



# traslado del edificio CUDECOM

## BOGOTA \* COLOMBIA

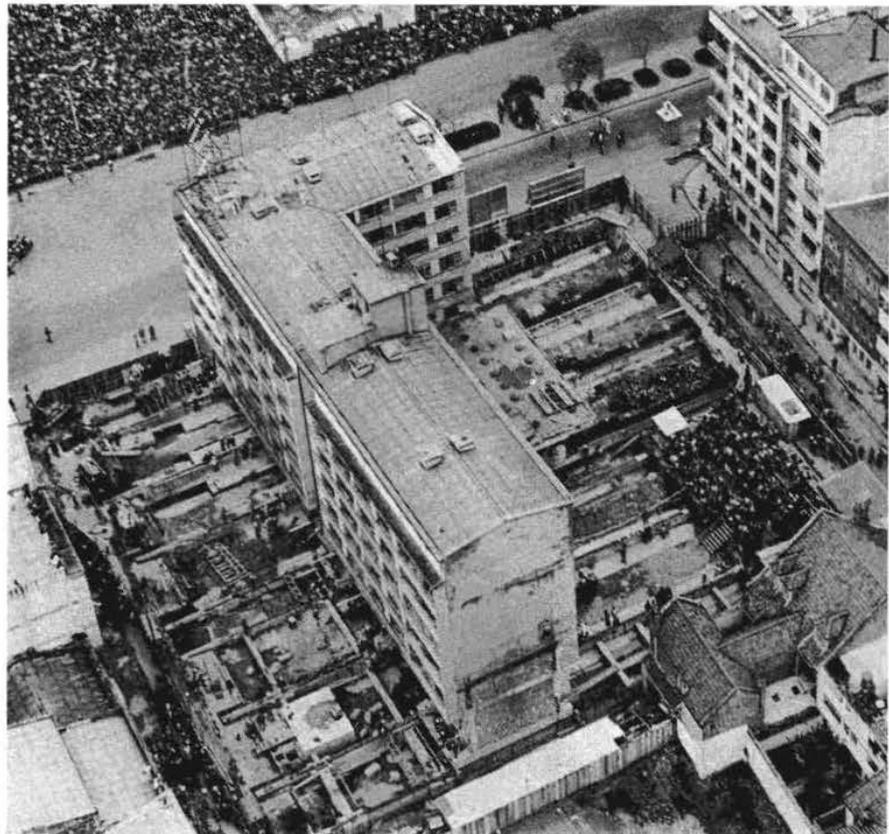
A. PAEZ RESTREPO, ingeniero civil

505 - 2

### sinopsis

Se describen los estudios previos, los cálculos y los trabajos y obras realizados para trasladar 29 m este edificio —de ocho plantas y 7.000 t de peso—, construido hace unos 19 años, a fin de abrir paso a la avenida Ciudad de Lima, en el centro de Bogotá.

Ha sido preciso construir una «estructura fija», capaz de canalizar y soportar el edificio en su «viaje» hacia el lugar definitivo, y una «estructura móvil», encargada de unir y rigidizar todos los pilares, constituyendo un «chasis», transportable, equivalente a una cerca tipo Warren, de 50 m de luz, acostada, que, empujada por gatos hidráulicos y sobre rodillos, alcance el emplazamiento señalado.



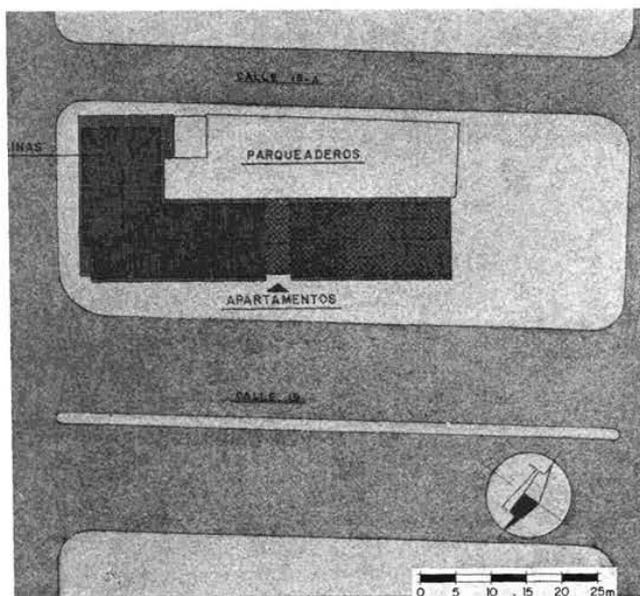
Recientemente, este edificio de siete plantas y entresuelo, en estructura de hormigón armado, con peso de 7.000 t, fue empujado lateralmente una distancia exacta de 29 m en un plazo de 10 horas para abrir paso a la Avenida Ciudad de Lima, en el centro de Bogotá; se completa así un tramo muy importante en la red de vías transversales en el centro de la ciudad, donde actualmente se forman serios embotellamientos de tráfico.

El hormigón del edificio se mezcló in situ para una resistencia de 175,77 kp/cm<sup>2</sup>; mediciones con ultrasonido sobre esta resistencia después de 19 años, y en diferentes sitios de la estructura, mostraron resistencias reales actuales de 281,23 kp/cm<sup>2</sup>. Para efectos de los cálculos de resistencia de la estructura durante el traslado se utilizó un valor de 246,07 kp/cm<sup>2</sup>. Este aspecto es de gran importancia en los procesos de remodelación del edificio, que incluyen la adición de dos plantas más en la «L»; la resistencia adicional del hormigón logrado a través del tiempo elimina prácticamente la necesidad de reforzar columnas aun con la adición de esta carga.

Las luces típicas entre columnas son del orden de 8 m, y la carga máxima alcanza

380 Mp; en cada brazo de la «L» la estructura descansa sobre dos ejes de columnas con un doble cantilever transversal. La cimentación original utilizó zapatas cuadradas y rectangulares apoyadas sobre una arcilla cuaternaria plástica a una profundidad aproximada de 3 m, con una presión de contacto de 1,5 kp/cm<sup>2</sup>. Los sondeos adelantados por el autor mostraron que el espesor de estas arcillas es solamente de 3 a 4 m, siendo seguidas por limos orgánicos y arenas de baja resistencia. Cabe anotar que una inspección ocular sumamente cuidadosa llevada a cabo antes de cualquier demolición de la primera planta del edificio o de las construcciones vecinas, no mostró la existencia de asentamientos totales importantes. Los cálculos adelantados por el autor le permitieron establecer que deberían esperarse asentamientos elásticos durante el traslado hasta de 10 mm y totales hasta de 41 mm. Este cálculo resultó totalmente acertado, ya que durante el desplazamiento el asentamiento elástico máximo fue de 9 mm y los asentamientos totales hasta la fecha llegan a 32 mm, magnitud que se espera llegue a los 41 mm anticipados con la adición de las dos plantas superiores proyectadas.

Emplazamiento definitivo.



