

Suiza

cubierta laminar prefabricada

HEINZ HOSSDORF, ingeniero

886 - 7

sinopsis

La cubierta recientemente construida en las cercanías de Olten (Suiza), de tipo laminar, especial, curvada, constituida por una serie de superficies cilíndricas sucesivas y con lucernario en las soluciones de continuidad que cada par de superficies parciales cilíndricas motiva, tiene por principal objeto cubrir una superficie de 13.500 m² edificadas con destino a los servicios y explotación de un almacén de la Federación de Sociedades de Consumo.

Debido a las ideas generales básicas del proyecto se impuso, desde un principio, despiezar la cubierta en una serie de elementos prefabricados de repetición múltiple, hecho del que se desprenden evidentes ventajas desde el punto de vista económico.

La sucesión de tramos cilíndricos permite la aplicación indefinida del método constructivo empleado. Los elementos laminares prefabricados se han reforzado con nervios laterales que les dan suficiente rigidez para su transporte y colocación en obra. Cada elemento tiene 25,20 m de longitud y 1,40 m de luz o anchura. El total de elementos de este tipo colocados en cubierta es de 18.

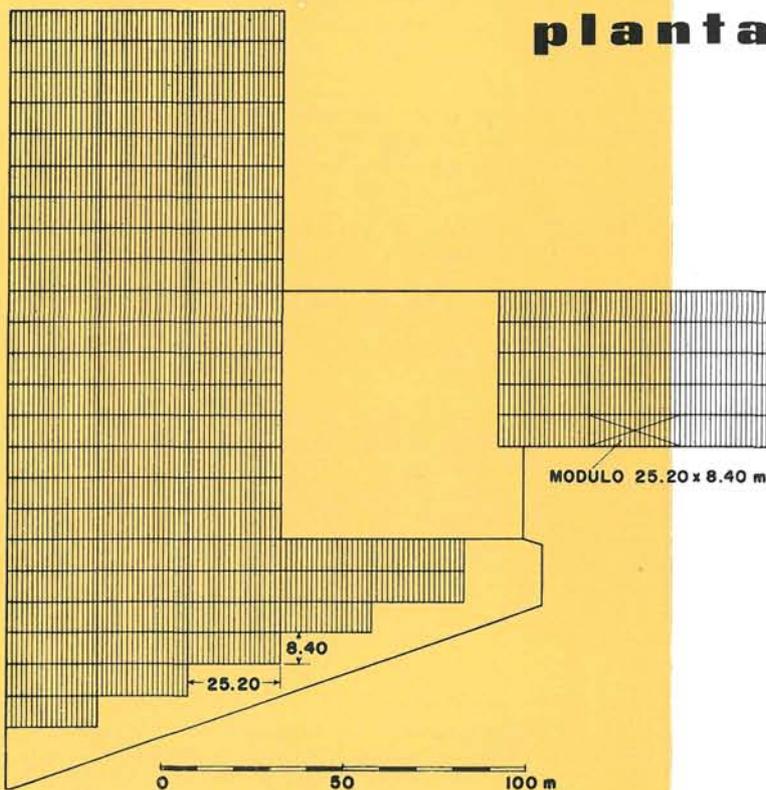
Una particularidad de esta cubierta consiste en aplicarle un pretensado constituido por cables, de trazado curvo, apoyados sobre el trasdós de cada superficie cilíndrica que constituye un tramo. El trazado mejora la estabilidad y resistencia de la lámina, creando esfuerzos favorables que disminuyen notablemente los efectos de la flexión y los esfuerzos cortantes. Los bordes de estas láminas se han reforzado aumentando el espesor de los nervios, con lo que se ha conseguido mejorar las condiciones de anclaje.

Con objeto de comprobar los resultados obtenidos en el estudio analítico de esta estructura, se hicieron varios ensayos sobre modelo reducido.



