

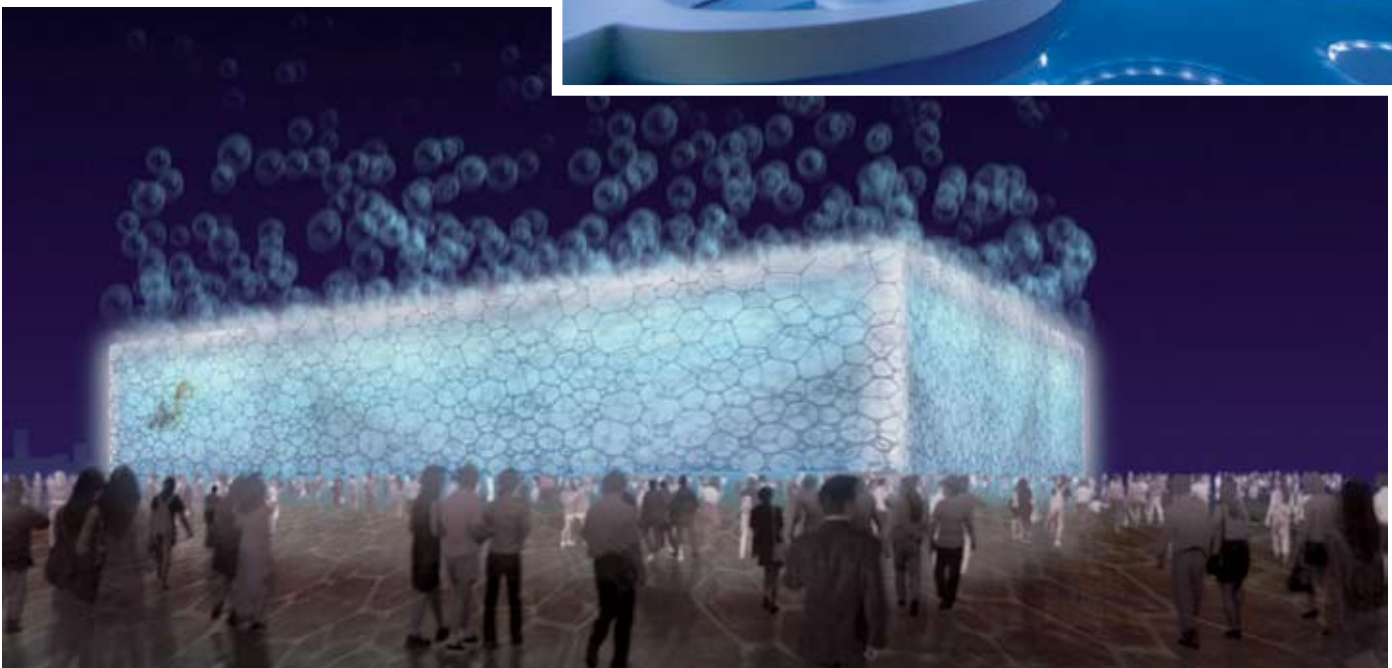
## ► OBRAS INTERNACIONALES

En el Parque olímpico, distanciados por unos pocos metros, se encuentran los imponentes estadios Nido de Pájaros y Cubo de Agua. La innovación y un moderno diseño mantienen la armonía que caracteriza a una cultura milenaria. Las dos espectaculares obras se potencian y generan un delicado equilibrio. Un equilibrio ancestral que se prolonga hasta nuestros días.

