



832 - 31

## **edificio para oficinas en la Universidad de California**

**T. Y. LIN, FELIX KULKA and Y. C. YANG, ingenieros**

### **sinopsis**

La Universidad de California acaba de construir dos edificios en Davis, uno de nueve plantas, destinado a clases, y otro de menor importancia para oficinas. La construcción debía realizarse con elementos prefabricados, pretensados y autorresistentes. La colocación y preparación de estos elementos se sometió a un estrecho y riguroso programa que se denominó crítico, pues cada una de sus fases presentaba particulares características que la diferenciaba de la siguiente. Los elementos constructivos principales—muros, cubierta y forjados—, debían componerse de paneles autorresistentes. Las cajas de escaleras y ascensores son, asimismo, resistentes; dichas cajas, junto con el arriostramiento general, absorben la mayor parte de las tensiones derivadas de efectos sísmicos. Los cimientos, por hallarse el edificio sobre un suelo poco resistente, se resolvieron con un sistema de arco invertido que flota sobre el terreno y reparte la carga uniformemente sobre el mismo. El montaje se realizó con ayuda de dos grúas móviles, con plumas de gran longitud y maniobrando en estrecha colaboración. El éxito final logrado ha sido notable, tanto en economía financiera como de tiempo de ejecución y, además, se ha dejado el camino expedito a una ampliación futura, para la cual bastará correr la caja de ascensores al nuevo lugar elegido y continuar la reforma con los elementos prefabricados autorresistentes.

87

Para la Universidad de California, en Davis (Estados Unidos), se ha erigido recientemente un edificio a base de elementos prefabricados, pretensados no tradicionales, con objeto de cumplir las actuales exigencias funcionales, estéticas y económicas que requiere la construcción. Tres tipos de elementos—soportes, muros y paneles para forjados prefabricados y pretensados—han sido objeto de especial estudio. Estos elementos constituyen el cuerpo principal de la estructura y están dotados de suficiente expresión arquitectónica. Sobre la planta, de 39×11,5 m, se levanta un entramado libre de soportes intermedios, lo que permite disponer de gran espacio y flexibilidad para futuras distribuciones. La economía conseguida con la introducción de este sistema constructivo se ve acrecentada con la rapidez de construcción alcanzada.

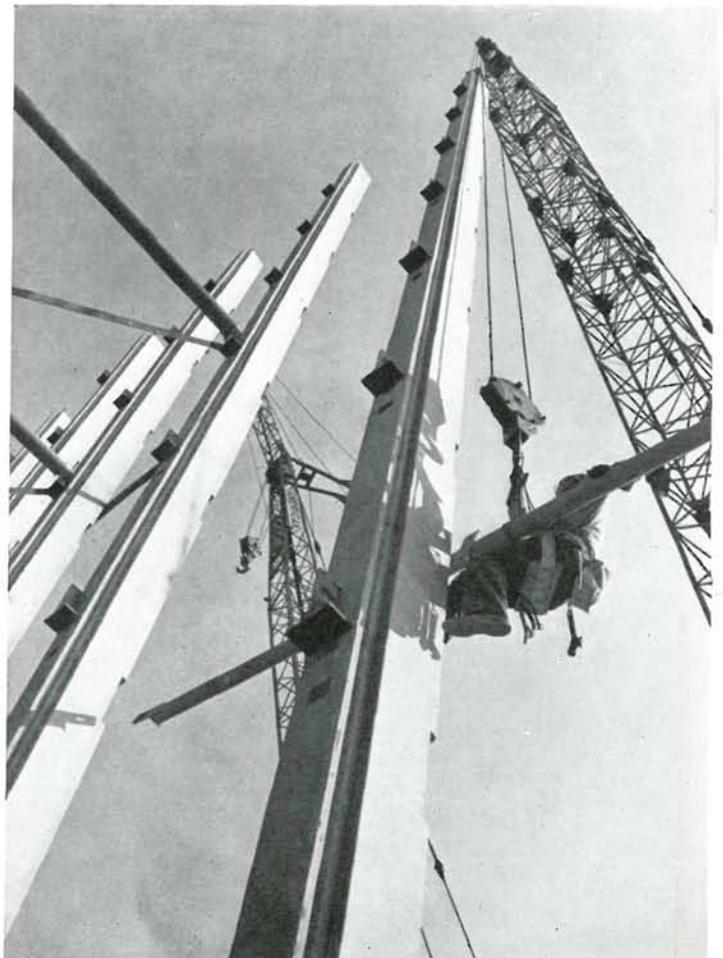
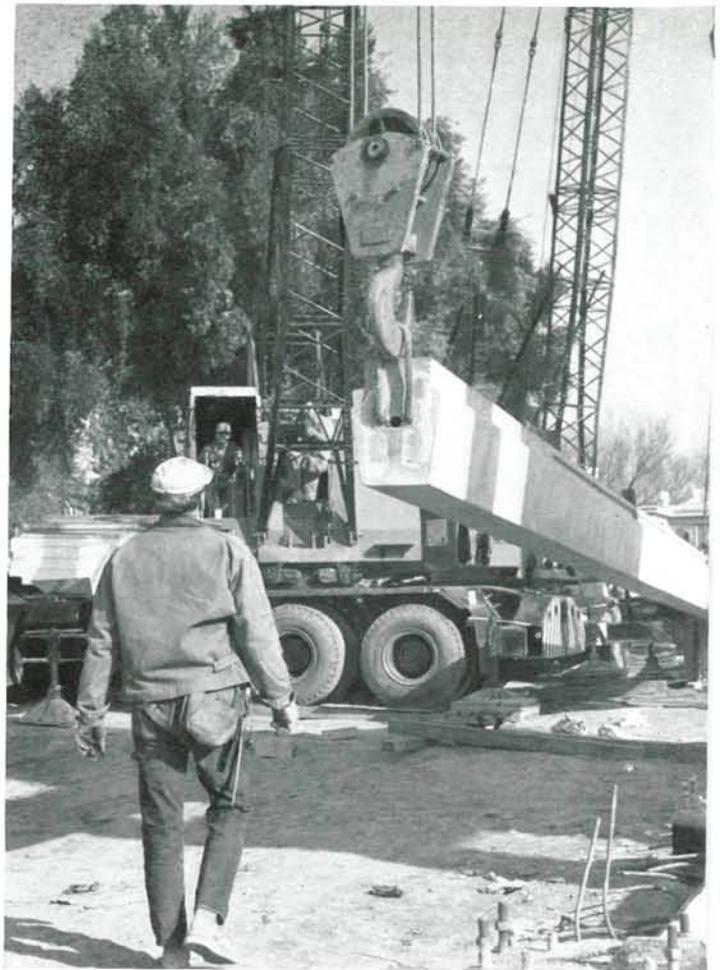
Algunos de los principios básicos empleados en el proyecto y construcción de este edificio se pueden resumir como sigue:

- 1 Máximo espacio libre.
- 2 Conjunción de elementos estructurales y arquitectónicos, a fin de utilizar las partes esenciales del edificio como miembros principales para soportar las cargas.
- 3 Empleo máximo de elementos prefabricados y pretensados, con objeto de permitir su producción en taller económicamente, evitar pérdidas de tiempo en el montaje y asegurar la calidad de los productos.
- 4 Mínimo número de formas, con el fin de llegar a un reemplazo razonable y simplificación en el taller de prefabricación.
- 5 Dimensión máxima y forma óptima en cada elemento, para disminuir manipulaciones y coste de montaje, pero compatibles con los límites impuestos por el transporte y montaje.
- 6 Producción reglada en el tiempo, sincronismo en las operaciones de montaje y disminución de maniobras perdidas.
- 7 División racional de la responsabilidad y cooperación entre el productor y constructor general.

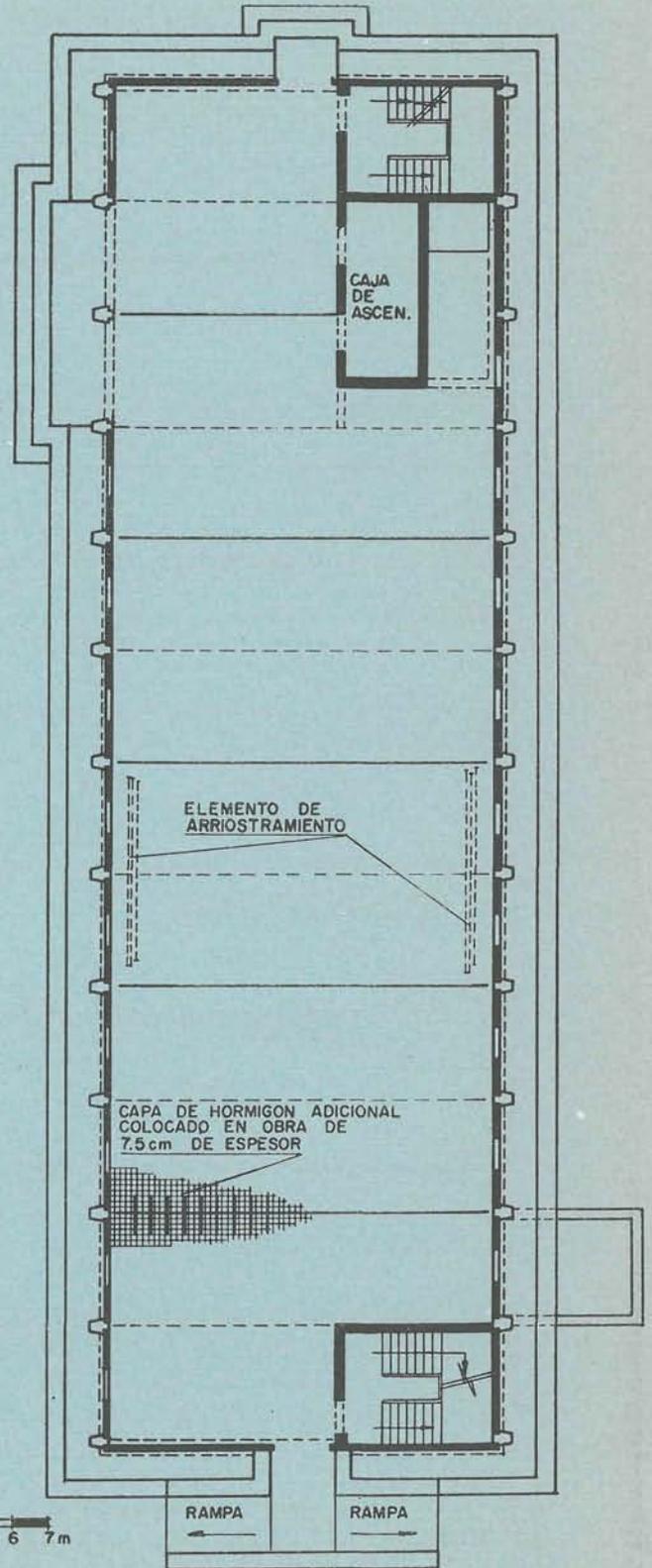
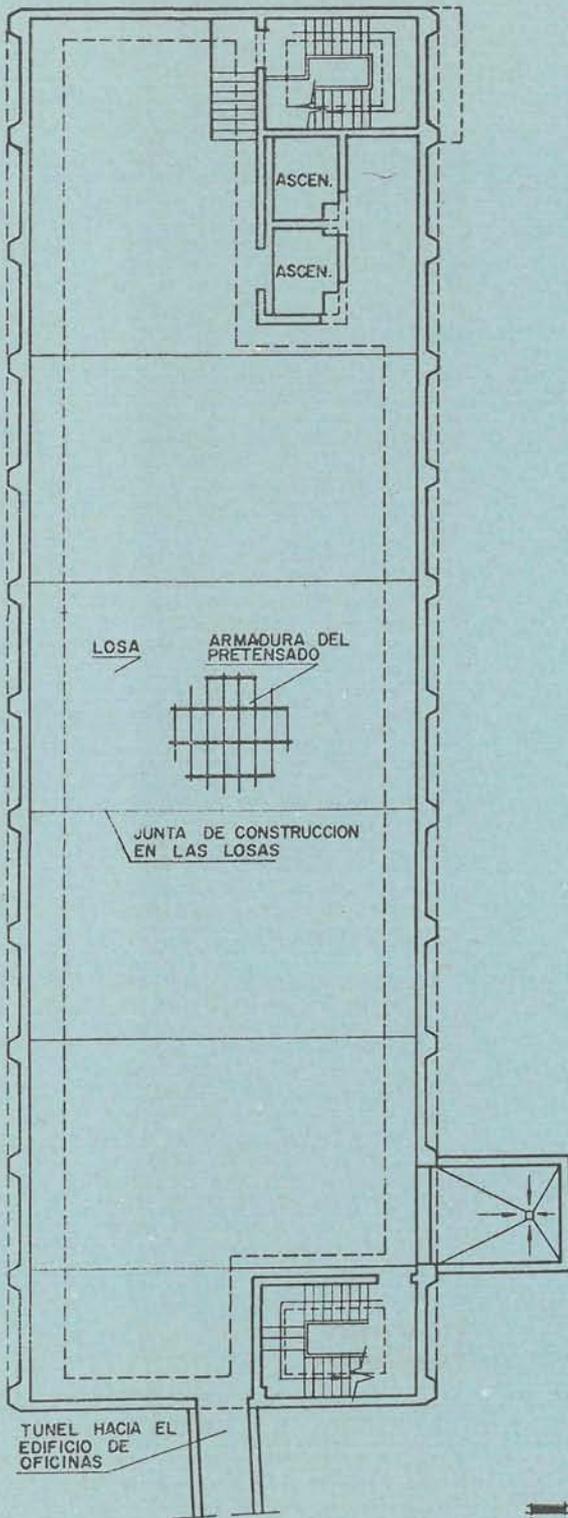
Con estas premisas básicas se llegó a la conclusión de que eran innecesarias las vigas, viguetas y soportes interiores. Los paneles para forjados, muros, cajas para ascensores y soportes exteriores debían ser suficientemente resistentes para absorber las fuerzas verticales y horizontales que actúan sobre la estructura.