Montaje de un elemento prefabricado

planta



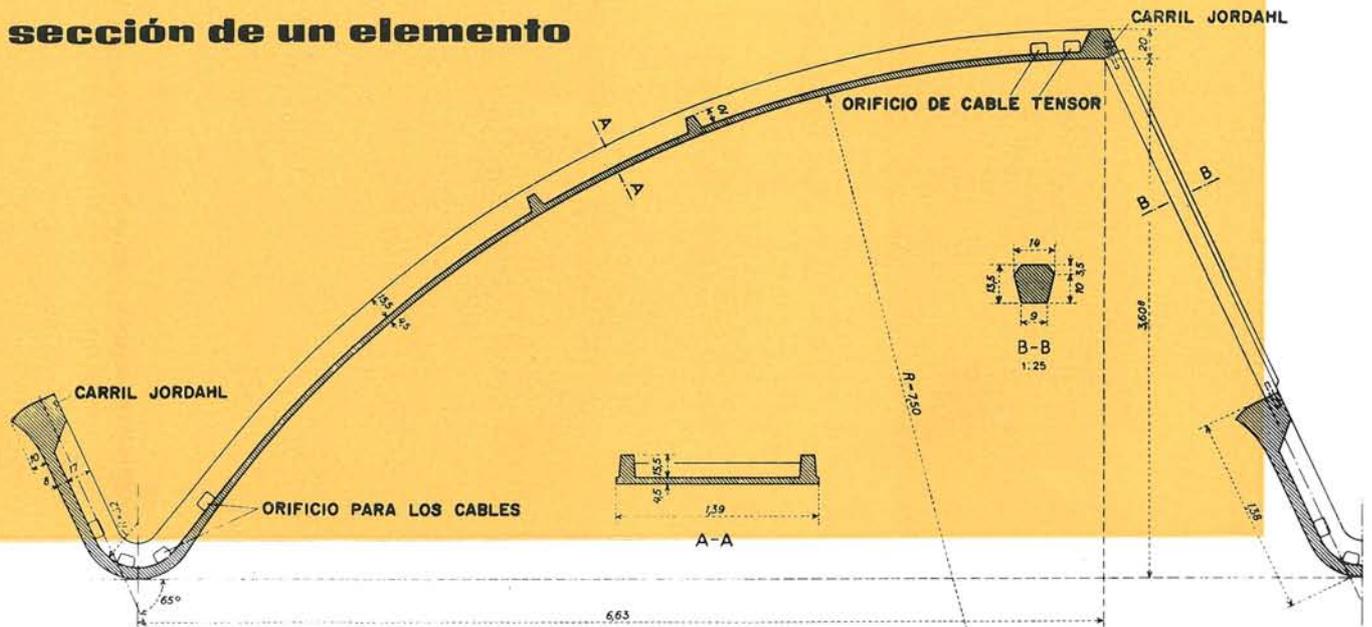
El proyecto

La cubierta del nuevo almacén central de la Federación de Sociedades de Consumo, de Suiza, construida recientemente en la localidad de Wangen, en las inmediaciones de Olten, es de tipo laminar y está constituida por elementos prefabricados. La superficie total cubierta se eleva a 13.500 metros cuadrados. La luz prevista por los arquitectos proyectistas era del orden de 25 m para el elemento-tipo "shed" y, por ello, la superficie total cubierta había de subdividirse en 64 elementos idénticos entre sí.

Las grandes dimensiones, en planta, de la superficie cubierta y la constante repetición de un mismo elemento, así como la premura del plazo para su construcción, impusieron, desde un principio, el empleo de elementos prefabricados.

La solución adoptada evita que los techos formen artesonado como aparece con frecuencia en otras construcciones de piezas prefabricadas.

sección de un elemento



Para lograr este objetivo se creyó conveniente partir de una estructura cilíndrica que se pudiese seccionar por trozos normales a la dirección longitudinal del edificio. Los elementos que de esta disposición se derivan serían prefabricados y de fácil transporte hasta pie de obra, dejándose pretensar una vez colocados para constituir un conjunto monolítico a los efectos resistentes. Como es lógico, los elementos constitutivos, prefabricados, debían ser del menor peso posible.

Esta condición ha de complementarse con la posibilidad de un buen enlace entre dichos elementos, que son laminares y limitados por nervios; esto dio por resultado lograr un peso relativamente reducido y la rigidez suficiente para hacer frente a la flexión transversal, así como para evitar su propia rotura durante el transporte y colocación en obra. Terminada la cual, estos elementos, nervados, presentan una gran seguridad contra posibles alabeos, deformación u ondulación frecuentemente temidos en piezas extensas y de menor espesor. El elemento unitario—tipo shed—tiene 25,20 m de luz, subdividida, a su vez, en 18 tramos de 1,4 m de luz. Los cables del postensado se apoyan libremente en el trasdós de la lámina, pasando a través de orificios previstos en los nervios.

La repetición modular permite el empleo de encofrados de repetición múltiple, con lo que la construcción podría prolongarse indefinidamente. Estos medios auxiliares no sólo encarecen la construcción, sino que, cuanto mayor es el número de elementos, mayor es la economía, cosa que no sucede con los métodos de construcción tradicionales.

