cubierta colgante para el palacio de deportes de Värnamo

DAVID JAWERTH, ingeniero

886 - 8

sinopsis El nuevo palacio de deportes de Värnamo (Suecia), de reciente construcción, ha sido cubierto utilizando el sistema «Jawerth» de cables pretensados. Este sistema constituye una solución ideal para las cubiertas de estos grandes edificios de luz considerable, ya que, aun tratándose de cables, se logra, no sólo una elevada resistencia, sino gran rigidez y estabilidad incluso en el caso de variaciones notables de temperatura. Consiste, en esencia, en una serie de pares de cables, cada uno de los cuales constituye un elemento resistente y rígido. Uno de estos pares está formado por un cable superior, que presenta su concavidad hacia arriba, y otro inferior, cuya concavidad es de sentido opuesto. Entre estos dos cables principales se coloca un tercero formando triángulos entre aquellos dos. Al tesar, este conjunto se deforma de tal suerte que constituye un elemento resistente, con rigidez suficiente para cumplir la función a él reservada; los dos cables principales adoptan una forma poligonal con las tensiones previamente calculadas. Este sistema constructivo, aplicado en la cubierta del palacio de deportes de Värnamo, ha dado excelentes resultados. El montaje de los cables, en este caso particular, ha exigido 0,285 horas de trabajo por metro cuadrado de superficie cubierta y se ha realizado con la ayuda de un cabrestante maniobrado manualmente y de una serie de elongómetros y contadores eléctricos que han permitido, en cada momento, conocer los esfuerzos de tesado y comprobar la posición de cada cable respecto a la que se había calculado.

Generalidades

En mayo de 1956 se encargó al señor Jawerth de la redacción de un proyecto para la cubierta del Palacio de Deportes de la ciudad de Värnamo (Suecia). La parte arquitectónica corrió a cargo del arquitecto Tore Moxness, de Estocolmo.

Este edificio está situado en el bello marco del conocido valle de Apladalen, en las inmediaciones de la ciudad de Värnamo. Después de larga gestación y cambio de impresiones con las autoridades locales, se iniciaron las obras en el otoño de 1958. La construcción del entramado de cables que constituye la cubierta colgante del edificio dio comienzo a principios del mes de agosto de dicho año y se terminó mes y medio después, ocupándose de esta operación tan sólo tres montadores. Tanto esta operación como las de tesado de los cables fueron dirigidas por uno de los ingenieros del Gabinete Técnico del autor.

Simultáneamente con el Palacio de Deportes de Värnamo se proyectó una pista de patinaje en la ciudad de Estocolmo, para la cual se hicieron varios ensayos en modelo reducido, que servirían de apoyo para los desarrollos analíticos que debían emplearse en el cálculo de esta estructura.

Estabilidad de la cubierta

El Palacio de Deportes tiene una anchura libre de 45,5 m. Está formado por dos cuerpos verticales de hormigón enlazados entre sí por otras dos vigas de hormigón pretensado y de perfil hiperbólico. Estos cuerpos, que presentan una forma curva, se han proyectado de tal forma que pueden absorber los esfuerzos de los cables cuando la cubierta se halla sometida al peso propio y a una carga uniformemente distribuida. Para mayor seguridad se realizó el estudio teniendo en cuenta el estado de carga más desfavorable. Como el pretensado produce un efecto que tiende a disminuir las reacciones debidas al peso propio y al de éste aumentado en la sobrecarga, los cálculos para la determinación de dichas reacciones no presentaban grandes dificultades. Las operaciones de tesado de los cables se han desarrollado a partir de cada uno de estos cuerpos o soportes.

Los cables que constituyen los elementos principales resistentes de la cubierta se han emparejado dos a dos: el superior presentando su concavidad hacia arriba y el inferior hacia abajo. Entre los dos cables se ha colocado un tercero que, uniéndose indistintamente a cada uno de aquéllos, constituye un reticulado triangular con los mismos y da lugar a la formación de parábolas de segundo grado, tanto en el cable principal superior como en el inferior, cuyo conjunto se halla en un mismo plano vertical.

Procedimiento de tesado para los cables principales.

Estructura colgada que constituye una variante del sistema Jawerth.

Vista superior de la cubierta.

Ideas generales sobre el cálculo

El cálculo estático de esta cubierta se ha basado en los principios generales empleados en la teoría de la flexión y han sido comprobados por profesores de reconocida solvencia. El cálculo general puede subdividirse en las partes principales siguientes:

1. Cálculo del pretensado y apoyos para el montaje.
2. Análisis de las deformaciones producidas por cargas estáticas.
3. Determinación de la frecuencia y amplitud de la oscilación propia en los cables experimentada entre los dos puntos de apoyo.
4. Dimensionamiento.

