



LA DIMENSIÓN MATERIAL DE LA ARQUITECTURA

EXPERIENCIAS 1 EN 1

María del Carmen Fernández Saiz

Taller de Investigación y Diseño Estructural, T.I.D.E. / Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño /
Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina / mfernandezsaiz@yahoo.com.ar

Resumen: Una obra de arquitectura puede definirse como consecuencia de la interacción de diferentes variables: función, lugar, significado, capacidad resistente, sistema constructivo, etc.; las que condicionan el proceso de diseño y el resultado final. En este proceso que parte de lo abstracto (concepto del proyecto) a lo concreto (construcción) la condición material no puede ser un dato externo.

Articular conceptos y materiales con precisiones tecnológicas, implica acceder a una dimensión técnica y constructiva del pensamiento. La selección de un sistema constructivo-estructural y la disposición de los elementos que lo componen, permiten definir el espacio arquitectónico y su habitabilidad. El conocimiento de las leyes de la materia y la capacitación en el diseño conceptual de la estructura, habilitan una mayor libertad de proyecto.

En este sentido, los seminarios de construcción 1 en 1 se presentan como una oportunidad para ensayar procedimientos proyectuales a partir de un pensamiento que conjugue ideas con propiedades físicas y expresiones tectónicas. Proponen indagar sobre la relación arquitectura - materialidad con énfasis en el diseño estructural y su resolución técnica.

Como estrategia pedagógica, la construcción de prototipos en escala real incorpora la investigación tecnológica y material en el proceso de aprendizaje, incursionando en la problemática de la producción industrial y su transferencia al diseño arquitectónico.

Incentivar exploraciones de estas características surge como metodología alternativa para transferir conocimientos teóricos disciplinares.

El presente trabajo describe experiencias realizadas en la FAUD, en las que se ha participado activamente desde la etapa de gestación de la idea y conceptualización, hasta su concreción, asesorando a los estudiantes durante todo el proceso, en los temas específicos de estructuras.

El ejercicio persigue, desde lo pedagógico, la síntesis de conocimientos teóricos y prácticos adquiridos previamente, y aplicados a una construcción real con recursos y tiempos definidos. Es lo que denominamos la PRAXIS del aprendizaje, como culminación del proceso, o punto de partida de nuevas experiencias.

Palabras clave: modelos, estructura, construcción, enseñanza

Eje Temático 3: Experiencias de enseñanza-aprendizaje de las tecnologías.

Sub área 3.2: En las Construcciones y las Estructuras

1 Introducción.

El Taller de Investigación de Diseño Estructural (TIDE) se dedica, desde 1992, a la investigación en el diseño de estructuras, al dictado de materias en el grado y en el posgrado, y a tareas de extensión, consultorías y asesoramientos técnicos. Desde este espacio académico se prioriza la constante relación entre los contenidos básicos y su transferencia al diseño arquitectónico, intentando siempre contextualizar cualquier ejercicio de resolución práctica. Se pretende formar al alumno en la disciplina “estructuras” en relación al diseño arquitectónico integral, capacitándolo fundamentalmente en el diseño conceptual de la estructura.

En este sentido, los seminarios de construcción 1 en 1 se presentan como una oportunidad para ensayar procedimientos proyectuales a partir de un pensamiento que conjugue ideas con técnicas constructivas. Permiten la verificación del manejo de los aspectos tecnológicos desde la misma génesis del proceso proyectual, sobre la base de un conocimiento conceptual del diseño estructural y de las lógicas constructivas que posibiliten su materialización.

2 Primera Parte: Seminario Torres de Papel¹

Este Seminario Taller se ha llevado a cabo como actividad de articulación entre cátedras del área de diseño y cátedras del área tecnología, entendiendo la ineludible integración entre desarrollo arquitectónico y resolución técnica-estructural.

La actividad se realizó en paralelo por equipos de alumnos y docentes de las Facultades de Arquitectura de Córdoba (UNC) y Santa Fe (UNL). Tuvo una duración de un mes, con encuentros semanales pautados. En la primera semana se prepararon, desde Córdoba, charlas introductorias al workshop y su problemática: Lógicas estructurales, Construcción de vínculos y Estrategias proyectuales. En semanas posteriores se trabajó en taller para las exploraciones en modelos a escala sobre las diferentes tipologías estructurales, puesta en común de los prototipos desarrollados por cada equipo y selección de los que luego serían construidos. Se efectuaron ensayos con el material (tubos de cartón), y exploraciones para la elaboración de los vínculos y sistemas de montaje, y pruebas finales del funcionamiento de la estructura.