La disposición de estos cables sobre el trasdós de la lámina permiten un trazado curvo a los cables del pretensado, con lo que se consiguen tres importantes ventajas: 1.ª Absorber momentos de flexión en la dirección principal; 2.ª Aliviar al hormigón de un 60 a un 70 por 100 de la fatiga del efecto cortante, y 3.ª Disminuir los momentos de flexión transversales o secundarios que parcialmente quedan absorbidos por los cables, tal como se puede apreciar en una de las adjuntas figuras. El proyecto saca partido de este principio, logrando prescindir de armaduras en las juntas y, con ello, conseguir trayectorias sencillas en las líneas de tensión para todos los casos posibles de sobrecarga.

Como consecuencia de la excentricidad de los cables respecto al eje longitudinal de los elementos, se estudió con detención la forma más conveniente para el tensado de los cables. A causa de la esbeltez de los elementos y con objeto de distribuir adecuadamente el esfuerzo de pretensado, principalmente en las primeras juntas, fue conveniente aumentar gradualmente el espesor del borde de los elementos y facilitar así los anclajes de los cables. Para comprobar todos estos detalles, previamente se construyó un modelo reducido convenientemente armado y a escala 1:10, que se sometió posteriormente a un pretensado de carga que se suponía respondía exactamente a la realidad. Los ensayos realizados sobre modelo confirmaron la exactitud de las previsiones analíticas. También se hizo un ensayo a escala natural pero observando únicamente los efectos del peso propio.

Disposición general de las juntas

Las juntas entre elementos prefabricados constituyen el problema clave de este tipo de construcciones. El éxito y eficacia de la solución general depende, en la mayoría de los casos, del problema que las juntas plantea. Se estudiaron con detenimiento varias posibilidades de distintos tipos de juntas, ventajas e inconvenientes.

a) Junta de contacto sin relleno

Este método establece el enlace entre los diversos elementos prefabricados por simple contacto. En este caso constituiría una solución ideal que no solamente podría aplicarse a las piezas en compresión, sino a las sometidas a tracción, con lo cual quedaría reducido a un simple problema de rozamiento. Sin embargo, debe desecharse este método por la imposibilidad práctica de conseguir superficies de contacto perfectamente planas, ya que de no ser así podrían presentarse concentraciones locales de tensiones que serían peligrosas. Tampoco podría conseguirse, utilizando este procedimiento, una compensación fácil de las discrepancias de anchura en los elementos constructivos, inconveniente puesto de manifiesto al realizar el montaje.

b) Juntas con relleno de material aglutinante

Es posible, y hasta se puede calificar de ideal, en la transmisión de las tracciones principales, el empleo de aglutinantes sintéticos para el relleno de la junta, es decir, la utilización de resinas artificiales, como, por ejemplo, el Epoxy o poliésteres mezclados con arena.

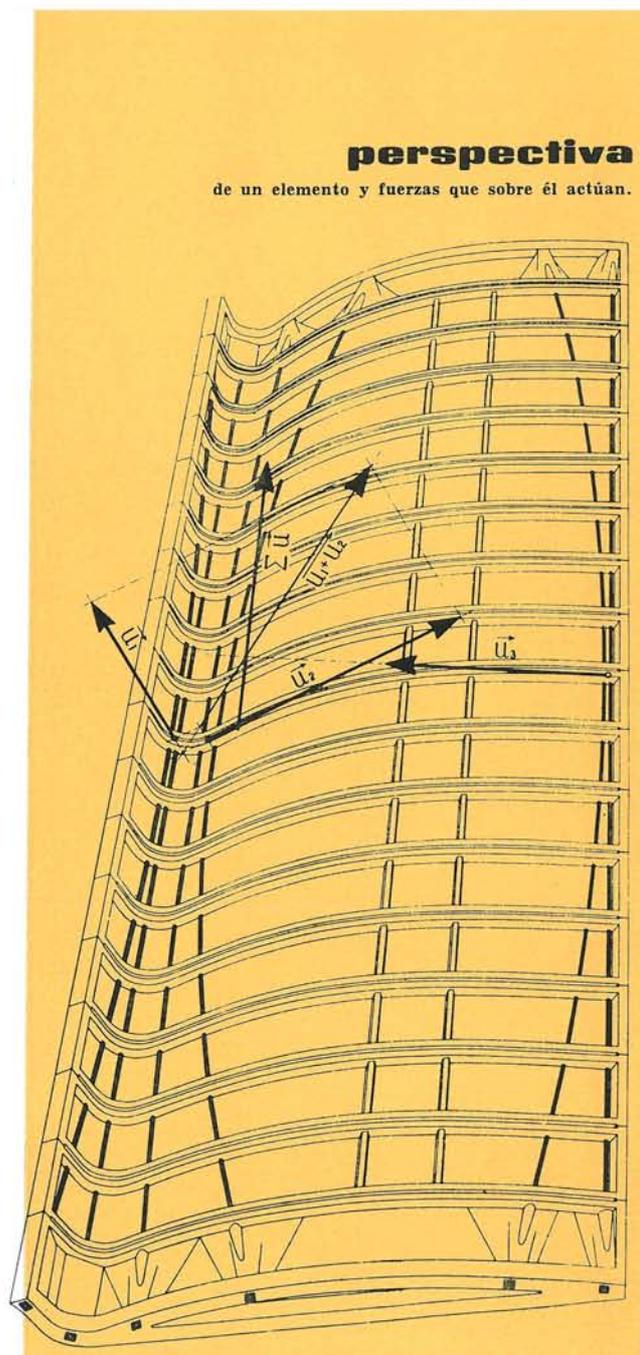
Resulta económica, de proceder de tal forma, la formación de juntas de 3 mm de espesor, capaces de transmitir, en condiciones favorables de seguridad, cualquier clase de tensiones. Una gran dificultad de su empleo es que, aunque endurecen en frío, la polimerización se desarrolla mucho más lentamente con temperaturas inferiores a los 15° C, lo que puede retrasar indebidamente el ritmo de ejecución. Además, las resinas artificiales son muy sensibles a la humedad en el período de heladas.

