

ARQUITECTURA EFÍMERA Y MADERA

PABELLÓN DE ESPAÑA. FLORIADE 2012, VENLO, NL

Floriade es la exposición de horticultura más importante del mundo y se celebra decenalmente en los Países Bajos. En la presente edición, del 5 de abril al 7 de octubre de 2012, más de 100 participantes nacionales e internacionales presentan sus jardines temáticos y pabellones en Venlo, muy cerca de la frontera Alemana. Cinco áreas temáticas se reparten en 66 hectáreas de parque en el que se desarrollará un programa de cultura y eventos de lo más variado. Múltiples talleres de trabajo y gastronomía internacional completarán la Exposición. En este contexto la presencia española está acuñada por la diversidad de su ecosistema y métodos de producción agrícola. En lo referente a la variedad de plantas, España es líder en Europa; el concepto de comunicación se basa en este hecho y se pone en el punto central del lema del pabellón de España: “Naturalmente diversos”.

España es el país con mayor variedad ecológica del continente europeo. Su enorme diversidad productiva agrícola es heredera de la natural. Las ideas que articulan la propuesta constructiva parten de este concepto.

Desde una perspectiva formal la construcción surge literalmente del terreno, haciendo muy presente la referencia a algo natural como la topografía y el crecimiento de las plantas. También se unifican espacio interior y exterior a través de la idea de continuidad entre ellos. Los espacios diseñados remiten a lo cíclico y lo continuo como valores añadidos e imprescindibles en una concepción actual de sostenibilidad y uso de los recursos naturales.

La disposición de los revestimientos sugiere el trazado en diferentes direcciones de los campos arados. Los cerramientos laterales del pabellón simbolizan formas vegetales, brotes que levantan el terreno y forman un bosque con materiales que antes también formaron parte de un bosque, cerrándose de esta manera el círculo.

REVISIÓN DE LA FORMA Y DE LO EFÍMERO

Durante la construcción, el equipo de carpinteros encargados de erigir el Pabellón se referían a él como “la catedral”. El mote surgió sin duda, por evocar el espacio principal del Pabellón a la nave de una iglesia. Y no sin razón, ya que no solamente por forma y altura puede hacerlo, sino que estructuralmente también funciona como una nave.

A lo largo de la historia ha habido distintas maneras de materializar la cáscara o nave estructural, desde las bóvedas de cañón de las iglesias románicas o las cúpulas en catenaria de A. Gaudí, hasta las membranas de hormigón armado de H. Isler o los volúmenes hinchables de Raumlabor. En todos estos casos la capa de cubierta es autoestable y, en alguno de ellos lo consigue con una sección mínima.

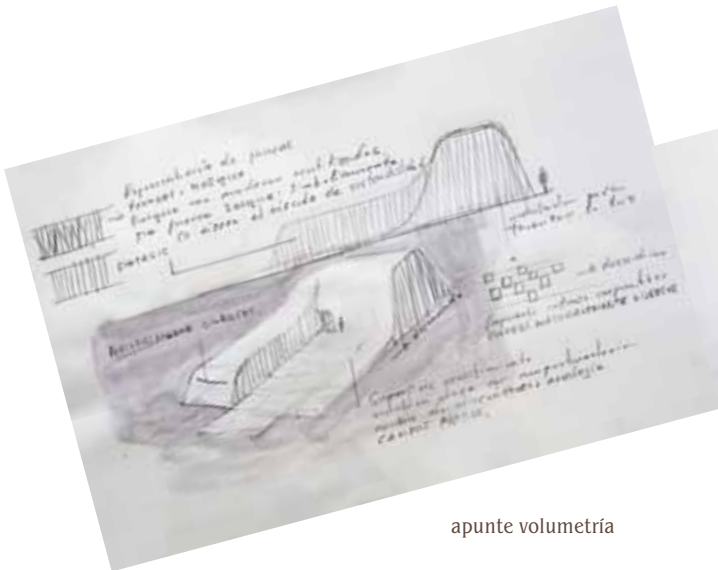
Alguno de estos ejemplos son construcciones efímeras que se caracterizan por desaparecer sin dejar huella, al tiempo de haber sido construidas. Las construcciones efímeras han sido en muchas ocasiones un banco de pruebas para los futuros caminos de la arquitectura. Lo confirman claros referentes como el Cristal Palace en Londres 1851 de J. Paxton, el pabellón de la URSS en París 1925 de K. Melnikov, el pabellón de Estados Unidos en Montreal 1967 de B. Fuller o el pabellón de Japón en Hannover 2000 de Shigeru Ban, entre muchos otros que podríamos calificar de apuestas fuertes, trasgresoras, idealistas... claros estandartes para sus países que conseguían a través suyo reflejar sus logros, ideas y posicionamientos.

