

La estructura del mercado, por dentro



2F construcciones en madera es una pequeña empresa dedicada a la construcción en madera que estudia estructuras singulares y le da solución tanto técnica como constructiva. Su profundo conocimiento tanto de las técnicas más modernas como de la tradición les lleva a afrontar continuamente nuevos retos en la construcción en madera.

En el verano del año 2002 reciben el encargo de fabricar la estructura de madera para el Mercat de Santa Caterina en Barcelona. Era una obra a la que importantes empresas del sector habían renunciado a presentar oferta porque no disponían de la tecnología adecuada para ello, hasta el punto de que el promotor y la constructora estaban considerando la construcción de los arcos en acero. En 2F sabían que existía la posibilidad de fabricar una estructura de madera para el Mercat de Santa Caterina en Barcelona y que eran capaces de hacerlo aunque no existiera ningún precedente de una construcción de características y complejidad semejante en el ámbito de la madera laminada. Les sedujo de la cubierta su cualidad

casi viva. Parece generada por procesos naturales, como un oleaje, un plegamiento tectónico, o el dosel de un bosque.

Se trata de una obra única y excepcional con una cubierta de forma ondulante, totalmente irregular formada por arcos de madera. La generatriz de los arcos combina tramos rectos de distintas longitudes con tramos curvos de distintas longitudes y radios de curvatura. No existen dos arcos iguales. Aún cuando hay series de arcos parecidos, cada uno es diferente tanto en sus tramos rectos como en sus tramos curvos lo que impide el uso de plantillas, moldes o prensas tipo para dar forma a los arcos. Aún más, ningún arco es simétrico; tanto en los arcos de una sola pieza como en los que van partidos en dos «mitades»: la mitad izquierda es diferente a la derecha. Otra de las dificultades es que los radios de curvatura llegan a ser muy cerrados e incluso se producen quiebras en la generatriz de diferentes ángulos. En algunos arcos las formas llegan a ser extraordinariamente complejas con más de 10-12 tramos diferentes en cuanto a longitudes y

radios de curvatura y más de 10-12 puntos singulares de transición de unos tramos a otros así como los cortes finales y de las articulaciones centrales. Cada arco es en definitiva una «escultura» de madera con formas que llegan a ser muy complejas y con la dificultad añadida de que deben soportar con seguridad la cubierta del edificio.

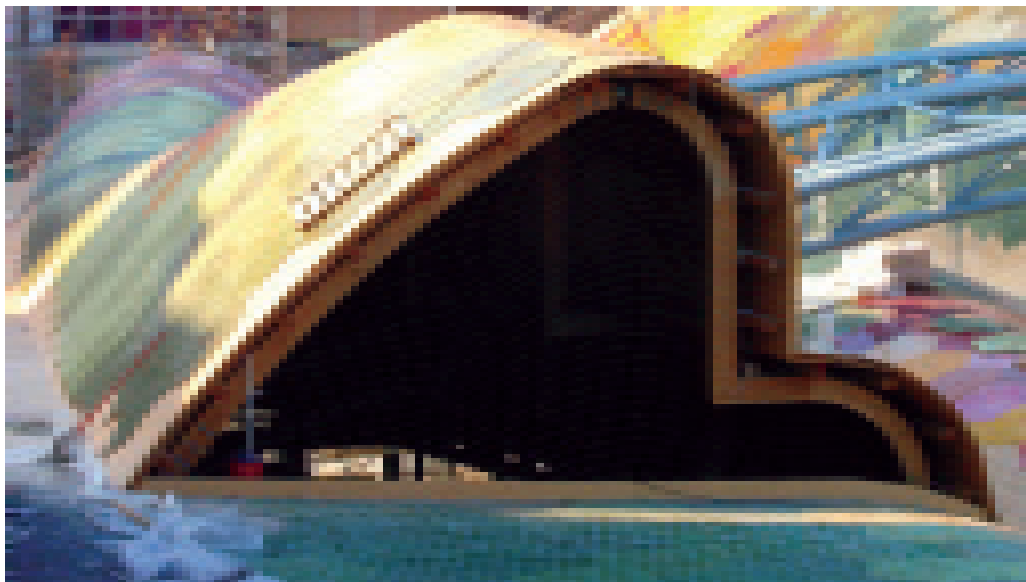
Para la construcción de los arcos ideamos una solución constructiva a partir de las técnicas de madera laminada vertical, combinándola con procedimientos constructivos e informáticos para resolver los problemas derivados de la enorme variedad de formas y de la complejidad operativa de la fabricación. Desde el punto de vista técnico la construcción de los arcos nos exigió: el desarrollo de procedimientos de fabricación nuevos, el desarrollo de una amplísima gama de utillaje exclusivo para ella, y sobre todo la definición y puesta a punto de un sistema de cálculo informático para generar la geometría y posición exacta de las más de 20000 piezas diferentes que integran el inmenso puzzle que se debe formar



para generar la estructura. La obra, para nuestra empresa, tenía la calificación «de alto riesgo» por la falta de referencias previas, y por la imposibilidad de tener la certeza total del buen resultado de tantos sistemas nuevos. Diseñamos los procedimientos y utillajes necesarios así como los procedimientos de cálculo para definir la geometría de las piezas cuyo exacto ensamblaje generará la forma de cada arco.