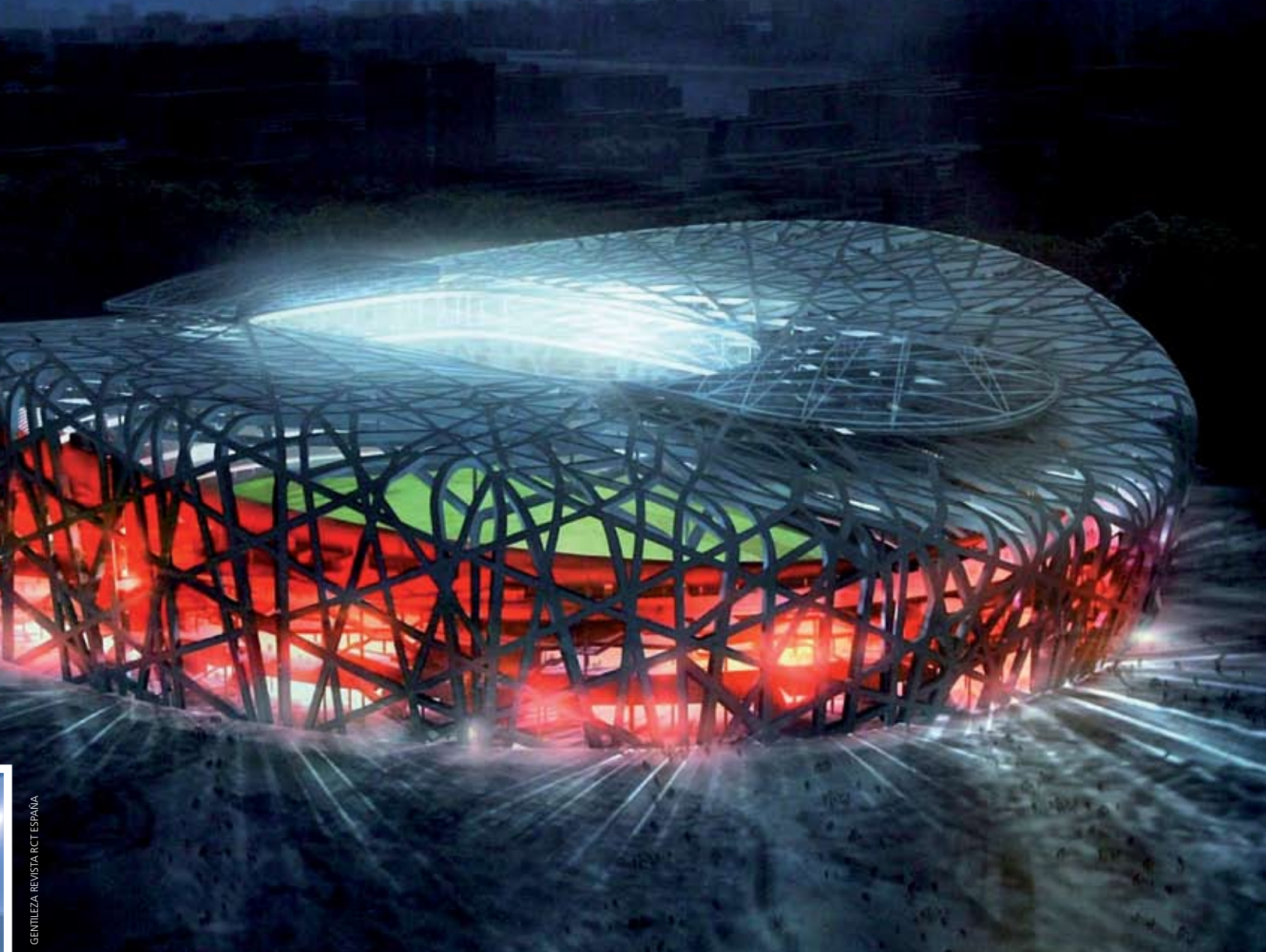
# ESTADIOS OLÍMPICOS DE BEIJING

# EL EQUILIBRIO DE LA INNOVACIÓN

MARCELO CASARES  
DESDE BEIJING, CHINA



GENTILEZZA PTW ARCHITECTS / REVISTA OBRAS MÉXICO



“**H**AY QUE VIVIR ESTO, no es ni remotamente parecido a que te lo cuenten”, dijo un profesional chileno al detenerse unos instantes entre los estadios Nido de Pájaros y Cubo de Agua en el Parque olímpico de Beijing. Este emocionado ejecutivo nacional, que formaba parte de una misión tecnológica chilena a China (ver recuadro La misión), tenía razón. Mucha razón, porque las dos impresionantes obras conmovieron de igual manera a este enviado especial de Revista BiT, al que además le queda la compleja tarea de contarlos “aunque no sea ni remotamente parecido a vivirlo”. Hay que intentarlo. Pero antes de abordar los aspectos técnicos, que los hay y en gran número, se debe decir que al contemplar estos dos monumentales proyectos un profundo silencio se apodera del insignificante espectador. De inmediato se comprende el simbolismo ancestral chino del Yin Yang que inspiró el diseño de los dos estadios, como si fueran dos fuerzas opuestas y complementarias, como el día y la noche, la vida y la muerte, la tierra y el cielo, el sonido y el silencio. En fin, el equilibrio. Y en ese estado no resulta difícil imaginar a cientos de Guerreros de Terracota izando la espectacular estructura metálica del Nido de Pájaros y a un gigantesco dragón lanzando desde el cielo miles de burbujas hasta formar el Cubo de Agua. Abrimos los ojos y volvemos a la realidad para repasar algunos de los aspectos técnicos que sobresalen en estas obras. Los Juegos Olímpicos de Beijing ya pasaron a la historia, pero el interés por conocer el diseño y la construcción de los emblemáticos estadios recién comienza.

## FICHA TÉCNICA

### NIDO DE PÁJAROS

**Nombre:** Estadio Nacional  
**Ubicación:** Parque olímpico  
**Uso durante los JJOO:** Inauguración, Clausura, Atletismo, Fútbol masculino  
**Uso durante los Juegos Paraolímpicos:** Inauguración, Clausura, Atletismo  
**Superficie:** 258.000 m<sup>2</sup>  
**Asientos permanentes:** 80.000  
**Asientos Temporales:** 11.000  
**Inicio de la construcción:** 24 de diciembre de 2003  
**Arquitectos:** Herzog & DeMeuron y el Instituto de Diseño y Arquitectura de China

### CUBO DE