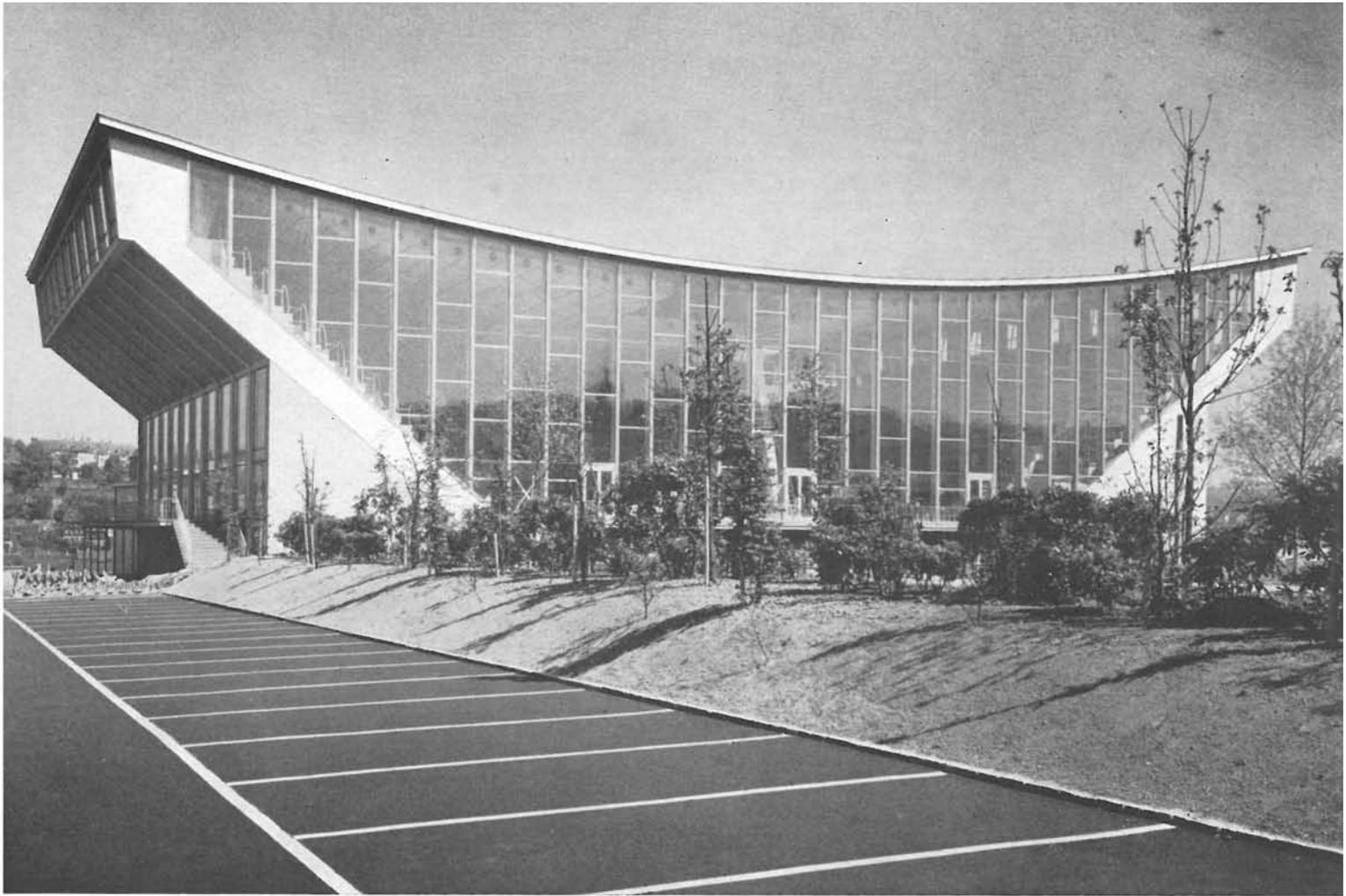


cubierta colgada
piscina municipal de Wuppertal

FRITZ LEONHARDT y WOLFHART ANDRÁ, Ingenieros



151 - 23

La gran piscina municipal de Wuppertal (Alemania), de forma en T, presenta una superficie de 40×65 en planta. Para cubrir esta superficie se pensó, en principio, en cubrirla con una lámina ondulada, de hormigón, de generatrices según la mínima dimensión de su proyección.

