





# Estadio en concreto incrustado en la naturaleza

Dr. Luis M. Bozzo, MSC.,  
PhD. Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.I.

## Antecedentes y descripción general

El estadio de fútbol para el club Las Chivas de Guadalajara, México, es en la actualidad uno de los más importantes escenarios deportivos en construcción que obedecen a un diseño arquitectónico conceptualmente fuerte. Su aspecto exterior tiene forma de volcán con una cubierta principal de planta aproximadamente elíptica en todo su contorno y de 60 m de ancho. Una gran berma exterior inclinada define las laderas del volcán y la cubierta, apoyada en el mínimo número de columnas (16 en este caso), define una nube sobre el cráter. De esta forma se logra una agradable área verde alrededor del estadio que resuelve el complicado aspecto arquitectónico formal que representa una fachada de enorme magnitud.

La estructura se enmarca dentro de un proyecto global mucho más complejo denominado “Centro JVC”. En este proyecto global participan los más destacados arquitectos de nivel mundial e incluye edificios para auditorios y centros de convenciones.

El estadio se asienta en un terreno de 147.000 m<sup>2</sup> con 125.000m<sup>2</sup> de construcción, 5.000 plazas de estacionamiento dentro del estadio y 70.000m<sup>2</sup> de áreas verdes a su alrededor. Dispone de 330 palcos privados para 9, 11, 12 y 13 personas con 45.000 asientos de visibilidad plena junto a 208 lugares para personas con capacidades diferentes y sendos acompañantes, superando los estándares oficiales de la FIFA. Su costo final sobrepasó los 100 millones de dólares.

El complejo está ligado a la construcción de un nodo vial que permite evacuar el estadio en un plazo entre 15 y 18 minutos. El acceso al propio estadio se logra mediante una gran puerta de entrada, lugar de reunión y festejo antes de cada partido, con 5 puertas de salida adicionales que evitan accidentes como el sucedido en Lima el

24 de mayo de 1964, donde murieron 327 personas aplastadas en un intento de la policía por reprimir a un fanático.

Los aspectos más significativos que definen el proyecto son:

- Las laderas del volcán utilizan una berma interior a partir de la cual se excava el terreno, una “berma hueca” con un gran espacio interior libre.
- Las macrocolumnas de soporte de la cubierta se incorporaron a la transmisión de cargas de la berma hueca y de los elementos portagradas, proporcionando una estructura que permite el paso de la luz casi en su totalidad. Esta estructuración tuvo grandes ventajas, no solo por abrir un amplio espacio interior, sino por facilitar el equilibrio del momento flector propio de las macrocolumnas originado por la gran cubierta en voladizo, lo cual alivia su valor en la base, tal como se comentará posteriormente.
- Dada la elevada sollicitación sísmica de México, es habitual el uso de pilotes. En Guadalajara el terreno tiene mayor capacidad portante y permite, mediante una mejora del mismo, obtener tensiones superiores a los 6-10kg/cm<sup>2</sup> de trabajo. Por esto se empleó una cimentación mediante zapatas aisladas o combinadas superficiales.



Vista aérea del proyecto





**Vigas** de transferencia que se apoyan en las macro-columnas y columnas interiores

## Configuración estructural

Desde el punto de vista estructural, el estadio tiene distintos aspectos singulares que permitieron una planta muy eficiente frente a sismos severos, combinando distintas técnicas como elementos postensados, elementos prefabricados, y macrocolumnas. Por otra parte, es una estructura de grandes dimensiones sin juntas de dilatación –el perímetro del anillo que definen las macrocolumnas tiene más de 680 m de longitud– dado que éstas disminuirían sensiblemente su resistencia frente a sismos al perder la forma de anillo rígido. Las gradas se diseñaron como isostáticas pero con continuidad para sobrecargas o cargas de uso, lo cual evita filtraciones de agua y disminuye vibraciones.

## Mecanismos de transmisión de cargas

Como se ha indicado, la cimentación se realizó mediante zapatas aisladas y combinadas mejorando el terreno existente, vaciándolo y mezclándolo con cemento para volver a colocarlo de manera compactada. Esta técnica mejora la capacidad portante en las zonas donde es necesario, y no en elementos poco solicitados como muros o columnas con poca carga. De esta forma la cota de desplante del concreto está en valores similares, lo cual tiene ventajas para solicitaciones sísmicas minimizando elementos que, por una rigidez relativa excesiva e involuntaria, pudieran estar solicitados por un mayor esfuerzo de corte.



