escala a partir del uso de barras, tendones y membranas en diferentes materiales. **Barras** en madera de balsa y plástico con diferentes secciones de diámetro y longitudes. **Tendones** en hilos y gomas de diferentes calidades y resistencias. **Membranas** en látex, malla plástica y lycra.

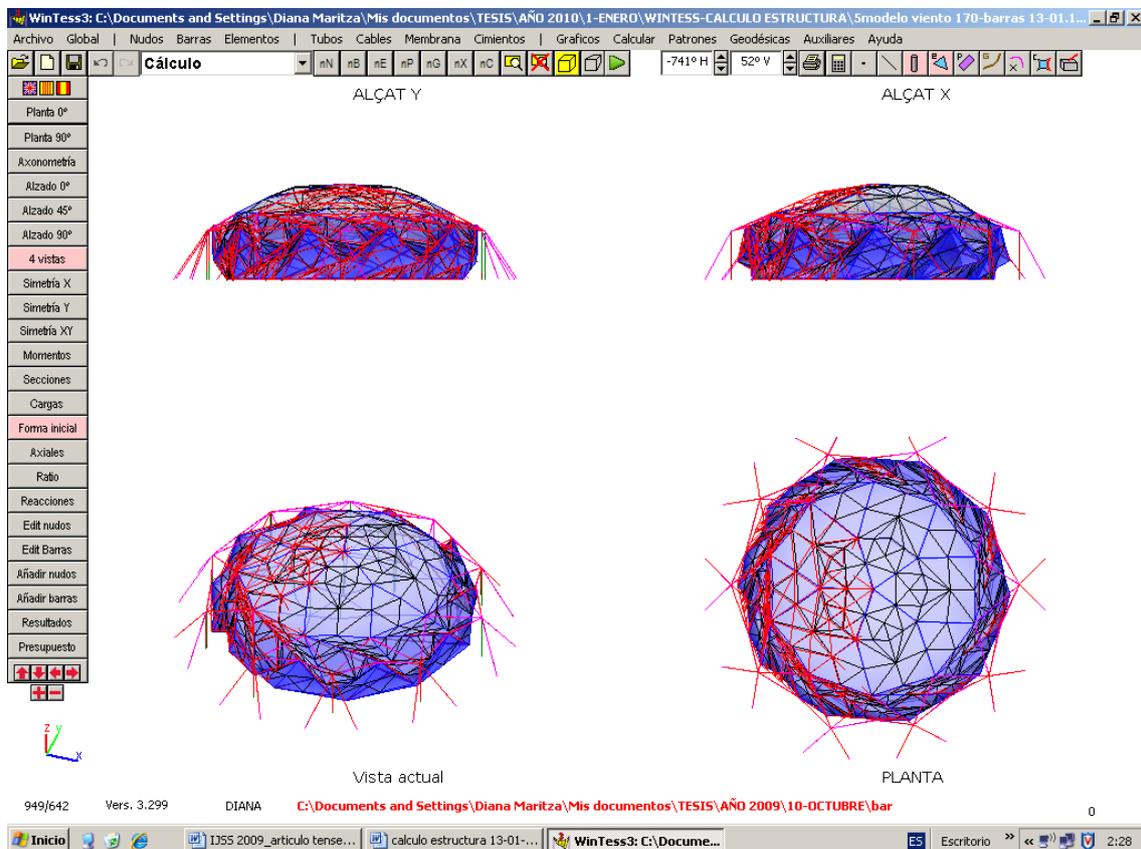
La obtención de la forma se generó a partir de la **geometría**, basada en los sólidos de Arquímedes y Platón (poliedros), dando como resultado nuevas formas que se clasifican y proponen para un uso arquitectónico.



