

# Desplazamiento horizontal de una casona catalogada en la ciudad de México

## Horizontal displacement of a catalogued house in Mexico City

**Erika B. Valle Puga**, TGC Geotecnia S.A. de C.V.

**José A. Segovia Pacheco**, TGC Geotecnia S.A. de C.V.

**Enrique Santoyo Villa**, TGC Geotecnia S.A. de C.V.

**RESUMEN:** En este artículo se describe el procedimiento utilizado para mover horizontalmente una casa en la ciudad de México. Se explica la preparación previa y las actividades realizadas antes del movimiento de la estructura, así como el equipo utilizado para el proceso.

**ABSTRACT:** This article describes the procedure used to move horizontally a catalogued house in Mexico City. It provides an account of the preliminary actions taken place before moving the structure as well as the equipment used in the process.

### 1 INTRODUCCIÓN

El grupo Fondo Hexa actualmente construye el edificio más alto de Latinoamérica, denominado Torre Reforma, con 57 niveles, 9 sótanos de estacionamiento y 244 m de altura (Fig. 1); el proyecto se ubica en la ciudad de México sobre el Paseo de la Reforma en un predio con un área de 2,788 m<sup>2</sup>, de los cuales 600 m<sup>2</sup> los ocupa una casona catalogada por el Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA), construida a principios del siglo XX.

Para lograr la funcionalidad de la Torre, era necesario optimizar al máximo el reducido espacio del predio para cumplir con el número mínimo de estacionamientos establecidos en los reglamentos de construcción pero también era necesario respetar la casa catalogada que ocupaba buena parte del predio. La solución fue desplazar la casona horizontalmente para dar espacio a la construcción de los muros milán que servirían de contención para los sótanos de estacionamiento del edificio y aprovechar así el área bajo la casa para tener un mayor número de cajones. Al terminar los muros milán, la casa fue devuelta a su lugar original e integrada al proyecto como área comercial y de esparcimiento (Fig. 2).

#### 1.1 Características generales de la casa

La casa es de dos niveles y fue edificada en 1932. Está catalogada por el Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA) debido a su valor artístico y ambiental, pues representa la arquitectura con influencia europea de la época posterior al Porfiriato; el estilo del inmueble es ecléctico y neogótico (Fig. 3).

Fue construida con muros de carga de tabique, con un mínimo refuerzo de acero y está adornada en su exterior con piedra de cantera labrada; su cimentación es a base de contratraveses de mampostería apoyadas sobre zapatas corridas de concreto reforzado y desplantadas a una profundidad de 1.5 m en relación al nivel de banqueta, con

un ancho promedio, del orden de 90 cm para las zapatas de colindancia y 1.5 m para las zapatas centrales (TGC, 2007).



Figura 1. Torre Reforma (Cortesía de Fondo Hexa)



Figura 2. Maqueta de la casona catalogada en el proyecto de Torre Reforma (Cortesía de Fondo Hexa)

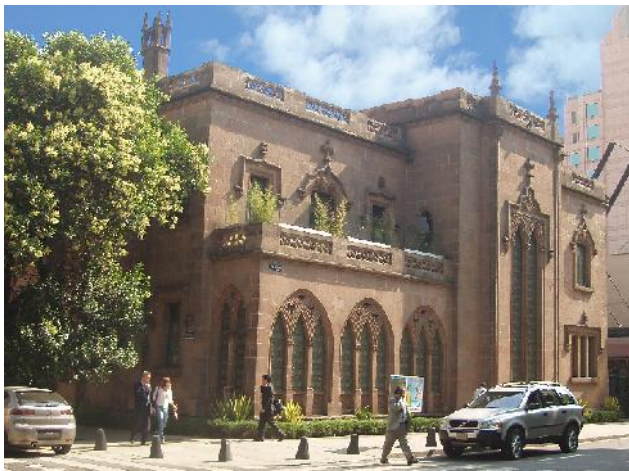


Figura 3. Detalle de la casa catalogada donde se observa su arquitectura (Cortesía de Fondo Hexa)