AGUA

**Nombre:** Centro Acuático Nacional  
**Ubicación:** Parque olímpico  
**Superficie:** 79.532 m<sup>2</sup>  
**Uso durante los JJOO:** Natación y Saltos  
**Uso durante los Juegos Paraolímpicos:** Natación  
**Asientos Fijos:** 6.000  
**Asientos Temporales:** 11.000  
**Inicio de la construcción:** 24 de diciembre de 2003  
**Arquitectos:** PTW Architects



GENTILEZZA ENERPAC

**Etapa final del montaje de la estructura de 42.000 t de acero entrelazado.**

## Nido de Pájaros

La analogía propuesta por los arquitectos suizos Herzog & Meuron fascinó al jurado chino encargado de decidir el diseño del estadio, sede de los Juegos Olímpicos de 2008. No es para menos. En China, el nido de pájaros representa un manjar costoso y considerado extremadamente saludable, que se sirve en ocasiones sumamente especiales. A esto se agrega que la estructura metálica para sostener el techo retráctil, efectivamente parecía un delicado tejido de ramas realizado por un ave. Y aunque finalmente se descartó la aplicación de la cubierta, por razones de costos, la idea de la oficina suiza, autora del estadio alemán Allianz Arena, se impuso entre 13 propuestas finalistas provenientes de nueve países. Algunas cifras que impresionan. El Estadio Nacional, su nombre formal, se ubica en el sector sur del Parque olímpico, siendo el recinto principal de los 29<sup>º</sup> Juegos Olímpicos. Su superficie alcanza los 258 mil m<sup>2</sup> y su capacidad es de 91.000 espectadores, incluyendo 11.000 asientos temporales. Su estructura de acero elíptica pesa 42.000 t, tiene 333 m de largo, 294 m de ancho y 69 m de altura, y su vida útil supera los 100 años.

En el Nido de Pájaros numerosos aspectos llaman la atención. Para empezar, se debe destacar que la estructura hace de fachada y la fachada de estructura. Es decir, se trata del mismo elemento. Es un complejo de componentes estructurales de acero que se sostienen mutuamente y convergen en una red, como las ramas entrelazadas en un nido de ave. Un dato importante. La estructura metálica exterior se encuentra separada de la sección de hormigón que contiene los asientos, para incrementar su resistencia a sismos. Así, se estima que el estadio soportaría un terremoto de 7,9 en la escala Richter, como el que demolió la ciudad china de Tangshan el 28 de julio de 1976.