Este tipo de construcciones se puede extender a otros de mayor planta y altura que el que se describe. Por ejemplo: los paneles de forjado pueden salvar luces de hasta más de 21 m, y, en el caso de edificaciones de mayor altura, los soportes se pueden empalmar. Esto, no obstante, cada uno debe estudiarse como si se tratase de un caso particular, con sus posibilidades de producción, transporte y montaje.

**Maniobra inicial de elevación de un soporte.  
Arriostramiento entre soportes.**



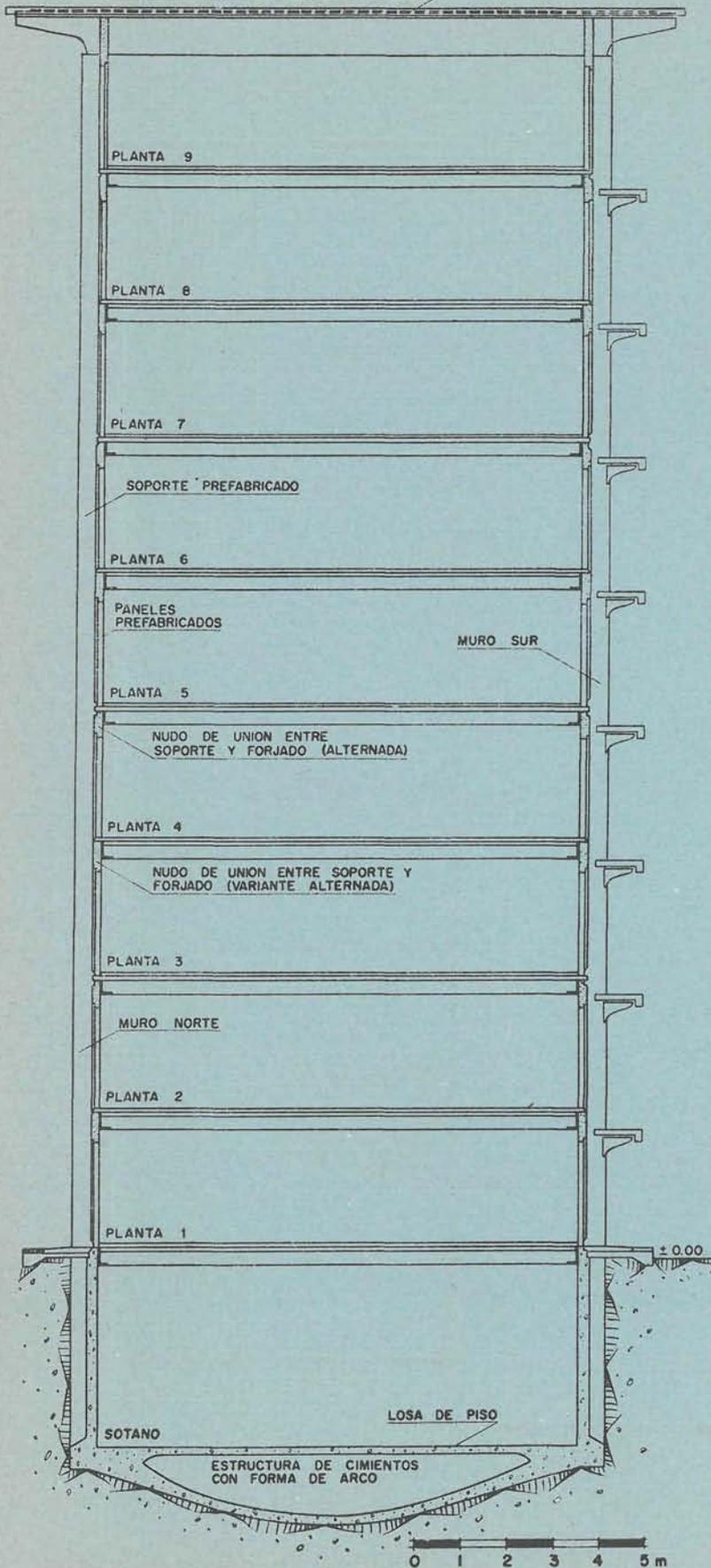
# plantas



0 1 2 3 4 5 6 7m

**sótano**

**primera**



sección transversal

## Soportes prefabricados y de gran longitud

Los soportes se prefabricaron en longitudes de 26 m, es decir, la total altura del edificio, con hormigón de 386 kg/cm<sup>3</sup>. Convenientemente empalmados se podían emplear en edificios de nueve plantas, de 2,90 m de altura cada una, y mantenerse dentro de las restricciones californianas para la circulación por carretera, que toleran una longitud máxima de 27,40 m. Cada uno de los soportes se pretensó con 16 cables de 11,1 mm de diámetro, compuestos de siete alambres de acero, de gran resistencia, con lo que se logró la suficiente para las operaciones de transporte y colocación en obra, así como evitar la presencia de grietas. Puesto que los paneles para forjados descansan sobre salientes previstos en los soportes, los momentos debidos a cargas excéntricas son absorbidos por el pretensado. Estas pequeñas ménsulas se han solidarizado con las armaduras del pretensado.

Los soportes se han espaciado a 3,15 m, dimensión que constituye el módulo de locales para oficinas. Para darles buena apariencia, su forma es tronco-piramidal, con sección de unos 40x48 cm. Su peso es de 15 t por pieza y, para su erección, se emplearon dos grúas. Cuando el soporte se ponía en posición vertical se soltaba una de las grúas—la que guiaba la maniobra de la parte inferior—, fijándolo en posición definitiva con ayuda de la otra grúa. Todos los soportes se aplomaron con gran escrúpulo, y el error de verticalidad máximo fue de 6 mm. La parte inferior se ancló a una placa metálica, de acero, con cuatro pernos.

Durante la erección de los soportes se hormigonaron «in situ» dos cajas de escalera y otras dos para ascensores. Los primeros soportes se solidarizaron con estas cajas, mientras que los subsiguientes se arriostraban con los ya fijados por medio de un sistema de tubos y barras de acero. Estas eran suficientemente delgadas para acomodarlas a las juntas formadas entre los paneles de forjado, lo que permitió mantenerlas en posición mientras se colocaban aquéllos.

## Paneles para forjados

La sección en U de los paneles prefabricados con hormigón ligero, de 19,9 m de longitud y 3,15 m de anchura, se aplicó para todos los forjados, evitándose así la necesidad de encofrados en obra. Los cuatro vértices de cada panel se apoyan directamente sobre los soportes y, por tanto, se ha hecho innecesaria la presencia de vigas y viguetas corrientemente empleadas en los entramados convencionales.