En un momento como el actual, cuando el sector de la construcción en España está claramente en revisión creemos, cuanto menos interesante, mandar un mensaje a favor de la construcción sostenible.

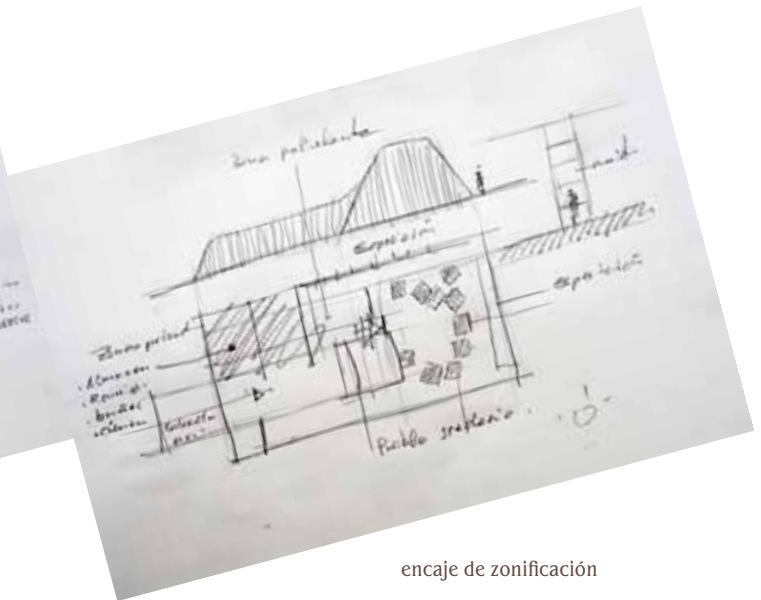
LA MATERIALIZACIÓN CONSTRUCTIVA

Conformado por más de 48 toneladas de paneles de madera contralaminada de abeto, el Pabellón de España funciona estructuralmente como una cáscara, sin necesidad de pilares u otros elementos estructurales. Se dispone en una sola planta de 270 m² de volumetría irregular y formas orgánicas, que alcanza los 7 metros en su punto más alto. La mayor parte de la superficie está destinada a exposición, disponiendo también de una

EL PROYECTO

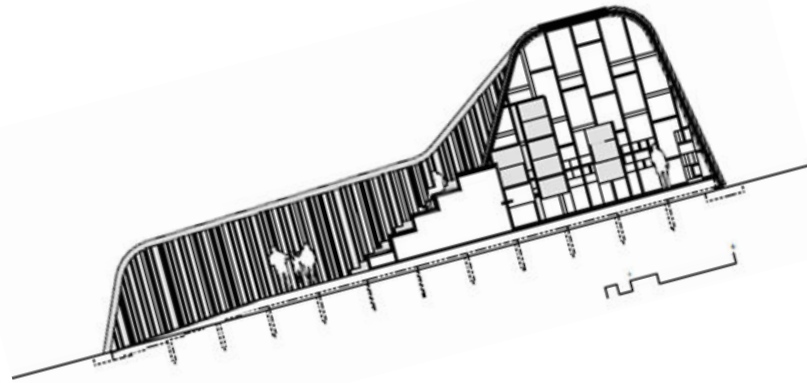
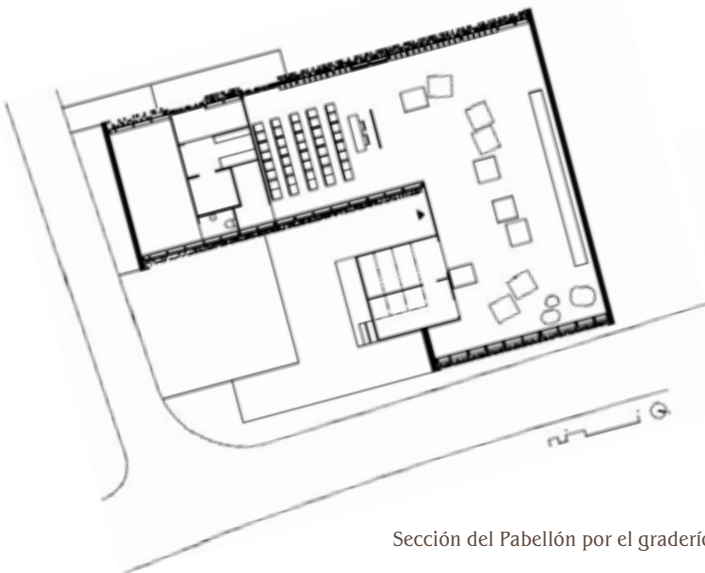