La estructura consta de tres círculos: exterior, central e interior. Cada uno cuenta con un número específico de columnas de soporte, siendo 24 para los círculos exterior y central, y 30 para el interior. La mayor de estas 78 columnas pesa alrededor de 500 toneladas y alcanza los 69 metros. Por su parte, las vigas principales poseen 12 m de altura y la máxima distancia entre las dos vigas se sitúa en los 102,39 metros.

Semejante estructura requiere de materiales de extraordinaria resistencia. En este caso, duplicar el estándar. Según el experto Hou Zhaoxin(\*\*), quien participó de la ejecución del proyecto, el acero utilizado es el

Q460E235, el máximo grado empleado en la construcción. La nomenclatura tiene una explicación. El profesional manifestó que la cifra 460 alude a la resistencia del acero, E al parámetro de la tenacidad y el impacto negativo bajo 40 grados, y Z235 al más alto rendimiento del material.

A estos antecedentes se agrega el complejo de estructuras secundarias que se traduce en la diversidad de las articulaciones nodales de las principales, que requiere precisión y sofisticado sistema de fabricación e instalación. Así, no resulta difícil imaginar que el montaje de la estructura implicó un reto inmenso. Para optimizar la carga, el control y la seguridad del sistema se dividieron los 78 pilares en 10 zonas, cada una con su propio controlador. A través de sofisticados software se programaron los datos de carga y montaje para asegurar un proceso de elevación y descenso completamente controlado. Abundaron las simulaciones virtuales de montaje y las pruebas en terreno.

De las 42.000 t que pesa el proyecto, el techo y las partes colgantes representan alrededor de 11.200 toneladas. Esta pesada carga de la cubierta fue soportada por 78 columnas temporales de acero. Para mayor estabilidad, se soldaron las inmensas ramas del techo en los soportes. Tras finalizar la estructura del nido, se tuvieron que cortar las 'ramas' de los

GENTILEZA ENERPAC



Los sistemas hidráulicos ubicados en cada uno de los 30 pilares del círculo interior. A la izquierda, los soportes temporales se cortan de los elementos estructurales secundarios de acero.

pilares de soporte para poder comenzar con el desmontaje de los pilares temporales. Atención, porque un momento clave del montaje sucedió cuando se retiraron los esfuerzos temporales y los pilares debieron soportar sin intermediarios el peso del techo. El proceso de desconexión y desmontaje de los soportes temporales consistió en levantar la estructura de una forma sincronizada y completamente controlada de sus soportes, cortar las soldaduras, seguido de un descenso controlado y sincronizado por etapas para permitir la extracción de las placas niveladoras de 50 mm utilizadas durante la construcción. La hidráulica controlada por computación fue la solución aplicada. La compañía Enerpac especificó y diseñó para esta aplicación la configuración completa, incluyendo el sistema central, los controladores satelitales, los 156 cilindros hidráulicos de alta presión y doble efecto, y las 55 unidades de potencia hidráulica controladas electrónicamente. Para mayor seguridad, control y precisión se integraron válvulas multifuncionales, sensores de carga, sensores de carrera, detectores de desviación y un sistema digital de retroacción. Tras desconectar con éxito la estructura de acero de 45.000 tonela-

das de sus pilares temporales de soporte, el nido se sustentó por primera vez sobre sus propias columnas. Un alivio para todos porque a pesar de tratarse de monumentales piezas, la precisión era el norte a seguir. En este delicado proceso el descenso máximo permitido del círculo exterior se limita al rango de 68 a 286 mm, el medio de 161 a 178 mm y el interior de 208 a 286 milímetros. Si en la faena se superaban estos indicadores se habrían generado grietas en el esqueleto, provocando en las etapas sucesivas problemas en el diseño, la fabricación y montaje. Con los resultados a la vista, hubo precisión quirúrgica.