**Berma** hueca del estadio

Las gradas –elementos semiprefabricados continuos– se apoyan en un total de 48 elementos “portagradas” de 75 cm de espesor y ancho variable, que incluyen vigas postensadas de sección variable. El estadio tiene una planta aproximadamente elíptica con distancia de 42 m entre las macrocolumnas que soportan la cubierta principal. El perímetro en el eje de estas macrocolumnas es de 680 m, por lo que la distancia aproximada media entre portagradas es de 14,2 m, la cual disminuye hacia el interior del campo. No todos los elementos portagradas se apoyan directamente en columnas: 32 de ellos se sustentan en vigas de transferencia que transmiten la carga en las mencionadas macrocolumnas. De esta forma, la luz entre portagradas es superior a 22 m, lo cual aumenta la sensación de estructura diáfana pero robusta que emana de todo el estadio.

Un aspecto muy interesante de esta configuración estructural corresponde al equilibrio del momento flector de las macrocolumnas y su “neutralización” en altura. Es claro que, en su extremo superior, estos elementos soportan un momento flector muy elevado producto



**Elementos** portagradas postensados

del voladizo de 35 m de la cubierta principal. Sin embargo, a medida que la altura disminuye, los portagradas y principalmente toda la berma exterior del estadio, se apoyan en estos elementos y la berma equilibra el momento flector. De esta forma en la base de la zapata se obtiene básicamente una sollicitación axial mucho más favorable a la que se habría obtenido dejando libre la macrocolumna, en cuyo caso el momento flector habría sido constante en toda su altura, con un orden de magnitud mayor de flexibilidad de la cubierta, de gran voladizo, frente a acciones de viento.

Las gradas tienen luces libres de más de 14 m, por lo que debían ser pretensadas, lo cual es difícil de realizar en taller. Por ello se plantearon inicialmente como elementos postensados con 4 o 6 anclajes de 0,6". Durante la construcción, sin embargo, se prefirió modificar el postensado y fabricar moldes a pie de obra para su prefabricación. Otro aspecto innovador del estadio, en comparación con la práctica habitual, es la continuidad mínima en los extremos de estas piezas para minimizar futuras filtraciones de agua que son comunes en muchos estadios prefabricados del mundo. Mediante la técnica dispuesta se prefabrican los elementos y se montan sin apoyos provisionales; una vez alcanzada la deformada por su peso propio se les da continuidad en los elementos portagradas, reduciendo posibles filtraciones y vibraciones.



**Gradas** prefabricadas

## Técnicas constructivas

Tal como se ha visto, un aspecto interesante del estadio es el empleo de distintas técnicas tales como concreto postensado, concreto pretensado in situ, y concreto armado. Con respecto al tipo de concreto empleado para todo el estadio, se utilizaron mezclas de consistencia blanda con tamaño máximo de los agregados de 20 mm y grado de exposición normal. El hecho de emplear un concreto similar para todo el estadio facilitó su control.





**Vista** exterior de la construcción de la estructura del estadi



**Vista** interior de la construcción de la estructura del estadio

El proceso constructivo se inició en el año 2006 con la mejora del terreno. Posteriormente se fueron ejecutando las plantas inferiores de sótano para estacionamiento y elevando las macrocolumnas de soporte para la cubierta principal. Durante el año 2008 se inició la colocación de los elementos prefabricados, los cuales, desde el inicio de la construcción se fueron fabricando a pie de obra mediante moldes que permitían su pretensado “in situ”. En el año 2009 habiendo

finalizado la colocación de los prefabricados interiores para las gradas y plantas de circulación, se procedió al montaje de la cubierta. A medida que se colocaba la cubierta se montaban los elementos prefabricados que definen la berma exterior del volcán. Este proceso era necesario dado el elevado peso de los paneles de la cubierta además de la necesidad de acercarse al máximo al borde exterior de la berma. El extremo inferior de la tierra de la berma no se colocó hasta que se finalizó la colocación de los prefabricados inclinados que definen el extremo superior de la berma.

#### FICHA TÉCNICA

**Nombre de la obra:**

Estadio de fútbol para el club “Chivas” de Guadalajara, México

**Promotor:** Eduardo Vergara

**Autor del Proyecto estructural:** Luis M. Bozzo, Msc., PhD.

**Autor del Proyecto arquitectónico:**

Massaud-Pauset y HOK-México

**Perito local:** Ing. Roberto Dávalos

**Empresa constructora:** ICA

**Director de Obra:** Arq. Mario Velázquez Zaragoza

**Jefe de obra:** Ing. Joaquín Rincón

**Control de calidad:**

ICA (Responsable: Arq. Martha de la Rosa Gudíño)

**Presupuesto:** 100 millones de dólares