## COMO SE DESPLAZA UNA ESTRUCTURA

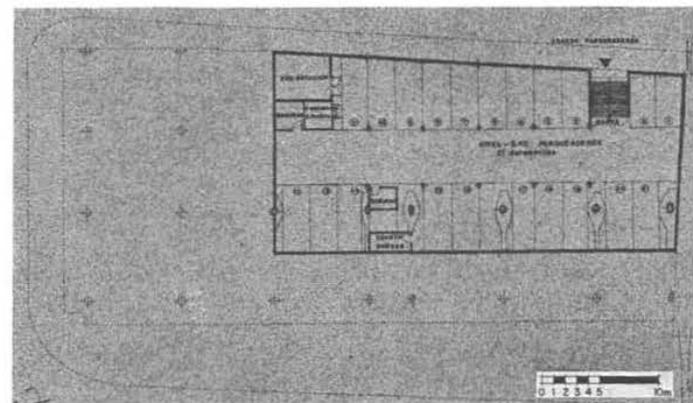
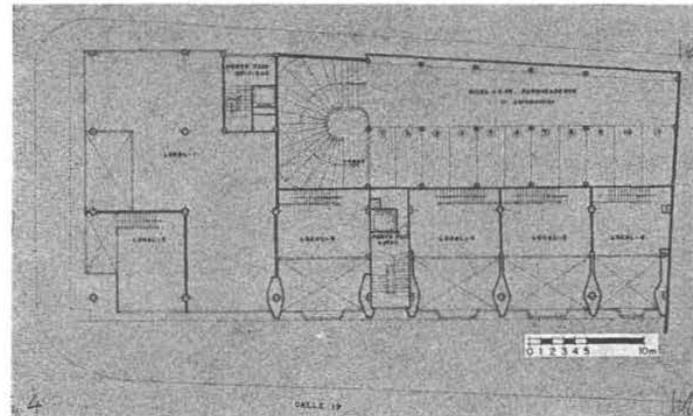
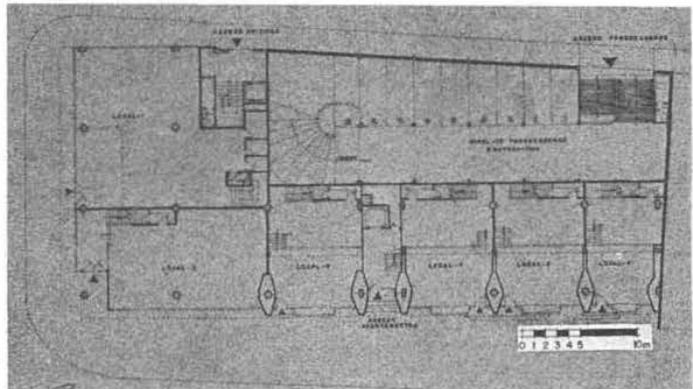
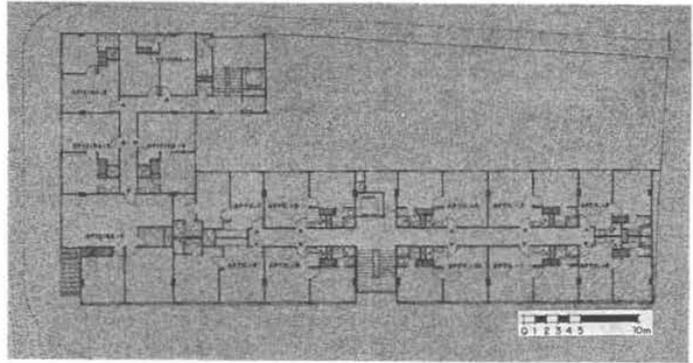
De hecho es necesario construir dos elementos estructurales, a saber:

- La «estructura fija» o carrilera; y
- La «estructura móvil».

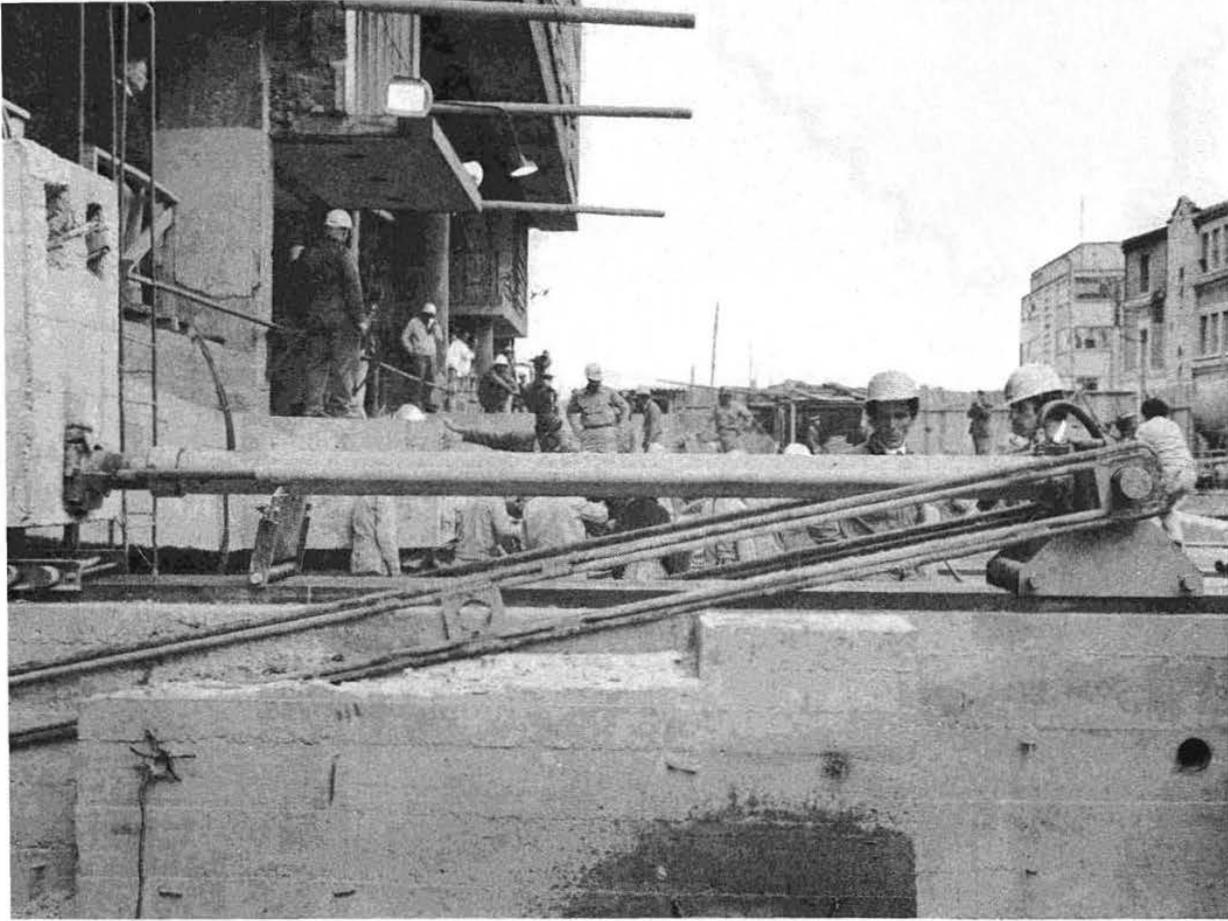
La primera de éstas, en el caso de Cudecom, consistió en una serie de vigas de hormigón armado entre los pedestales de columnas en la dirección del desplazamiento apoyadas sobre los antiguos cimientos y haciendo puente entre ellos; estas vigas «abrazaban los pedestales». Más allá del edificio, hacia el sur y sobre suelo virgen, esta serie de vigas se convirtió en cimientos corridos tipo «T» invertida predimensionados a una fatiga de contacto de 1,5 kp/cm<sup>2</sup>; se construyó adicionalmente una zona de transición más ancha entre los antiguos y los nuevos cimientos para disminuir así el asentamiento elástico a medida que el edificio pasaba de su cimiento antiguo a los terrenos vírgenes. Esta precaución, sumada al hecho de que las dos plantas adicionales todavía no se habían construido, disminuyó la presión de contacto en la zona de transición a un máximo de 1,0 kp/cm<sup>2</sup>.

# plantas

segunda  
primera  
entrepanta  
sótano



La estructura móvil, a su vez, consiste en una serie de vigas horizontales uniendo fuertemente en su base todas las columnas, a fin de crear una rigidez completa del conjunto; se construyó ligeramente por encima de la estructura fija para dejar espacio, como se verá más adelante, para la colocación de los rodillos y superficies metálicas de rodamiento. Esta estructura se reforzó longitudinalmente postensionándola no sólo en razón de las deformaciones anticipadas durante el movimiento por asentamientos elásticos, sino para lograr una adherencia total con las columnas. El «chasis» así construido es, en efecto, el equivalente a una cercha tipo Warren, de 50 m de luz, acostada; sus elementos tienen una altura de 1 m, y la fuerza de empuje a través de gatos hi-



Detalles de los gatos.

dráulicos sería aplicada durante el traslado precisamente a estas vigas, usando como reacción la estructura fija o carrilera.

### PROPIEDADES DEL SUELO

Se llevaron a cabo siete sondeos tipo estándar, localizados tres dentro de los predios originales del edificio y cuatro en los «nuevos territorios»; adicionalmente se analizó el estudio de suelos para el edificio del Banco Popular, construido recientemente a la diagonal de Cudecom. El objeto de estas perforaciones fue el de establecer la uniformidad del subsuelo bajo el edificio y a lo largo de su recorrido, mediante muestras inalteradas y análisis de laboratorio. Efectivamente, este aspecto es de gran importancia, ya que en cierto modo permite extrapolar un comportamiento conocido por un período de 19 años, y calificar así los resultados que puedan obtenerse de cálculo directo, resultado de coeficientes de ensayos en el laboratorio.

En el ejercicio de la Mecánica de Suelos el profesional se encuentra muy a menudo con

esta alternativa, ya que los resultados computados directamente de análisis en muestras extraídas no necesariamente coinciden con la realidad, afortunadamente en el sentido de la seguridad; se achaca esta discrepancia a perturbaciones en las muestras durante su extracción o al hecho de que el ensayo en sí no es representativo de la realidad, o, en fin, a empirismos de las fórmulas mismas que rigen estos análisis. De ahí que el ingeniero de suelos deba utilizar muchos más elementos de criterio que simplemente los resultados de laboratorio; y la respuesta final es muy personal, pues incluye en último término las experiencias particulares a lo largo del ejercicio profesional.