apunte volumétrica



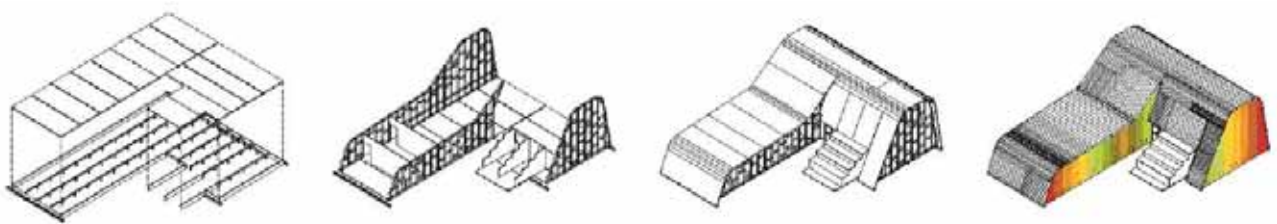
encaje de zonificación

Esbozos iniciales y concepto de Pabellón de España

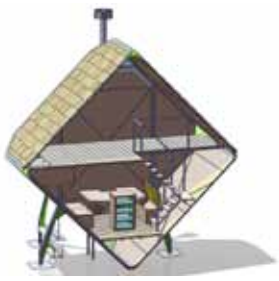


Planta general del Pabellón de España

Sección del Pabellón por el graderio exterior



Axonometría de las principales fases de la construcción



zona privada de oficina y reuniones, recepción, almacén y servicios.

Se configura una zona de encuentro y recreo en forma de plaza de 130 m² con un graderío donde se pueden realizar actividades lúdicas, degustaciones de productos y eventos varios. Conceptualmente, esta zona exterior acabada con el mismo revestimiento de la cubierta refuerza la idea que el Pabellón surge del terreno.

Una parte de los materiales utilizados en la pavimentación interior son reciclados de la producción agrícola, principalmente de las cajas de transporte de frutas. Además, se ha tenido especial cuidado en que las pinturas, barnices y protecciones de la madera utilizados en los elementos en los que no han podido evitarse, tuvieran una composición que no imposibilitara su reciclaje posterior como biomasa.

Más adelante entraremos en detalle en la materialización de la construcción bruta, intentado exponer los momentos importantes de cada parte sin pretender una descripción exhaustiva de las etapas de la obra. Pero empezamos por el principio, explicando cómo iniciamos el camino hacia lo que es hoy el Pabellón de España para la Floriade 2012.

El objetivo al hacernos cargo del desarrollo técnico y ejecutivo del Pabellón, fue conseguir un despliegue de medios, montaje, comportamiento y fin de vida óptimos del edificio, conservando la idea inicial y estética del Pabellón. Después de entender la complejidad entorno de la construcción, las aspiraciones de la organización, los recursos de los que se disponía y los tiempos de ejecución, nos posicionamos claramente por la solución en madera, no por ser la opción más viable, sino por considerarla la única que nos daba la posibilidad de responder con éxito a tan diversas exigencias. Dadas las fechas en que se preveía la construcción, entre diciembre y marzo, época de lluvias en los Países Bajos, y el corto período del que se disponía para finalizar la obra, el hecho de montar la estructura en seco, a base de encajes y tornillería, nos permitía minimizar la dependencia de las condiciones meteorológicas en cuanto los tiempos de ejecución.

Asimismo, el sistema de placas de madera contralaminada admitía confeccionar en taller las 32 piezas que conformaban el edificio, cosa que reforzaba el argumento anterior en cuanto a plazos. Además, y no menos importante, la posibilidad de prefabricación daba un control real sobre el coste económico de una de las posiciones más considerables de la obra. Constructivamente la nave de madera portante permitía resolver estructura, acabado interior, plano superior y aislante* en un único elemento. Al solventar todos estos aspectos en un único elemento

de tan rápido montaje, se iniciaron el resto de trabajos a cubierto, cosa que hizo que estos se desarrollaran de manera más rápida y cómoda para los montadores. Al mismo tiempo esto permitió que trabajos interiores y de recubrimiento exterior se pudieran llevar a cabo en paralelo, agilizando de este modo el proceso constructivo.

Respecto al ciclo de vida del edificio y dada la temporalidad de la construcción, la madera nos permitía reducir las emisiones de CO₂, además de una racionalización de los medios empleados y de la cantidad de materiales intervinientes.

*Valor U de la cubierta 0.65 W/m²K; al tratarse de un pabellón temporal “de verano” las exigencias en este aspecto no eran especialmente altas.

PRINCIPALES ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

En este punto hemos intentado exponer los principales elementos constructivos del edificio siguiendo la cronología propia de la obra.