Para que nadie se quede mirando el techo, el Estadio Nacional se cubre con una doble capa de membrana de estructura, una transparente conformada por un polímero llamado ETFE (Etileno Tetra Fluoro Etileno) en la parte superior de la techumbre y una translúcida PTFE en el inferior. Finalmente, se aplica una solución acústica de PTFE (Etileno de Poli Tetra Fluoruro) a las paredes laterales del anillo inte-

rior. Otro dato, el uso de membranas de ETFE permite exhibir espectáculos de luces y figuras geométricas en su exterior. Por si fuera poco, el recinto se encuentra equipado con un sistema de energía solar y un recolector de agua lluvia para procesarla y aplicarla en su irrigación y limpieza.

## Cubo de agua

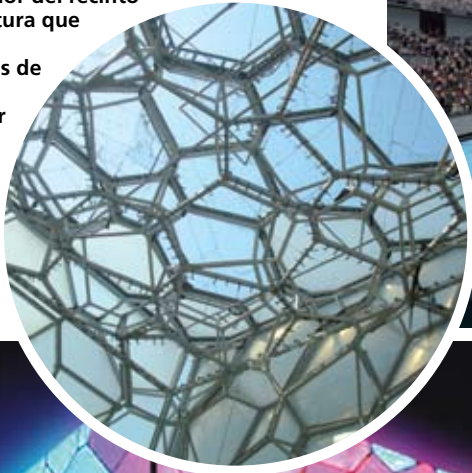
A unos pasos del Nido de Pájaros se encuentra el Cubo de Agua, o Water Cube o Centro Acuático Nacional. Como en el proyecto anterior, no corrió sola la oficina de arquitectos victoriosa. Para nada, debió enfrentar a 150 proyectos de todo el mundo y someterse a una ronda final ante 10 exigentes competidores, para alcanzar la presea dorada. Claro, la idea de PTW Architects (Australia) resultó sencillamente espectacular. La innovación se desprende de cada poro, de cada burbuja en este caso. No hay equivocación, porque el diseño se inspiró en algo tan efímero y etéreo como una burbuja. Así, la fachada del Cubo de Agua se compone de 3.500 almohadones de aire del material ETFE (Etileno Tetra Fluoro Etileno). Sí, 3.500 burbujas distintas.

## LA MISIÓN

Del 17 al 28 de noviembre se realizó una misión tecnológica chilena a China, organizada por la Cámara Chilena de la Construcción, con la colaboración de la Corporación de Desarrollo Tecnológico y la Cámara Chileno-Alemana de Comercio e Industria. En las ciudades de Beijing y Shanghai, más de 30 profesionales del sector mantuvieron una reunión con Ernesto Lagos, director de ProChile en Shanghai, observaron distintas obras en ejecución y visitaron la feria especializada en maquinaria Bauma China 2009. Entre las actividades se destacan las visitas a viviendas sociales con un sistema de aislamiento térmico exterior compuesto (ETICS), el Parque Olímpico de Beijing, la construcción de condominios de lujos, el Museo de la Planificación, la Villa Expo de la oficina alemana de arquitectos HPP para la Muestra Universal Shanghai 2010, el Tren de levitación magnética que alcanza una velocidad de 300 km/h, el Observatorio del rascacielos Shanghai World Financial Center a 435 metros de altura, el Puerto Shanghai ubicado en la isla de Yangshan que se une al continente con un puente de 32 kilómetros, y la construcción del nuevo Aeropuerto de Hongqiao (en la foto).



Las burbujas de ETFE permiten el traspaso de la luz natural al interior del recinto (a la derecha). La estructura que sostiene la fachada se compone de 22.000 vigas de acero (al centro). La iluminación formada por diodos luminiscentes ahorran hasta un 60% de energía, en comparación con soluciones tradicionales (abajo).