Definición de la geometría:

El despiece de cada una de las nueve a trece láminas que formaban un arco, se realizó por medio de unos complicados cálculos tanto matemáticos como gráficos de división. Los cálculos se tenían que realizar arco por arco ya que ningún arco era igual a otro. Por medio de la formulación matemática de la geometría conseguíamos unos patrones de despiece de las diferentes familias de arcos, mientras que por medio del despiece gráfico intuíamos las formulaciones matemáticas y además nos servían de comprobación. No sólo se hizo un cálculo por arco, se hicieron dos cálculos por arco, uno



diferentes; por sus cortes en ángulo, que iban desde obtusos muy abiertos a agudos muy cerrados; por su mecanizado pieza a pieza, para que las espigas de una pieza coincidieran con las de la siguiente. Y finalmente por su prensado, para el cual fabricamos unas prensas para unir pieza y pieza, y desarrollamos un riguroso orden de ejecución en taller. Todas las piezas

para las láminas impares y otro para las pares para que las juntas quedasen contrapeadas. Además en el despiece teníamos que considerar no sólo las dificultades geométricas, sino también las dificultades constructivas que cada cubierta presentaba según sus características geométricas. La mayor dificultad de cálculo se presentaba en los encuentros entre curva y recta y aún más entre curva y curva. También fue complicado ajustar las imperfecciones del trabajo en taller a los cálculos de despiece y montaje, consiguiendo final y exitosamente que ningún arco tuviese una variación en su medida de ± 1 cm. lo que en los arcos mayores suponía una variación de $\pm 0,05$ %.

Para el ajuste de cada una de las piezas dentro de cada arco, el programa informático que realizamos basado en procesos de cálculo de geometría analítica y trigonometría generaba no solo la definición geométrica de cada una de las piezas en cuanto a dimensiones y ángulos, sino también su posición relativa y absoluta frente a cada una de las demás piezas del arco. Para los arcos más sencillos se procesaban unos 2000 datos geométricos significativos, cifra que llegaba a más de 10.000 en los arcos más complejos. Además el programa generaba un pronóstico del efecto de las imperfecciones de trabajo inherentes al mecanizado de las piezas de madera y de la forma de compensarlas durante la formación de las láminas. En muchos arcos diferencias de micras en la ejecución del «finger joint» generaban

variaciones de forma globales de 20 ó 30 centímetros.

Los procesos tradicionales de madera laminada son sistemas de construcción de heteroformas, donde la prensa por constricción «da la forma-deforma» a las diferentes piezas. Nosotros concebimos esta estructura como un sistema autoformado, porque lleva la forma dentro de sí mismo, dentro de cada una de sus piezas; es un sistema casi vivo. Cada arco es como un organismo cuya forma global deriva de la forma y posición de relativa de cada una de las piezas-células que lo componen.

Desarrollo del trabajo:

2F construcciones en madera ha realizado los 108 arcos de madera laminada repartidos en 7 bóvedas. Cada bóveda es diferente. Cada arco es diferente.

En los primeros estudios de esta estructura ya propusimos una condición constructiva que fue clave para todo el desarrollo posterior del trabajo tanto técnico como constructivo: el mecanizado «finger joint» en las testas de cada una de las piezas que formaban parte cada una de las nueve laminas del arco.

Para el corte, el mecanizado, y la unión de cada una de estas piezas, tuvimos que desarrollar un utillaje específico.

Cada una de estas tareas presentaba múltiples dificultades, por la cantidad de piezas; por su variación en dimensiones, tanto por la diferencia de tamaño, como por la cantidad innumerable de medidas

tenían una numeración específica y compleja que hacía posible su fácil identificación. Su prensado planteaba el problema de difíciles ajustes en muchos casos debidos a su tamaño y en otros a su radio y longitud de arco.

Luego cada una de las nueve láminas era mecanizada para preparar sus caras para el posterior prensado de una sobre la otra. Las segundas prensas, ya de los arcos finales eran ajustables a la geometría cambiante de cada arco. La resina usada en todas las uniones es de resorcinol-fenol-formaldehído.

Una vez fabricado el arco y después de su lijado se colocaban los anclajes. Propusimos minimizar los elementos metálicos exteriores a la madera, de forma que no predominara el anclaje sobre el propio arco. Cada arco llevaba dos hendiduras dentro de las cuales se introducían las dos chapas de anclaje, que quedaban fijadas por varillas de rosca y tuercas exteriores **A**

2F CONSTRUCCIONES EN MADERA, S.L.

DESARROLLO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO E

INFORMÁTICO: FERMÍN GARRIDO PÉREZ.

GERENTE Y DIRECCIÓN OPERATIVA: FERMINA LÓPEZ JURADO.

CÁLCULO E INFORMACIÓN GRÁFICA: FERMINA GARRIDO LÓPEZ. ARQUITECTA.

2F CONSTRUCCIONES EN MADERA, S.L.

CTRA. PEDRERA- MARTÍN DE LA JARA S/N

41566 PEDRERA (SEVILLA)

TELÉFONO Y FAX: 95 582 74 45 – 95 481 92 86

ESTRUCTURAS@2FMADERA.COM

WWW.2FMADERA.COM