Los trabajos se iniciaron en la cimentación y suelo del Pabellón. Éste último, también realizado en placas de madera contralaminada de abeto, se asienta sobre un entramado de bigas perfectamente niveladas apoyadas en una cuadrícula de postes hincados. En un terreno con un estrato de arena a poco más de medio metro de la superficie, el sistema tomó rigidez con gran facilidad.

Los postes hincados nos permitían trabajar en seco, desmontar rápidamente, causar un impacto mínimo sobre el terreno y reutilizarlos o reciclarlos fácilmente al no estar tratados. También proporcionaban un espacio donde pasar instalaciones eliminando empotramientos y zanjas, y evitaban el contacto con las humedades y escorrentías del terreno.

Durante la obra, después de hincados los postes, llegó la ola de frío que este invierno asoló Europa y nos dimos cuenta de la gran dificultad que hubiéramos tenido para realizar la misma operación con el grueso de medio metro de terreno congelado.

Se prosiguió con el montaje de las fachadas longitudinales. El muro cortina que cierra dichas fachadas consiste en una retícula de montantes y travesaños de madera de abeto laminada cuya sección fue determinada con el ingeniero M. Nevado, por su función estructural. Desde el interior del espacio se percibe un despiece rítmico y aparentemente aleatorio que se ha conseguido combinando únicamente cuatro dimensiones de hueco, y adaptando los extremos a las formas curvas de la nave.

Una vez dibujada cada pieza que componía el muro cortina con su geometría y uniones, se prefabricaron montantes, travesaños y coronamientos por sistema de control numérico en solamente una semana. Las piezas llegaron a obra codificadas y con las uniones fresadas a cola de milano con tope de encaje. También en obra la velocidad con que se ensambló e irguió el esqueleto de madera fue espectacular.

Los distintos tramos se pre-montaron en horizontal sobre el suelo del pabellón y una vez rigidizados se izaron.

Gracias a su esbeltez el peso quedó muy reducido. Los montadores se sorprendieron de la facilidad con la que realizaron la totalidad de la tarea, a la vez que nosotros



Fachada principal con el logotipo del Pabellón

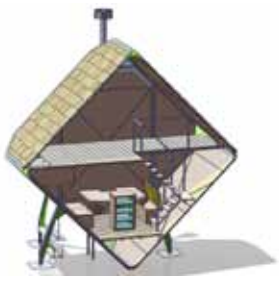
EXTERIORES



Revestimiento fachada norte



Detalle revestimiento zona grada



nos empezamos a dar cuenta del magnífico equipo del que disponíamos, también en obra. El acristalamiento se realizó con vidrio con cámara para conseguir un comportamiento térmico homogéneo, una resistencia y calidad de acabado a la altura del pabellón. Se siguió con la reducción dimensional del muro cortina (los vidrios llegaron marcados S, M, L, XL), cosa que facilitó la logística en obra, pudiendo centrar los esfuerzos en las piezas especiales del contorno. Para su colocación se optó por un sistema de fijación homologado para muro cortina, con el que conseguimos evitar que ni el marco, ni el sistema de fijación se percibieran en ningún caso desde el interior del Pabellón. Además, el sistema permitía tolerar variaciones dimensionales de hasta 6mm sin transmitir tensiones que hubieran hecho peligrar los cristales de mayor dimensión. Los elementos prefabricados de madera que conformarían la cubierta llegaron a obra en dos transportes. Primero se montaron las placas planas apoyadas en los entramados de muro cortina ayudándose de un escaso número de puntales y contrafuertes, sin cimbras ni encofrados. A continuación se ensamblaron las partes curvas. El montaje se desarrolló con un grupo reducido de montadores sin incidencias de ningún tipo, y las geometrías de las fachadas longitudinales y paneles de cubierta coincidieron perfectamente. Por contra de lo que podría parecer, y con el Pabellón de España como buen ejemplo, podemos afirmar que el sistema de placas prefabricadas de madera contralaminada permite una variedad formal sorprendentemente amplia.

La primera sensación que se tuvo del espacio fue cautivadora. La superficie interior continua de abete hace sentir como dentro de una cueva esculpida en un árbol gigante. La madera maciza gesticula como un textil, cubriendo al visitante. Podría dudar el visitante de si se trata de una mera reproducción, hasta acercarse a la zona en que la cubierta llega al suelo y poder tocar la calidez y textura de la madera natural.

Una vez acabados los trabajos de estructura e impermeabilización del edificio, la imagen exterior de la cubierta se consiguió con un entramado de listones de madera de diferentes medidas, colocados longitudinal y transversalmente. Esta materia prima básica se tradujo en un acabado ennoblecido cuyas juntas dibujan una textura en la superficie de la cubierta que se hace presente al acercarse el visitante y se diluye con la forma cuando éste se aleja.