Estos paneles se pretensaron longitudinalmente con doce cables de 11 mm de diámetro, fijados en la mitad de la luz para controlar las tensiones y flechas. La losa que constituye el alma de estos paneles tiene 8,8 cm de espesor y se ha armado con redondos de 12 mm de diámetro que salvan la luz de 3,05 m entre alas o nervios laterales. Estos nervios tienen 33 cm de altura y 13 cm de espesor variable en la base y en disminución hacia la extremidad. Los paneles así dispuestos se apoyan sobre placas de neopreno y acero inoxidable, colocadas sobre ménsulas en forma de T que se proyectan al exterior en los soportes.

En la parte superior de estos paneles de forjado se ha extendido una capa de hormigón armado con un reticulado de alambres y barras que permiten al forjado actuar como un diafragma horizontal de perfecto comportamiento resistente contra sismos. El hormigón de esta capa se colocó en obra. La referida capa envuelve canalizaciones eléctricas y trabaja conjuntamente con el panel para resistir sobrecargas. Estos paneles se fijaron apoyándose provisionalmente sobre un solo soporte en su punto medio, logrando unos 9 mm de contraflecha. Después de hormigonar, la referida contraflecha se redujo a 6 mm, y se puede esperar que disminuya en el futuro hasta unos 3 milímetros.

Los paneles a que nos venimos refiriendo pesan 6 t, y se elevaron por el exterior del edificio, operación que verificó una grúa de 40 t de capacidad, pues tenían que pasar por encima de la parte superior de los soportes, inclinarlos para permitir su paso a través del arriostramiento y descenderlos finalmente al lugar de su posición definitiva.

Los paneles poseían la rigidez necesaria para resistir todas estas operaciones sin experimentar sensibles deformaciones, cualquiera que fuese su posición durante las referidas maniobras.

Debido a consideraciones de orden arquitectónico, los elementos de la cubierta tenían una sección transversal en forma de simple T. Su longitud es de 15 m; su canto, de 90 cm, y la anchura de las alas, de 30 cm. Cada uno de estos elementos se pretensó con ocho cables de 11 mm de espesor. Aunque estos elementos no tienen las dimensiones de tipos similares normalizados, sólo se necesitó de un juego de encofrados. El coste adicional que la mejora estética exigía—por necesitar una forma especial—fue motivo de profundo estudio, tendente a apreciar la importancia económica respecto al efecto plástico conseguido.

## Paneles para muros

Los muros exteriores del edificio se construyeron con paneles prefabricados de 15 cm de espesor. Para reducir las operaciones de colocación y unión entre ellos, se les dio la altura de dos plantas y la anchura de la luz entre soportes. Cada uno de estos paneles se ha pretensado inicialmente, con seis cables de 9 mm de diámetro, con objeto de que pudieran resistir las maniobras de transporte y colocación, así como también para disminuir la fisuración y conservar la impermeabilización del edificio.

Después de terminar el forjado de la segunda planta, se colocaron los paneles correspondientes a la siguiente. Estos paneles se prolongan al exterior para colocar sobre ellos los de los muros exteriores. En los forjados de las plantas intermedias se dejaron huecos para el paso de los paneles de los muros exteriores.