El pretensado se calculó de manera que, de producirse una carga uniforme, debida a la nieve, el esfuerzo del pretensado residual correspondiese a una carga ficticia de 30 kg/m. Esto significa que el pretensado, por sí solo y sin peso propio, fue calculado con una carga ficticia de 135 kg/m. El cable libremente suspendido en sus dos extremos tiene una flecha de 3,03 m antes del tesado y de 3,22 m después de someterle a la tensión de trabajo; dicha flecha se aumentaba a 3,30 m con el peso propio y a 3,39 m con la carga final, admitiendo la sobrecarga prevista para la nieve. Con esta carga, la deformación longitudinal máxima de la cubierta resultó ser de 9 cm, lo que equivale a 1/550 de la luz libre. Una diferencia de temperatura de 40°C da lugar a 2 cm de variación en la flecha.

El conjunto de cables constituye un sistema estático variable y, a su vez, opone gran resistencia a la oscilación, razón por la cual no es necesario introducir cálculo dinámico alguno en esta construcción compuesta. Como se dijo anteriormente, se investigó también la frecuencia y la amplitud, no sólo entre los puntos de apoyo de los cables, sino en los tirantes diagonales. La frecuencia en estos últimos elementos permitió un control sencillo de la tensión. Un tirante de 7 m de longitud, sometido a una carga de 620 kg, presentaba una frecuencia de 50/11, es decir, de 50 oscilaciones cada once segundos.

Los cables principales de esta cubierta se han espaciado a 2 m, aproximadamente. Sobre ellos se colocan unas placas onduladas de aluminio, de 0,7 mm de espesor y 38 mm de flecha, para cada una de las ondulaciones. Sobre estas placas de aluminio se colocan otras de fibra de madera, de 19 mm de espesor, impregnadas con cola y, por último, sobre la superficie así preparada se colocan otras dos capas de cartón que se cubren con lámina de cobre.

El cielorraso está constituido por placas de lana de madera, armadas, sobre las que se colocan otras de lana mineral, de 5 cm de espesor, para constituir el aislamiento térmico.

Cubierta suspendida con dientes de sierra para la iluminación natural.

Montaje y tesado de cables

Antes de proceder al montaje se habían preparado los anclajes de los cables embebidos en cuerpos de hormigón. Estos anclajes se prepararon de manera que no pudiesen provocar, en caso alguno, pares de torsión.

Los cables principales son de acero de alta calidad, con una resistencia de 150 kg/mm^2 . Las barras del anclaje de aquéllos tienen una resistencia máxima de 1.600 kg/cm^2 y un coeficiente de seguridad de 2,5, valor que se ha logrado dadas las características especiales que presenta el sistema.

Los cables principales se montaron con la ayuda de un cabrestante, accionado a mano e instalado en el centro de la cancha del edificio. Se empezó montando los pares que constituyen cada uno de los elementos resistentes, y de tal forma, que se lograsen las flechas previamente calculadas.

Una fase de la construcción de la estructura con lucernarios en diente de sierra.

Cubierta proyectada por el autor.

Fotos: KINO

Estos cables, preparados debidamente en el taller, tenían longitudes exactas y se les acoplaron las piezas necesarias y complementarias para la sujeción del tercer cable que había de utilizarse para su puesta en tensión. Para el montaje y tesado de los cables que constituyen la triangulación entre los dos principales, se empleó un carro. Este corría a lo largo de los cables superiores y podía ser trasladado de uno a otro, apoyándose en una plataforma desplazable en el sentido transversal del edificio y colocada a un nivel inferior.

La tensión de ajuste de los cables se controló por medio de rigurosas mediciones de la frecuencia de oscilación y con disposiciones apropiadas para determinar el esfuerzo de torsión necesario.

Para controlar rápidamente las longitudes y tensiones del cable de pretensado se preparó un diagrama partiendo de fórmulas que relacionan la luz libre, masa y frecuencia de oscilación, con lo que se podía determinar la magnitud del esfuerzo de tesado. La excitación del sistema oscilante fue de tipo manual, calculándose el número de oscilaciones por un dispositivo eléctrico, y midiendo el tiempo necesario para cada 50 periodos con un cronómetro.

Para comprobar el comportamiento general de la estructura se montaron unos 100 elongámetros sobre una longitud total de 2 km de cable.

Todos los cables tesados fueron controlados por lo menos dos veces. Durante el montaje se midió directamente la flexión y esfuerzo de tesado, con objeto de observar si la posición definitiva de cada uno de ellos correspondía a la previamente calculada.

Durante los trabajos de montaje y tesado de esta cubierta colgada, se hicieron varias experiencias útiles que podrían tener particular interés en el examen analítico y montaje de estructuras de esta naturaleza.