ANÁLISIS INFORMÁTICO

Autocad y WinTess

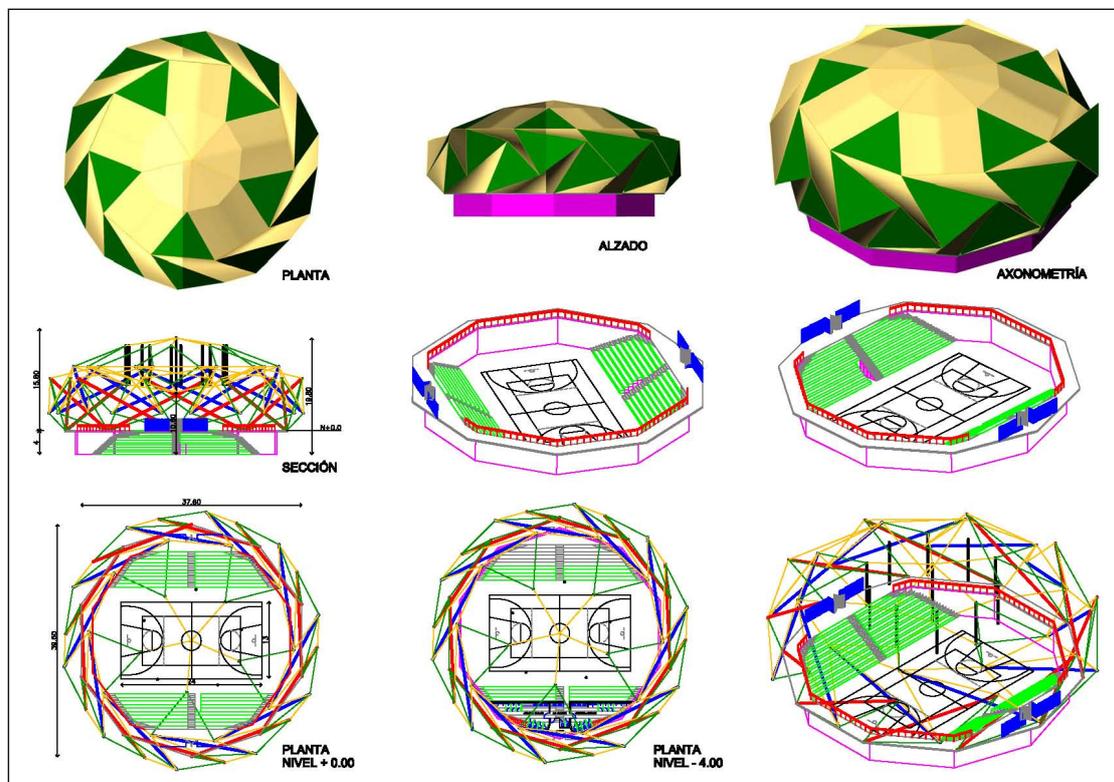
Para la comprobación estructural del modelo propuesto, se utilizan los programas informáticos: Autocad como herramienta de dibujo y **WinTess** como herramienta de cálculo (software desarrollado por Ramon Sastre). En el análisis estructural el modelo se prueba ante su propio peso, pretensado y ante cargas externas de viento y nieve y como resultado obtenemos el equilibrio de la estructura en tensegrity.



APLICACIÓN ARQUITECTÓNICA

Polideportivo

Como resultado final de la obtención de la forma, a partir de la geometría y el uso de programas informáticos como Autocad y WinTess, se propone un modelo en textiles atirantados con un sistema de anillo y domo en **tensegrity** cuya aplicación arquitectónica puede ser un polideportivo. Lo cual es el objetivo principal de estudio de esta tesis doctoral “la aplicación de los principios del tensegrity a las construcciones textiles atirantadas”.