Esta es la razón para que el autor estime que la decisión de escoger 10 mm como asentamiento elástico máximo durante el traslado haya sido la más importante desde un punto de vista técnico en todo el proyecto Cudecom, pues de lo acertado de esta elección dependía de hecho la estabilidad del edificio en el momento de su desplazamiento.

Las estructuras fija y móvil fueron diseñadas por el ingeniero calculista en base de este

valor, y asentamientos mayores hubieran podido provocar situaciones definitivamente indeseables.

Los primeros análisis tendentes a establecer el módulo de elasticidad del subsuelo se efectuaron en muestras no disturbadas y conducían a resultados de cerca de 13 cm de asentamiento elástico, valor obviamente absurdo; por esta razón se escogió un segundo sistema de análisis, utilizando equipos de microondas, según los cuales el módulo de elasticidad calculado llevaría a asentamientos elásticos de 1,4 mm, valor éste también inadmisibles.

La cuantía de 300 kp/cm<sup>2</sup> como valor de «E» fue establecida por el autor en base de un análisis de los sistemas para determinar este valor, bien fuera en el laboratorio de suelos o directamente in situ, y estableciendo la forma en que estos procedimientos puedan fallar en la práctica y producir resultados no representativos. Esto, sumado al hecho de que en realidad el asentamiento total de una estructura es la suma de un asentamiento elástico y uno plástico; si observaciones directas del Edificio Cudecom antes de su traslado indicaban que en un terreno esencialmente igual al de los «nuevos territorios» el asentamiento total resultaba de baja magnitud, era de esperar entonces que el asentamiento elástico debería ser todavía más pequeño que este total observado.

El problema se reducía, pues, en cierto modo, a establecer hasta qué punto el suelo en los nuevos lotes era o no igual al existente bajo el edificio en su antigua localización; indudablemente la experiencia para este caso es esencial y permite establecer esta evaluación con mayor certeza y seguridad.

Me considero muy satisfecho del comportamiento real del edificio con relación al anticipado por mí antes del desplazamiento, pues es una demostración clara de la esencia de la Mecánica de Suelos en el sentido verdadero que quiso darle siempre Karl Terzaghi, acérrimo enemigo de los «hombres molécula», como decía él.

### **TRASLADO DE CARGAS A LOS NUEVOS CIMIENTOS**

Para poder llevar a cabo el corte de los pedestales de columnas sin causar asentamiento alguno a la estructura se estableció el siguiente procedimiento de construcción:

- 1.º Construcción de la estructura estacionaria o fija (carrilera).
- 2.º Colocación de los rieles de acero en su cara superior; éstos consistieron en dos canales de 6 pulg, Paz de Río, rellenos de hormigón y soldados a barras de acero dejadas previamente a flor de la superficie del hormigón en las carrileras.
- 3.º Postura de los rodillos de acero importados  $\varnothing$  2 pulg, a lado y lado de cada pedestal de columnas; su número se estableció en cada caso a razón de 10  $\ddagger$  por rodillo, pero aproximando al múltiplo siguiente de 5 en razón de que estos elementos se unificaron en pequeños «carros» de a 5 en cada uno, vinculados por dos canales laterales de 3 pulg y espaciadores intermedios; la distancia entre rodillos fue de 5 pulg centro a centro. Los canales que formaban estos carros se soldaron temporalmente al riel descrito.
- 4.º Colocación de la cara superior de rodamiento en acero, o «patín» consistente de un canal de 12 pulg, que fue también soldado temporalmente a los canales laterales que formaron los «carros» de rodillos.
- 5.º Después de envolver el «sandwich» resultante en plástico PVC por razones de limpieza, se construyó la estructura móvil directamente sobre el «patín» y rodillos, creando, en efecto, una ramificación de cada columna sobre los rodillos con un contacto y alineamiento perfecto, mientras su carga todavía era transferida al cimiento original a través de los pedestales.
- 6.º Después de postensionar la estructura móvil, el pequeño tramo de pedestales de columnas remanentes entre las estructuras móvil y fija fue demolido, utilizando pequeñas cargas de dinamita.
- 7.º De esta manera la carga de las columnas se pasó sistemáticamente a los rodillos colocados previamente a lado y lado de cada columna, sin utilizar ninguna clase de gatos y sin que se presentaran desplazamientos verticales u horizontales del edificio; a medida que se demolieron los pedestales de cada una de las 24 columnas, el vacío resultante fue enrasado con hormigón, permitiendo así la colocación del tramo de riel y patín que faltaban y la colocación de los rodillos intermedios (10 en dos carritos).

Todas las juntas de unión en superficies de acero, tales como rieles y patines, se construyeron en forma de «V», para eliminar así toda tendencia durante el avance de los rodillos de empujar la carrilera si las juntas hubieran sido a 90°, o sea, paralelas al rodillo; en esta forma la transferencia de un tramo de carrilera al siguiente es totalmente imperceptible, permitiendo además una cierta junta de dilatación entre tramos, muy necesaria debido a las variaciones de temperatura entre los segmentos de carrilera fuera de la proyección del edificio y bajo éste. El edificio avanzó a una velocidad promedio de 18,7 cm por minuto y los rodillos avanzaron a un tercio de esta velocidad, quedando, por consiguiente, atrás y siendo paulatinamente trasladados nuevamente al frente de ataque de cada eje de columnas; los carritos descritos permitían, pues, fácilmente su traslado en grupos de cinco y su alineamiento con el riel de la carrilera.

## SISTEMA HIDRAULICO

Se construyeron 8 carrileras, ya que las 24 columnas del edificio descansan sobre 8 ejes en el sentido del movimiento (2 de 4 columnas y 6 de 2 columnas), más 4 de plataforma. Se estableció con sumo cuidado el centro de gravedad del edificio, logrando localizarlo dentro de un círculo de 50 cm de diámetro; sólo se utilizaron 6 gatos hidráulicos para empujar la estructura, ya que en dos sitios estratégicos se optó por utilizar un solo gato para mover dos ejes de columnas cada uno; estos dos gatos podrían ser desplazados lateralmente según las necesidades a fin de lograr una coincidencia perfecta entre la acción y la reacción, precisamente por el centro de gravedad exacto. Este procedimiento se hizo necesario ante la posibilidad práctica de que el centro de gravedad teórico no coincidiera con el real, en particular porque durante el traslado mismo de la carga viva del edificio podría variar apreciablemente; en efecto, en un momento dado llegaron a presentarse más de 500 personas «viajando» dentro del edificio.

Se disponía durante el traslado de 3 «timones» para el edificio, siendo el primero de ellos el que se acaba de mencionar, o sea, desplazando lateralmente 2 de los 6 gatos utilizados para el empuje. Un segundo timón consistía en la modificación de la abertura de las válvulas de alimentación de cada uno de

los 6 gatos, reduciendo o aumentando en esta forma el empuje en un determinado sitio. Un tercer timón, ya de carácter más drástico, consistía en modificar el ángulo de los rodillos con relación al eje de las carrileras.

Afortunadamente este último sistema no fue necesario usarlo, habiéndose logrado el resultado deseado principalmente con el timón ofrecido por la variación en las válvulas de alimentación de los gatos. En uno de los apéndices de este informe se muestra claramente la dirección y desviaciones del edificio durante su viaje, habiendo alcanzado valores máximos de 14 mm de la línea ideal. Desde luego, la localización final discrepó del punto teórico escogido solamente 1,5 mm, pues para entonces se tenía ya el edificio totalmente bajo control por los sistemas anotados.

El equipo hidráulico y los rodillos empleados fueron alquilados de la firma Spencer White & Prentis, de New York; esta firma también proveyó una asistencia técnica importante y revisión de nuestros diseños. La ayuda de esta firma resultó de gran valor, ya que esta estructura sería la del edificio más grande y pesado movido hasta ahora en el mundo.

El autor especificó agua como líquido hidráulico para simplificar así los problemas de suministro y recuperación; se utilizaron 4 gatos de 4 pulg de diámetro y 2 de 3 pulg de diámetro para lograr las reacciones estimadas en cada uno de los 6 puntos de aplicación de la fuerza; cada gato estaba provisto de 2 resortes laterales para acelerar su recuperación al final de cada recorrido. La elongación máxima de los gatos era de 2 m, pero sólo se utilizaron a un máximo de 1,75 m para eliminar la posibilidad de pandeo por falta de empujamiento del pistón. Se instalaron 3 tipos de bombas hidráulicas, aunque en la práctica solamente la de capacidad intermedia fue utilizada para el 99 % del trayecto; a la presión máxima de 703,1 kp/cm<sup>2</sup> las bombas podían suministrar 1,2 l/min, 3,5 l/min y 10,0 l/min. Ante los resultados obtenidos durante el traslado del edificio y el ritmo de las correcciones a los «timones» descritos, el autor optó por utilizar, salvo en un corto tramo, la bomba intermedia que permitía velocidades máximas hasta de 25 cm por minuto.