Cada equipo trabajó en su lugar de origen hasta el momento del montaje final de las estructuras proyectadas, que se llevó a cabo de manera conjunta en la sede de Ciudad Universitaria de Córdoba. La experiencia consistió en la realización de un proyecto a partir de una condición material específica (tubos de cartón prensados), abordando el proceso de diseño desde las prefiguraciones iniciales hasta su construcción a escala real.

El ejercicio comenzó con la búsqueda de la forma estructural, a partir de diferentes alternativas estructurales espaciales en tres temas de diseño: La construcción con **tensegrity**, La cubierta curva con **estructuras recíprocas**, La torre con **reticulados**

Conceptos Estructurales

Se trabajó con tres conceptos estructurales (estructuras recíprocas, tensegrity, reticuladas) factibles de materializar con de barras de sección tubular, conveniente para resistir las solicitaciones principales a las que estarían sometidas. (Figura 1). La complejidad entonces estaba definida por la búsqueda de una geometría (forma estructural) eficiente y el diseño de las uniones.

¹ **Torres de Papel.** Seminario organizado por las cátedras de Arquitectura 4A, Arquitectura 5B, Arquitectura 6A, Construcciones 2B y Estructuras 4 de la FAUD, UNC; y el Taller de Proyecto Arquitectónico III-IV de la FADU, UNL. Agosto de 2015



Figura 1. Ejemplos de estructuras tensegrity, recíprocas y reticuladas.

Por ello se propone trabajar con MODELOS FÍSICOS ya que ofrecen un sistema muy fiable de comprobación de su mecanismo estructural. Adquiere vital importancia entonces, el PROCESO de BÚSQUEDA de las FORMAS generadoras del sistema estructural y configurantes del espacio mediante el empleo de las maquetas que permiten verificar experimentalmente su secuencia constructiva, la transferencia de cargas entre los elementos que componen el sistema y de estos al plano de apoyo, los problemas de ejecución y estabilidad del conjunto, comprender las sollicitaciones sobre cada elemento componente y la evaluación sobre las consecuencias de cada cambio introducido.

Características del material

En primera instancia se profundizó sobre el modo de fabricación de los tubos, enrollando en espiral capas de papel de desecho saturadas de cola sobre un tubo metálico que sirve de molde. Este proceso permite la obtención de piezas de diferentes diámetros, longitudes y espesores. Se investigó sobre las características físicas y mecánicas del material (cartón prensado) y las características geométricas y resistentes de la sección (tubular), y los ensayos para la determinación de las mismas (Figura 2).

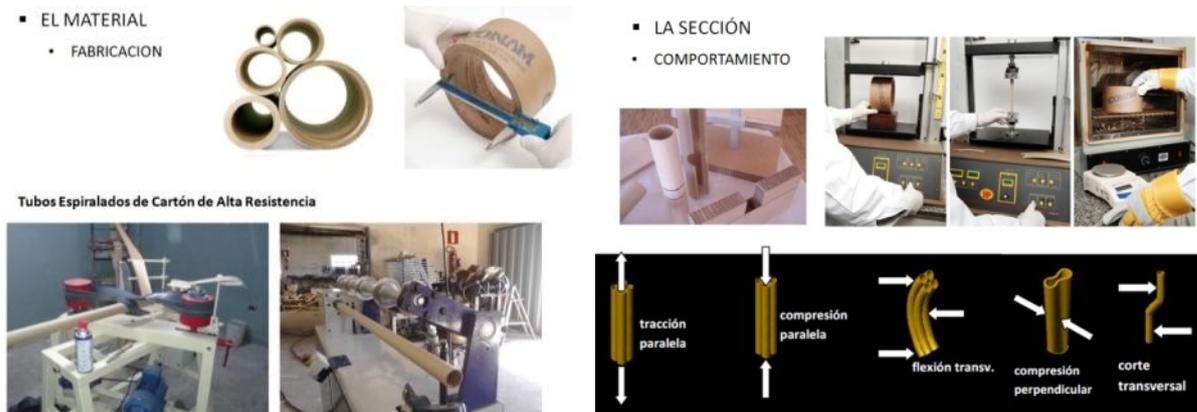


Figura 2. Características de los tubos de cartón. Fabricación y comportamiento.