CONTENIDO

Resumen.....	IV
Introducción.....	XIV
Planteamiento del problema.....	XVI
Objetivos.....	XVII
Metodología.....	XIX
Definición y Antecedentes Cap. 1.....	1
Definición de tensegrity 1.1.....	1
Antecedentes 1.2.....	3
Pioneros 1.2.1.....	3
Otros Investigadores 1.2.2.....	7
Tipología 1.3.....	13
Tensegrity abierto 1.3.1.....	13
Tensegrity cerrado 1.3.2.....	14
Cúpulas geodésicas 1.3.2.1.....	15
Cable dome 1.3.2.2.....	17
Conclusiones del capítulo 1.4.....	22
Referencias bibliográficas 1.5.....	23
Obtención de la Forma Cap.2.....	26
Geometría 2.1.....	27
Modelos Físicos 2.2.....	30
Tipología según Anthony Pugh 2.2.1.....	31
Patrones con tensores: Patrón en diamante A.....	31
Patrón en zig-zag B.....	34
Patrón en circuito C.....	35
Tipología propuesta 2.2.2.....	36
Patrón en diamante con membrana y barras en capa sencilla-Tipología 1.....	39

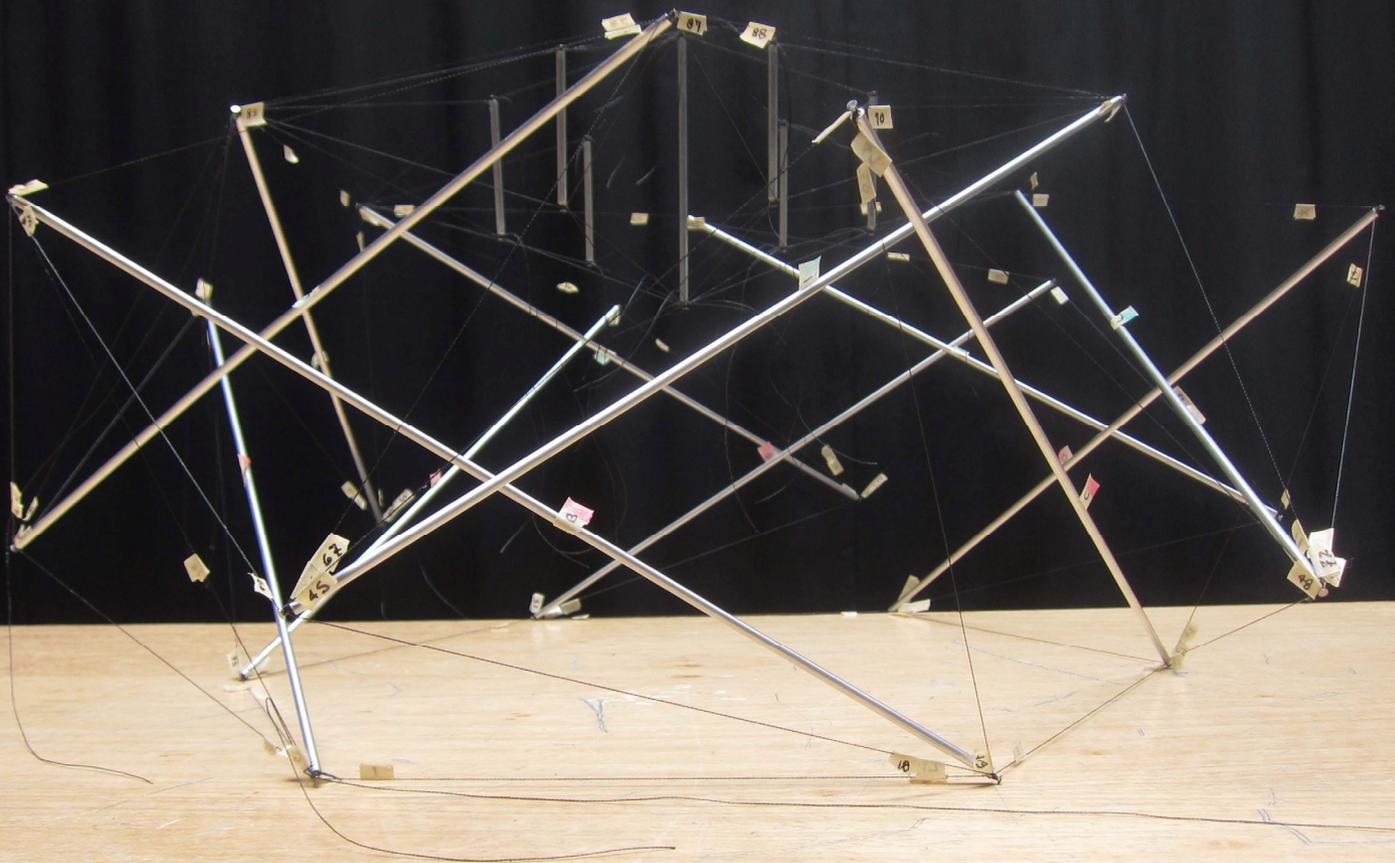
Patrón en membrana continua con barras en capa sencilla - Tipología 2.....	41
Patrón en membrana continua con 20 barras en doble capa - Tipología 3.....	43
Patrón en diamante con membrana y malla - Tipología 4.....	45
con 20 barras en doble capa.	
Modelos Informáticos 2.3.....	51
Autocad y Wintess 2.3.1.....	51
Conclusiones del capítulo 2.4.....	65
Referencias bibliográficas 2.5.....	66
Análisis Estructural Cap.3.....	68
Modelos Seleccionados 3.1.....	69
Parámetros de estudio 3.2.....	74
Definición de la estructura - Geometría 3.2.1.....	74
Nudos A.....	74
Barras B.....	74
Membrana C.....	89
Valores de las cargas. ¿Dónde están aplicadas? 3.2.2.....	91
Pretensión A.....	96
Peso propio B.....	100
Viento y nieve C.....	122
Resultados finales D.....	149
Conclusiones del capítulo 3.3.....	157
Referencias bibliográficas 3.4.....	160
Aplicación Arquitectónica Cap.4.....	162
Aplicación 4.1.....	164
Polideportivo 4.1.1.....	165
Dimensiones de pistas y salas deportivas 4.1.2.....	167