## 1.2 ¿Por qué mover la casa?

Para lograr la funcionalidad de la Torre Reforma se requería contar con al menos 1,200 cajones de estacionamiento; pero las principales complicaciones que se tenían eran un predio reducido y una casa catalogada que ocupaba buena parte de éste. Para optimizar el poco espacio disponible en el predio, se analizaron varias opciones como: rodear la casona con un muro milán, el cual serviría de contención, pero esto hacía inutilizable el área debajo de la casa. También se pensó en desarmar la casona catalogada como un rompecabezas, como se hizo con la casa de las Bombas de Tacubaya o la fachada del edificio Palavicini en la ciudad de México (TGC Geotecnia, 1990), aprovechar todo el predio como estacionamiento y después de construir la cimentación del edificio, reconstruir la casa en su sitio original. Esta idea era inviable pues la posibilidad de perder la piedra cantera original era muy alta. Otra opción era colocar en la cimentación una retícula de traves postensadas con cables, parecida a la solución utilizada en la catedral de Montreal (TGC Geotecnia, 1999), pero se desechó por ser un procedimiento muy complicado. Finalmente, se planteó la posibilidad de recimentar con micropilotes, construir el muro milán por fuera del predio, sobre la banqueta de la lateral de Reforma, y excavar por debajo de la casa mientras los micropilotes y el muro milán le servían de apoyo.

En esa época la compañía TGC Geotecnia se integró al proyecto para realizar el estudio de mecánica de suelos de la Torre y definir un sistema de recimentación adecuado para la casona. En una reunión en la que participaban el Arq. Benjamín Romano, diseñador de Torre Reforma, así como autoridades del INBA y SEDUVI, se propuso desplazar la casa para dar espacio a la construcción del muro milán en el perímetro del predio y aprovechar así la

totalidad del terreno como sótano de estacionamiento; posteriormente, la casona podría ser regresada a su lugar original y no sufriría daños.

La posibilidad de mover la casa para construir los muros milán revolucionó el proyecto original, puesto que no solo se tendría el edificio más alto de Latinoamérica, sino que se emplearía tecnología de vanguardia para desplazar una estructura catalogada, sin dañarla.

En el mundo son varias las estructuras que han requerido ser cambiadas de lugar: un edificio en Colombia en el año de 1974 (Páez, 1975), un edificio en China en 2004 (Guinness World Record, 2010), un pórtico en la ciudad alemana de Leipzig (City Tunnel Leipzig, 2006), y muchas otras estructuras en Estados Unidos.

En México es la segunda edificación que se desplaza; el primer movimiento se realizó en 1950, en Guadalajara, Jalisco, donde se desplazó un edificio de Telmex para la ampliación de una avenida (Crespo C., 2010); pero lo innovador de mover esta casona, es que se trata de una estructura antigua con poco refuerzo estructural.

## 2 PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA MOVER LA CASONA

De manera general, el procedimiento para mover la casa consistió en: a) reforzamiento estructural para evitar agrietamientos, b) recimentación de la casa mediante una losa de cimentación, c) construcción de una cimentación para los rieles y gatos hidráulicos que se utilizarían para moverla, d) excavación bajo la casa para despejarla del suelo y facilitar el movimiento, e) colocación del equipo de deslizamiento y c) movimiento de la casa. A continuación se detallan cada una de las etapas enlistadas.

### 2.1 Reforzamiento de la casa

Por tratarse de una estructura de principios del siglo XX, la casona catalogada era muy susceptible a cualquier deformación; por tanto, para garantizar el mínimo agrietamiento, fue necesario reforzarla estructuralmente, por lo que se colocaron tensores y contravientos para que los pocos centímetros de deformación que se presentaran no la afectaran.

Además, algunos de los muros interiores fueron cubiertos con una malla de acero y repello con mortero, otros con un muro de concreto armado (Fig. 4).