Búsqueda Antecedentes

Se investigó sobre la aplicación de los tubos de cartón en arquitectura, a través del estudio de la obra de Shigeru Ban, conocido internacionalmente por el uso estructural que otorga a materiales y elementos no convencionales. Sus proyectos han estado vinculados en la mayor parte de las ocasiones en la exploración de nuevas formas de entender la estructura, y así materiales como el bambú o el cartón cobran una importancia que no habían tenido como elementos activos en arquitectura, de la misma forma que elementos considerados secundarios, o que incluso pertenecían al ámbito de la decoración, y pasaban a ser protagonistas de sus obras. (Figura 3).



Figura 3. La obra de Shigeru Ban como referencia.

Realización de modelos a escala

El proceso de diseño para la búsqueda de la forma arquitectónica-estructural más eficiente se realizó a partir de maquetas físicas, aprovechando las aptitudes que definen el perfil del alumno de arquitectura en cuanto al manejo de los modelos a escala (Figura 4).

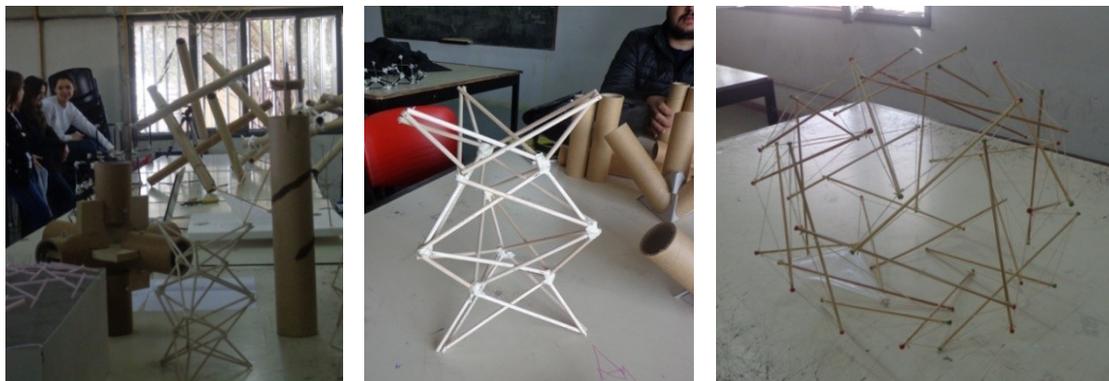


Figura 4. Trabajo con maquetas para la definición de la forma estructural.

Esta herramienta de diseño permite experimentar formas y tipologías estructurales con elementos y materiales diferentes, conjugando funcionamiento y forma de una manera empírica-experimental. Esta metodología permite la máxima eficiencia del comportamiento estructural, logrando soluciones óptimas para un correcto uso y aprovechamiento del material y de sus características físicas y mecánicas.



Figura 5. Modelos a escala con tubos de cartón.

En una segunda etapa se construyeron modelos a escala con el material proporcionado (tubos de cartón) para el diseño de las uniones. (Figuras 5 y 6).



Figura 6. Construcción de las uniones.

Construcción y montaje

La construcción en escala real, 1 en 1, permitió la puesta en práctica de los conocimientos teóricos e instrumentales aprendidos, incorporando la complejidad que implica la gestión para la concreción de un proyecto. (Figura 7).



Figura 7. Montaje de los modelos 1 en 1.

En un lapso de tiempo acotado cada equipo de trabajo desarrolló alternativas estructurales para la construcción de prototipos. Se trabajó con el material proporcionado para realizar pruebas finales del funcionamiento de la estructura, detalles de vínculos y sistemas de montaje, elaborando planos técnicos, perspectivas y maquetas a escala para su armado.

Puede destacarse como ventaja de esta metodología la posibilidad de visualizar el mecanismo propuesto e inclusive verificar su factibilidad constructiva en relación al material elegido y la estabilidad espacial del mismo, con una certera aproximación a la realidad.