No es difícil tomar precauciones para evitar tales inconvenientes, y puede asegurarse que la técnica de su fabricación llegará a un mayor grado de perfección en un próximo futuro. Entonces se podrá afirmar que la junta de resina artificial constituirá una solución óptima en el enlace de los distintos elementos en las construcciones del tipo prefabricado.

c) Juntas con mortero de hormigón

Es corriente preconizar que las juntas entre elementos prefabricados deben ser suficientemente anchas, de 8 a 10 cm, y que el hormigón empleado en su relleno debe ser de igual calidad que la de los elementos que enlaza y que la consolidación debe hacerse con ayuda de vibradores. Ahora bien, la capacidad resistente de un material depende, no solamente de su resistencia cúbica, sino de su forma y dimensiones; así, pues, por ejemplo, una banda de buen hormigón responde como si se tratase de un elemento independiente, es decir, se llega a la rotura cuando se solicita con las cargas correspondientes a este estado. Prácticamente, al emplear la referida banda como elemento de enlace entre piezas prefabricadas, debería armarse y tener la misma edad que correspondería a su empleo en una construcción corriente.

En muchos proyectos, y entre ellos el que nos ocupa, el empleo de este método estaría en oposición con las condiciones previamente admitidas y, entre otras, con el ritmo rápido del montaje. Además, estas juntas no son de fácil refinamiento estético, debido a su propia anchura. Existe la posibilidad de dar menor anchura a las referidas juntas. En este caso no podrá armarse ni pretender que su resistencia a la rotura sea equivalente a la cúbica de los elementos adyacentes. Cabe pensar que el rozamiento lateral es sufi-





Viga inferior del lucernario.
Transporte de elementos.



cientemente grande para oponerse a la dilatación, evitando así la rotura del material (la resistencia depende de la forma y dimensiones).

Para aclarar esta cuestión se efectuaron, en los laboratorios de E. G. Portland, varios ensayos. En estos ensayos se utilizaron prismas de hormigón de $60 \times 40 \times 8$ cm, sostenidos en moldes lisos de acero. Los prismas presentaban juntas de 10 cm de espesor y con distintos ángulos. El hormigón de estos prismas, dosificado a razón de 300 kg de cemento por m^3 , tenía siete días de edad. Las juntas eran de mortero con un 50 por 100 en peso de cemento de calidad, 50 por 100 de arena, de 0 a 3 mm, y un factor agua-cemento de 0,6. Cuando los prismas llegaban a siete días de fraguado y el mortero de junta a 24 horas de endurecimiento se efectuaron los ensayos de compresión. Los prismas se apoyaban en una placa de acero sobre rodillos para poder determinar con exactitud el ángulo de rozamiento entre el mortero del relleno de la junta y el del hormigón del prisma. Mientras no se produjo el deslizamiento entre las dos partes del prisma se obtuvieron siempre resultados idénticos. Los prismas con las soluciones de continuidad que las juntas de mortero introducen se comportaron como si no existiesen tales juntas. La rotura, iniciada con un desconchado lateral del hormigón, no se produjo en las juntas. El mortero de estas últimas solamente se rompió cuando las superficies de los prismas de hormigón entraron en movimiento. El deslizamiento se produjo al alcanzar 37° de inclinación en la junta. Partiendo de este ángulo se puede deducir el coeficiente de seguridad al deslizamiento en dichas juntas, teniendo en cuenta el efecto que las compresiones oblicuas dan lugar. En las construcciones-tipo shed, de que nos estamos ocupando, el ángulo máximo de inclinación en las compresiones principales es de 17° ; por ello, el coeficiente de seguridad contra el deslizamiento es, como mínimo,

$$\frac{\operatorname{tg} 37^\circ}{\operatorname{tg} 17^\circ} = 2,44$$

También se necesitaba aclarar la cuestión de propagación de las tracciones principales a través de las juntas cuando los elementos constructivos carecen de armaduras para absorber las tracciones principales. Es de advertir que, en muchos casos, esas tracciones principales son pequeñas, del orden de 10 kg/cm^2 .