El edificio atrapa. De día con un soberbio azul y de noche con espléndida iluminación, el recinto genera un magnetismo que atrae invariablemente a los visitantes. Imposible resistirse. Su fachada parece una piel que respira, y efectivamente respira. Las burbujas consisten en prismas pentagonales de 12 y 14 caras ligeramente curvas. Se componen de dos capas de membranas traslúcidas infladas con aire a baja presión, soportadas por una estructura de acero. Cada burbuja posee su propia bomba para el inflado y durante la construcción este procedimiento se realizó en reiteradas ocasiones para comprobar su presión, encuadre, forma y transparencia. No se trata sólo de vuelo creativo, al contrario, éste se pone al servicio de una innovadora solución energética. Las almohadas operan como cámaras de aire obteniendo ganancia térmica y confort climático al interior, excelente luminosidad y repele la incidencia de los rayos UV. Es más, la membrana absorbe sólo el calor necesario hasta alcanzar los 28°C. A través de la primera capa de la cubierta ingresa el 95% del calor. La segunda retiene un 40% de calor y sólo deja pasar un 5%, el 50% restante se expulsa por válvulas existentes en la primera

capa. Además, el calor absorbido colabora con el calentamiento del agua de los 5 natatorios. Por si fueran pocos elementos sostenibles, el edificio acumula y reutiliza el agua lluvia.

Las propiedades del material de las burbujas facilitan que la luz natural se refleje por el interior de toda la estructura, y que su color cambie vistosamente pues durante el día el tono es entre azul y gris. Para la noche, se dispuso de una novedosa iluminación azul formada por diodos luminiscentes que ahorran hasta un 60% de la energía consumida por los tradicionales tubos fluorescentes. Los fabricantes aseguran que el film de las almohadas resiste las tormentas de arena, los veranos asfixiantes y los fríos inviernos de Beijing. Finalmente, el material se autolimpia porque sólo con lluvia se elimina eficazmente el polvo acumulado en la superficie.

Sí, lógico. Antes de terminar hay que saber dónde se apoyan las burbujas. Se trata de una estructura compuesta por 22.000 vigas de acero. La compañía Arup desarrolló el modelo computarizado del esqueleto metálico para optimizar el diseño y el análisis estructural. Así, se determinaron las secciones y pesos mí-

nimos para cada uno de los elementos estructurales. Se analizó en detalle cada una de las vigas, evaluando su comportamiento frente al tamaño variable de las burbujas, la más grande ronda en los 9 m de longitud, y factores como viento y sismos. En la fase de estudio y cálculo, cada elemento de acero se puso a prueba en virtud de 190 casos diferentes de carga. El objetivo era uno solo, generar los más estrictos escenarios para obtener un esqueleto fuerte pero ligero. Para el montaje de la estructura metálica, efectuado sobre una gran base de hormigón, los constructores dedicaron casi dos meses para realizar el andamiaje e instalación, siendo necesaria una estricta nomenclatura para cada una de las piezas y sus uniones.

Los estadios mantienen la armonía propia de una cultura milenaria. El equilibrio reina entre estas dos fabulosas obras. El equilibrio domina la innovación y la vida. ■

<http://en.beijing2008.cn>

(\*) Información proveniente de investigación propia, Revista Obras México (Cubo de Agua) y la empresa Enerpac (Nido de Pájaros).

(\*\*) Hou Zhaoxin hizo estas declaraciones en el sitio [www.beijingbirdnest.com](http://www.beijingbirdnest.com)

#### EN SÍNTESIS

**En el Parque olímpico de Beijing, donde se realizaron los últimos Juegos Olímpicos, se destacan el Estadio Nacional y el Centro Acuático Nacional, más conocidos como el Nido de Pájaros y el Cubo de Agua, respectivamente. Las obras destacan por un imponente diseño y por incorporar conceptos innovadores en construcción, montaje y soluciones energéticas. En el Nido de Pájaros sobresale su estructura de acero, cuyo peso alcanza las 72 mil toneladas. En el Cubo de Agua impacta su frontis compuesto por 3.500 burbujas de ETFE (Etileno Tetra Fluoro Etileno).**

GENTILEZA PTW ARCHITECTS / REVISTA OBRAS MÉXICO

# Comprometidos en hacer realidad tus proyectos.



Siempre entregando la mejor calidad de servicios, rapidez de respuesta y tecnología aplicada en obra. Así, tus proyectos dejan de ser proyectos.



## READY MIX

Más compromiso. Más soluciones.

[www.cbb.cl](http://www.cbb.cl)