Se verifica la incorporación de los conceptos teóricos a través de la comprobación empírica, permitiendo un intercambio de experiencias fluido y dinámico entre los estudiantes durante el desarrollo de la actividad, de manera de fomentar el aprendizaje colaborativo y participativo.

La experiencia trascendió los límites del Seminario para hacerse extensiva a toda la comunidad educativa mediante la exposición de los modelos construidos en el patio de la facultad.

3 Segunda Parte: Tesis 1 en 1²

El Seminario Torres de Papel sirvió como estímulo para un equipo de estudiantes que, con el aval de la Cátedra de Arquitectura 6 “A”, (Tesis), decidió realizar como trabajo final un

² Tesis 1 en 1. Trabajo final de carrera de los alumnos Pablo Lista, Maximiliano Torchio, Diego Veglio y Marcos Vega Ojeda. Cátedra Arquitectura 6A. Diciembre de 2015/ Mayo 2016.

proyecto construido en escala real. De la experiencia antes descrita, el abordaje y resolución de situaciones concretas, de formato pequeño, ha sido capaz de detonar una nueva actitud en los estudiantes. (Figura 8).

Se puede citar como referencia más próxima la modalidad de Trabajo Final de Carrera que se ha implementado, desde el año 2004, en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Talca, Chile. Con el nombre “Obra de Titulación”, los alumnos deben desarrollar e implementar su trabajo de titulación como una Obra Construida, lo que permite verificar que las competencias respectivas estén debidamente instaladas en el estudiante que obtiene el título de arquitecto y para lo cual la obra construida ha demostrado ser el indicador preciso.

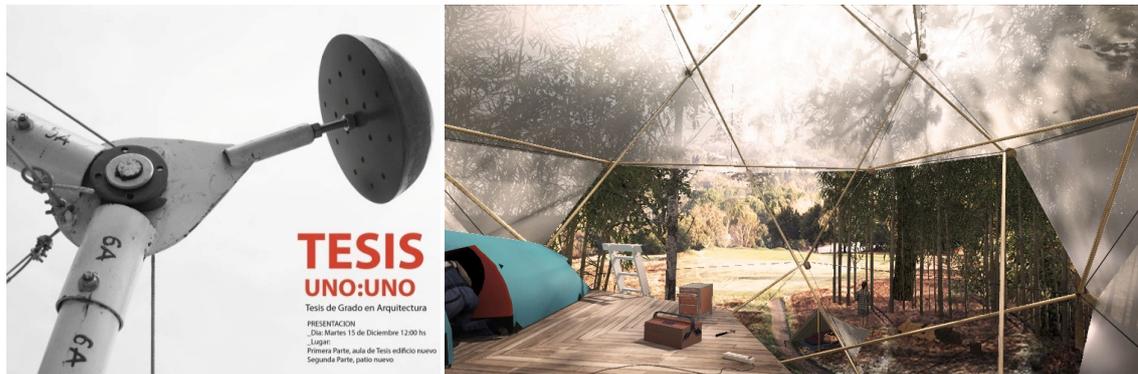


Figura 8. Tesis 1 en1. Refugio temporal para emergencias.

Este formato presentaba para los futuros profesionales, y también para los profesores, el desafío académico de abordar métodos alternativos para transferir y verificar los contenidos teóricos de la disciplina, considerando el perfil profesional que deben tener nuestros egresados.

La construcción en escala real incorpora un vasto campo de investigación tecnológica y material, y es a partir de la experiencia previa de construcción 1 en 1, que se definieron las herramientas/instrumentos y las metodologías necesarias para comenzar el nuevo proceso.

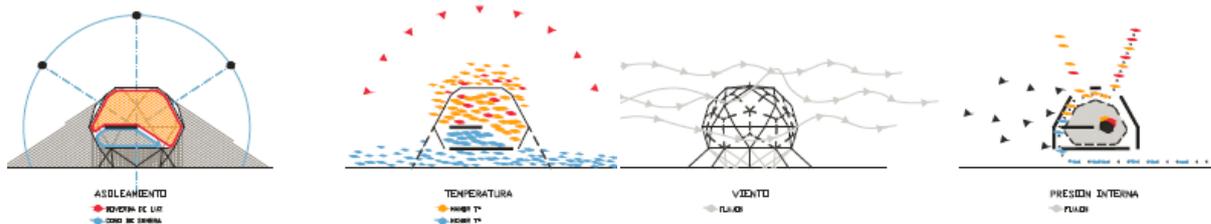


Figura 9. Análisis de las condicionantes de implantación.