### 2.2 Recimentación de la casa

Durante el movimiento, la casa estaría apoyada sólo en dos de sus extremos, con un claro de separación entre apoyos de 19.0 m aproximadamente; puesto que la casa es una estructura frágil, el principal reto fue controlar las deformaciones que podrían presentarse ante un claro de estas dimensiones. La solución consistió en colocar la casa

encima de una especie de charola, la cual sería lo suficientemente rígida para tener deformaciones pequeñas al levantarla y realizar el movimiento (Fig. 5).

Esta charola se conformó recimentando la casa mediante una losa aligerada que consistió de nervaduras principales de 1.75 m de peralte y otras secundarias de 0.8 m, ambas de un concreto con  $f'_c = 700 \text{ kg/cm}^2$  (Fig. 6).

La losa de recimentación también sirvió para confinar la cimentación original, la cual estaba formada por zapatas corridas y como losa de cimentación definitiva para integrar la casa al proyecto de la Torre.



Figura 4. Reforzamiento de la casa con muro de concreto armado (Cortesía Fondo Hexa)



Figura 5. Vista de la casa previo al movimiento.



Figura 6. Construcción de losa nervada para recimentación

### 2.3 Cimentación para los rieles

El sistema utilizado para mover la casa constaba de unos gatos hidráulicos montados sobre unos rieles. Estos últimos requerían estar apoyados de manera continua para deslizar la casa sin vibraciones o movimientos verticales que pudieran dañarla. Además, durante el movimiento, la casa estaría soportada solamente en los gatos hidráulicos, transmitiendo cargas puntuales altas; todo esto, hacía necesario una cimentación adecuada para los rieles, la cual soportara las concentraciones de carga sin sufrir deformaciones diferenciales.

Se optó por utilizar los muros milán de la Torre como apoyo para los rieles; adicionalmente, se colocaron armaduras de acero entre algunos de estos muros, ya que en ciertas zonas no eran continuos por ser parte de la solución arquitectónica y estructural de la torre (Fig. 7).

Los muros milán para los rieles eran de 0.8 m y 1.2 m de espesor, desplantados a 48.0 y 52.0 m de profundidad en los depósitos profundos.

Por otro lado, la ubicación de la casa impedía colocar exactamente por debajo de ella los elementos que servirían de cimentación para los rieles, por lo que se colocaron unas ménsulas empotradas en la losa de recimentación de la casa, que sirvieron de puntos de apoyo para los gatos hidráulicos (Fig. 8).

### 2.4 Excavación bajo la casa

Una vez construida la losa de recimentación de la casa, se realizó una excavación para separarla del suelo y liberar el espacio para el movimiento.

Primeramente se excavó bajo los Ejes 3 y 4, donde se colocaron unos gatos hidráulicos provisionales, los cuales sostuvieron la casa mientras se realizó el resto de la excavación (Figs. 9 y 10).

Se manejaron diferentes profundidades de excavación, entre 2.75 y 5.0 m. Para llegar a estas profundidades se

utilizaron taludes y muros milán como elementos de contención.



Figura 7. Vista de la armadura colocada entre los muros milán, una vez colocados los gatos hidráulicos.



Figura 8. Detalle donde se observan los gatos hidráulicos (skidshoes) y las ménsulas empotradas en la losa de cimentación

### 2.5 Colocación del equipo de deslizamiento

Para montar la casa sobre el equipo de deslizamiento, primeramente se niveló con un grout la parte superior de la cimentación que se construyó para garantizar que los rieles estuvieran perfectamente horizontales. Una vez hecho esto, se instalaron dos líneas de carriles modulares o rieles, con una longitud total de 46.0 m por línea aproximadamente. Para evitar movimientos transversales de los rieles durante el movimiento de la casa, se soldaron topes en tresbolillo en los laterales de los carriles.

Posteriormente se instalaron seis patines de deslizamiento o skidshoes, tres en cada eje, así como unos gatos de empuje. La instalación se realizó empujando los skidshoes desde el final de la línea hasta su posición destinada.