Colocación de armaduras del pretensado.

La dilatación mecánica correspondiente es menor que la transversal debido a la compresión principal y, por consiguiente, no hay temor de que se destruya el mortero del relleno de las juntas antes de que lo haga el hormigón en los elementos adyacentes. Fundándose en este hecho, es suficiente armar los elementos a lo largo de la junta para absorber las tracciones principales. Esta armadura impide la salida del mortero de las juntas gracias al rozamiento. Sobre esta importante cuestión se han publicado ya algunos trabajos (C. Zelger y H. Rüsck en el Bulletin IASS número 10).

d) Prefabricación, transporte y montaje

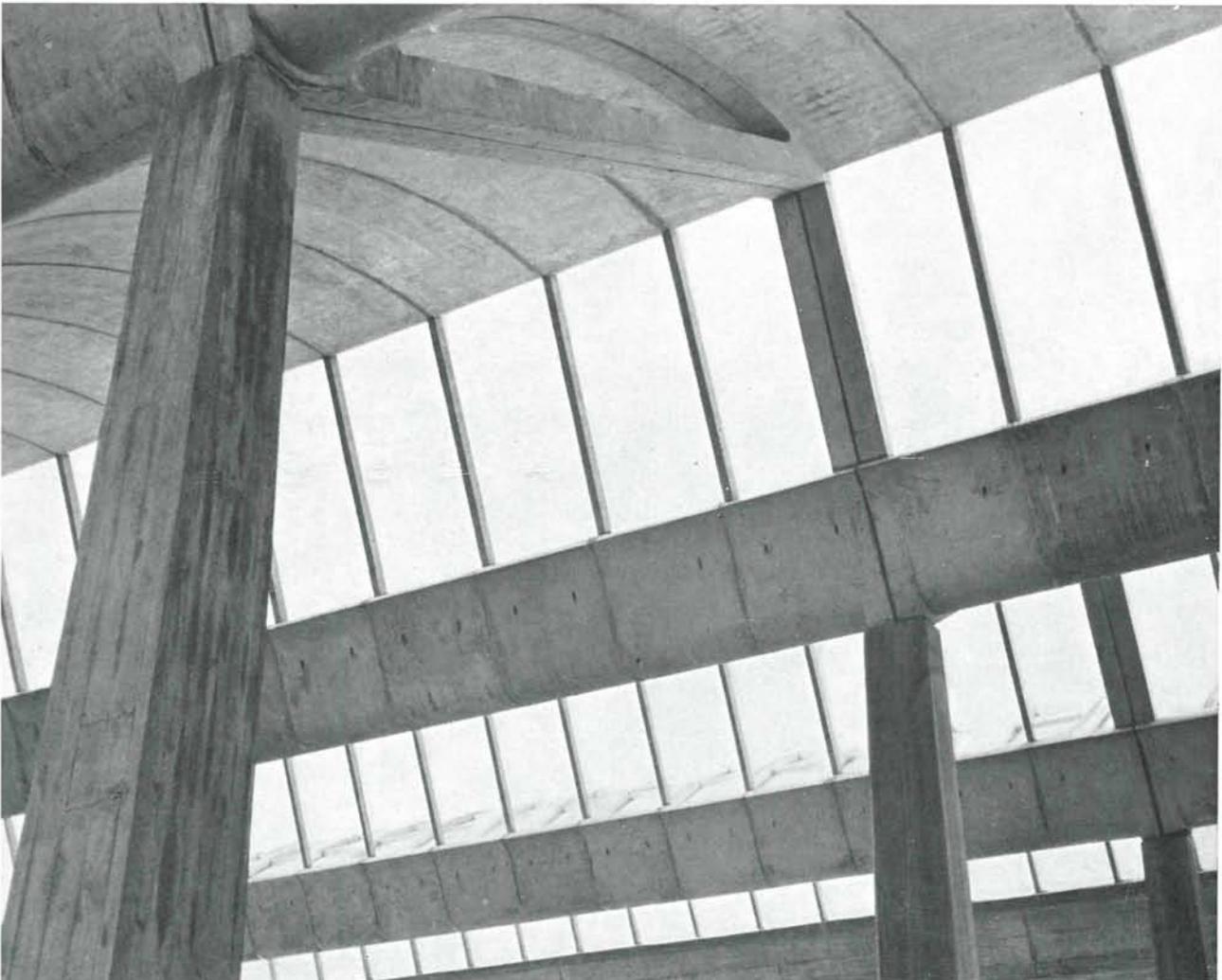
La prefabricación de 1.152 elementos se realizó en un taller especial, situado a unos 100 km de la obra. La prefabricación empezó unos tres meses antes del transporte y colocación en obra. Durante este período se inició la construcción de los sótanos de los almacenes, utilizando los métodos constructivos tradicionales.