Como parte de un proceso de investigación de arquitectura alternativa el equipo propuso un módulo de emergencia a emplearse como refugio temporal en caso de desastres naturales, pensado en función a las variables económicas, climáticas y tecnológicas características de nuestro medio. (Figura 9). Se diseñó un módulo arquitectónico/estructural que, en colaboración con una cobertura tensada de material impermeable y aislante, resolviera las necesidades de cobijo y privacidad en situaciones extremas.

Algunos de los supuestos previstos para el proyecto fueron: ligereza, resistencia, facilidad de traslado y montaje, de bajo impacto ambiental, el uso de tecnologías accesibles y la sustentabilidad de los procesos de producción. Todas estas facultades bajo el propósito principal de permitir responder con inmediatez ante la necesidad de albergue provisorio en situación de crisis.

La búsqueda de la forma estructural

Para la definición de la estructura se profundizó en la investigación sobre las “Tensegrity”, y sus posibilidades como: “*generadoras de una propuesta arquitectónica, en donde prevalecen aspectos tecnológicos y morfológicos (dialéctica geometría - física), definiendo situaciones espaciales complejas y sugestivas.*”³

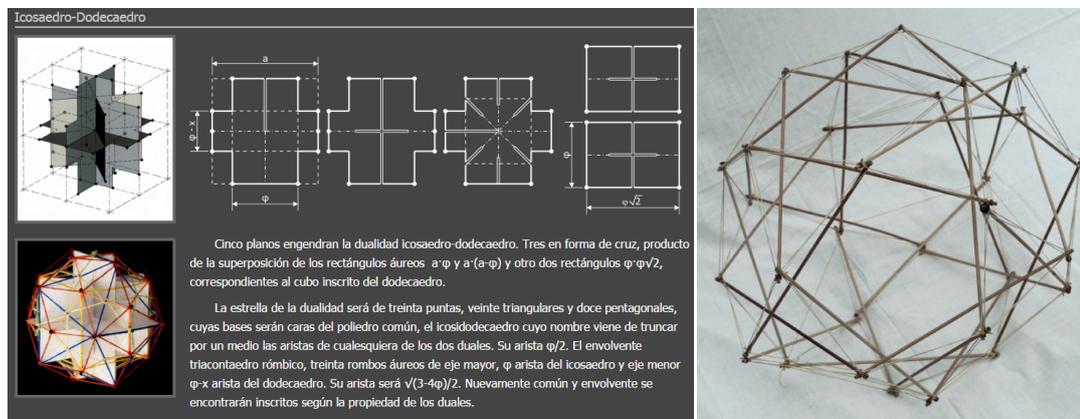


Figura 10. Búsqueda de la geometría.

Se comenzó a diseñar a partir de maquetas a escala, definiendo entramados estructurales complejos conformados por elementos filares a tracción y compresión, que se vinculaban entre sí, de manera de asegurar la estabilidad espacial del conjunto. Cada módulo fue definido con pequeñas variaciones de la geometría. La maqueta real, en la que el alumno experimenta formas y tipologías estructurales con elementos y materiales diferentes, conjuga el funcionamiento y forma de manera empírica-experimental probando distintas alternativas, hasta lograr el correcto criterio de estabilización y rigidización del sistema estructural.

El análisis del comportamiento estructural de los modelos físicos permitió inferir sobre el tipo de solicitaciones que actúan sobre cada componente estructural y reconocer los puntos críticos que deben resolverse para garantizar la factibilidad constructiva. El mecanismo finalmente se conformo por un sistema tridimensional complejo de marcos rígidos vinculados a través de una red de tensores que le proporcionó estabilidad espacial a la estructura. Los marcos de figura pentagonal estaban conformados por barras tubulares de 3 metros de longitud, vinculadas entre sí por chapas nodales especialmente diseñadas que garantizaban la continuidad entre barras. (Figura 10).

Definición material

Considerando las posibilidades de obtener financiamiento para la construcción del proyecto, y su posterior traslado y/montaje en otros espacios, se resolvió trabajar con tubos de acero de para las piezas sometidas a compresión y flexión, y cables estructurales galvanizados para los elementos de tracción.