Las instalaciones y graderíos aconsejaban una cubierta colgada como solución más favorable, propuesta por Leonhard. Esta idea fué bien acogida desde el primer momento, ya que su aspecto, tanto interior como exterior, se vería mejorado respecto a las formas cubiertas con láminas onduladas. A todas estas ventajas había que añadir la ligereza de su peso, pues este tipo de cubiertas resulta ser una tercera parte más ligeras que aquéllas.

Aunque las cubiertas colgadas actuales son de doble curvatura, su proyectista, el señor Leonhard, llegó a una solución en la que, por comparación con lo que sucede en los puentes colgantes, se puede llegar a la conclusión de una sola curvatura, siempre que el propio peso sea suficiente y se fijen convenientemente los lados.

Las depresiones o succiones provocadas por el viento en las partes superiores de los edificios, de gran valor en las proximidades del borde, disminuyen rápidamente hacia el interior en las cubiertas, planas, dando valores de escasa importancia.

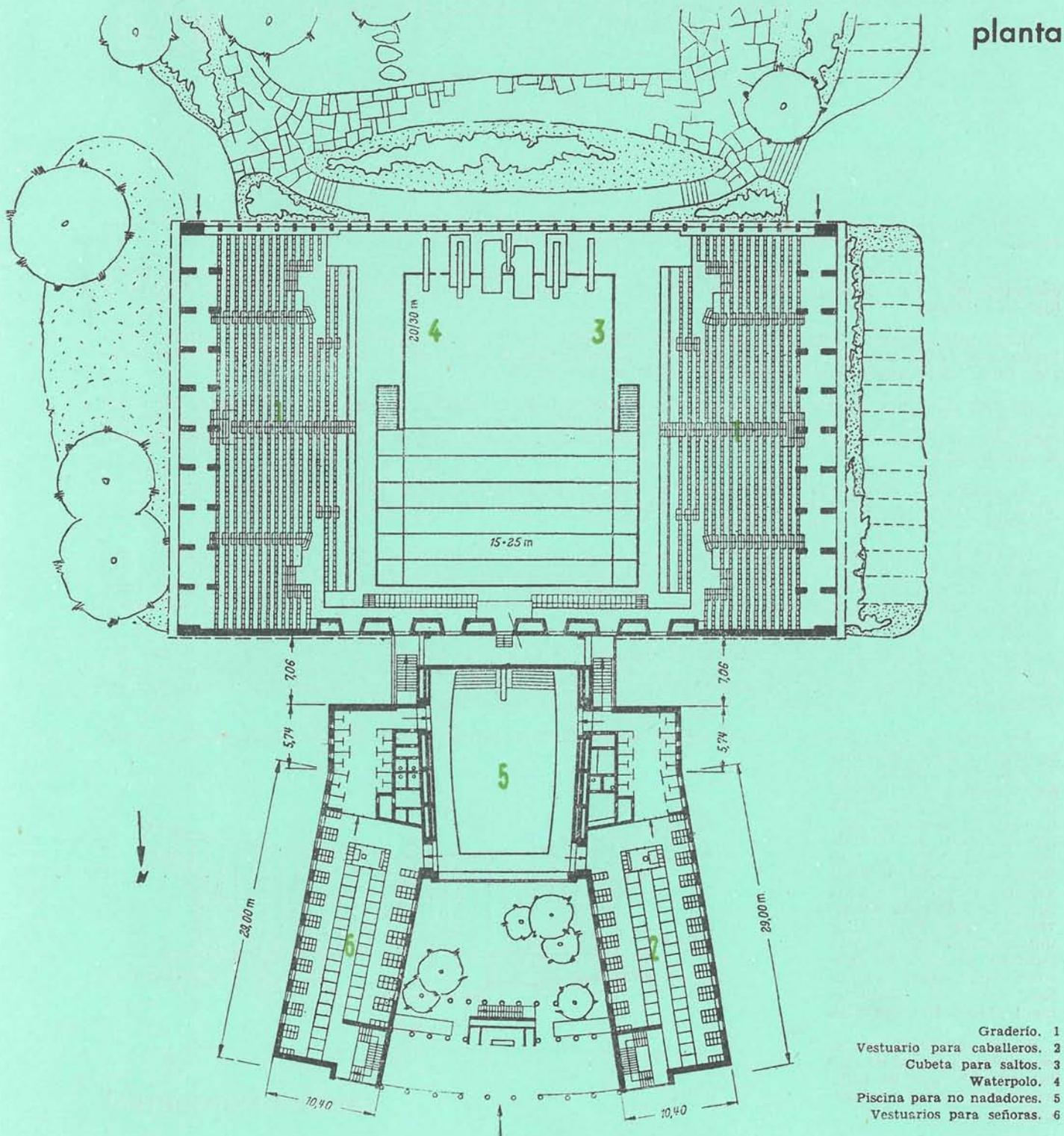
Si consideramos las normas DIN 1055, con una presión del viento de 80 kg/cm^2 , y tratándose de edificios de 20 metros de altura, la succión media es del orden de 30 kg/m^2 , a excepción del borde, donde son mayores.