Encofrado de un elemento.





Taller de prefabricación



Lucernario

La primera y principal condición que debían cumplir estos elementos prefabricados era la exactitud de forma y dimensiones. Con una anchura teórica de 10 mm para las juntas no era posible dejar mucho espacio libre para las tolerancias; por ello, solamente se admitieron discrepancias de 3 mm respecto a las medidas denominadas exactas. Para conseguir esta extraordinaria precisión se creyó conveniente el empleo, en la medida de lo posible, de encofrados sólidos de hormigón. Toda la superficie de estos encofrados se terminó con esmero, con objeto de que las caras vistas del hormigón diesen el efecto estético apropiado a su naturaleza. Para el endurecimiento y curado de los elementos antes de su transporte se dejó transcurrir el plazo de unas diez semanas. La posición de estos elementos durante el referido proceso de fraguado y endurecimiento tenía mayor importancia, ya que, de colocarlos indebidamente, la fluencia del propio hormigón hubiese podido alterar la flecha en los arcos-shed de algunos centímetros; por esta causa todos los elementos descansaban adoptando la posición más estable y de mejor apoyo.

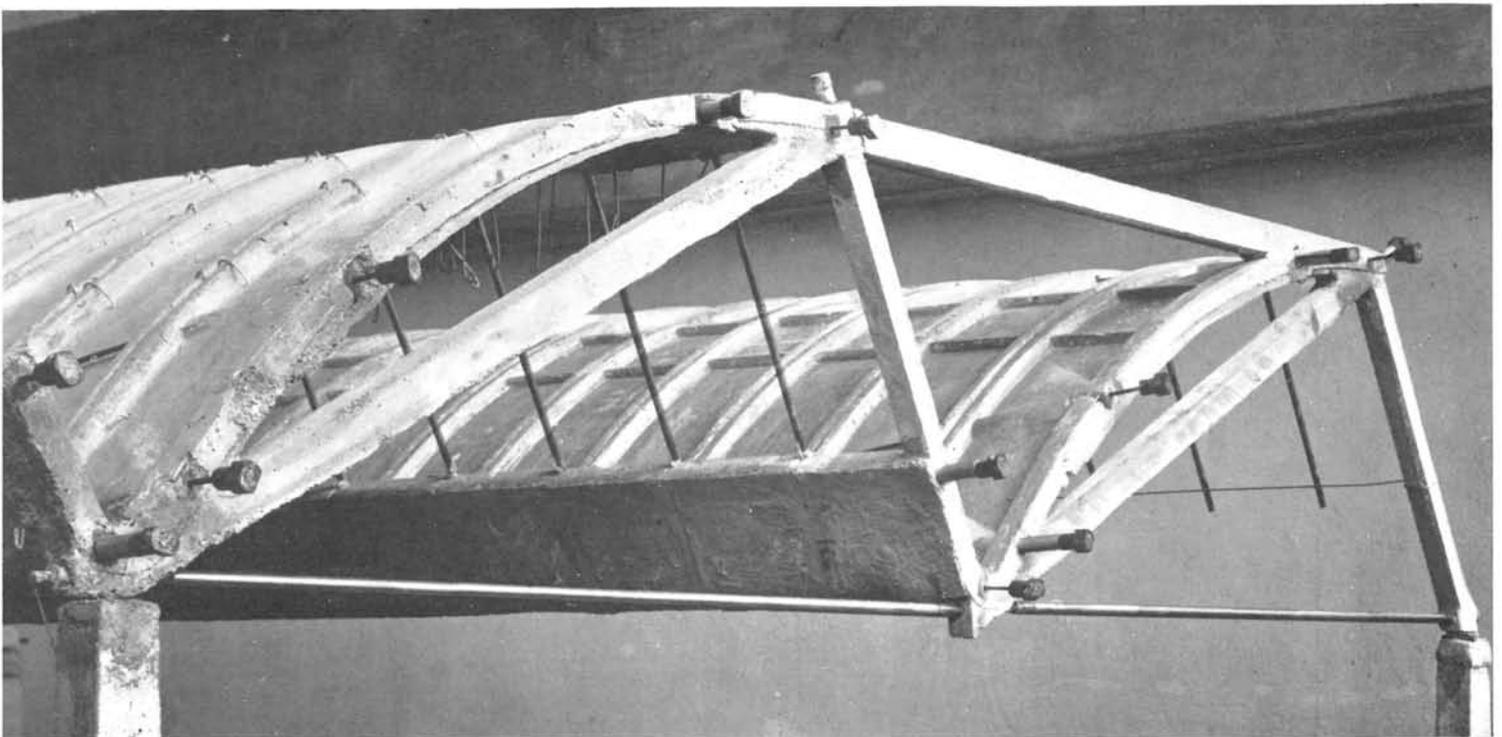
Una vez terminado el endurecimiento y curado en los referidos elementos se transportaron con especial cuidado a pie de obra, donde se colocaban en su posición definitiva con ayuda de una grúa móvil. Para el montaje de los elementos-tipo shed se disponía de tres andamios, con objeto de permitir que cada día pudiese quedar montado un trozo de cubierta compuesto de 18 elementos; para lo cual se adoptó el siguiente ritmo de ejecución:

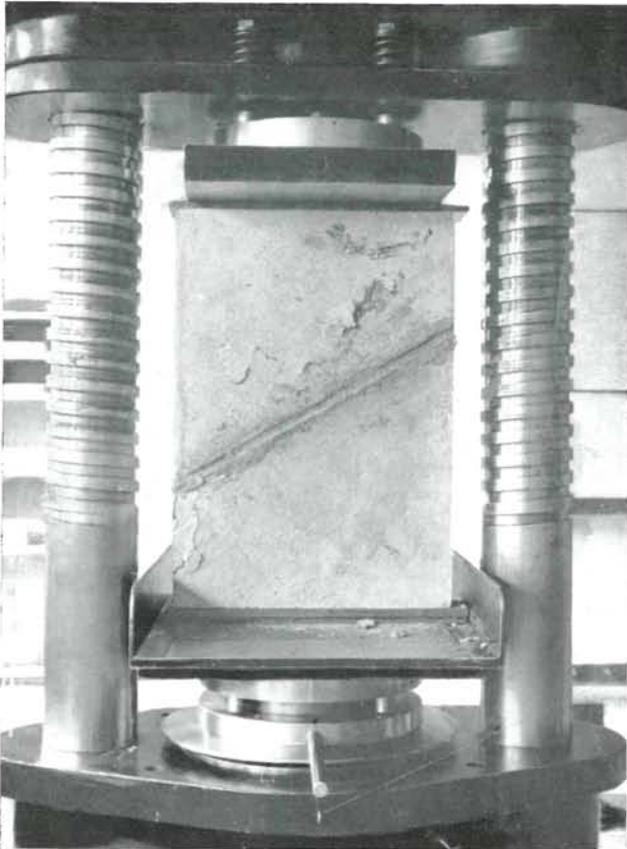
Sobre el primero de los andamios se colocaban provisionalmente, y dentro del día, los 18 elementos que después se llevaban a su posición definitiva y, simultáneamente a esta última operación, se iban rellenando las juntas con mortero. En el mismo día, y utilizando el segundo andamio, se iban colocando los cables del pretensado y cerrando con mortero los orificios dejados para el paso de los mismos y, también, se colocaban los cercos de los lucernarios correspondientes al segundo tramo de elementos-tipo shed.



Protegiendo los cables con una capa de betún.

Modelo reducido de la cubierta.





Probeta con junta en la prensa de ensayos.

Los cables, como se dijo anteriormente, se apoyan libremente en el trasdós de los elementos-shed, protegidos convenientemente con una triple capa contra los efectos corrosivos. Estas capas consisten en una inyección de mortero en el interior del tubo o vaina y una capa de pintura de betún en frío, así como otra en caliente. Por otra parte, los cables también quedan protegidos por almohadillas de vidrio artificial utilizadas como aislante térmico, sobre las que finalmente se colocaban las placas de cobertura de las naves, onduladas y de material de eternita.



Ensayo de la estructura.

Sobre el tercer andamio, y en la mañana del mismo día, se efectuaba el tesado definitivo del elemento correspondiente, y por la tarde podría correrse el andamio a una nueva posición para, al día siguiente, iniciar la repetición de estas distintas fases de colocación de elementos. El resultado final fue que cada día quedaba terminado un tramo-shed completo.