Con el fin de establecer la posible fricción entre los rodillos y el riel, se llevaron a cabo una serie de ensayos en una prensa hidráulica para establecer la gráfica de variación de fricción «versus» carga vertical en los rodillos.

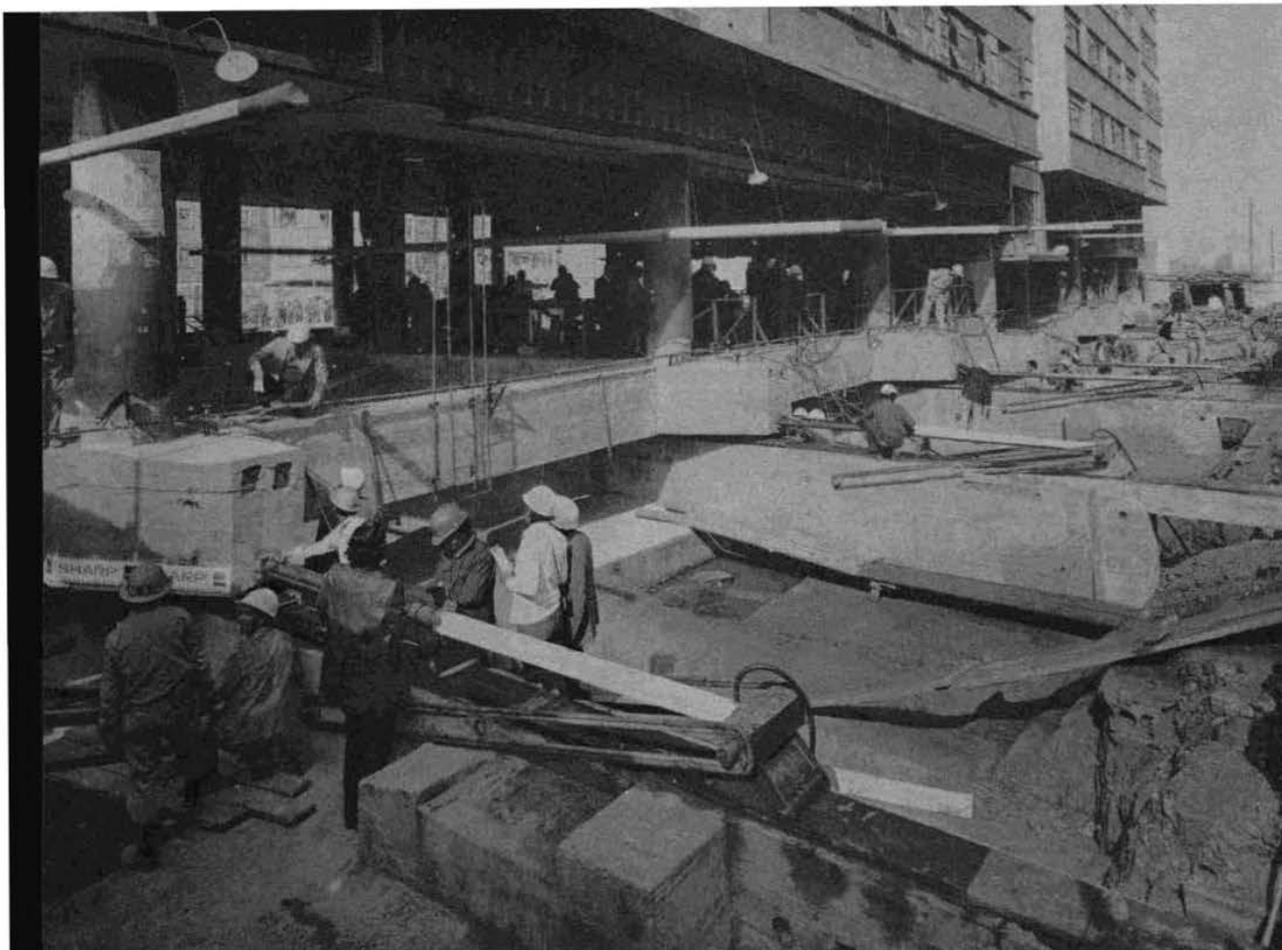


Carril-cimientos.

En base de esto se estimó una resistencia por fricción de 1,5 % a 3,5 % de la carga vertical, durante el traslado; sin embargo, todos los sistemas fueron diseñados para una reacción práctica hasta de 6 de la carga vertical. No se proyectó el uso de lubricantes en la carrilera, ya que el sector, taponando una avenida, está sujeto a una brisa importante, y, por consiguiente, la posibilidad de que partículas llevadas por el viento se acumularan más fácilmente en los rieles al estar éstos lubricados era digna de tenerse en cuenta, pues tendería entonces a aumentar la fricción en vez de reducirla. Efectivamente, dos días antes del traslado «oficial» el autor proyectó un pequeño movimiento de ensayo y, a causa de la presencia de un gran número de peque-

ñas partículas en sitios prácticamente imposibles de limpiar en la zona de la tangencia entre los rodillos y los rieles, la bomba tuvo que llegar a presiones de 597,61 kp/cm<sup>2</sup>, o sea, el equivalente a una fricción de 4,7 % de la carga vertical antes de que el edificio comenzara a moverse; cuando al fin lo hizo fue en forma brusca, produciéndose una vibración afortunadamente de muy corta duración, equivalente a 7,5 en la escala modificada de Richter; se constató en uno de los 2 sismógrafos instalados en el edificio.

En la prensa hidráulica mencionada se llevaron los ensayos hasta una carga sobre los rodillos seis veces mayor de la anticipada en el caso real y se observó una ligera deforma-



Bielas en posición «A» el día del traslado.

ción plástica en el riel y no en los rodillos; durante el traslado del edificio en ningún caso se llegó a esta situación.

### HECHOS DURANTE EL TRASLADO

Tres plataformas temporales se construyeron sobre la estructura móvil para el traslado: la primera de ellas para el centro de comando en donde el autor estaría localizado en la mesa de control dirigiendo toda la operación; allí mismo se situaron los registradores de desviaciones horizontales y un registro visual del sismógrafo localizado en la segunda planta (el otro se colocó en el séptimo piso, así como también acelerógrafos ópticos); una segunda plataforma se construyó a continuación de la primera para alojar las 3 bombas hidráulicas, válvula general, paneles eléctricos, etcétera. Finalmente se construyó una tercera hacia el costado occidental para permitir el acceso y «viaje» de invitados especiales al traslado.

Un canal nacional de televisión transmitió por más de 10 horas la operación, y se construyó

un graderío para invitados especiales (900) que de allí eran llevados en grupos a la plataforma de «turistas» e instruidos por guías entrenados especialmente para este fin. La cerca del costado norte se recortó a una altura de 1,40 m para permitir la observación del trabajo a más de 2.000 estudiantes, invitados especialmente para dicho día.

La fuerza pública de Bogotá acordonó el sector, a partir de las 12 de la noche del día anterior (sábado), evitando así indudablemente un problema humano difícil de solucionar durante el traslado mismo por invasión inevitable de la zona de trabajo de un gran número de público. La Cruz Roja Colombiana, gentilmente, facilitó sus servicios de emergencia que, afortunadamente, no fue necesario utilizar, salvo en el caso de uno o dos desmayos dentro del público acumulado en la Avenida 19.

Se contó en total con 31 ingenieros y ayudantes técnicos durante el traslado, así como 61 trabajadores para movimiento de rodillos, gatos, etc. Los gatos utilizaron como reacción la estructura fija mediante bielas que sujetaban un bloque de anclaje (a su vez sobre ro-

dillos); el pistón se aseguró a la estructura móvil, y terminado un recorrido se liberaban las bielas del bloque de anclaje, avanzando así éste con la recuperación del gato por estar vinculado a él, hasta llegar a la siguiente posición de bielas. Existe un apéndice desarrollado de los récords durante el día del traslado y las cintas de grabación de todo el proceso, ya que una grabadora se conectó directamente a la consola de mando para este propósito.