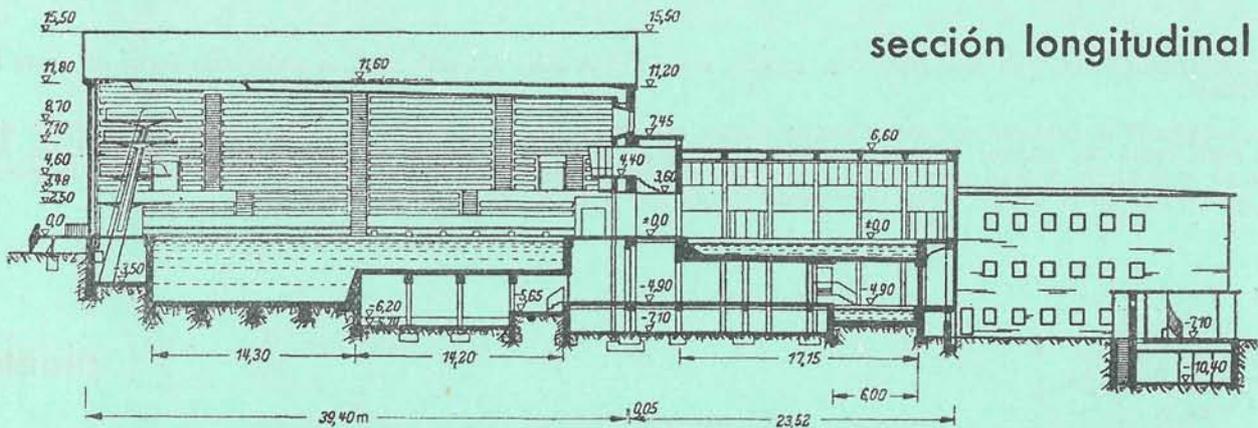
En las cubiertas colgadas sometidas a presiones del viento de igual dirección que la de los cables de sustentación no pueden aparecer vibraciones si el peso propio de la cubierta es de 80 a 100 kg/m^2 . Las vibraciones se evitan reforzando los bordes y dando el efecto de lámina a la losa que cubre.

La curvatura en el sentido transversal no es necesaria si el peso propio es suficiente y se fijan los bordes; pues, en tal caso, las vibraciones motivadas por el viento son completamente despreciables. Habrá que calcular el valor mínimo de este peso partiendo de datos ciertos o seguros, ya que, de lo contrario, se llegaría a hacer sentir su influencia en el coste de la cubierta.

La construcción con una sola curvatura resulta mucho más fácil. En este caso, la generatriz recta es de 40 m de longitud.

