愛

媛

縣

民

館

松

山

443 - 6

cúpula Ehime - Matsuyama

KENZO TANGE, *arquitecto*

YOSHIKATSU TSUBOI, *ingeniero*

El auditorio japonés Ehime, adaptable a funciones distintas, tiene una capacidad de 1.400 plazas sentadas. Consta de una gran sala principal de planta circular, de 50 m de diámetro, y una serie de servicios anexos que, en conjunto, dan a la obra un marcado interés estructural y constructivo. La cancha y tribunas se han cubierto con una cúpula esférica, de hormigón armado de espesor variable, apoyada simplemente sobre veinte soportes perimetrales, en cuyas cabezas superiores descansan los rodillos que permiten la deformación elástica de la cúpula.

Adosado al cuerpo principal se ha construido un ala, en la que se distribuyen los distintos servicios y que constituye enlace con otro cuerpo circular, de original estructura de cubierta; en él, se han instalado las oficinas y sala de consejo para la explotación del edificio.

Los cimientos propiamente dichos están formados por las zarpas de pie de cada uno de los soportes y las correspondientes a los apoyos de la parte inferior del entramado que forma el graderío, el cual se eleva en pendiente sobre el plano del terreno adaptándose al perfil de las tribunas. Estas zarpas y pilares, así como el forjado de las tribunas, están resueltos en hormigón armado.

La cúpula es el elemento principal de la construcción: tiene 50 m de diámetro; su espesor varía de 12 cm en la clave a 70 cm en el borde, siendo la flecha de su intradós de 6,70 m. El peso muerto de la lámina de hormigón armado que forma la cúpula es de 1.500 toneladas. El concepto dominante en este tipo de cubierta es conseguir la total independencia de ésta con el resto de la estructura, logrando que los soportes se liberen de los efectos que produciría el empuje de la misma.

Antes de llegar a una solución satisfactoria desde el punto de vista funcional, estético y resistente, el autor analizó, detenida y detalladamente, el efecto de la carga vertical, comportamiento térmico y sísmico, ley de variación de espesor y, finalmente, tratar la flexión como efecto presente activo, es decir, no considerarla como secundaria. La primera intención en este análisis se encaminó hacia una solución de tipo general que, aun dentro del orden de carácter aproximado, prometiese un grado aceptable de confianza en el caso de espesor variable.

La cubierta se estudió sobre un modelo reducido a escala 1/20, construido con mortero de cemento y armado con alambre. Los resultados obtenidos fueron tan satisfactorios que pueden extenderse a casos de carácter general.

La introducción de rodillos para el apoyo de la bóveda tiene por objeto evitar la posibilidad de fisuración en el momento de descimbrar, ya que, de no tomar esta precaución, la unión rígida entre bóveda y soporte daría lugar, en la deformación accidental del descimbre, a un agrietamiento en esta parte.

設 計 : 丹 下 健 三 ・ 他 , 構 造 : 坪 井 善 勝 ・ 他

Los métodos analíticos para el cálculo de láminas de superficies de revolución hasta hoy empleados, todos tratan los esfuerzos de flexión como efectos simétricos respecto al eje de rotación, y, por tanto, las expresiones analíticas a que dan lugar en el caso de cargas simétricas y efectos uniformemente repartidos de temperatura dan resultados francamente satisfactorios para este tipo de proyectos; pero lo que en este análisis previo se pretendía era desarrollar un procedimiento de cálculo aplicable al caso de cargas disimétricas, circunstancia que se presenta prácticamente, porque las cargas pueden actuar con completa arbitrariedad.

La ecuación diferencial derivada en el desarrollo del método de cargas asimétricas es de tipo parcial y de mayor grado, ya que intervienen la variable, φ , de la dirección meridiana, y la otra, θ , de la paralela, lo que da lugar a una solución complicada. Por esta razón se procedió a desarrollar un procedimiento aproximado, simplificando las expresiones al suprimir ciertos términos.

