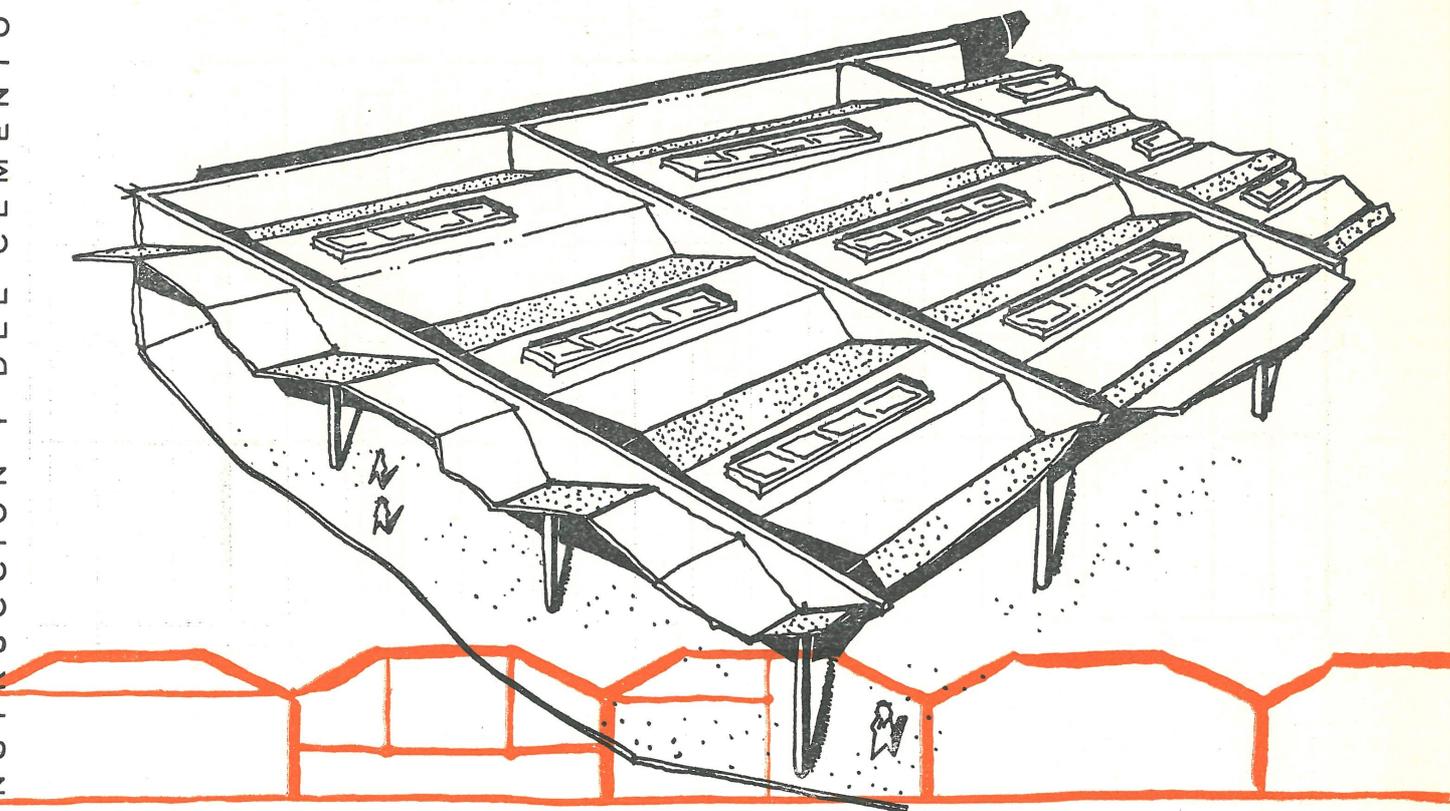


CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO  
INDUSTRIAL  
DE LA  
UNION  
JE