El desagüe de la cubierta se realiza dando mayor curvatura hacia el norte, logrando así una pendiente del 1,5 %. Pero como los tramos superiores de ventanas y las filas de los graderios siguen planos horizontales, los bordes de la cubierta tenían que arrancar también de planos horizontales. Todo esto ha motivado que la generatriz horizontal en el borde, tenga una pendiente de 1,50 % en el centro de la nave.





sección longitudinal

El bajante se ha colocado entre las dos paredes del muro hueco de la fachada al norte, utilizado para otras canalizaciones. Este muro ha sido aprovechado para fijar la cubierta a él.

El muro de la fachada sur está formado por un entramado de hormigón, en el que se han previsto grandes ventanales para iluminación natural del local. Este muro también ha sido aprovechado para soportar y fijar la cubierta.

Hasta recientemente, estas cubiertas se cerraban con placas ligeras colocadas sobre unos cables, utilizando, para ello, un andamio móvil. Este tipo de cubiertas es suficiente si no se necesita de grandes espacios para aislamientos o sobrecargas de cierta consideración.

En este caso, por tratarse de una piscina, se necesita de un aislamiento contra la humedad, formando una capa sólida provista de una cortina aislante que actúe como aislamiento térmico bajo la cubierta. Las redes de cables que constituyen en muchos casos los elementos de rigidez deben evitarse, ya que dificultan la conservación.

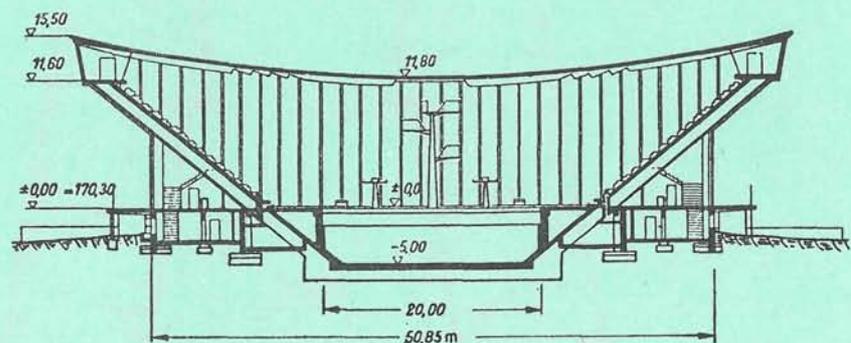
La solidez que se obtiene con losas de hormigón no se puede conseguir con placas prefabricadas de hormigón. El autor de este trabajo, que se encargó de la redacción del proyecto, partió de la idea de embeber los elementos resistentes en el hormigón.

La estructura resistente, formada por cables de 24 mm de diámetro, se ha formado espaciando estos elementos de 20 a 24 cm. Para conseguir la resistencia deseada no se necesitó de aceros especiales; no obstante, se logró mantener la dilatación dentro de límites admisibles y suficiente resistencia para hacer frente a los efectos de las sobrecargas por nieves. El acero elegido es del tipo ST. 37, realizando las soldaduras eléctricamente y sin pérdida de resistencia.

Los cables se colocaron dentro de vainas cromadas de 30 mm de diámetro, pero debiendo existir una distancia uniforme entre el cable y la vaina. Siguiendo las instrucciones del Dr. Ingeniero O. Graf, los cables se debían bañar previamente en un recipiente lleno de emulsión de imunol-K, puesto que este tratamiento permitiría rellenar completamente con betún el espacio libre entre cable y vaina.

Por encima y por debajo de estos cables estructurales se dispusieron, en dirección transversal, alambres de acero cromado de 5 mm de diámetro o barras ovales, constituyendo nervios de refuerzo y rigidez. Estos nervios, de acero ST. 145-170 (alambre para hormigón pretensado), se han espaciado a 30 cm. Estos nervios o cables, de gran resistencia elástica transversal, ayudan a conseguir una solidez suficiente para permitir el paso del personal sobre estos elementos, colocando, naturalmente, tabloncillos sobre ellos.

En los nervios inferiores se colocaron placas de metal estirado que se utilizaron como encofrado perdido.



sección transversal



Sobre estas placas de pequeña malla se colocó hormigón bituminoso de cierta granulometría, hormigonándose hasta una cota que queda 1 cm por encima de los cables que forman los nervios superiores.