Las fachadas longitudinales se acabaron con un bosque de listones verticales de madera en tres filas, formado una celosía que permite controlar la cantidad de luz natural que penetra en el interior, dando el ambiente necesario para el desarrollo de la exposición. Para

facilitar la fabricación y el montaje se dividieron las fachadas en tramos de aproximadamente 2 metros, resultando en más de una treintena de partes de hasta 600 kilos que se ensamblaron y acabaron en taller. La celosía refleja una gradación cromática de diez colores, cada uno de los cuales representa un tipo de frutas o verduras de la producción agrícola de España, teniendo su correspondencia con la exposición desarrollada en el interior.

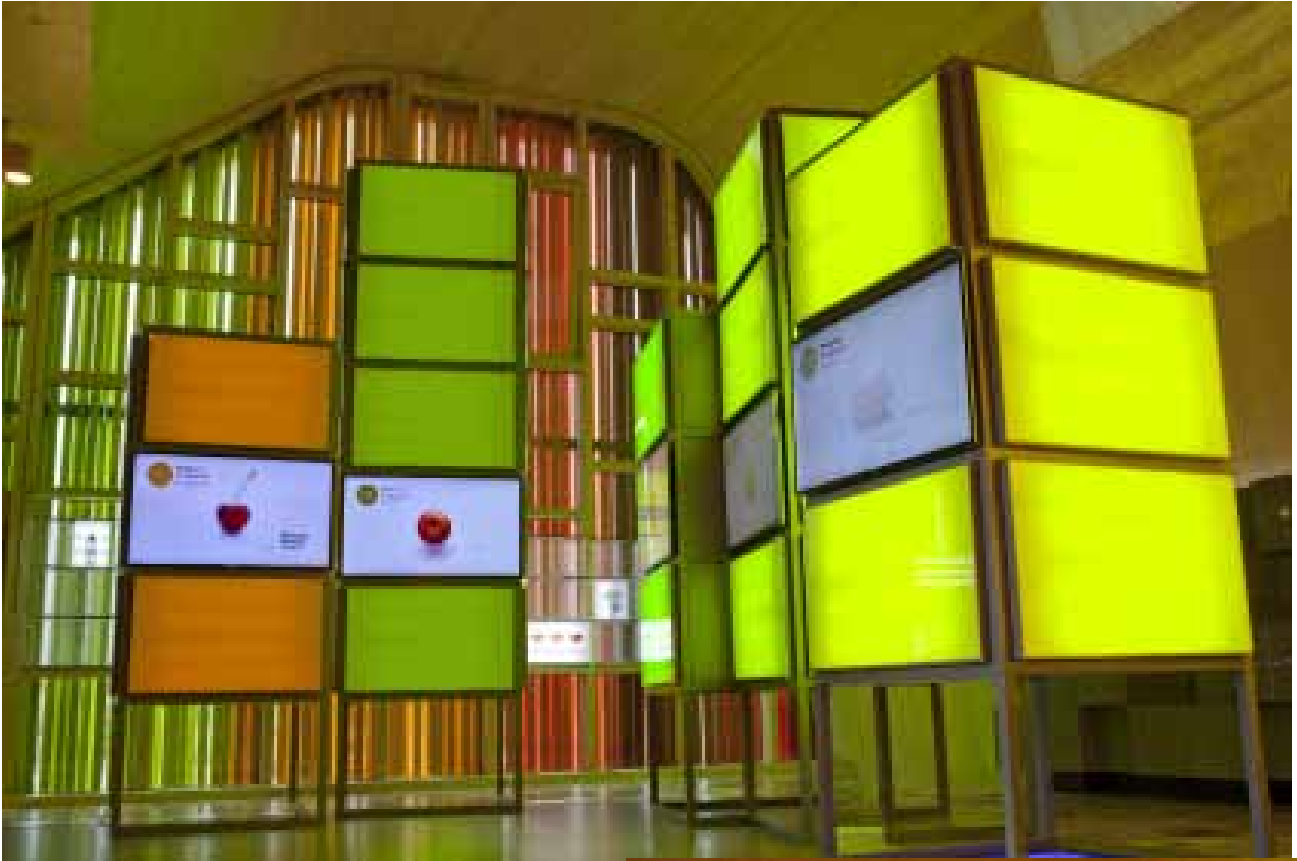
De la experiencia adquirida en este proyecto concluimos que los elementos de madera contralaminada pueden ofrecer nuevas soluciones para la arquitectura efímera. Para que estas se puedan desarrollar en toda su magnitud creemos esencial que la figura del ingeniero esté presente ya desde el inicio del proyecto. El Pabellón de España para la Floriade 2012 refleja solo una parte del potencial que, estamos seguros, puede sorprendernos con soluciones inesperadas en un futuro no muy lejano.