Para las uniones se utilizó también acero. La pieza, diseño original del equipo, consistía en una chapa nodal fabricada de manera artesanal que vinculaba las barras rígidas del sistema entre sí y con los cables pretensados. Estos nudos, conformados por planchuelas soldadas con varillas y terminales, generan una unión rígida entre los tubos que conforman los marcos estructurales, permitiendo enhebrar los tensores pasantes y pretensar los terminales, mediante un sistema de perno y engranaje giratorio, y fijar la membrana de cubierta. (Figura 11).

³ Pablo Lista, Maximiliano Torchio, Diego Veglio y Marcos Vega Ojeda. Tesis 1 en 1

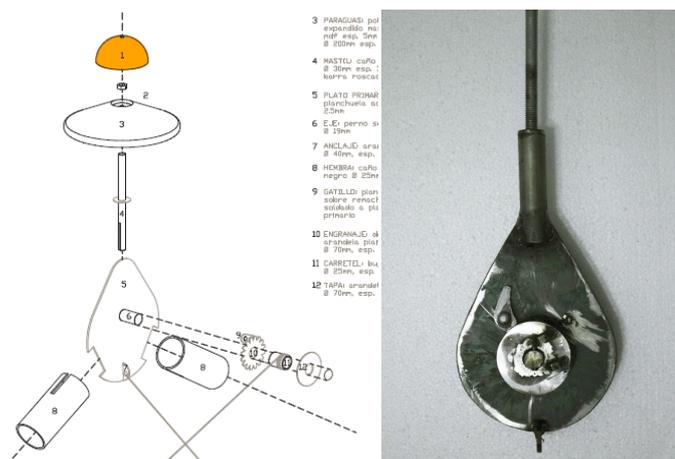


Figura 11. Uniones propuestas. Despiece y prototipo construido.

Modelado con software para la evaluación de deformaciones y verificación seccional

En paralelo, se construyó el modelo digital de la propuesta con el programa Wintess⁴, software de elementos finitos específico para diseño y cálculo de tensoestructuras, que permite realizar la evaluación de deformaciones y la verificación seccional de la estructura para las diferentes combinaciones de cargas fijadas por reglamento. Se modeló la estructura con un nivel de pretensión arbitrario, el que se fue calibrando hasta conseguir una configuración estable. Con este proceso de análisis no lineal, se obtuvieron las solicitaciones en los diferentes elementos. Como se trató de una experiencia piloto, se verificó que las tensiones se mantuvieran en la zona elástica, y finalmente comprobando que no se alcanzara en ninguna barra la tensión crítica de pandeo. (Figura 12). Este modelado sirvió también para la representación precisa de la geometría de la estructura, que permitiría el replanteo en obra y el patronaje y confección de la cubierta.

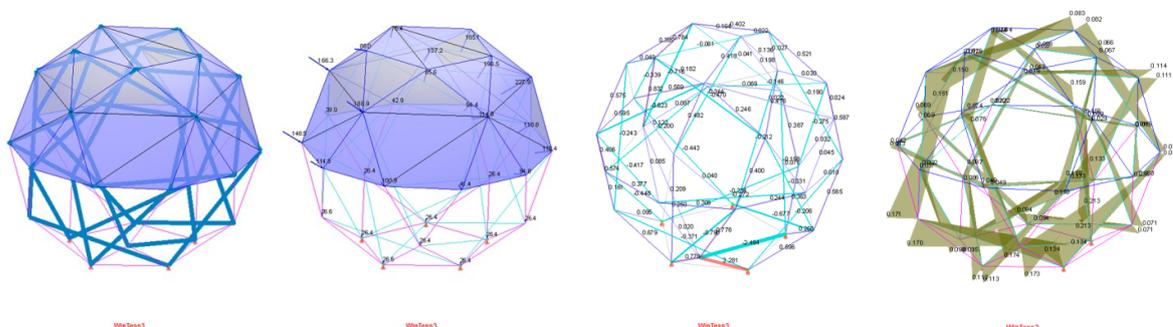


Figura 12. Modelado con Software. Estructura, acciones de viento y solicitaciones en barras.