En la parte inferior de la losa de hormigón se colocó una capa de 6 a 8 mm de espesor de hormigón "torcret", lo que dio lugar a la formación de un hormigón ligero de 102 kg/m², de cuyo peso, 20 kg corresponden a los materiales metálicos y el resto al hormigón.

Sobre la losa de hormigón así constituida va una capa de aislamiento térmico, de 7 cm de espesor, y que se compone de placas de Frigolith o Poresta fijadas con betún. El betún se debe colocar de tal forma que se extienda continua y densamente, logrando un espesor de 2 mm, con lo que se consigue una buena impermeabilización contra el vapor de agua y evitar el paso de la humedad al aislamiento térmico.

Para el aislamiento del medio exterior se han previsto dos capas de cartón bituminoso pegadas con betún. Incluyendo esta última capa, el peso de la cubierta se eleva a 120 kg/m².

La ventilación se realiza partiendo de un falso techo, puesto que la instalación de conductos exteriores en el interior del local restaría intensidad al carácter arquitectónico perseguido. Para formar el falso techo, el autor aconsejó se utilizasen placas prensadas de fibra de vidrio muy ligeras, o de tipo similar, pero capaces de absorber los ruidos. Como no se podían obtener datos prácticos de cargas que sirvieran de base para el cálculo de la cubierta colgante con gran rapidez, el peso del falso techo con revestimiento enlucido de vermiculita se supuso sería del orden de 30 kg/m². Este falso techo debía ser suspendido con alambres de acero V2A, que partirían de los cables que constituyen los elementos resistentes de la estructura.

El peso total de la cubierta colgante de hormigón ligero resultaba ser de 150 kg/m². La sobrecarga por efecto de las acumulaciones de nieve se estimó sería del orden de 75 kg/m² con carga uniforme y de 50 kg/m² si ésta era asimétrica.





Para el cálculo de dilataciones se supuso una variación de temperatura de $\pm 10^{\circ}\text{C}$. La sobrecarga debida a los efectos del viento se admitió sería de 96 kg/m^2 , teniendo en cuenta el aligeramiento que la succión motiva.

Quedaba por aclarar la intensidad que debían presentar los esfuerzos de tracción para lograr la solución más favorable. La componente horizontal en la zona de curvatura más pequeña del muro sur resultó ser de unas 30,5 toneladas por metro en el espacio comprendido entre los límites interiores del anillo o banda periférica reforzada.

El graderío se apoya sobre 10 vigas inclinadas, que se han espaciado a 3,8 m y que enrasan con la parte superior del graderío. Desde un principio se mantuvo la idea de evitar toda clase de soportes verticales periféricos exteriores, ya que se perdía gran parte del carácter estético que se perseguía.

Las vigas inclinadas debían tener un cierto canto, con objeto de poder resistir a los esfuerzos que dan lugar los cables pretensados de la cubierta. Para transmitir parcialmente los esfuerzos del pretensado, a los muros laterales de fachada se formaron dos bandas rígidas, una en cada extremidad de la cubierta, que, constituyendo una especie de viga plana de 6,50 m de anchura, provista de cables para pretensarla, trabajaría como viga apoyada en sus dos extremidades.

El espesor de estas bandas rígidas varía de 18 a 25 cm entre los límites internos a los externos. Las losas que forman estas bandas rígidas se han unido al resto de la estructura por medio de pórticos, permitiendo así dejar espacio suficiente para el paso del público en este nivel.

A partir del borde interior de las bandas rígidas arranca la cubierta colgada propiamente dicha con un espesor de 18 cm, para llegar al eje central de la cubierta con 6 cm de espesor. Toda esta parte se ha construido con hormigón ligero.

Para la transmisión de los esfuerzos del pretensado a la estructura tenía que formarse un elemento suficientemente rígido y con espesor suficiente para poder anclar los cables de pretensado en él.

Para reforzar la parte lateral de la cubierta de hormigón ligero, en la proximidad del muro de fachada se ha formado una especie de acartelamiento, que se extiende en una longitud de 1,25 m, y a partir de aquí se ha continuado con hormigón armado otros 1,25 m, y el resto se ha construido con hormigón ligero.