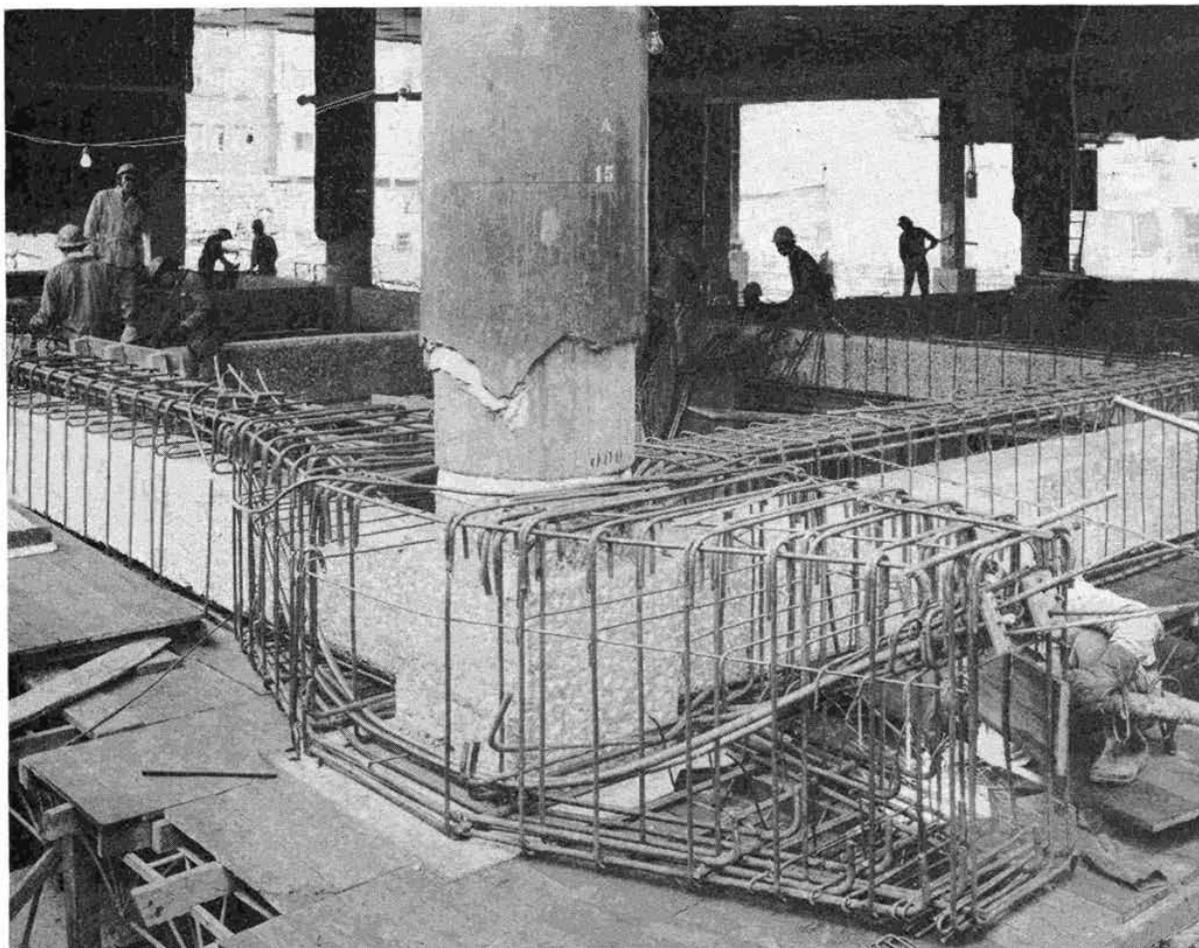
Se instalaron dos restaurantes en la obra que comenzaron sus labores con el desayuno a las 6 de la mañana el día del traslado: el del personal de obreros en el entresuelo y el de técnicos en un apartamento de la segunda planta. Por razones obvias se consultó el menú con un especialista para asegurar que la comida servida no causara problemas en ningún momento; el éxito de estos restaurantes se demuestra por el hecho de que, en lugar de 40 almuerzos anticipados en el restaurante de técnicos, se sirvieron el día del traslado 340.

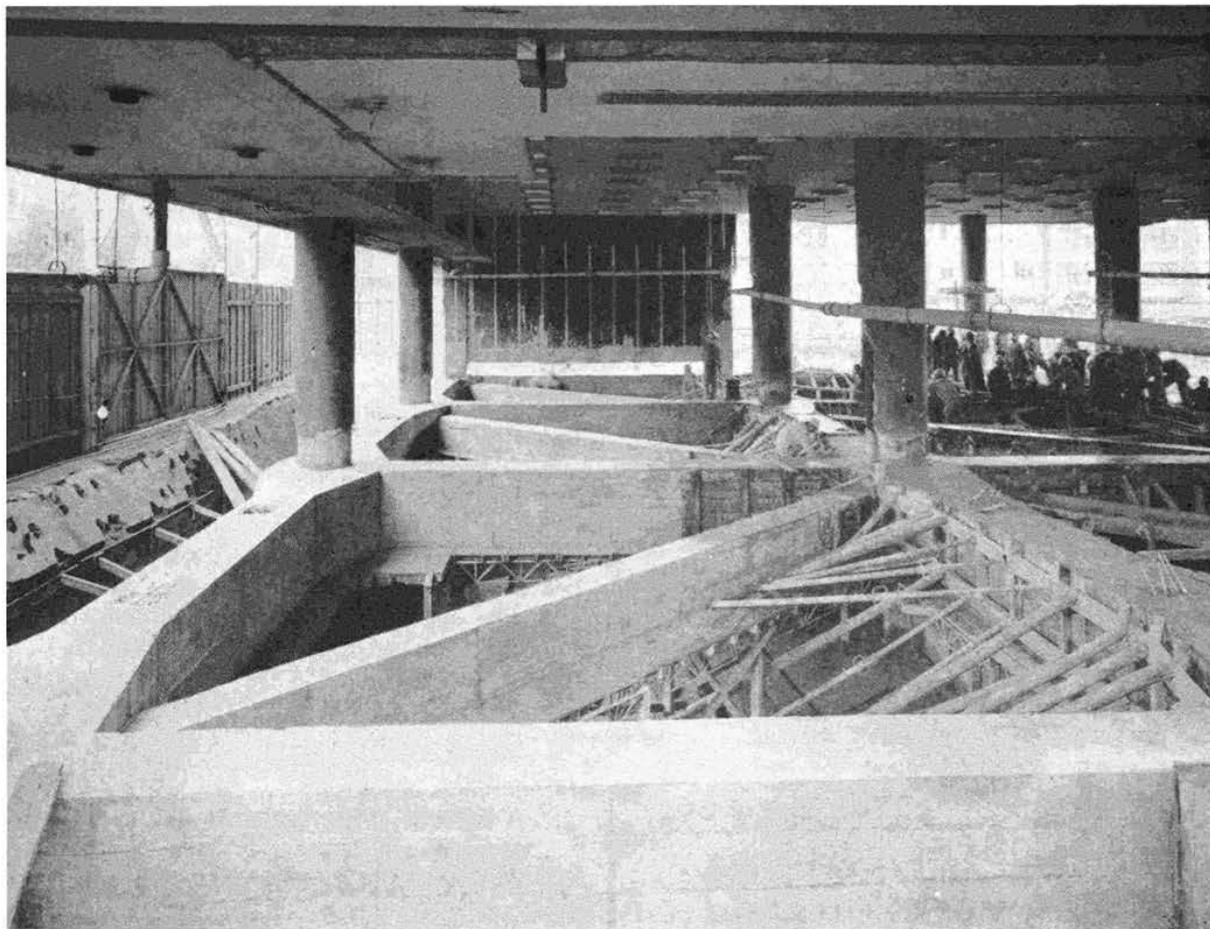
## ALGUNOS ASPECTOS TECNICOS

Uno de los hechos técnicos más importantes de este trabajo puede ser la posibilidad de comparar, a escala natural, la respuesta sísmica real de una estructura bajo aceleraciones y desaceleraciones controladas contra resultados calculados previamente utilizando las fórmulas corrientes de carácter empírico que se emplean en su mayoría hoy día; el Instituto Geofísico de Los Andes, bajo la dirección del Reverendo Padre Jesús Emilio Ramírez y con la valiosísima colaboración del Reverendo Padre Rafael Goberna y el Reverendo Padre René Van-Hissenhoven, proveyó los instrumentos y personal necesarios sin costo alguno. Estos resultados están todavía en proceso de análisis en el momento de escribir este informe y, probablemente, en un futuro se publique un informe específico sobre ellos.

El control de desviaciones horizontales del edificio era de suma importancia, en vista de la limitación de excentricidades máximas per-

Construcción de la estructura móvil, postensada. Obsérvese la utilización de las antiguas vigas.