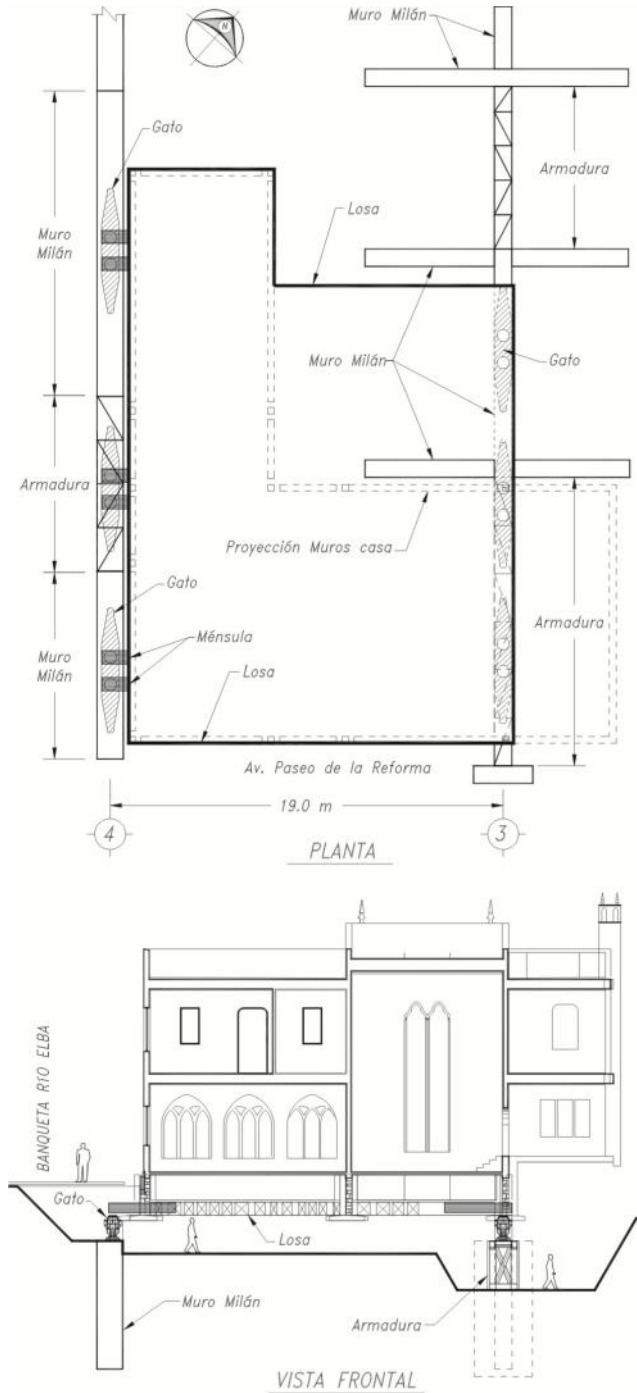


Figura 9. Esquema con la ubicación en planta de la cimentación de apoyo para los rieles durante el movimiento

Una vez colocados en su lugar los skidshoes, se realizó la primera toma de carga de sus gatos para soportar la casa en ellos. Primeramente se hizo contacto con todos los gatos del Eje 3 y después con los del Eje 4 (ver Fig. 9). Posteriormente, se midieron presiones y se verificaron niveles para confirmar que el peso teórico de la casa correspondía al real.



Figura 10. Vista panorámica bajo la cimentación de la casa una vez apoyada sobre los gatos hidráulicos, lista para el movimiento

Para asegurar la estructura, los skidshoes se fijaron a la losa de cimentación de la casa mediante topes con pernos tipo hilti.

La carga de la casa, 2,500 t aproximadamente, se transmitió a los gatos en incrementos aproximadamente del 20% del peso total de la casa. Cuando se alcanzó el 100% de la carga, se revisó el comportamiento de todo el sistema y se inspeccionó el estado de la estructura en los apoyos del equipo de deslizamientos para asegurarse que no existieran anomalías.

Después se procedió a elevar la casa para liberarla de sus apoyos temporales y llegar a la cota establecida para el movimiento; aproximadamente se elevó 10 cm en el eje 3 y 5 cm en el eje 4.