## cubierta laminar de hormigón pretensado

JOHN J. DRISKELL, ingeniero

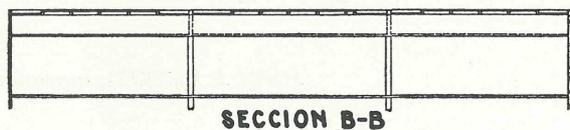
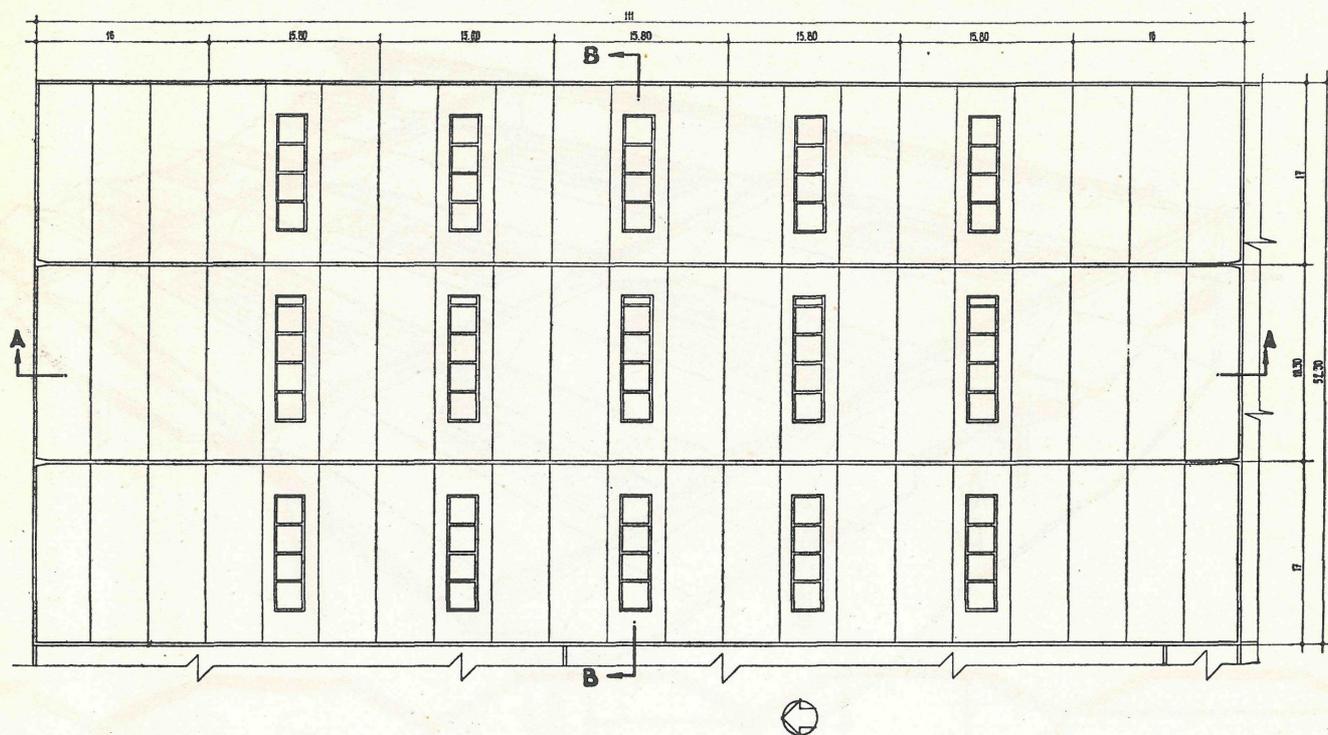
### Generalidades

Para la central panificadora de la casa Langendorf, de Los Angeles, California, se ha construido un edificio industrial de unos  $52 \times 111$  m en planta y 8 m de altura. Los muros y pilares que soportan la cubierta son de hormigón armado ordinario; mientras que aquélla se ha pretensado transversalmente, y, además, el hormigón empleado en su construcción es de tipo ligero, cuyos áridos, de origen esquistoso, han sufrido un proceso previo, en el que aumentan de volumen y se recubren de una capa envolvente de un material cerámico que vitri-

fica superficialmente. Estos áridos tratados son productos de la casa Rocklite Products Co., de Ventura (California).

Las características principales que se exigieron al hormigón fueron: una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y una densidad de  $1.500 \text{ kg/m}^3$ . La densidad real obtenida de probetas cilíndricas saturadas fué  $1.600$  kilogramos por metro cúbico y la resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los siete días y de  $280 \text{ kg/cm}^2$  a los veintiocho, llegando en algunas probetas cilíndricas hasta  $370 \text{ kg/cm}^2$ .