## Previsiones contra los efectos de sismos

Dado que el edificio se ha construido en una zona afectada por sismos, se tuvo especial cuidado en proyectarlo para lograr suficiente resistencia lateral. La caja de la escalera y la del ascensor, situadas en cada una de las extremidades del edificio, proporcionan la resistencia principal contra los esfuerzos transversales, para lo cual se han colocado unos pasadores que se embeben en la capa de hormigón, de 7,5 cm de espesor, colocada en obra sobre los forjados para la transmisión de esfuerzos laterales. Los pasadores, que se proyectan al exterior de los soportes y paneles de muros, también se han embebido en dicha capa de hormigón, hormigonada sobre piezas, de sección en forma de U, que sirven de arriostramiento y solidarización entre elementos prefabricados. Estos pasadores se complementan, si es preciso, con trozos de metal soldados a aquéllos y que se proyectan al exterior para después solidarizarse con otros elementos prefabricados. Los soportes, hormigonados con los muros, proporcionan gran rigidez al edificio y absorben la mayor parte de la carga lateral. En caso de un sismo importante, las cajas de escaleras y ascensores se encargan de contribuir a lograr la debida rigidez.

## Cimientos

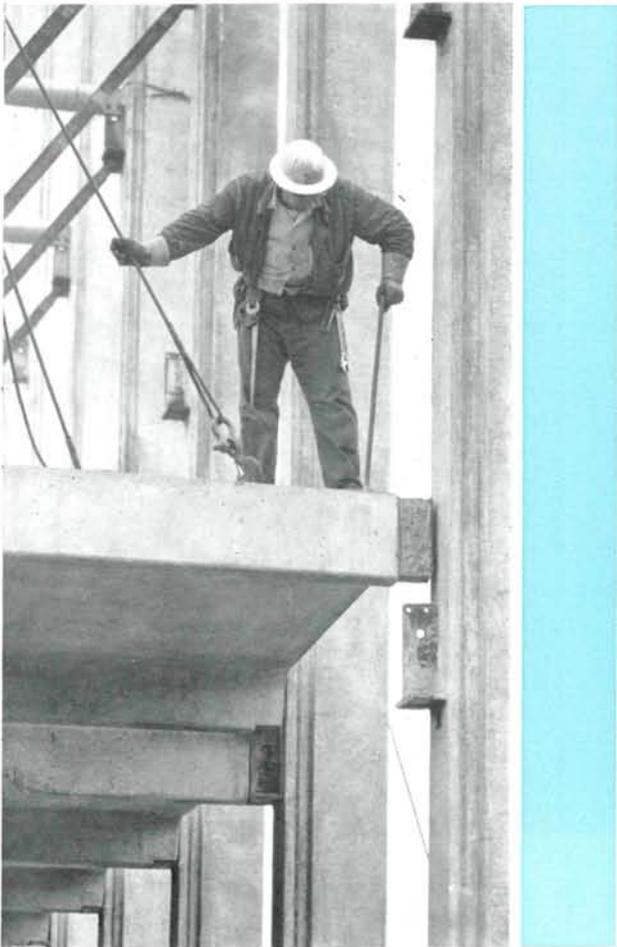
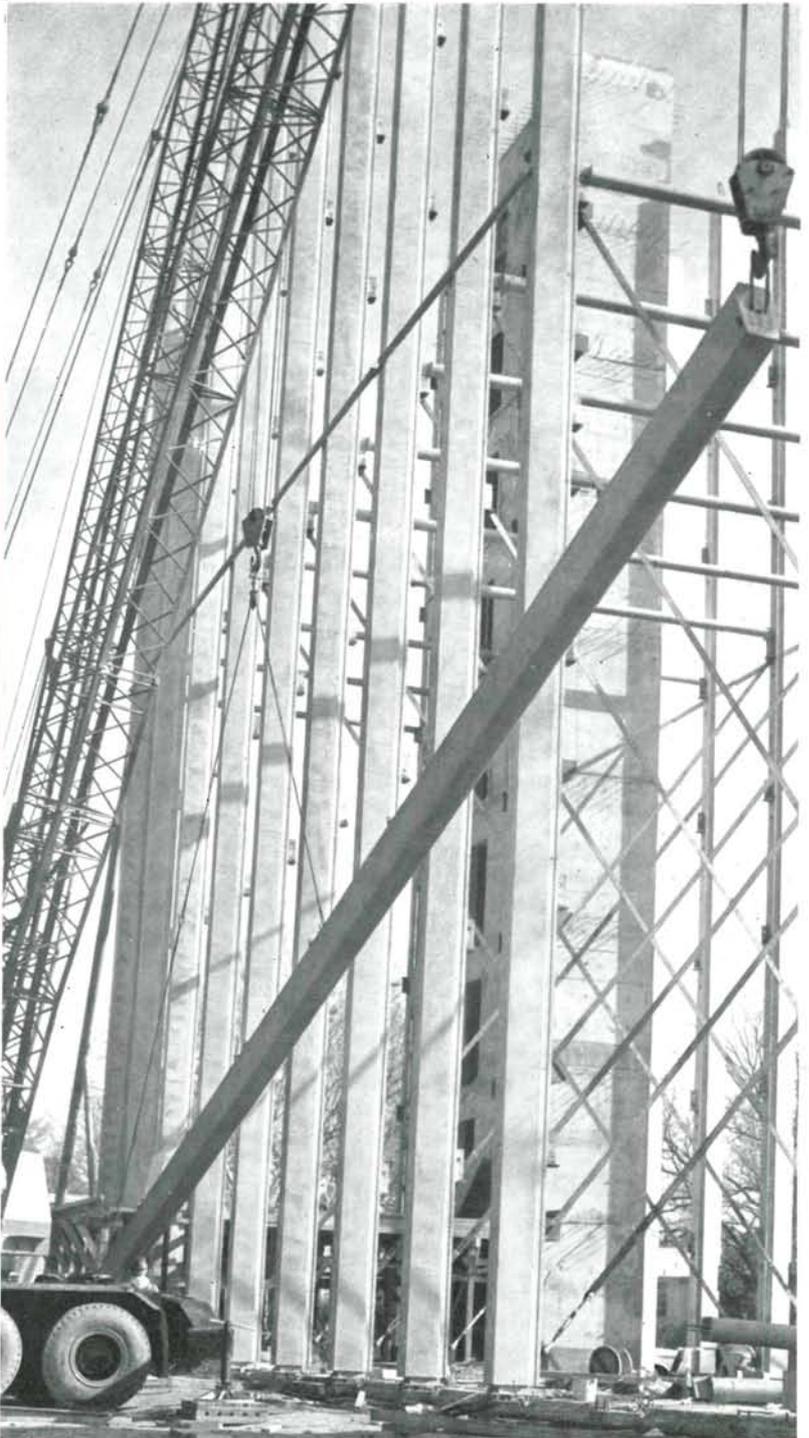
Como el terreno presentaba una resistencia de sólo 1,5 kg/cm<sup>2</sup>, se proyectaron dos soleras corridas por debajo de cada una de las dos filas de soportes. Con posterioridad se proyectó un cimiento, en forma de arco parabólico invertido, capaz de repartir uniformemente la carga total, a razón de 1,22 kg/cm<sup>2</sup>. Este arco tiene 11,50 m de luz, es decir, la anchura del edificio, y actúa como si se tratase de un cimiento flotante dotado de suficiente estabilidad.