Planos de la propuesta 4.1.3.....	174
Conclusiones del capítulo 4.2.....	175
Referencias bibliográficas 4.3.....	176
Conclusiones Cap.5.....	178
Razón de ser de esta tesis 5.1.....	179
Conclusiones relevantes 5.2.....	181
Reflexiones personales 5.3.....	183
Investigación a futuro 5.4.....	184
Bibliografía.....	188
Anexo.....	200
Poliedros Anexo 1.....	201
Apéndices.....	214
Modelos - Apéndice A.....	215
Obtención de la forma por modelos físicos A.1.....	215
Obtención de la forma por modelos informáticos A.2.....	226
WinTess - Apéndice B.....	233
Túnel de viento - Apéndice C.....	254
Ventilador mecánico - Apéndice D.....	271

TENSEGRITY DOME

Prototipo TG3

dianamaritzap@yahoo.com



ILEK

LA IDEA

La idea principal es realizar un prototipo completamente en Tensegrity, formado por 12 barras que cierran el anillo, más 7 barras que conforman el domo central, el cual cubre el anillo en la parte superior y a su vez ambos cierran el espacio **tensegrity dome**.

El proyecto se puede resolver con diferentes materiales, la primera opción fue realizarlo en tubos de **vidrio** para ello se contacto a las empresas respectivas y al Institute IBK2 de la Universidad de Stuttgart, pero por los costos del proyecto se abortó esta idea. De igual forma sucedió con la idea de usar **acero inoxidable**.

También se tuvo la idea de realizar el prototipo en tubos de **fibra de vidrio**, y obtener el material de forma gratuita. Hubo éxito pero el problema en este caso era el tiempo de entrega del material.

Finalmente optamos por la **madera** como material para las barras del prototipo; bajaron las especificaciones técnicas y el precio general del proyecto. Los accesorios y cables usados son en acero.