La estructura móvil.

misibles entre la estructura móvil y el riel durante el traslado, y también por el hecho de que hacia el costado occidental de los nuevos terrenos una antigua casa obstruía el paso directo del edificio en una distancia de 90 cm obligando, por consiguiente, a que las carrikeras se trazaran a un «sesgo» de  $2^{\circ} 18''$  con relación al eje original de columnas. Como resultado existía solamente una tolerancia de 2,5 cm entre el edificio en movimiento y dicha vieja casa, aproximadamente a mitad de camino; durante el traslado propiamente dicho esta tolerancia se redujo a 2 cm solamente, convirtiéndose, pues, en un momento de gran expectativa a las 2 de la tarde, aproximadamente.

### CONSOLA DE CONTROL

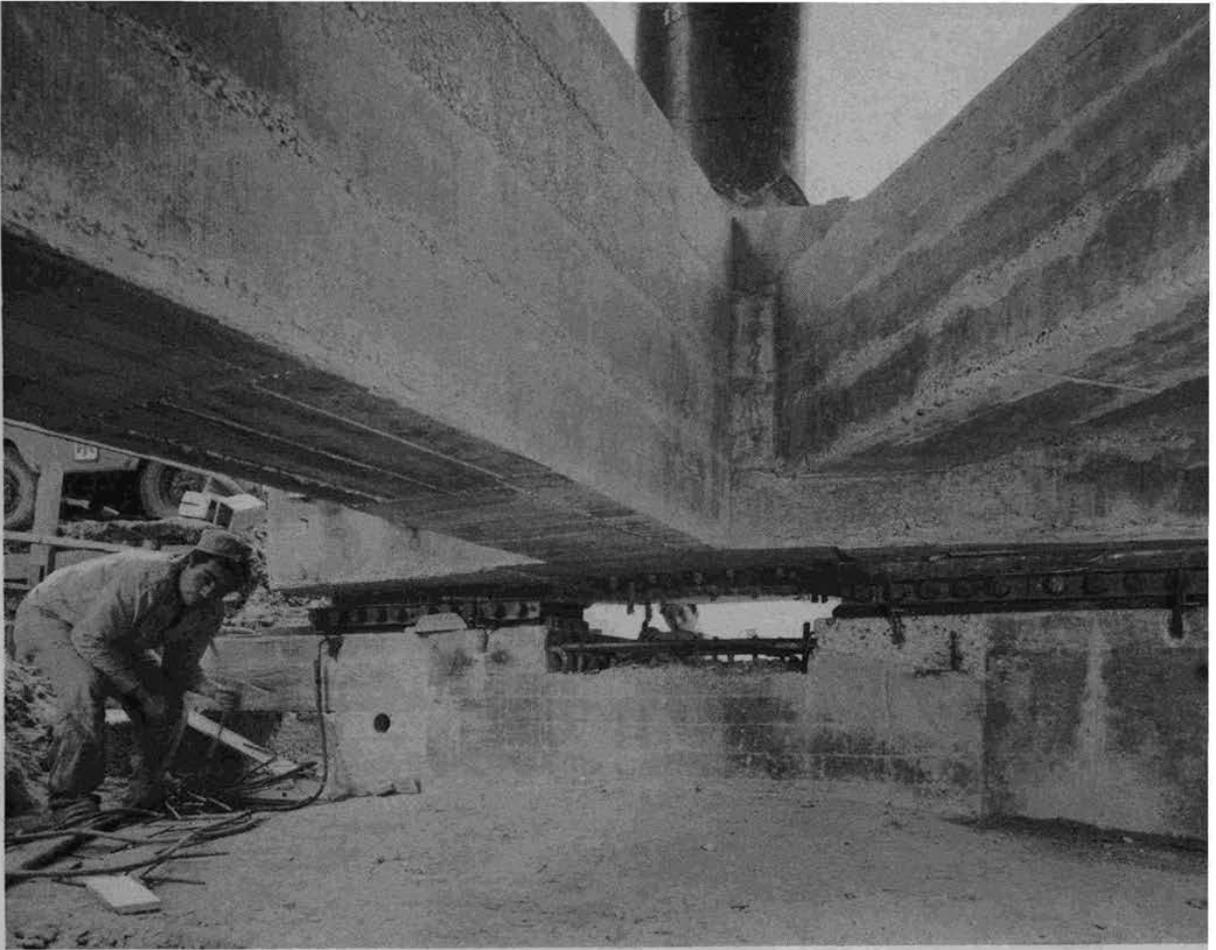
Este tablero de mando dirigido por el autor consistió, básicamente en un centro de comunicaciones muy bien coordinado. Se escogieron 3 sistemas, a saber:

a) Conexión directa alámbrica, vía micrófono y audífono, con cada uno de los inge-

nieros a cargo de vigilancia de gatos; estaciones de topografía, y algunos sitios localizados estratégicamente. Todo ello permitió al autor la comunicación a voluntad con cualquier miembro del equipo o con todos simultáneamente, o viceversa.

- b) Comunicación inalámbrica tipo walky-talky con estaciones móviles, tanto en el nivel del traslado como en las plantas del edificio y también mezclados dentro del público.
- c) Sistema de micrófonos y altavoz para mantener informado al público asistente de las diferentes operaciones en proceso, y también para ser utilizado en caso de emergencia.

Adicionalmente, en la mesa de control, existían dos líneas telefónicas externas y dos de intercomunicación con cada una de las porterías, ya que muchos personajes vinieron olvidando su invitación y, no obstante, debía permitírseles el acceso a la zona especial de invitados (el alcalde mayor, doctor Alfonso Palacio Rudas, en efecto, «manejó» el edificio



Apoyo de pilar.

por 6 minutos). Se contrataron además dos helicópteros para tomas aéreas y como vehículos de evacuación en caso de emergencia. En la mesa de control se encontraban las siguientes personas: el doctor Alberto Carrizosa, ingeniero civil y electrónico, quien tuvo a su cargo el diseño y construcción de la consola de control y de todo el sistema de intercomunicación el día del traslado; su ayudante el doctor Gustavo Arroyo, quien en caso de cualquier daño podía alejarse para repararlo, manteniéndose así el control con el ingeniero electrónico en la mesa de mando. Mientras esto no fuera necesario, este profesional, a través de un micrófono informaba al público asistente del progreso de la operación. La doctora Martha de Sáenz, actuando en calidad de secretaria del autor para el traslado y teniendo a su cargo todo lo relacionado con recopilación de información técnica, computación de avance y desviaciones, etc. Finalmente, el autor, en calidad de director, coordinando todos estos aspectos y dando las órdenes del caso. Se optó, por razones de seguridad, utilizar comunicaciones de viva voz en las órdenes al mecánico jefe en la plataforma de bombas y con los ingenieros de control de desviaciones ho-

rizontales y registrador de vibraciones sísmicas. Todas las conversaciones sostenidas durante el traslado fueron grabadas automáticamente, como equivalente a una «caja negra».

#### **COMPORTAMIENTO DE LA CIMENTACION DEL «EDIFICIO CUDECOM» DURANTE EL TRASLADO**

En los datos obtenidos durante el traslado se observa que durante el primer movimiento, de 0,45 m, no se presentaron asentamientos, puesto que las columnas estaban todavía muy cerca de su ubicación inicial, estando inclusive encima de los cimientos antiguos. Hasta los 0,85 m de recorrido se obtuvo el mismo efecto gracias a la rigidez de la viga-puente. De allí en adelante los asentamientos aumentan hasta 3 mm en las columnas delanteras 3A y 4B, avanzando ya sobre terreno virgen; en la columna más cargada 8B (2 mm) y bajo la columna 26D (3 mm), siendo este último dato poco confiable puesto que la carga sobre esta columna era mínima. En las demás columnas el asentamiento hasta este momento