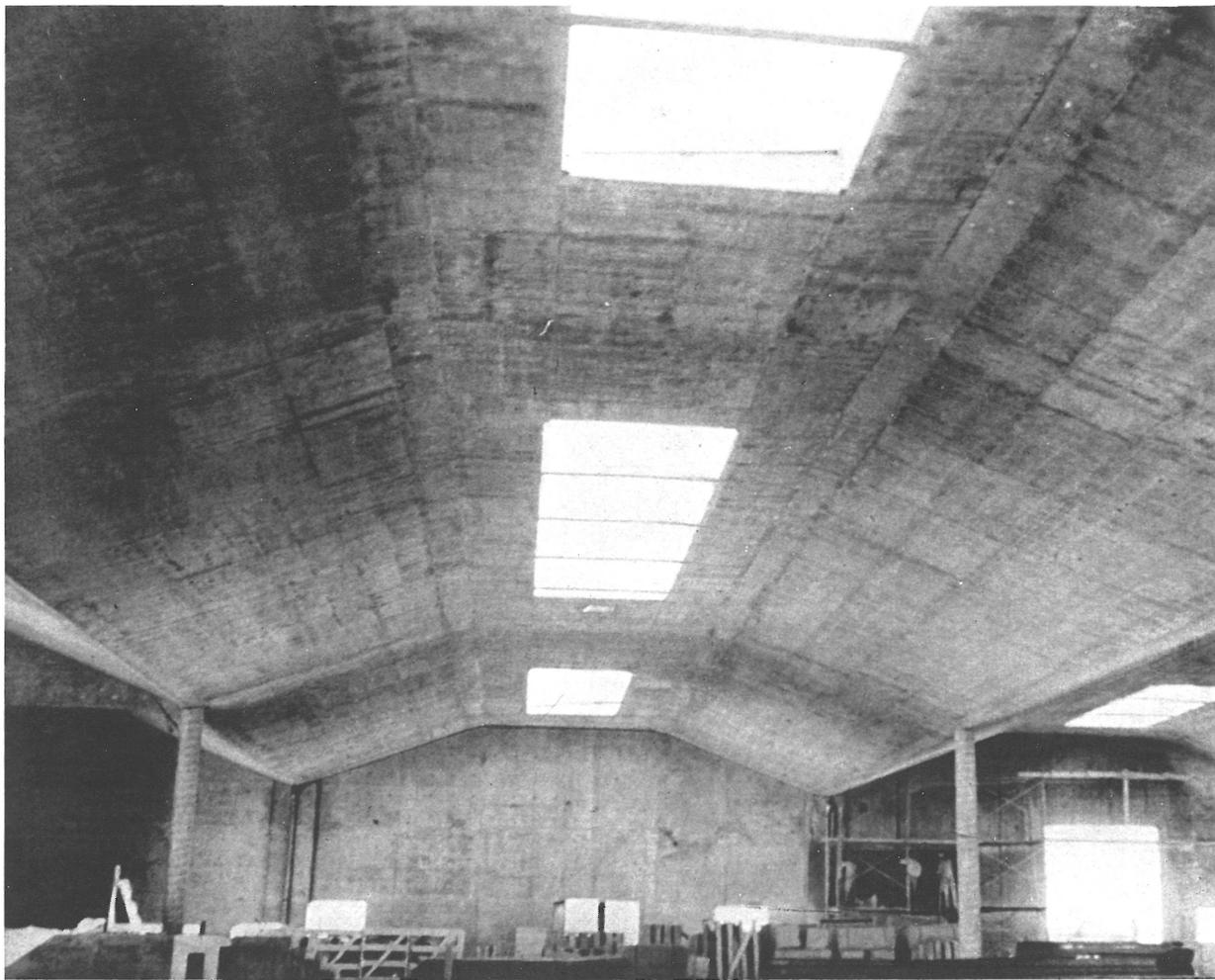
## planta - secciones



### Muros y pilares

La obra principal, de la que nos ocupamos en este trabajo, se ha cerrado con muros de hormigón ordinario, de 0,23 m de espesor. Longitudinalmente, el edificio se ha dividido en tres crujeas: una central, de unos 18 m de luz, y dos laterales, simétricas, de 17 m cada una de ellas. Estas tres crujeas se han

formado por los soportes circulares, de hormigón zunchado, de 40 cm de diámetro, que sirven de apoyo para soportar, complementariamente con los muros exteriores, la cubierta. Longitudinalmente, estos pilares se han espaciado a unos 16 m, coincidiendo, en posición, con las limahoyas que las losas planas, dispuestas formando una superficie quebrada, forman en la parte superior de la cubierta.