### 2.6 Movimiento de la casa

Una vez liberada la casa de los apoyos temporales, se revisaron los niveles y la estabilidad de la estructura y posteriormente se realizó un primer desplazamiento de dos metros para evaluar si la carga de empuje era suficiente para el movimiento.

El primer desplazamiento tuvo lugar el 13 de febrero de 2010 y se realizó en etapas sucesivas de expansión y retracción de los gatos de empuje, un metro de movimiento efectivo en cada ciclo hasta completar 18.0 m, longitud total de movimiento de la estructura.

La casa estuvo en su posición temporal durante dos meses, tiempo en el que se construyeron los muros milán en la zona donde originalmente se situaba. Durante este tiempo la casa estuvo soportada sobre apoyos temporales que cargaron el 50% del peso total de la casa, mientras que el otro 50% descansó sobre los gatos hidráulicos de los skidshoes, a los cuales se les colocó un bloqueo mecánico para prevenir cualquier falla del sistema. El movimiento de regreso se efectuó el 18 de abril de 2010 utilizando el mismo proceso.

Después de finalizar el traslado de la estructura a su sitio original y definitivo, se llevó a cabo el descenso de la casa hasta colocarla sobre sus apoyos finales. La carga se fue bajando gradualmente siguiendo la misma secuencia de toma de carga y haciendo las comprobaciones descritas anteriormente.

### 3 EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado para desplazar la casa, así como todo el procedimiento, estuvo a cargo de la empresa Ale Heavylift, especialista en el movimiento de equipos pesados como barcos y reactores nucleares entre otros.

Para el deslizamiento se utilizó un sistema SKS1000, compuesto por rieles modulares y patines de deslizamiento o skidshoes (Fig. 11).



Figura 11. Sistema SKS1000 integrado por rieles modulares y patines de deslizamiento (skidshoes)

Se colocaron seis skidshoes distribuidos en dos ejes, como se muestra en la Figura 9; estos patines de deslizamiento soportaban cargas variables entre 432 t y

782 t, en función de su ubicación y las descargas asociadas a la estructura. Cada skidshoe media 5.5 m de largo y tenía una capacidad de 1000 t en total, distribuida en dos cilindros hidráulicos verticales de 500 t de capacidad unitaria y 30 cm de carrera cada uno.

Para suministrar la fuerza de movimiento, se utilizaron cuatro gatos de empuje SS500 de 64 t de capacidad unitaria, los cuales se colocaron en las dos líneas de rieles apoyados sobre los skidshoes (Fig. 12).



Figura 12. Detalle de uno de los gatos de empuje SS500

#### 4 COMENTARIOS DE LOS MOVIMIENTOS

Durante todo el proceso de deslizamiento, las cargas en cada uno de los skidshoes fueron controladas por el personal de ALE Heavylift, quienes tenían la posibilidad de nivelar y corregir los valores sobre los cilindros verticales de cada skidshoe, absorbiendo de esta forma cualquier posible descompensación de cargas debida a pequeñas variaciones en la nivelación del terreno.

Durante el avance, se realizaron verificaciones topográficas periódicas, cada dos o tres metros, para revisar el comportamiento de la casa y el terreno.

En las Figuras 13 a 15, se muestra la secuencia del primer movimiento realizado. El primer movimiento duró 10 horas aproximadamente; la casa sufrió algunos agrietamientos pequeños, que en general, eran grietas que al inicio del proyecto habían sido resanadas, pero que no significaban un riesgo para la estabilidad de la estructura. Durante la permanencia en su posición temporal, se reforzó en el interior la totalidad de los muros con malla de acero y mortero repellado, por lo que, al regresarla a su sitio original no se tuvo ningún problema.