Contando con un equipo de mediciones apropiado, la construcción y montaje de este tipo de cubierta puede reducir su periodo de ejecución notablemente. Particularmente, en esta obra, el tiempo efectivo empleado en el montaje y tesado de cables ha sido de 0,285 horas de trabajo por metro cuadrado de superficie cubierta.

Couverture suspendue pour le Palais des Sports à Värnamo (Suède)

David Jawerth, ingénieur.

La couverture du nouveau palais des sports à Värnamo (Suède), récemment construit, a été réalisée à l'aide du système «Jawerth» de câbles précontraints.

Ce système est une solution idéale pour la couverture des grands bâtiments de portée considérable, car, bien qu'il s'agisse de câbles, on obtient, non seulement une forte résistance, mais aussi une grande rigidité et stabilité, même dans le cas de variations de température notables.

Ce système consiste, essentiellement, en une série de paires de câbles, chacun desquels formant un élément résistant et rigide. Une de ces paires est formée par un câble supérieur qui présente sa concavité vers le haut et un autre inférieur qui est concave en sens opposé. Entre ces deux câbles principaux, on en installe un troisième formant des triangles entre les deux autres. Ces câbles étant raidis, leur ensemble se déforme de telle façon qu'il devient un élément résistant, d'une rigidité suffisante pour remplir la fonction qui lui a été réservée; les deux câbles principaux adoptent une forme polygonale avec les contraintes préalablement calculées.

Ce système constructif, appliqué à la couverture du palais des sports de Värnamo, a donné des résultats excellents. Le montage des câbles, dans ce cas particulier, a exigé 0,285 h de travail par m² de surface couverte, et a été réalisé à l'aide d'un cabestan manié à la main et d'une série d'élongamètres et de compteurs électriques qui ont permis, à tout moment, de connaître les efforts de raidissement et de vérifier la position de chaque câble par rapport à celle qui avait été calculée.

Suspended roof for the Värnamo sports palace

David Jawerth, engineer.

The new sports palace at Värnamo, Sweden, has been provided with a roofing structure using the «Jawerth» system of prestressed cables.

This method is ideal for the construction of roofs covering very large spans. Although the structural element is a cable, considerable stiffness and stability is achieved, even under large temperature variations.

The method involves a series of pairs of cables, each acting as a single structural and stable load carrying element. In each pair, the top cable is curved so that it is concave towards the top, whilst the lower cable is concave downwards. These two main cables are connected by a third cable, which forms a number of triangles with the other two. On stretching the cables, the whole becomes a loadbearing structure of adequate stiffness. The two main cables adopt a polygonal outline, and their loads can be calculated.

This constructive method, applied to the roof of the Värnamo sports palace, has proved very satisfactory. In this particular case the fixing of the cables has required 0.285 working hours per square metre of roof structure, and the stretching has been accomplished with a hand operated capstan. A number of extensometers and electrical recording units has made it possible to know at all stages of the operation the loading of the cables, and the position of the cable with respect to its final theoretical position.

Hängedach für den Sportpalast in Värnamo

David Jawerth, Ingenieur.

Der vor einiger Zeit fertiggestellte Sportpalast in Värnamo (Schweden) wurde mit einem Dach vom Typ «Jawerth» mit vorgespannten Kabeln gebaut.

Diese Bauart stellt eine Ideallösung für Überdachungen von solchen grossen Gebäuden mit beträchtlicher Spannweite dar, denn durch die Kabel erreicht man nicht nur eine grosse Festigkeit, sondern auch eine grosse Steife und Stabilität so gar bei ziemlich grossen Temperaturschwankungen.

Das Dach besteht im Wesentlichen aus einer Reihe von Kabelpaaren, von denen jedes für sich ein widerstandsfähiges und steifes Element darstellt. Jedes Paar wird von einem oberen konkaven Kabel und einem unteren konvexen Kabel gebildet. Zwischen diese beiden wurde ein drittes gelegt, das mit den anderen beiden Dreiecke bildet. Beim Spannen verformt sich das Ganze derart, dass es zu einem widerstandsfähigen Ganzen wird, das genügend fest ist, um die ihm aufgetragene Funktion zu erfüllen. Die beiden Hauptkabel nehmen nach dem vorher berechneten Spannen die Form eines Polygons an.

Dieses bei der Überdachung des Sportpalastes in Värnamo angewandte Bausystem hat ausgezeichnete Resultate ergeben. Der Einbau der Kabel hat in diesem Fall eine Arbeitszeit von 0,285 Stunden pro m² Dachfläche erfordert und wurde mit Hilfe einer Handseilwinde und einer Reihe von Messgeräten und elektrischen Zählern, die ständig die Vorspannungskräfte anzeigten und die Lage der Kabel gegenüber dem Berechnungsergebnis prüften, durchgeführt.