El método desarrollado por el autor sólo es aplicable a bóvedas relativamente planas, y, si se utiliza en otras de mayor flecha, los valores correspondientes a los esfuerzos de flexión resultan ser de mayor consideración que la prevista.

En estos desarrollos analíticos, el autor ha empleado funciones de Bessel; pero como para el caso de fuerzas asimétricas estas funciones son de un orden elevado y hasta hoy no han sido calculadas, el autor ha utilizado, con objeto de simplificar, sólo los primeros términos de las series de Fournier en los casos de cargas asimétricas.

La ecuación fundamental es la de equilibrio, bajo la acción de fuerzas y relaciones compatibles entre éstas, deformaciones y traslaciones, acomodándola después a las condiciones de nuestro caso concreto en el caso de una forma esférica pura de espesor uniforme, en la que se estudia y modifica para el paso a la ecuación general con espesor variable.

南立面

Finalmente, se estudiarán también los efectos que dan lugar los huecos en la parte superior de la bóveda, pudiéndose comprobar que éstos no eran de gran consideración por hallarse alejados del borde.

Con objeto de dar una idea general de los resultados de los distintos casos estudiados, sin pasar por los extensos desarrollos analíticos para llegar a soluciones aceptables, nos limitaremos a representar, gráficamente, los resultados comparativos teniendo en cuenta las diferentes hipótesis y métodos y suponiendo la bóveda sometida al peso propio y apoyada simplemente sobre cajas de rodillos colocadas entre soportes peritéticos y borde de la bóveda.

En los gráficos de esfuerzos se han representado con trazo lleno (A) los momentos $M\varphi$ y $M\theta$ (según los meridianos y paralelos respectivamente), para el caso de espesor variable. La curva (B) representa las fuerzas calculadas para un espesor uniforme de 12 cm. La línea punteada (C) representa las fuerzas correspondientes al caso de un espesor medio de 42 cm, es decir, entre 12 en la clave y 72 en el borde. La línea (D) corresponde a un segundo método aproximado debido a M. Hetenyi, en el que se ha tomado un espesor medio de 42 cm. Como se puede apreciar del resultado de estas curvas, el método aproximado presenta suficiente exactitud con respecto a la solución.

Con objeto de apoyar solidamente el entramado que sostiene la cimbra, una vez ya terminados los cimientos se procedió a hornear la solera de base del solado de la gran sala.

interior

Fotos: CH. HIRAYAN

detalle de
apoyo
perimetra

planta

sección longitudinal

detalle de graderíos

gráficos de esfuerzos

Sobre este apoyo, firme, se levantó el entramado y, en la parte superior, se colocaron las piezas radiales estrechamente espaciadas, cerrando, finalmente, con un entablado continuo machihembrado sobre el que se colocó el hormigón sin más encofrado.

Colocadas y fijadas provisionalmente con tacos las armaduras, a fin de mantenerlas en posición durante el hormigonado, se procedió a extender una redcula, especie de tela metálica, en la parte superior. Esta redcula retenía el hormigón, a pesar de la pendiente, y servía, a la vez, como elemento adicional estructural.

Para evitar las posibles deformaciones del encofrado durante el hormigonado, como consecuencia de la irregularidad de la distribución de cargas, se montaron una serie de vientos que, unidos en la parte superior a los encofrados, anclados en el suelo por la otra extremidad y provistos de tensores, permitieron mantener la forma geométrica original de los encofrados durante el hormigonado, evitándose con esto deformaciones de relativa importancia.

La edificación de planta circular en la que se distribuyen las oficinas y sala de consejo, presenta una cubierta fungiforme laminar de hormigón armado. Arranca verticalmente del núcleo central y su superficie se abre hasta llegar a la horizontal en su línea de borde, en la que se apoya en un zuncho metálico. Este zuncho metálico se apoya perimetralmente en una serie de soportes metálicos en celosía, que constituyen al mismo tiempo los elementos verticales para sujeción de la superficie acristalada que forma el cerramiento del edificio.