Vista interior.

### **La cubierta**

La cubierta está constituida por una serie de losas planas, de hormigón ligero, pretensado, de 10 cm de espesor, formando una superficie quebrada, subdividida en siete tramos: dos laterales, que corresponden a las fachadas Norte y Sur, y cinco centrales, que, como aquéllos, son idénticos. La sección transversal de cada uno de estos tramos presenta una forma trapezoidal, en la que las dos losas laterales tienen una pendiente de 4,5 : 12 y la central lleva alojado un lucernario constituido por una cristalera de cuatro paños iguales de  $2,40 \times 2,40$  m. Estos lucernarios se han dispuesto, únicamente, en los cinco tramos centrales.

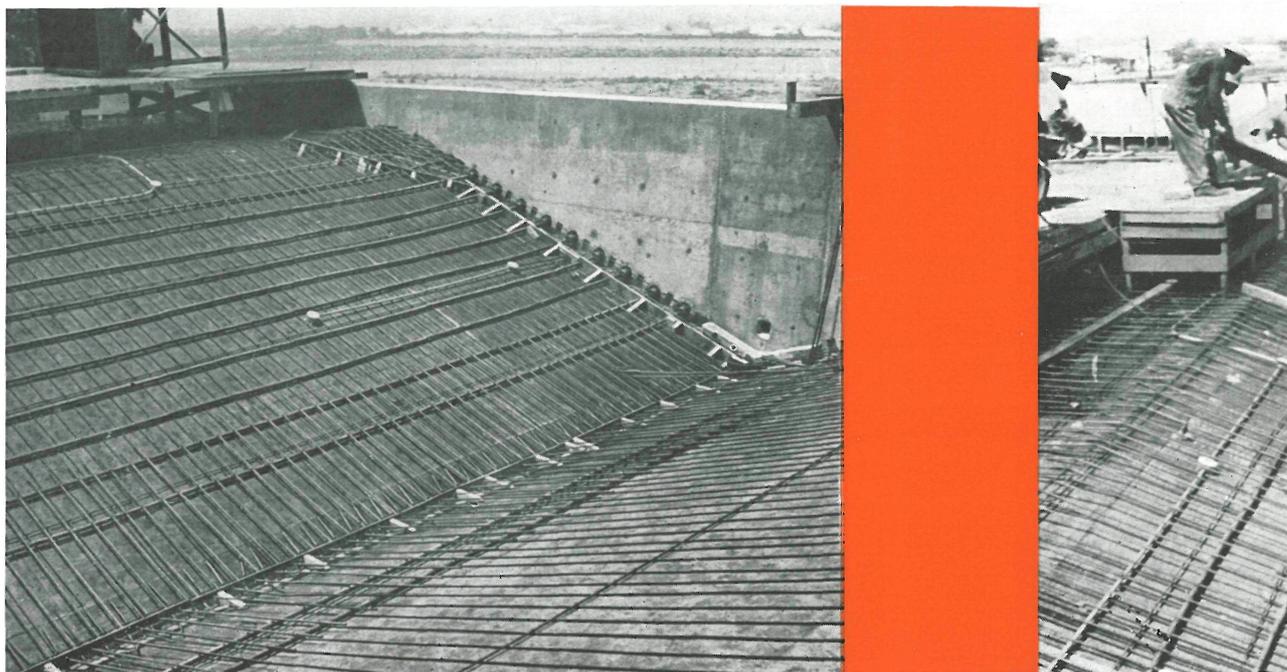
Horizontalmente, las tres losas de cada tramo tienen la misma proyección; es decir: unos 5,30 m.

En el sentido longitudinal, y siguiendo la alineación de las dos filas de soportes, se han construido dos diafragmas continuos que enrasan con los muros exteriores de las fachadas Norte y Sur. En los

dos tramos extremos estos diafragmas se proyectan, por debajo de la cubierta, hasta el nivel de las cabezas de los soportes interiores. Estos dos diafragmas tienen por objeto dar rigidez al conjunto; transmitir las reacciones de las losas a los pilares, y, finalmente, absorber el empuje horizontal creado por los dos tramos extremos, a cuyo objeto se han pretensado convenientemente. Para prevenirse contra los efectos combinados de las losas en los dos tramos extremos se extendieron, como se dijo anteriormente, los referidos diafragmas en sus extremidades.