Fotos: MOESCHLIN - BAUR, WALTER GRUNDER y H. STEBLER

Voile mince préfabriqué

H. Hossdorf, ingénieur.

La couverture, récemment construite aux environs d'Olten (Suisse), qui est un voile mince, spécial, courbé, formé par une série de surfaces cylindriques, successives et comportant des lucarnes dans les solutions de continuité que présente chaque paire de surfaces partielles cylindriques, a pour but principal de couvrir une surface de 13.500 m² édifiée, destinée aux services et à l'exploitation d'un magasin de la Fédération de Sociétés de Consommation.

Etant donné les idées générales de base du projet, on imposa, dès le début, la division du voile en une série d'éléments préfabriqués de répétition multiple, ce qui permit d'évidents avantages du point de vue économique.

La succession de travées cylindriques permet l'application indéfinie de la méthode constructive employée. Les éléments préfabriqués de voile mince ont été renforcés à l'aide de nervures latérales qui leur assurent une rigidité suffisante pour leur transport et leur mise en oeuvre. Chaque élément a 25,20 m de long et 1,40 de portée ou largeur. Le nombre total d'éléments de ce type posés en couverture est de 18.

Une particularité de ce voile consiste en l'application d'une précontrainte à l'aide de câbles, de tracé courbe, appuyés sur l'extrados de chaque surface cylindrique qui forme une travée. Le tracé améliore la stabilité et la résistance du voile et crée des efforts favorables qui diminuent remarquablement les effets de la flexion et des efforts tranchants. Les bords du voile ont été renforcés par l'augmentation de l'épaisseur de la nervure, ce qui a permis d'améliorer les conditions d'ancrage.

Afin de vérifier les résultats obtenus par l'étude analytique de cette structure, plusieurs essais ont été effectués sur modèle réduit.

Prefabricated Shell Roof

H. Hossdorf, engineer.

The roof constructed recently near Olten, in Switzerland, consists of a series of cylindrical shell surfaces, with skylights between the successive shells. It covers an area of 13.500 m², and the building is to be used as a storehouse and servicing installation for the Federation of Consumer Goods Society.

The general nature of the design made it logical, from the outset, to construct the roof as a number of similar prefabricated units. This method had evident economic advantages.

The repetition of similar cylindrical roof sections made it possible to reiterate also the particular constructive process which was adopted in this case. The prefabricated shell units have been reinforced with lateral ribs, which make them sufficiently stiff to be handled at the working site. Each unit is 25.20 m long and spans a width of 1.40 ms. The roof is made up of 18 such elements.

A feature of this roof is that it has been subjected to a prestressing process, applied by cables, running along the extrados of the cylindrical surface of each unit. This improves the stability and strength of the shells, and induces favourable stresses which counteract noticeably the effects of the shear forces and bending moments. The edges of these shells have been reinforced by increasing the thickness of the ribs, thereby improving the end anchorage.

In order to check the theoretical calculations for this structure, several tests were carried out on scale models.

Vorfabriziertes Schalendach in Olten, Schweiz

H. Hossdorf, Architekt.

Das jüngst fertiggestellte Schalendach in der Umgebung von Olten, Schweiz, besteht aus einer Reihe von aneinandergelagerten zylindrischen Elementen, die untereinander durch Oberlichter getrennt werden. Der Zweck dieses Daches ist, eine 13.500 m² grosse bebaute Fläche zu überdecken, die für den Betrieb eines Lagers des Verbandes Schweizer Konsumvereine benötigt wird.

Zur Realisierung der Grundidee dieses Projektes war es von Anfang an notwendig, das Dach in eine Vielzahl von vorgefertigten Elementen zu zerschneiden, ein Umstand, der zweifellos wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt.

Die Aneinanderreihung von zylindrischen Elementen ist eine Baumethode die sich beliebig wiederholen lässt. Die vorgefertigten Schalenelemente wurden durch Rippen verstärkt, die ihnen die genügende Steife für den Transport und die Montage auf der Baustelle verleihen. Jedes Element ist 25,20 m lang und 1,40 m breit. Die Gesamtzahl der Elemente dieser Art beträgt 18.

Besonders bemerkenswert an diesem Dach ist die Art des Vorspannens. Man verwandte dazu Spannkabel, die kurvenförmig auf der Rückseite der zylinderförmigen Elemente verlaufen. Damit erreichte man eine Verbesserung in der Stabilität und Festigkeit der Schalen und eine Verringerung der Biegekräfte und Schubspannung. Die Kanten der Schalen wurden dadurch verstärkt, dass man die Rippen dicker ausbildete, was andererseits wiederum die Verankerungsbedingungen verbesserte.

Um die Resultate der analytischen Studie dieses Projektes zu überprüfen, wurden zahlreiche Versuche an einem Modell ausgeführt.