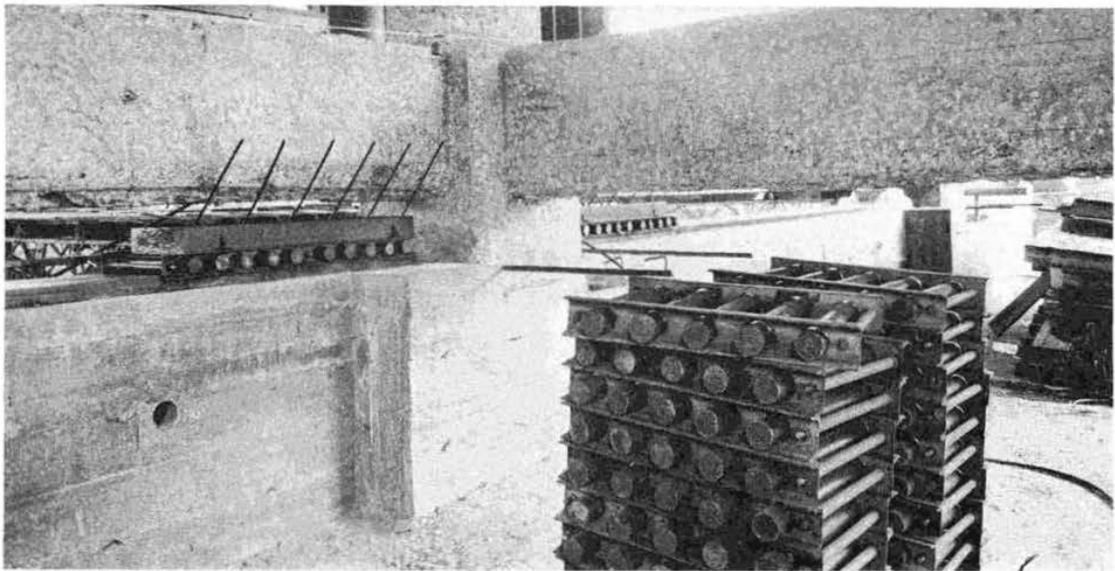
fue nulo o menor de 1 mm, lo cual demuestra la bondad de la zona de transición donde la aleta del cimiento iba disminuyendo su ancho progresivamente. Sólo después de haber recorrido esta distancia, cuando ya se encontraban dos ejes en terreno virgen, los asentamientos aumentaron o se produjeron en la mayoría de las columnas. De allí en adelante se ven aumentos que permanecieron casi constantes en algunos casos y que en otros llegaron inclusive a disminuir, debido a la redistribución de esfuerzos causada por la variación en los asentamientos, combinado con el rebote del terreno en la parte anterior del mismo, y con lo que —creo yo— sería una onda remanente avanzando horizontalmente, tal como ocurre al agitar el interior de un estanque.

Los asentamientos máximos se presentaron bajo el eje B, el más cargado, con un máximo en la columna 8B, cuando se habían recorrido 24,25 m, seguramente debido a una concentración adicional de esfuerzos o a una ligera variación de las características del subsuelo. Este asentamiento prácticamente correspondió al máximo esperado de 10 mm que fue usado en el cálculo de toda la cimentación.

Los datos tomados en el extremo sur de las vigas de los cimientos, con asentamientos de 1 mm cuando se había avanzado 23 m, permiten concluir que un aumento importante de las presiones en dicho extremo comenzó a ocurrir cuando el edificio estaba a 6 m de su localización definitiva.

Carriles y nuevos cimientos en construcción.





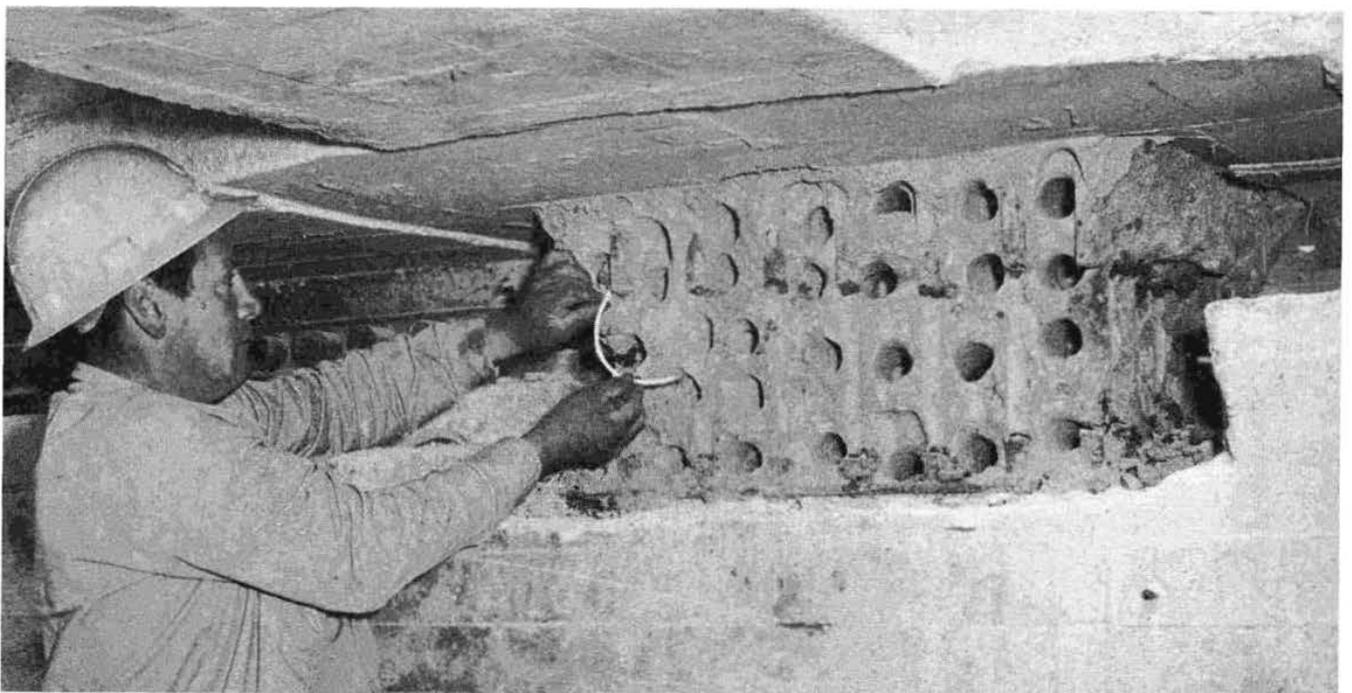
Colocación de rodillos a cada lado de los pilares, sobre el carril y debajo de las antiguas vigas de amarre.

En resumen, tenemos que hubo una variación importante de los asentamientos durante el traslado, causados probablemente, como se mencionó antes, por los cambios en los esfuerzos dentro del edificio o por las ligeras variaciones que, desde luego, existen en el subsuelo; sin embargo, es importante recalcar que todos los asentamientos estuvieron dentro de los márgenes esperados y que, por tanto, el funcionamiento, el diseño y la interrelación suelo-estructura de la cimentación fueron ampliamente satisfactorios.

#### COMENTARIOS SOBRE LOS ASENTAMIENTOS DESPUES DEL TRASLADO

Días después del traslado se continuaron tomando los niveles en las diferentes columnas y en diferentes puntos de los cimientos, con el objeto de controlar el subsuelo ya bajo una carga permanente. Se observó un rápido incremento en los asentamientos una semana después del traslado, variando entre 19 y 36 milímetros en las columnas. El efecto del peso del edificio, combinado con el rebote

Demolición con dinamita de las bases de los pilares.





El autor en la mesa de mando durante el traslado. Se observan cuatro sistemas de comunicación.

del suelo en la parte norte de los cimientos, donde estaba localizado anteriormente, determinó que el cimiento sufriera una curvatura en la zona anterior y limítrofe del edificio en la mayoría de los ejes, excepto en los correspondientes al C y D, donde los cimientos formaron un arco con sus extremos levantados, en vista de la disminución de la carga hacia el norte y el sur. La diferencia de nivel entre el sitio correspondiente a las últimas columnas hacia el norte y un punto en el cimiento 6 m más allá en la misma dirección, fue hasta de 20 mm. El diferencial entre columnas adyacentes fue hasta de 8 mm, o sea, del orden de 1/1.000 de la distancia entre las mismas.

El corte previsto de los cimientos a cierta distancia del eje norte de columnas, calculado de tal manera que coincidieran la acción y la reacción, se comenzó cerca de dos semanas después del traslado, lográndose así que se uniformaran las presiones bajo los mismos y, además, que se obtuviera el mismo efecto con los asentamientos en cada eje, dada la rigidez longitudinal de las cimentaciones. Es de anotar que después de estos trabajos el edificio logró un equilibrio con el subsuelo, teniéndose un asentamiento promedio del orden de 3 cm; se espera algún aumento con el tiempo debido al proceso restante de consolidación y el hecho de que se le van a agregar dos plantas más a la estructura actual.

## COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

### Verticalidad

En general se determinó una inclinación hacia el oriente, comenzando cuando el edificio había recorrido 5 m y llegando a ser máxima, del orden de 9 mm en la abscisa 15,75 m, cuando ya se tenían dos ejes de columnas en terreno virgen, y por tanto, según se vio antes, cuando comenzó el asentamiento general del edificio. De allí en adelante disminuyó hasta que la estructura quedó perfectamente aplomada al final del traslado.