### **Consideraciones generales sobre el pretensado**

Entre las ventajas que dieron preferencia al empleo del pretensado se pueden enumerar, en primer lugar, la reducción de flechas; supresión de soldaduras en las armaduras, y eliminación de cierta cantidad de acero y supresión de estribos, por lo menos parcialmente.



Las experiencias previas, realizadas utilizando estructuras de casas planas y superficie quebrada, aconsejan el empleo preferente del hormigón pretensado, que, aunque no siempre sucede así, en este caso particular, y teniendo en cuenta que actualmente no se conocen muchas realizaciones prácticas de hormigón ligero pretensado, ha sido considerado como el más indicado.

Las estructuras laminares merecen una atención singular antes de ser proyectadas, ya que su propio peso constituye la mayor parte de las cargas que han de soportar, lo que quiere decir que se pueden lograr economías al reducir este peso, aun empleando hormigones ligeros, cuyo precio es mayor que el de los ordinarios.

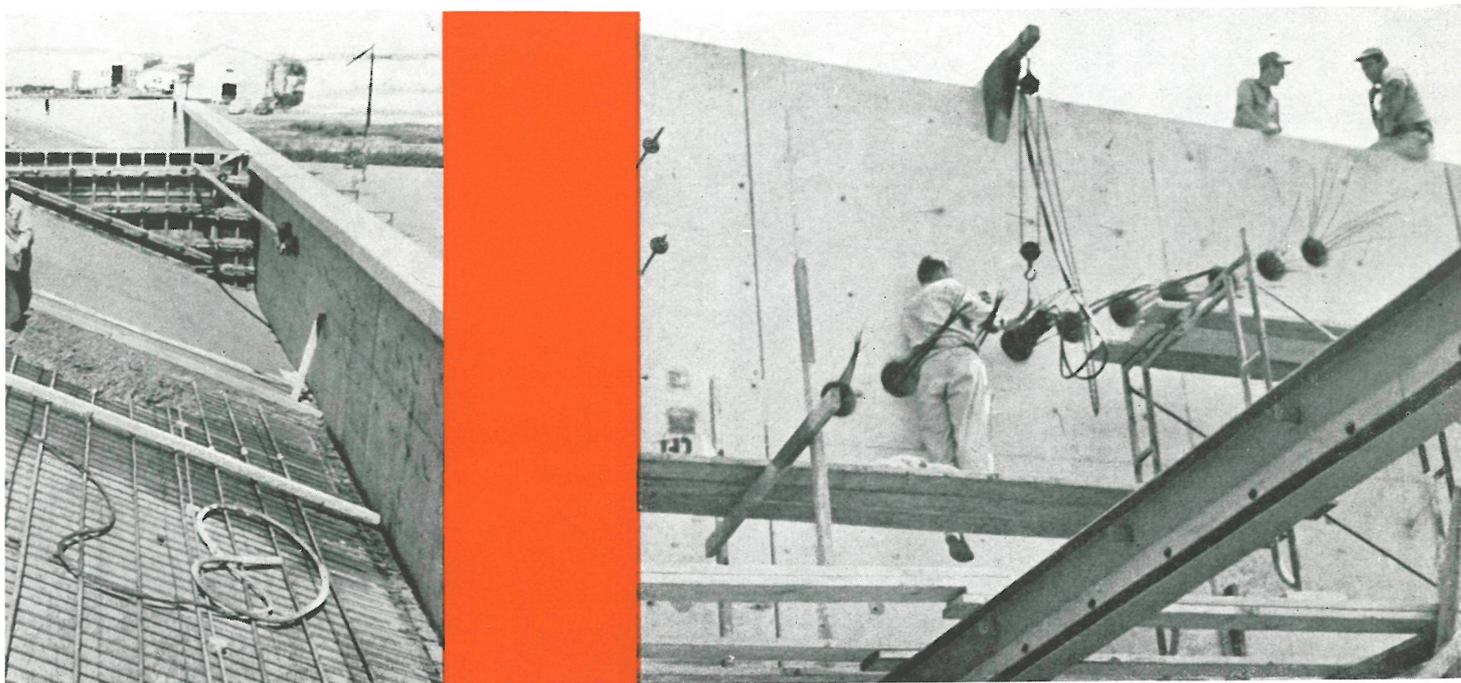
En general, las flexiones en este tipo de formas suelen ser de menor importancia que si se tratase de órganos sometidos a flexión pura, tales como vigas y viguetas; por tanto, se infiere que, si el empleo del pretensado puede suprimir un cierto número de armaduras que le haga económicamente practicable, no cabe duda que el método puede ser empleado ventajosamente.