A. Garraux / M. Carrera y A. Navarro

LA ESTRUCTURA

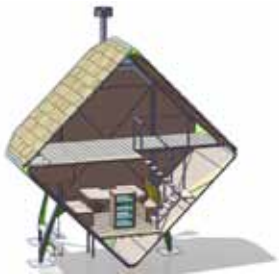
Las infografías del proyecto inicial no predeterminaban uno u otro material estructural, si bien el marco de los contenidos, obviamente, sugería la madera como la opción más inmediata. Por otra parte, todos los pabellones deben ser retirados (en principio) tras la exposición con la mayor brevedad y el menor impacto ambiental posible en su proceso de reciclado. Este era otro factor notablemente a favor de la madera, especialmente en un país cuyo escrupulo en el control de la gestión de los residuos de la construcción debería servirnos a todos de ejemplo.

Durante el proceso de concreción del proyecto ejecutivo, por Tragsatec, se barajaron opciones de pórticos de madera microlaminada, que finalmente se descartaron por coste (particularmente, el inherente a las juntas entre elementos curvos y rectos). La propuesta que estaba finalmente sobre la mesa era una sucesión de pórticos metálicos; técnicamente, era un solución totalmente viable. No obstante, en el proceso de licitación, surgieron serias dudas sobre la viabilidad operativa y económica de la solución: curvar perfiles laminados de 0.3 m en radios de 1.35 m tiene un coste potencialmente descontrolado, que es lo peor que puede decirse de un "coste". Además, soldar al aire libre en Holanda en invierno puede añadir una incertidumbre de plazos poco admisible en un proyecto con limitaciones de ejecución dramáticas: la obra no pudo iniciarse hasta diciembre: la exposición comienza a principios de abril... y todo ello antes de entrar en el sudoku económico de proteger la estructura a 30 minutos de incendio con soluciones que respeten la calidad visual del perfil de acero sin disparar el presupuesto. NUSSELL ESPAÑA S.A., adjudicatario final de la obra, contactó con KLH al objeto de analizar una posible solución en madera contralaminada. Dadas las posibilidades de utilizar como portante todo el perímetro, parecía claro que una solución estructural laminar podía ser la clave para cumplir con plazos y contener costes estructurales sin



INTERIORES





perjudicar la idea inicial del proyecto, más bien exactamente lo contrario.

Fue crítica, en la elección definitiva, una de las ventajas esenciales de la madera contralaminada, a saber, la predictibilidad de sus costes incluso en estructuras de apreciable complejidad como la que tratamos. Con casi total inmediatez, fue posible determinar que el espesor de placas a utilizar oscilaría entre 12 y 16 cm, y que los tiempos de montaje de las mismas no superarían las 0.4 horas-hombre/m² de paramento, contando con las complejidades geométricas de la propuesta. Con estos mimbres, el presupuesto pudo tejerse con una notabilísima seguridad: tan sólo quedó abierta la cuestión de los costes de herrajes para resolver las uniones en las zonas curvas. Esta oscilación se dejó abierta (antes del cálculo detallado de la estructura) entre los 3 y los 10 €/m². Otra de las ventajas “connaturales” al sistema jugó igualmente un papel definitivo: la rapidez de montaje. De hecho, el montaje se realizó durante la ola de frío polar de este invierno, con máximas diarias moviéndose entre -5 y -3 °C, en poco más de una semana a partir de la cimentación (es decir, el tiempo de erección de estructura de muros entramados y colocación de paneles), por unas ocho personas en obra. El frío ni siquiera supuso un freno de entidad significativa al ritmo de montaje (claro está que los montadores estaban habituados... eran suizos).

Acotados los costes de estructura y estimados verosímilmente los plazos, se llegó con rapidez al acuerdo de cambio entre promotores, diseñadores y contratistas. De modo que procedimos al desarrollo del proyecto de la estructura entre la oficina de arquitectura asociada a Nüssli España (Garraux-Carrera arq.) y el autor de este artículo, en representación de KLH. Realmente, fue un ritmo vertiginoso: los planos para producción de la contralaminada tuvieron que estar prácticamente listos, a nivel pedido proforma, en menos de tres semanas después de la concreción del acuerdo referido. Si se tiene en cuenta que el proyecto estructural partía prácticamente de cero, ha sido un ejercicio de eficiencia no precisamente característico de la idiosincrasia española. La combinación del “factor suizo” con la creatividad celtibérica pudieron ser los engranajes del razonablemente afortunado (el lector juzgará) resultado final. Por una vez, y ojalá sirva de precedente, el pabellón español fue de los primeros en estar erigido.