El arco parabólico es de hormigón, tiene una flecha de 1,50 m en la clave y un espesor de 20 cm. Sus armaduras están constituidas por simples barras. El empuje del arco lo absorbe una losa postesada de 17 cm de espesor, cuyos cables se componen de ocho alambres de 6 mm de diámetro espaciados a 30 centímetros.



Preparación de asientos metálicos para paneles de forjado.

Soportes y caja de ascensores.



Colocación de paneles de forjado.

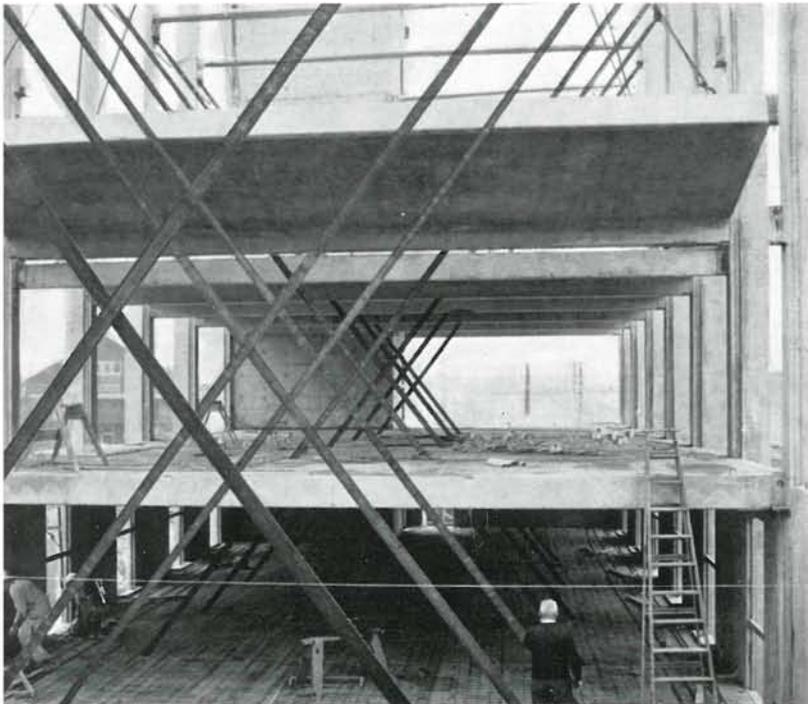
Para el hormigonado del arco se empezó colocando una membrana de impermeabilización, de 25 cm de espesor, sobre la excavación, de forma parabólica, abierta en el terreno aluvial. La parte más importante de esta excavación la realizó una draga de arrastre, y la limpieza final se llevó a cabo con un tractor equipado para poder cargar escombros y dar los retoques finales que la superficie parabólica exigía. La losa de la planta baja se hormigonó sobre la losa parabólica inferior, debidamente «enriñonada». Las armaduras de pretensado de esta losa, de 17 cm de espesor, se colocaron de tal forma que soportaran el peso de la propia losa y parte de la sobrecarga que sobre ella gravita.

Con objeto de asegurar la estabilidad del edificio contra los efectos del seísmo los muros de la planta baja y las cajas de hormigón para escaleras y ascensores se hormigonaron en obra y servirán de estabilizadores.

### Método crítico operacional

Con objeto de conseguir una utilización eficiente de la mano de obra, espacio y equipo, el contratista empleó un método operacional cronológico. El programa preparado definía todas las fases de prefabricación, transporte, montaje, hormigonado en obra y otras.

Forjados parcialmente terminados.



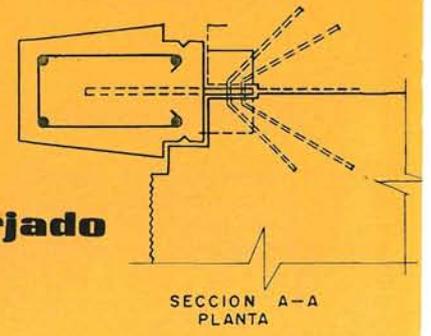
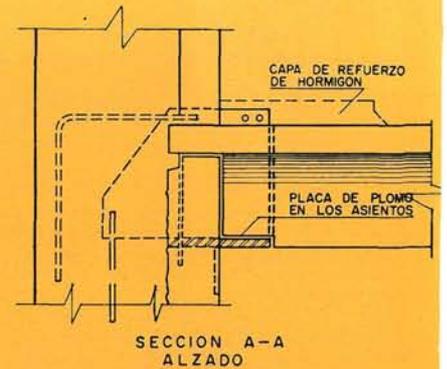
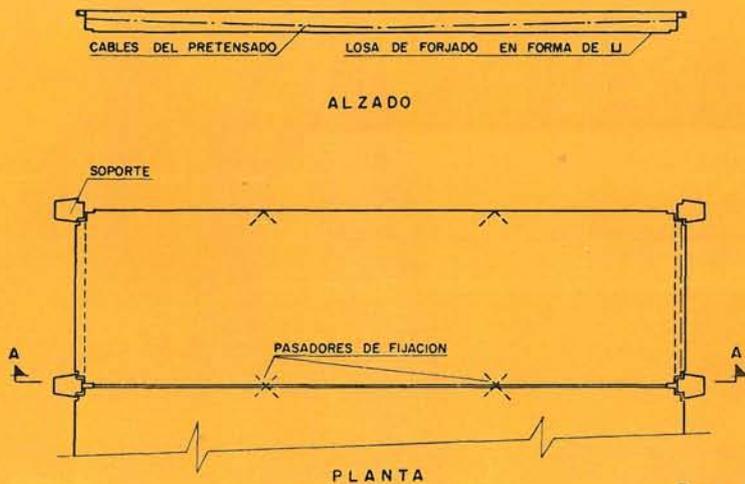
Colocación de un panel de fachada.