Figura 13. Ubicación de la casa, antes de su movimiento. (Cortesía de Fondo Hexa)

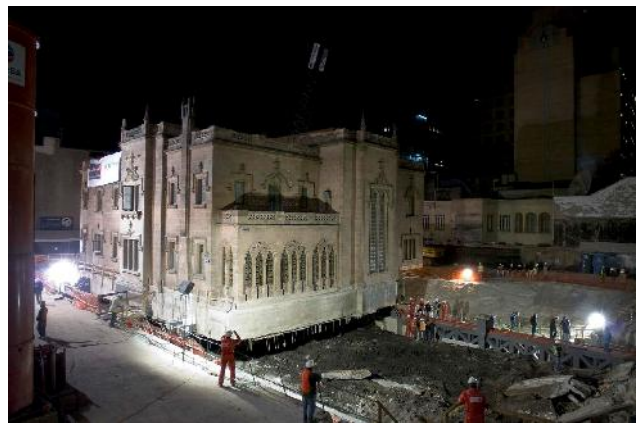


Figura 14. Ubicación de la casa, después de su movimiento. (Cortesía de Fondo Hexa)

#### 5 CONCLUSIONES

La posibilidad de mover estructuras catalogadas, es una alternativa que puede ser utilizada para casos similares en futuras ocasiones.

Aunque el movimiento de esta casa no fue el primer caso en el país, si fue innovador puesto que se trataba de una estructura catalogada, con el refuerzo estructural de acuerdo con el reglamento de su tiempo, escaso para nuestra época; además de que se utilizó tecnología de vanguardia.

Para planear y ejecutar el movimiento de esta estructura, fue primordial la participación conjunta de estructuristas, geotecnistas y especialistas en la restauración y conservación de monumentos.

El costo de las maniobras se compensó con el beneficio de un mejor aprovechamiento del predio.



Figura 15 Secuencia donde se aprecia el movimiento de la casa tomando de referencia uno de los bordes de Torre Mayor

## REFERENCIAS

- ALE Heavylift (2009). "Procedimiento de ejecución para traslado de una casa de 2500 t en México D.F." Informe No. Hex-01-PTO.
- CNN Expansión (2010). "Movimiento crucial en la Torre Reforma", Junio de 2010.
- Crespo C.C. (2010). "Mecánica de suelos y cimentaciones", Sexta Edición, México D.F., Editorial Limusa.
- Fondo Hexa (2010). "Información general del proyecto"
- Guinness World Record (2010) "Heaviest building moved intact", <http://www.guinnessworldrecords.com>.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2010) "Y sin embargo...se movió", IMCYC, Construcción y tecnología, Junio de 2010.
- Paez, R. (1975). "Traslado del Edificio Cudecom, Bogota, Colombia", Informes de la construcción, ISSN 0020-0883, Vol. 28, No. 274: 49-54.
- TGC Geotecnia (1990). "Estudio geotécnico para el proyecto de sustitución de áreas del Edificio Palavicini", Informe No. TGC-1990-898
- TGC Geotecnia. (1999). "Recimentación y renivelación de estructuras y monumentos". Editado por Grupo TGC
- TGC Geotecnia (2007). "Dictamen geotécnico de la cimentación de la casa ubicada en paseo de la Reforma No.483, México, D.F." Informe No. TGC-2007-3338
- City Tunnel Leipzig (2010) "Portikusver schubin 40 sekunden", [http://www.citytunnelleipzig.de/Portikusverschiebung2006\\_36.html](http://www.citytunnelleipzig.de/Portikusverschiebung2006_36.html)

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al grupo Fondo Hexa las facilidades que nos brindaron para elaborar este artículo, en especial al arquitecto Benjamín Romano.

Las empresas y personas que intervinieron en el proyecto:

Concepto Arquitectónico:

LBR&A

Responsable estructural:

Instituto de Ingeniería de la UNAM

Dr. Roberto Meli

Dr. Roberto Sánchez

Diseño estructural:

Ditec Dr. Rodolfo Valles Mattox

Vamisa M en I. Ismael Vazquez Martinez

Equipo especializado:

Ale – Heavy Lift

Mecánica de suelos:

TGC – Geotecnia

Muros Milán:

Cimesa

Gerencia de Construcción:

Bovis Lend & Lease