Toda la estructura se resolvió con láminas de madera contralaminada de espesor final 145 mm (con alguna zona en 162 mm), que se van ensamblando para configurar una lámina estructural cuyas condiciones de apoyo y mecanismos de transferencia de carga varían. En la zona más baja, se trata de losas biapoyadas en

la serie de pilares del muro-cortina. En la parte más elevada (el espacio central tiene una altura libre próxima a los 8 m), la forma de trabajo varía en función de cuál sea la carga que predomine. El cascarón que se forma en la cúpula puede transferir cargas parcialmente mediante un mecanismo de viga de pared delgada entre los muros-cortina, en un vano de 17 m, o bien mediante un mecanismo de arco biarticulado de directriz irregular. Sometida la estructura a viento norte, dicho cascarón pasa a comportarse como un perfil hueco en U invertida horizontalmente dispuesta.

Como toda tienda de campaña, es un estructura muy sensible a los efectos del viento. Dada la elasticidad de los sistemas de cubierta previstos, la deformabilidad permisible era muy elevada en el centro. Pero, desde luego, esto no era así en los muros cortina. De hecho, éstos no son “tales” en el sentido habitual del término: por lo general, este tipo de muros están soportados (colgados, muy frecuentemente), no soportando. La estabilidad a incendio requerida era lo suficientemente pequeña (30 minutos) como para permitir el uso de perfiles estructurales de madera vista sin recubrimientos ni protecciones, con gruesos lo suficientemente moderados (8 cm) como para no pesar demasiado visualmente. Los puentes entre pilares, ensamblados con éstos a cola de milano, cumplieron la doble función de cortar la luz transversal de los pilaretes, y aportar una rigidez lateral comparativamente pequeña, pero suficiente como para soportar su carga en un incendio de 30 minutos. Por otro lado, el muro fue objeto un intenso análisis de detalle para adaptar adecuadamente la solución constructiva a la deformabilidad de la estructura.

Debe notarse que, en caso de incendio, la estructura está pensada para estar operativa pese a la inhabilitación mecánica de los pilares más elevados, a los ca. 20 minutos de incendio generalizado. Adicionalmente a las consideraciones de incendio, se realizaron diferentes análisis de robustez (desaparición accidental de franjas de seis pilares consecutivos, eliminación aleatoria de paneles por intervenciones...) para asegurar que la estructura, con independencia de su supuesta vocación “efímera”, pudiera soportar horizontes temporales de uso prácticamente indefinidos. De hecho, en un ejemplo más de robustez, la estructura absorbió sin problemas los importantes levantamientos que sufrió la cimentación superficial de hormigón de que se partía, por efecto de la congelación del terreno.

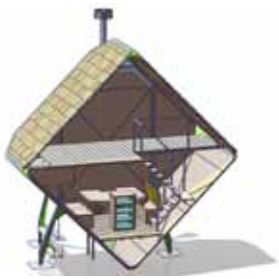
Sin duda uno de los elementos esenciales de la estructura, su “rodilla” (más bien su talón... de Aquiles), es el curvado. Mi propuesta inicial fue utilizar dos paneles contralaminados ranurados (para facilitar su curvado), posteriormente encolados y atornillados. La otra opción a barajar era el descomponer el cilindro en secciones planas de entidad suficientemente pequeña, unidas entre sí a tope mediante tirafondos de rosca completa de 20 a 30 cm de longitud. La opción de curvar presentaba el problema, inabordable por agenda, de requerirse la prudente realización de algún prototipo de validación. Esto condujo finalmente a la solución poligonal: como puede verse en las imágenes, fue la opción adecuada, dado que la percepción del usuario es casi exactamente la misma. Por otra parte, había ya antecedentes en KLH de soluciones constructivas similares y, en consecuencia, era mayor la certeza, sobre todo a efectos ejecutivos. La unión de

DETALLES



Detalles del pavimento y del mobiliario





los elementos entre sí se reveló particularmente complicada de materializar, dado que los límites de la deformación exigían que cada eje entre dos elementos tuviera una rigidez rotacional no inferior al orden de 100 kNm/rad, con unos esfuerzos torsionales resultantes potencialmente significativas, próximos a 8 kNm/m. Cuando el techo del casarón trabaja como viga (por ejemplo, en caso de rotura accidental del muro principal, o bien por su desaparición en una futura utilización modificada), las tensiones tangenciales entre las juntas puede alcanzar los 7 kN/m. Resultan valores relativamente moderados, en todo caso, inferiores a los que se generarían en caso de tratarse de quiebrs bruscos del faldón. No obstante, estas posibles tensiones en servicio eran inferiores a las que podían darse durante el montaje: considérese que todo el casarón, de unas 7 t de peso, se subió en una pieza, lo que implicaba riesgos nada desdeñables de cargas dinámicas accidentales. Fueron necesarias varias tentativas: considérese que las propuestas generadas con inmediatez a partir de algunas consideraciones de cálculo, llevaban a situaciones incompatibles geoméricamente, o bien a montajes cuyo control de ejecución podía resultar impracticable. La solución final fueron series alternadas de tirafondos de rosca completa, colocadas conforme a un patrón que combinaba la optimización (son elementos con costes unitarios muy altos) con la necesaria sencillez y sistemática de ejecución.