PROTOTIPO FINAL

Características

Después de las diferentes opciones que se contemplaron para desarrollar el prototipo final como se explicó en el apartado de los preliminares, el desarrollo del proyecto dependió directamente del **presupuesto y financiación**, de los materiales y ayudas que se recibieron de las empresas contactadas y del Instituto ILEK directamente.

El costo final fue de **2000€**, es un buen precio contemplando que el primer presupuesto fue de 100.000€.

El peso final de la estructura es de **48 Kg.** para cubrir una área aproximada de **8 m²** en el diámetro menor y **16 m²** en el diámetro mayor y un volumen interior de **21.5 m³**

Detalles

Para construir el prototipo se utilizaron **12 barras en madera** tipo haya de 3 m de largo, 1 barra de 0.80 m y 6 barras de 0.60 m todas con un diámetro de 40 mm. También se aplicaron dos productos para su protección contra las bacterias, humedad y rayos solares (sellante y pintura). La cantidad de **cables** fue un total de 84 unidades, de los cuales 48 de 1.68 m, 24 de 1.14 m, 12 de 0.74 m y 6 de 0.98 m todos de 2 mm de diámetro.

Para ensamblar los **detalles** de los cables se usaron 150 carabinas, 150 argollas pequeñas y 6 grandes, 180 pasadores para los cables y 90 conectores extensibles.

El proceso y **resultado final** lo podemos observar en las siguientes fotografías.

Tiempos

El modelo está hecho totalmente a mano y la ejecución final de la **estructura tensegrity** la realizaron **2 personas** y se llevó a cabo aproximadamente en **una semana de trabajo**.

Para la preparación de las **barras** fue necesario **2 días** por el tiempo de secado de los líquidos de protección. Los **cables** se midieron, cortaron, ajustaron y completaron con los accesorios para poder conectarlos a las barras en **3 días**.

Para el **montaje del anillo** tensegrity fue necesario organizar las barras en el suelo en su posición final, hacer la conexión numerada y organizada de los cables a las barras, esto llevo **4 horas** de trabajo. Al estar todo listo y conectado se levantaron del suelo barras y cables con la ayuda de 4 personas (por la longitud de las barras). Para la conexión y **cierre del anillo** con las últimas barras, se tomó un tiempo de **30 minutos**.

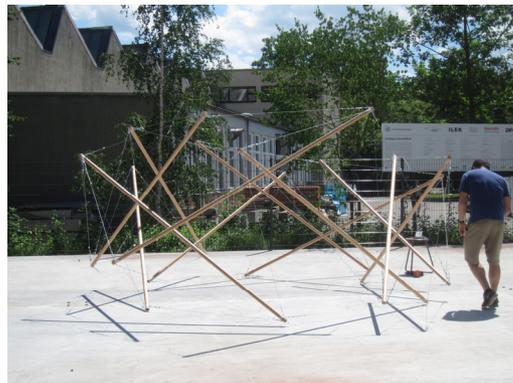
Para hacer el montaje del **domo** también se organizaron y conectaron las barras y cables siguiendo la numeración, el montaje final tomó **30 minutos**. La **revisión final** y ajuste de medidas en los cables conectores llevó un tiempo de una **3 horas**. Después de la revisión se observó que era importante rigidizar algunos nodos del domo y se **adicionaron 6 cables** diagonales que ayudaron a controlar los desplazamientos de los mástiles menores. Para hacer estos cables y conectarlos fue necesario **2 horas** más de trabajo. Se diseñaron **3 patrones** básicos de la estructura, su corte y confección se llevó a cabo en **tres días** seguidos de trabajo.

Se contabilizó el **desmontaje** de la estructura, el cual tardó **una hora** de trabajo; primero el domo y por último el anillo.