La plasticidad del hormigón, en general, suele ser mayor en los de tipo ligero, en los que, por tanto, se necesitará mayor cantidad de armaduras para suplir a las pérdidas debidas al flujo plástico. Sin embargo, esta consideración merece un estudio de

revalorización en el caso del hormigón postesado, ya que en él operan dos factores en favor del ingeniero proyectista: uno de ellos consiste en que las pérdidas de compresión debido a la retracción se pueden considerar prácticamente eliminadas en el hormigón postesado; y el segundo, que la fluencia plástica es una función de la carga del hormigón y de la duración de ésta. Así, pues, es de menor consideración dentro del campo de las solicitaciones de flexión en las formas laminares sometidas al pretensado que en las ordinarias, porque en éstas el hormigón trabaja a 0,45 de la carga de ruptura, mientras que en las pretensadas lo hace de 0,05 a 0,15. Además, las pérdidas por fluencia plástica y deformación lenta del acero se pueden reducir por tesados temporales posteriores, con lo que se consigue una nueva ventaja, que consiste en eliminar gran parte del rozamiento de los cables dentro de sus vainas.

Como existe un gran número de sistemas de anclaje de cables en sus extremidades, en el caso de muros de fachadas lisas—como es el que nos ocupa—, siempre se puede elegir un sistema que no rompa el plano del paño de fachada.

Cada uno de los tramos de esta estructura de cubierta está constituido por tres losas, unidas entre sí, que forman una bóveda de sección trapecoidal. Cada uno de estos tramos transmite sus



reacciones a los contiguos, soportes intermedios y los muros laterales de apoyo, comportándose como un elemento continuo y formando dos vanos laterales de 16,70 m de luz y uno central de 18,20 m. La distribución de momentos en ellos es similar a la de las vigas continuas.

Tratándose de elementos pretensados debería haberse dado cierta incurvación al trazado de los cables, formando ondulaciones de crestas y vallas, pues se obtendría mayor rendimiento efectivo para resistir a las solicitaciones; sin embargo, no fué posible operar así, pues con tramos de gran longitud, como son los de esta estructura, las pérdidas de tensión por rozamiento hubieran motivado reducir la efectividad del pretensado, en lugares donde se necesita este esfuerzo, a una fracción pequeña del esfuerzo de tesado. Esta fué la causa de decidirse por un trazado rectilíneo en las losas inclinadas, por ser una solución práctica. Teóricamente necesita más cables que un trazado curvilíneo, pero, aun así, se consideró más económica que si se hubiese recurrido al empleo de armaduras ordinarias. Cada losa se ha armado con 10 cables, de 12 cordones de 5 mm de diámetro, cada uno, y de acero de 17.500 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la ruptura.

#### **Métodos constructivos**

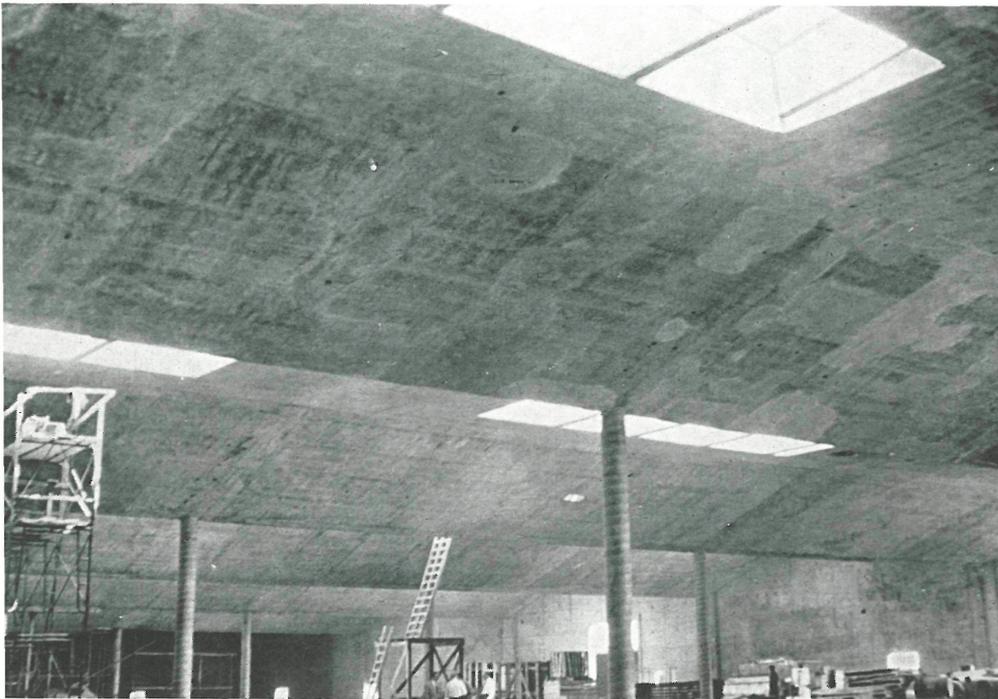
Se empezó construyendo los muros, soportes y solado. Para la construcción de la cubierta se pro-