El problema del montaje

Para el montaje debía considerarse la inclinación de los elementos principales, por lo que se decidió construir previamente los marcos rígidos al pie de obra, lo que permitió reducir la demanda de trabajo aéreo. (Figura 13). Se construyó una estructura provisoria de andamios para el izado y montaje manual de los marcos. (Figuras 14 y 15). Las longitudes de las barras componentes (originariamente 3 metros) se modificaron en función de la altura de los andamios disponibles.

Durante todo el proceso de construcción se contó con elementos de apuntalamiento transitorios que fueron retirados luego de enlazar los cables y aplicarles la tensión de diseño. Con la ayuda de elementos auxiliares se replantearon las coordenadas para el izado del marco origen para el montaje del sistema completo, que debido a su geometría complejizó el

⁴ 2009 - WinTess3 Tensile structures(Windows). Prof. Ramón SASTRE, PhD, Architect

proceso, demandando más tiempo y mano de obra de lo pensado por el equipo, y generando dudas sobre su posibilidad de aplicación como sistema de fácil montaje.



Figura 13. Uniones y marcos rígidos.



Figura 14. Proceso de montaje. Estructura auxiliar.



Figura 15. Montaje en obra. Maqueta de estudio y andamio auxiliar construido.

El corte de las piezas así como la factura de todos los elementos de unión se realizó de modo artesanal, al igual que la confección de la cubierta de tela tensada. (Figura 16). Esta condición generó errores en las dimensiones que complicaron el proceso, obligando al equipo a rehacer algunas piezas y a efectuar ajustes en la obra que resultaron en detalles mal resueltos.

A modo de retroalimentación, sería deseable incorporar el modelado digital articulando con un software de control numérico, que permita mayor exactitud en las medidas y en la producción de detalles, incluyendo la mejora de los vínculos entre elementos estructurales, tendientes a optimizar la estructura y facilitar el proceso de montaje. En este sentido, el sistema de construcción propuesto abre la posibilidad de ensayar trabajos interdisciplinarios entre los campos de Diseño Industrial y Arquitectura, y la problemática de la producción industrial vinculada al medio.



Figura 16. Presentación final de la Tesis 1 en 1.

4 Conclusiones - oportunidades

Consideramos una instancia de aprendizaje superadora respecto de los métodos de enseñanza tradicionales de las carreras de arquitectura que proponen el desarrollo de anteproyectos que difícilmente se lleguen a materializar.

Como estrategia pedagógica, la construcción de prototipos en escala real incorpora la investigación tecnológica y material en el proceso de aprendizaje, y permite la puesta en práctica de los conocimientos teóricos e instrumentales aprendidos en la carrera, al tiempo de incorporar, como parte de la pertinencia de la disciplina, la complejidad de la programación y logística de llevar adelante la concreción de un proyecto. Este tipo de experiencias capacita a los estudiantes para ejercer juicio crítico y comprender las instancias no resueltas, y posibilita que operen como verdaderos agentes de la construcción de sus saberes y responsables de sus propios procesos de aprendizaje. En este proceso de formación, los docentes reconocemos el principio de integración del conocimiento como un método de enseñanza adecuado para la consecución de los objetivos didácticos y pedagógicos formulados.

Incentivar exploraciones de estas características surge como metodología alternativa para transferir conocimientos teóricos disciplinares. Los modos y los espacios de aprendizaje pueden replantearse y evolucionar como respuesta a los nuevos paradigmas que tienden a una puesta en valor de los aspectos técnicos de la arquitectura contemporánea.

5 Referencias.

ARIZA RUIZ, J. O. (2009). *Estructuras Recíprocas: bases para su aplicación arquitectónica*. Bogotá, Colombia. Ed. Universidad Nacional de Colombia.

ARAUJO ARMERO, R. (2007). *La Arquitectura como Técnica*, Madrid, España. A.T.C. Edic., S. L.

BAIXAS, J. I. (2010). *Forma Resistente*. Santiago, Chile. Ediciones ARQ.

SCHON, D. A. (1987). *La formación de profesionales reflexivos: hacia un nuevo diseño de la enseñanza y el aprendizaje en las profesiones*. Barcelona, España. Ed. Paidós.

Links:

-<http://datab.us/i/Tensegrity>

-<http://smia-experimental.com/2014/07/28/reciprocal-twist-pavilion>

-<http://tecno.upc.edu/profes/sastre/tensile.php>