La estructura del suelo se realizó con un forjado de madera contralaminada nervado, sobre pilotes de madera hincados en un firme arenoso particularmente adecuado a este tipo de cimientos. Este forjado no sólo cumple la función de soporte de piso, sino que aporta un efecto de atirantado de la base, que minimiza empujes laterales en la cimentación, además de permitir un importante esfuerzo de empotramiento en los arranques de las láminas, que contiene su deformabilidad en viento.

En el proceso de justificación ante la oficina técnica de Floriade, surgió el problema de que las presiones básicas de viento a considerar en Holanda son superiores a las que se consideran en España y Portugal, como en un 20%. Además, se exigió a posteriori el que (independientemente de que en las bases del proyecto estaba establecido un período de vida menor de un año), debía plantearse un período de retorno de 50 años a efectos de estados límites últimos de colapso estructural generalizado (... en fin, por si acaso al final no lo desmontamos). Contrariamente a lo que parecía en una primera aproximación, para mantener niveles de seguridad adecuados, bastó con una intervención relativamente simple: el aprovechamiento de unos espacios muertos tras el mobiliario, para acuñar la fachada norte. Es un ejemplo más de la robustez

de los sistemas estructurales en contralaminado: los procesos de readaptación a incrementos de carga raramente tienen pesos económicos de entidad proporcional al aumento de prestaciones. Todos los elementos de madera se dejaron sin ningún tipo de tratamiento biocida. Puesto que el objetivo es la reducción al mínimo posible del impacto ambiental en el proceso de reciclado, esta decisión supone que la práctica totalidad de la madera (en su caso y por el procedimiento adecuado, herrajes incluidos) se puede convertir en biomasa para energía industrial. No obstante, parece poco verosímil que finalmente se desmonte un pabellón con la calidad del resultado final. Más bien, me inclino a pensar que será una especie de "ninot indultat". Esto llevará a un análisis de riesgo biológico posterior, que posiblemente implique el tomar medidas de ventilación adicionales y/o limitadas aplicaciones locales de biocidas en la zonas de mayor riesgo (los arranques de la "tienda" o los pilotes de apoyo del forjado).

Miguel Nenado mn@enmadera.info

CRÉDITOS

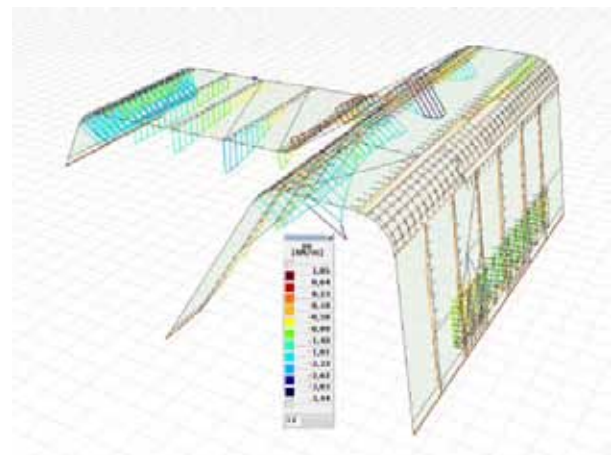
Diseño original: Pulgón

Proyecto inicial: Tragsatec

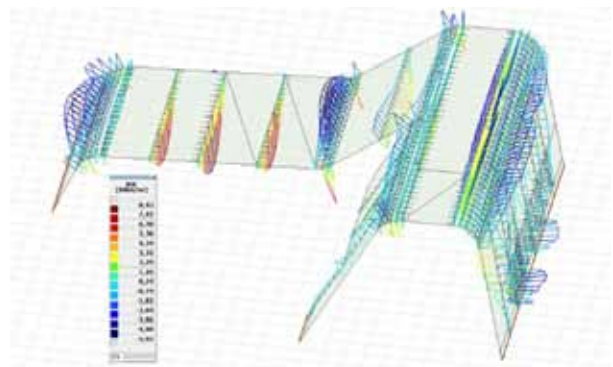
Proyecto ejecutivo y construcción: Nüssli España S.A.

Diseño estructural: Miguel Nenado

Paneles de madera: KLH 



Distribución de esfuerzos tangenciales y torsiones



EN CONSTRUCCIÓN