En el otro muro, que también sirve de apoyo a la cubierta y que se ha utilizado para la iluminación natural de la piscina, aparecen los montantes de los ventanales en la parte superior. Estos montantes se han espaciado a 1,08 m y sirven como puntos de apoyo a la cubierta. Los acartelamientos tienen distintos espesores, ya que unos se apoyan continuamente y los otros intermitentemente.

La cubierta experimenta deformaciones, como consecuencia de las diferencias de temperatura y sobrecargas producidas por nieves y viento. En particular, si la cubierta no se apoya lateralmente, la sobrecarga asimétrica de las acumulaciones de nieves dan lugar a una flecha de 10 cm en las cuartas partes.

La flecha se reduce considerablemente si se apoya la cubierta lateralmente. A pesar de esto, se ha de tener en cuenta un movimiento vertical de algunos centímetros, por todo lo cual se dispuso, formando unión con los muros laterales, una banda, de 1,25 m de anchura y 6 cm de espesor, de hormigón armado con barras transversales espaciadas densamente, que se extiende por debajo de los cables principales de la cubierta de forma que se origine una zona elástica que compense el movimiento.

Para conseguir una relación estática clara se previó en el proyecto transferir los esfuerzos de la cubierta colgante, producidos únicamente por el peso propio (150 kg/m^2) a las vigas inclinadas, de forma que las carreras laterales soporten únicamente pequeños esfuerzos, sobrecargas adicionales y las debidas a los efectos de la nieve. Todo esto se puede conseguir prescindiendo momentáneamente de las bandas de hormigón armado durante el hormigonado del hormigón ligero de la cubierta y durante los trabajos de colocación del falso techo.

En primer lugar, y después de todo esto, se disponen las bandas marginales apoyadas lateralmente. Actuando en forma apropiada sobre las tensiones de pretensado en la parte que interesa a la carrera marginal, se puede lograr el equilibrio estático de repartición de cargas entre las vigas inclinadas y dicha carrera. También se puede lograr el mismo efecto actuando sobre las tensiones de pretensado que interesan directamente a las vigas inclinadas que sirven de apoyo a los graderíos.

Esta última solución fué adoptada, sometiendo a los cables, de trazado parabólico, a un esfuerzo de pretensado de 600 toneladas. La puesta en tensión de las armaduras produce una compresión de 90 toneladas, teniendo en cuenta el peso propio únicamente, y de 50 toneladas, debido al efecto de la nieve, dando lugar, con ello, a una carga vertical de 4,4 toneladas.

Unicamente con el peso propio, la cubierta presenta condiciones estáticamente determinadas, pero aparece la indeterminación estática con efecto de lámina cuando se presenta la unión elástica de la cubierta con una de las bandas marginales mientras la otra permanece más rígida.

Este ejemplo muestra que la belleza de la forma exterior en las estructuras depende, principalmente, de la acertada elección del sistema estático y dimensionamiento, ya que éste ha de hacerse sentir proporcionalmente en los lugares de mayor exigencia y mostrarse esbelto en las partes menos cargadas.

Todas las partes exteriores de hormigón armado se revistieron con una capa de 7 cm a 10 cm de espesor, formada de placas de hormigón ligero Itong (aislante), para dar, con ello, un aislamiento térmico a los elementos de arriostramiento de dirección horizontal, reduciendo, a la vez, la condensación del agua.

Las vigas inclinadas del graderío son rectilíneas hasta el fondo de la piscina, donde, sirviendo de fondo de la misma, pasan a la posición horizontal. Esto ha permitido transmitir los esfuerzos provocados por la cubierta a la parte inferior del fondo de la piscina, formando una estructura en equilibrio estático con las cargas procedentes de la otra extremidad de la nave general de la piscina. Los esfuerzos diferenciales son absorbidos por la losa de fondo de la piscina.

La torre artística de saltos, cuyo mástil se ha pretensado, está formada, en cada una de sus plataformas, por placas delgadas que se extienden como mensulas de igual resistencia.

construcción

Las bandas marginales de hormigón armado, de la cubierta colgante, se hormigonaron con encofrados, mientras que la losa interior, de hormigón ligero, se hormigonó sin encofrar.