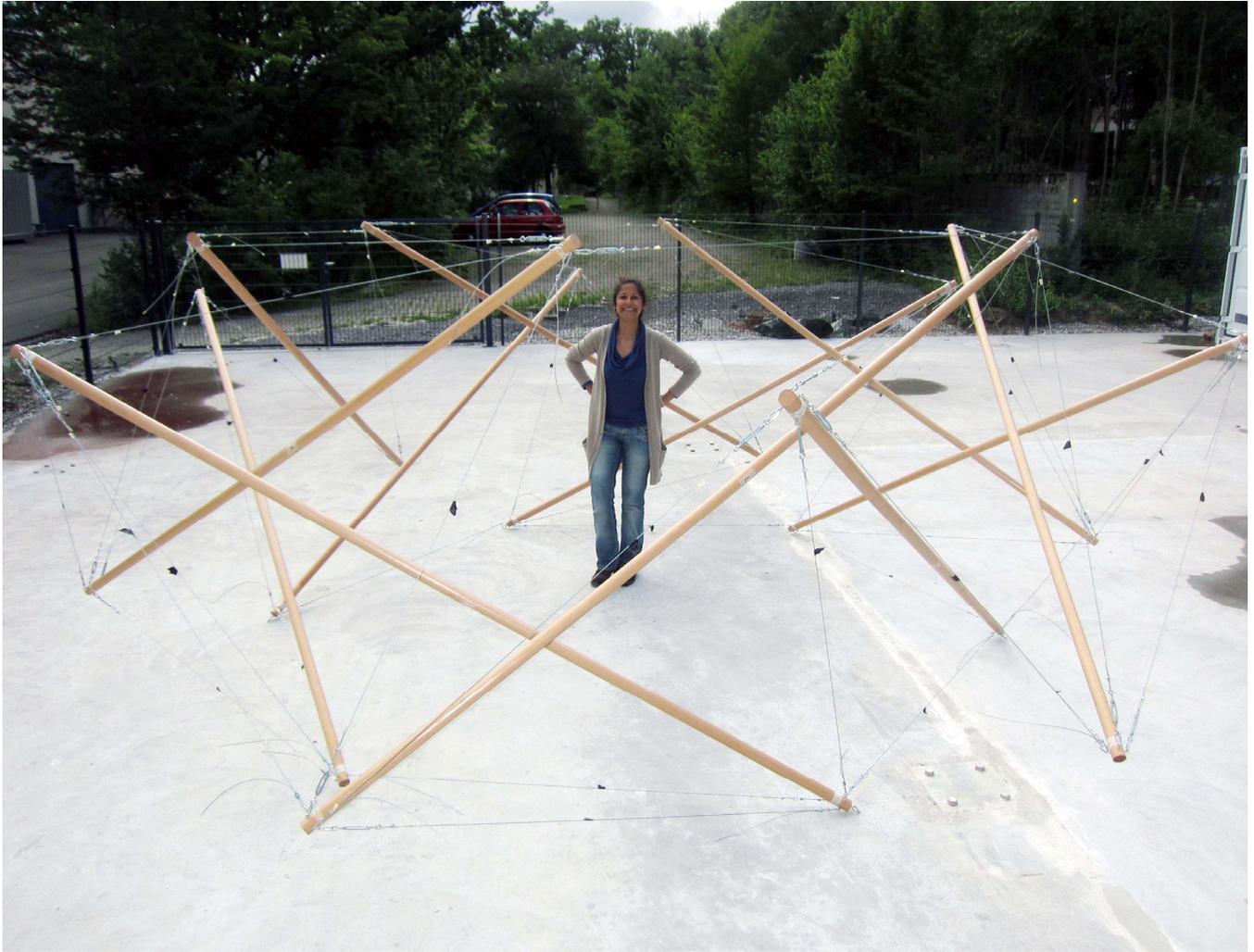
La organización final de los elementos se hizo en **2 horas** y podemos guardarlos en una caja de 3.10m x 0.20mx 0.20m.



Materiales y Detalles.
Conectores, pasadores, argollas, carabinas, cables y barras.



Montaje - Anillo Tensegrity.





Montaje - Domo Tensegrity.