### La estructura móvil

Es evidente que cumplió ampliamente su cometido, o sea, el de dar una rigidez adecuada al nivel de transmisión de carga, el de servir de amarre entre columnas y, por último, la más importante, la transmisión de los empujes a las columnas y, por ende, al edificio en sí. Esto se logró, tal como estaba previsto, en forma directa e indirecta, puesto que en algunos movimientos fue necesario llevar prácticamente en cantilever los ejes G y H últimos de la parte más larga de la «L» que constituye el edificio.

La estructura en sí funcionó como una serie de vigas unidas por articulaciones a los muros que abrazaban las columnas, puesto que

la variación de los asentamientos invirtió los momentos en estos sitios de la estructura, desde luego sin ir en detrimento de la seguridad del conjunto estructural, en vista de que esto no impedía su funcionamiento sino, al contrario, lo facilitaba dándole cierta elasticidad ante las variaciones en los niveles de las columnas.

### Estructura alta

Los asentamientos que se produjeron durante el traslado, en ningún caso pusieron en peligro la estructura misma del edificio porque, según se puede ver en los registros, el asentamiento máximo fue de 9 mm con diferenciales menores, teniéndose, por consiguiente, distorsiones angulares máximas de 1/1.000, que es bastante menor a la necesaria para la formación de fisuras, las cuales en ningún momento se presentaron durante el traslado, ni se han presentado hasta la fecha. Esto nos permite concluir que el comportamiento de la estructura alta fue y es tan satisfactorio como el del resto del conjunto, ya sea de estructura móvil, estructura fija o cimentación, a pesar de las variaciones de esfuerzos, las torsiones y deformaciones a que fue sometida.

### EPILOGO

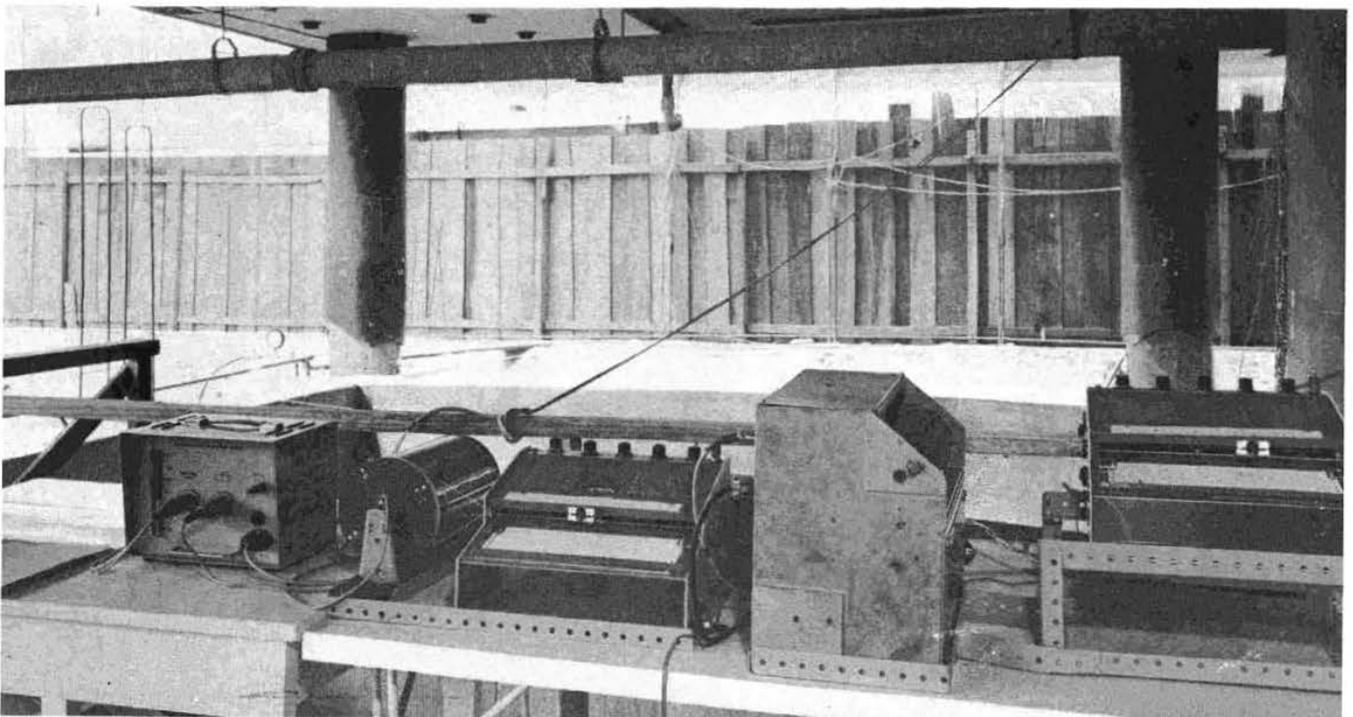
El traslado del Edificio Cudecom fue, sin lugar a dudas, un éxito técnico sin precedentes,

con origen en un planeamiento sano y exhaustivo para resolver todos los problemas presentados durante la construcción. Otras estructuras han sido movidas en el pasado con buen éxito, pero estoy seguro de que en el caso de Cudecom la certeza del éxito, por lo menos en mi parte, era absoluta y no por autosugestión, sino por análisis terminal de cada situación. Mi intención con el traslado de este edificio no era simplemente llevar a cabo un desplazamiento, sino el establecer las bases para esta clase de trabajos en estructuras de mucha mayor magnitud; en el futuro trabajos similares que se acometan tendrán, en esencia, que utilizar como «libro de texto» el trabajo Cudecom.

Un segundo aspecto fundamental logrado con el proyecto Cudecom ha sido la demostración de la capacidad técnica de ingenieros colombianos y de lo que un equipo bien formado puede lograr; este procedimientos debe aplicarse a muchas otras obras colombianas en donde el éxito total sea un requisito indispensable o donde las razones de nuestra economía precaria requieran la solución más favorable y bien llevada.

Se puede decir, finalmente, que la «Operación Cudecom» ha elevado las miras de nuestros profesionales y estudiantes; para mí la mayor satisfacción de este trabajo reside precisamente en observar que el traslado del Edificio Cudecom es considerado con orgullo por mis compatriotas como una obra llevada a cabo «por los colombianos».

Equipos de medición de desviaciones horizontales en la plataforma de mando.





FOTOS: PAUL BEER Y GUILLERMO MOLANO

## résumé

### Transfert de l'immeuble Cudecom Bogota - Colombia

A. Páez Restrepo, ingénieur civil

On décrit les études préalables, les calculs et les travaux effectués pour déplacer, de 29 m, cet immeuble, de huit étages et de 7.000 t de poids, construit il y a environ 19 ans, afin de laisser passer l'avenue Ciudad de Lima, au centre de Bogota.

Il a fallu construire une «structure fixe», capable de canaliser et de supporter l'immeuble au cours de son «voyage» vers son emplacement définitif, et une «structure mobile» destinée à unir et à raidir tous les poteaux, constituant un «châssis», transportable, équivalent à une ferme type Warren, de 50 m de portée, couchée, qui, poussée par des vérins hydrauliques et sur des rouleaux, atteint l'emplacement désigné.

## summary

### Moving of the Cudecom Building Bogota - Colombia

A. Páez Restrepo, Civil engineer

An account is given of the previous studies, calculations and the works carried out to move this building 29 m. It has 8 storeys, weighs 7,000 t and was constructed 19 years ago. The operation was undertaken to make way for the Avenue Ciudad de Lima, in the centre of Bogotá.

It has been necessary to construct a «fix structure» to canalize and support the building during its «trip» towards its final place, and one «mobile structure» designed to unite and stiffen all the columns. It forms a transportable «chassis», equivalent to a Warren type rib of 50 m span, which is pushed on rollers to its destination by means of hydraulic jacks.

## zusammenfassung

### Versetzung des Cudecom Gebäudes Bogota - Kolumbien

A. Páez Restrepo, Zivilingenieur

Es werden die vorhergehenden Studien, Berechnungen und ausgeführten Arbeiten, um dieses Gebäude 29 m zu versetzen beschrieben. Es hat 8 Stockwerke, wiegt 7.000 t und wurde vor 19 Jahren erbaut. Die Operation wurde unternommen, um der Avenida Ciudad de Lima, im Zentrum Bogotá's, den Weg zu bauen.

Es ist erforderlich gewesen, eine «feste Struktur» für das Stützen des Gebäudes während der «Fahrt» zu konstruieren wie auch eine «versetzbare Struktur» um die Stützen zu vereinen und zu steifen. Die Struktur bildet ein versetzbares «Chassis» einem Gerüstbogen des Warren Typus mit einer 50 m Spannweite ähnlich, welches auf Rollen und mittelst hydraulischer Wagenheber zu der endgültigen Stelle geschoben wird.