Para colocar los cables longitudinales de la cubierta colgante, se empezó por formar dos cabezales auxiliares, uno en cada extremidad, entre los que se extendieron dichos cables. Después se hormigonaron las dos bandas rígidas de los extremos.

A continuación se colocaron las armaduras transversales y las mallas de metal estirado con ayuda de un andamiaje móvil. Después se colocó el hormigón ligero, partiendo del centro con dirección hacia los lados. Para la circulación del personal se habilitaron pasarelas transversales apoyadas sobre las armaduras de la cubierta.

Las armaduras son suficientemente resistentes para resistir todas estas sobrecargas accidentales. La capa inferior de "Torkret" se colocó después de hormigonar, partiendo de un andamio inferior.

Tan pronto como endureció el hormigón ligero, se procedió a un tesado inicial de los cables. Como al ir hormigonando se hacía sentir el peso propio, y como el hormigón adherido a las vainas se podía mover siguiendo los efectos de la dilatación de los cables, no se produjo agrietamiento alguno en la losa.

Después de esta puesta parcial en tensión, se procedió a hormigonar los márgenes y se pretensaron transversalmente las bandas rígidas de las extremidades.

Entre las distintas proposiciones, una de ellas aconsejaba una cubierta colgante, de hormigón pretensado, utilizando un encofrado para su construcción y resistente a la corrosión, es decir, una cubierta de tipo pesada. Se sabe que en todo recinto cerrado, como es el caso de una piscina, hay que tener en cuenta la gran cantidad de humedad en el ambiente, particularmente si la diferencia de temperatura con el exterior es grande.





Para evitar las condensaciones directas sobre la lámina delgada de la cubierta colgante ligera se previó la construcción de un cielorraso que formase una cámara aislante de la lámina, y evitar así las referidas condensaciones directas sobre el hormigón. Si fuese necesario, también se puede evitar la humedad inyectando aire en el interior de la cámara hueca aislante formada entre el cielorraso y la lámina. También se pensó en la instalación de serpentines en la cámara hueca para reducir la condensación sobre la lámina.

El Profesor K. Deininger, que se encargó de la revisión de las proposiciones de ejecución, coincidió con la opinión del proyectista respecto a que la infiltración de humedad debido a la fisuración que se produce no tiene gran importancia desde el punto de vista de la corrosión; pues—si así no fuera—sería prácticamente imposible la realización de cubiertas de hormigón.

El metal estirado actúa como una armadura de malla muy cerrada que evita el agrietamiento en la capa inferior de "torberet". El hormigón asfáltico de la parte superior es tan plástico que no es posible fisuración. Las armaduras principales de la cubierta se hallan protegidas, tanto por las vainas como por la lechada de impregnación de los cables.

Las deformaciones han sido objeto de estudio suficiente para que sus efectos no presenten mayor inconveniente.

Los ensayos realizados posteriormente, empleando cargas asimétricas, han demostrado que la deformación de una cubierta de este tipo resulta mucho más pequeña que la generalmente supuesta, gracias al efecto de ruina.



Fotos: HUGO SCHWÖLZ

Esto se puede aplicar también al hormigón ligero, ya que las cargas producidas por efecto de lámina son reducidas.

En las cubiertas normales de hormigón pretensado no se puede evitar aparezcan tensiones de tracción empotrando la cubierta lateralmente y, como consecuencia, evitando así la deformación lenta.

Los proyectistas son de la opinión de que en la evolución de los métodos empleados para proyectar este tipo de cubiertas se evita en lo posible el peso y el empleo de entramados de andamiajes, ya que esto encarece considerablemente la obra.

Generalmente, estas cubiertas no necesitan del pretensado.

La ventaja de la cubierta colgante consiste en que no se necesita una gran resistencia a la flexión en la lámina de hormigón, mientras que en las láminas sometidas a la compresión se ha de considerar la resistencia a la flexión transversal, así como a la reducción del momento transversal mediante el pretensado.