Colocación de un panel de cubierta.

La pluma de la grúa en posición crítica.



## detalles constructivos

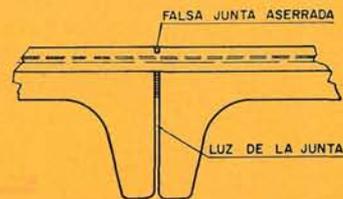
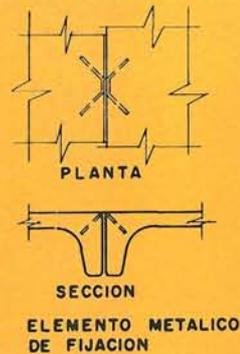


## losa de forjado



POSICION DE LOS CABLES

DETALLE DE LA CAPA DE REFUERZO



DETALLE COMPLEMENTARIO

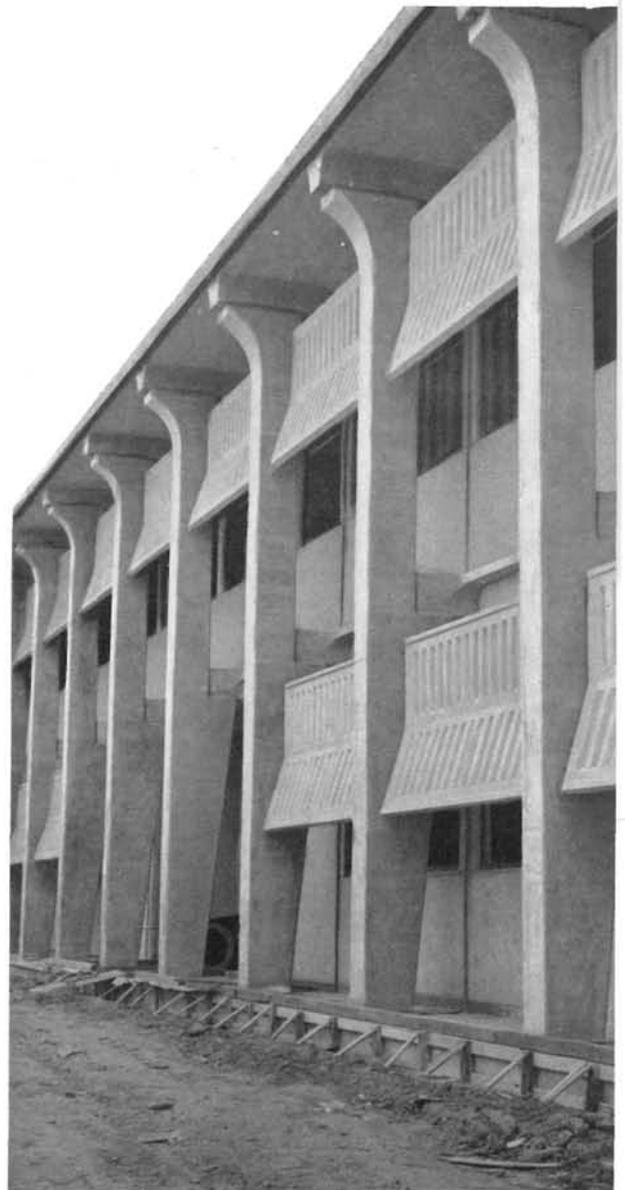
El método empleado se justificaba por el hecho de que en el mismo programa se incluía otro edificio de dos plantas, para clases, con un total de 5.300 m<sup>2</sup> construidos. La prefabricación y pretensado se emplearon de forma similar en este segundo edificio. La trayectoria cronológica seguida permitió un traslado eficiente de los equipos de personal y material auxiliar entre los dos edificios. Los plazos fijados mostraron ciertos aspectos significativos de la construcción. Los más importantes son:

- El edificio de nueve plantas podía construirse en seis meses menos de tiempo que otro convencional de hormigón armado.
- Puesto que la mayor cantidad de hormigón correspondió a la prefabricación, el total de mano de obra era muy reducido.
- Se necesitaba la mínima expresión de material pesado auxiliar. Terminado el montaje de los elementos prefabricados, el material auxiliar necesario fue del tipo ligero.



Como se trataba de un nuevo tipo de construcción, se convocó a todos los contratistas que pretendían licitar en la adjudicación. En esta reunión, los arquitectos e ingenieros explicaron los conceptos y detalles del proyecto, aceptándose las sugerencias y discutiendo profundamente el tema con el fin de lograr un mejor entendimiento del proceso que condujera a una baja sustancial en la licitación. También se decidió especificar que el subcontratista de elementos prefabricados debería encargarse del transporte y colocación de los referidos elementos, con lo que se evitaría la división de la responsabilidad en el caso de tolerancias impropias y trabajos inaceptables. Todo esto quedó justificado por el hecho de que todos los elementos se montaron sencillamente y sin dificultad.

- Después de montar tres plantas con elementos prefabricados se procedió a colocar la capa de hormigón sobre forjados, la tabiquería, instalaciones y retoques de acabado, mientras se continuaba el montaje de la parte estructural. Todo esto resultó de gran utilidad para los subcontratistas que tenían que realizar muchas instalaciones en el edificio.
- Los cimientos, hormigonados en obra, así como las cajas para el ascensor y escalera, torres, etc., se pudieron construir con un eficiente y reducido equipo de personal, mientras se realizaba la prefabricación.
- Contrastando con los procedimientos normales de construcción, se llegó a la conclusión de que convenía retrasar el montaje de elementos prefabricados dos meses, con objeto de evitar seis traslados de personal, sin que por esto se retardase el tiempo de terminación. Solamente este hecho proporcionó un ahorro de más de 10.000 dólares, y ello se pudo lograr gracias a la severa ordenación de los trabajos que precedieron al montaje y de los posteriores al mismo en los dos edificios, consiguiendo así un montaje continuo. El montaje de todos los soportes, forjados y muros en el edificio de nueve plantas se terminó en veintitrés días de trabajo.