cedió a hormigonar un tramo por día, con un volumen aproximado de hormigón de 90 m<sup>3</sup>, dejando una junta de construcción en cada tramo.

Los encofrados se apoyaban convenientemente en las aristas inferiores laterales de cada tramo hasta terminar las operaciones de tesado de cables, lo que obligó a prever en el desencofrado un sistema que permitiese desmontarlo, dejando los soportes, para volverlo a montar bajo otro tramo. Con objeto de uniformar los paneles que constituyen estos encofrados se les dieron dimensiones fijas, sin perder de vista su posible recuperación final, de hallarse en buenas condiciones, para cubrir la estructura de madera de un edificio anexo a la panificadora.

Se prepararon dos juegos de encofrados, permitiendo encofrar dos tramos a la vez. Procediendo de esta forma, mientras se hormigonaba en un tramo se preparaban las armaduras en el otro contiguo, aprovechando los siete días de período de curado. El orden de estas operaciones se combinó de manera que cada juego de encofrados se utilizó tres o cuatro veces, logrando una cadencia regular de trabajo en el tajo. La conclusión final resultó ser la terminación total de un tramo cada diez días de trabajo.

Cuando el hormigón adquiría la resistencia prevista, lo que solía suceder a los siete días, se procedía a tesar. Terminada esta operación, se retira-



Vista interior de la central panificadora.

ban los soportes provisionales del tramo y se llevaban a otro para su reemplazo. Los puntales que sostenían los dos diafragmas longitudinales se mantuvieron en pie hasta que se terminó el postesado de los mismos. Al quitar estos últimos soportes del encofrado, la cubierta se mantenía por su propia estructura.

Después de haber acabado las operaciones de tesado se inyectaron con mortero todos los conductos de los cables, porque se creyó que constituía una práctica aconsejable por múltiples razones, pues no se puede depositar una confianza permanente en los anclajes, aunque se los crea adecuados para conservar el estado de tensión inicial. Si se inyectan los conductos, aunque no se pueda insistir más sobre la posibilidad de una nueva operación de tesado complementario, tampoco se puede decir que resulte en daño alguno; además, se asegura una acción mutua entre armaduras y hormigón, que mejora, como resultado final, el factor de seguridad de la obra. Si se diese el caso que, debido a un exceso de rozamientos, existiese alguna parte del trazado de los cables en las que las fuerzas de pretensado no llegasen a lograr las tensiones previstas para los cables, esto se traduciría en una simple transformación de la acción original de los cables de pretensado en otra que les haría com-

portarse como armaduras normales en el hormigón, sin que, por ello, se hallasen sometidas a sobretensiones.

#### **Docilidad del hormigón**

A pesar de la pendiente de las losas inclinadas, el hormigón de éstas no presentó dificultades, porque las armaduras longitudinales y transversales de éstas presentaban impedimento suficiente, incluso vibrándolo, para evitar que el hormigón pudiese deslizar en el sentido de la máxima pendiente.

Teniendo en consideración el grado de acabado que se perseguía, así como la posibilidad de una segregación del hormigón, se dió a éste, en los ensayos de plasticidad, un asiento de 25 a 75 mm.

El hormigón, que procedía de camiones-cubas, se elevaba por medio de grúas a una batea, de donde se mandaba a las losas ayudándose de canaletas que vertían por gravedad.

Para el drenaje de la cubierta se prepararon colectores aprovechando el fondo de las vertientes inclinadas, dándole la forma apropiada y rellenando con hormigón ligero de 560 kg/m<sup>3</sup>.

J. J. U.