Vista de conjunto.

Probablemente no existe medio comparativo de costes entre estos dos edificios prefabricados y cualquier otro proyecto realizado siguiendo procedimientos tradicionales, si bien constituye un índice de medida el que resultase un 8 por 100 inferior al coste calculado por la Universidad. Además de la economía lograda con esta estructura, existe otra ventaja más en el hecho de que la ampliación del edificio destinado a oficinas, cuya longitud será aumentada en 1967, exigirá sólo la supresión del muro E, en la extremidad del edificio actual, añadiendo, sin molestias de ruido, la parte adicional proyectada, para lo cual sólo será necesario destornillar la caja de la escalera E, y llevarla a su nueva posición. Toda la tabiquería existente actualmente será aprovechada, y los dos ascensores absorberán un aumento de servicio del 50 por 100 de superficie sin necesidad de nuevas escaleras o ascensores.

Los edificios que constituyen este complejo han conseguido, con pleno éxito, la meta fijada, tanto en lo que se refiere al propietario como al arquitecto, ingeniero y constructor, éxito que se debió al criterio que combinó cuidadosamente las nuevas técnicas constructivas con los métodos modernizados empleados para proyectar y que proporcionan nuevos medios al arquitecto e ingeniero.

El proyecto se debe al arquitecto Gardner A. Dailey, FAIA, en colaboración con el ingeniero T. Y. Lin, ambos de San Francisco. La ejecución de obras la realizó F. P. Lathrop, constructor, de Berkeley, encargándose del suministro de elementos prefabricados Basalt Rock Company, de Napa, California.

## Immeuble de bureaux à Californie

T. Y. Lin, Félix Kulka and Y. C. Yang, ingénieurs.

L'Université de Californie vient de faire bâtir deux immeubles à Davis; l'un de neuf étages destiné à abriter des classes et l'autre, moins important, pour des bureaux.

Leur construction devait être réalisée avec des éléments préfabriqués, précontraints et autorésistants. La préparation et la mise en place de ces éléments furent effectuées selon un programme rigoureux nommé critique, parce que chacune de ses phases présentait des caractéristiques particulières la différenciant de la suivante.

Les éléments constructifs principaux—murs, couverture et planchers—, devait être composés de panneaux autorésistants. Les cages d'escaliers et d'ascenseurs sont également résistantes; elles sont unies au contreventement général et absorbent la plupart des contraintes dérivées des effets sismiques.

Comme l'immeuble se trouve sur un sol peu résistant, ses fondations ont été résolues grâce à un système d'arc inversé qui flotte sur le terrain et y distribue uniformément la charge.

Le montage a été réalisé à l'aide de deux grues roulantes, de flèches très longues et manoeuvrant en étroite collaboration.

Le succès obtenu finalement a été remarquable, tant en économie financière qu'en temps d'exécution et, de plus, le chemin a été laissé libre en vue d'un futur agrandissement, pour lequel il suffira de pousser la cage des ascenseurs à la nouvelle place choisie et de continuer la réforme avec les éléments préfabriqués autorésistants.

## Office Building in California

T. Y. Lin, Félix Kulka & Y. C. Yang, engineers.

California University has just completed two buildings at Davis, one of nine storeys, and another smaller one, devoted to offices.

Building involved the use of prefabricated, prestressed, load bearing units. The production and placing of these units required a very strict program of control and planning, as each of these operations had very specific features that were not straightforward.

The walls, roof and floorings were made of load bearing panels. The lift and stair box was also an important structural element. Both this box and the cross bracing will take up loads arising from possible earthquake effects.

As the building is situated on ground with poor resistance, the foundations consists of a number of inverted arches, which float on the soil, and distribute the loads uniformly over a wider area.

The lifting of the various units was carried out with two moveable cranes fitted with very long lifting arms, both of which were operated in a closely integrated manner.

The final success has been outstanding, both owing to the low cost, the saving in time, and also because it will be easy to extend the project at a later date, by merely moving the position of the lift box, and using the same type of building units.

## Bürogebäude Kalifornien

T. Y. Lin, Félix Kulka und Y. C. Yang, Ingenieure.

Die Universität von Kalifornien hat vor kurzem zwei Gebäude in Davis gebaut: Eines mit 9 Stockwerken für Unterrichtszwecke und Vorlesungen und ein zweites weniger bedeutendes für Bürozzwecke.

Der Bau wurde mit vorgefertigten, vorgespannten und freitragenden Elementen hergestellt. Die Fertigung und Montage erfolgte an Hand eines strikten Programmes, auch kritisches Programm genannt, da jede einzelne Bauphase sich von der nächst folgenden deutlich unterschied.

Die Hauptkonstruktionsteile—Umfassungsmauern, Dach und Geschossdecken—wurden aus freitragenden Platten erstellt. Die Treppen- und Aufzugsschächte sind so gebaut, dass sie zusammen mit den Hauptverstrebrungen einen Grossteil der von Erdbeben herrührenden Spannungen aufnehmen.

Da sich das Gebäude auf einem wenig soliden Untergrund befindet, wurden die Fundamente nach dem System des umgekehrten Bogens gebaut, der über dem Grund schwebt und die Lasten gleichmässig verteilt.

Die Montage der Bauteile erfolgte mit Hilfe von zwei Fahrkrähen mit langen Auslegern grosser Reichweite.

Der Erfolg sowohl in finanzieller als auch in zeitlicher Hinsicht war gross. Ausserdem hat man den Weg für eine spätere Erweiterung offen gelassen, für die nur der Aufzugsschacht verlegt werden muss, um den Bau mit den freitragenden, vorgefertigten Elementen fortzusetzen.