



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EMPLEADO PARA EL  
MOVIMIENTO DE UNA CASA PROTEGIDA POR EL  
I.N.B.A. EN AVENIDA REFORMA, CD. MÉXICO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA CIVIL - CONSTRUCCIÓN**

P R E S E N T A:

**ING. CARLOS NARCIA MORALES**

TUTOR

**ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO**

AGOSTO 2011





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

PRESIDENTE:       ING. LUIS ARMANDO DÍAZ-INFANTE DE LA MORA

SECRETARIO:       M.I. JAIME ANTONIO MARTÍNEZ MIER

VOCAL:             ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO

1<sup>ER</sup>. SUPLENTE:     ING. ERNESTO RENÉ MENDOZA SÁNCHEZ

2<sup>DO</sup>. SUPLENTE:    M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS

Ciudad Universitaria, D.F. agosto de 2011

TUTOR DE TESIS:

Ing. Carlos Manuel Chávarri Maldonado

---

Firma

# **AGRADECIMIENTOS**

*Esta tesis la dedico de todo corazón a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, y por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía.*

*Gracias a ti Rosy, mi esposa, el amor de mi vida y mi inseparable compañera, por tu apoyo, amor y comprensión.*

*Gracias a mis tres hijos: Karla Azucena, Carlos Antonio y Angel de Jesús, quienes el día de mañana se darán cuenta de que son el más grande impulso y motor en mi vida.*

*Gracias a mis padres, Faustina y Antonio (q.e.d.), por formarme y darme su amor. Papá, se que en el cielo compartes este momento de felicidad.*

*Agradezco sinceramente al **Arq. Benjamín Romano** por su autorización y apoyo otorgado, para la realización de este trabajo. Así como colaboradores, por mencionar algunos: Arq. Julieta Boy, Arq. Antonella Moritu, Dr. Rodolfo Valles Mattox, por su tiempo y empeño que siempre me brindaron....gracias.*

*A mis Profesores de Posgrado, por su enseñanza y dedicación, ahora soy un mejor profesionalista gracias a ustedes.*

*Al Ing. Carlos Manuel Chávarri Maldonado, director de esta tesis, gracias ingeniero por todo el apoyo incondicional que siempre me ha brindado durante estos trece años.*

*Al M.I. Marco Tulio Mendoza Rosas, mi compañero de estudios en licenciatura, compañero de trabajo y actualmente mi Jefe inmediato, gracias por tu amistad, compañerismo y ejemplo.*

*Gracias a todos mis compañeros de trabajo de la División de Ingenierías Civil y Geomática, de todos he aprendido y en verdad los considero mi segunda familia.*

*A mis compañeros de estudio de la Generación 2010, no quiero mencionar nombres ya que todos son importantes, regresar nuevamente a las aulas como alumno y convivir con ustedes durante 2 años fue una muy grata e inolvidable experiencia.*

*A todos GRACIAS...*

# ÍNDICE

	PÁG.
RESUMEN.....	i
OBJETIVOS.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.....	4
El retraso de México en el movimiento de edificaciones.....	4
CAPÍTULO 2 PROYECTO MOVIMIENTO DE CASA EN AV. REFORMA.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Características generales de la casa.....	8
2.3. Solución técnica para el movimiento de la casa.....	12
2.4. Justificación.....	13
CAPÍTULO 3 MOVIMIENTO DE LA CASA.....	15
3.1. Proceso constructivo.....	15
3.1.1. Reforzamiento de la casa.....	15
3.1.2. Recimentación de la casa.....	23
3.1.3. Cimentación para los rieles.....	30
3.1.4. Excavación para la casa.....	33
3.1.5. Colocación del equipo de deslizamiento.....	37
3.1.6. Movimiento inicial de la casa.....	43
3.2. Muro Milán.....	47
3.3. Equipo utilizado.....	49
3.4. Programa de obra.....	54
CAPÍTULO 4 MOVIMIENTO DE REGRESO DE LA CASA A SU POSICIÓN ORIGINAL..	58
4.1. Problemática.....	58
4.2. Seguridad.....	62
4.3. Control topográfico.....	67
	69

4.4. Actividades previas.....	
4.5. Movimiento de regreso de la casa.....	71
4.6. Supervisión de los trabajos.....	83
4.7. Cobertura.....	87
CONCLUSIONES GENERALES.....	89
COMENTARIOS.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	95

---

# RESUMEN

En el año 2010 inició la construcción de uno de los proyectos inmobiliarios más importantes de la década: La Torre Reforma de la Ciudad de México, que tendrá 57 pisos, nueve sótanos y 244 metros de altura, elementos que la convertirán en el rascacielos más alto de toda América Latina.

Como solución integral del proyecto, se decidió desplazar una casa ubicada en el predio y protegida por el Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA), para dar inicio a la construcción de la cimentación del edificio. Concluidos los trabajos, la casa fue regresada a su sitio.

La estructura de la tesis consta de cuatro capítulos:

## **Capítulo 1. Generalidades.**

En este apartado se menciona el primer movimiento de un edificio ubicado en la ciudad de Guadalajara Jalisco. Se trató de la Central Telefónica y el proyecto lo dirigió el Ingeniero Mexicano Jorge Matute Remus en el año de 1950.

## **Capítulo 2. Proyecto movimiento de casa en Av. Reforma**

Se citan las características de la casa, la solución técnica encontrada para efectuar el movimiento y su justificación.

## **Capítulo 3. Movimiento de la casa.**

Aquí se describe el procedimiento utilizado para mover horizontalmente la casa. Se explica la preparación previa y las actividades realizadas antes del movimiento de la estructura, así como el equipo utilizado para el proceso.

## **Capítulo 4. Movimiento de regreso de la casa a su posición original.**

Concluidos los trabajos de cimentación del edificio, el siguiente paso fue regresar la casa a su posición original sobre Av. Reforma. Se mencionan algunos problemas que se presentaron y la forma de resolverlos. El control topográfico y la supervisión de los trabajos fueron fundamentales para lograr con éxito esta maniobra.

Finalmente se presentan las conclusiones generales y algunos comentarios derivados de este trabajo.



# SUMMARY

In 2010, the construction of one of the most important real estate projects of the decade began: Reforma Tower of Mexico City. This tower will have 57 floors, nine basements, and with 244 meters of height will become the tallest skyscraper in Latin America.

As an integral solution to the project, it was decided to move a house placed in the property and protected by the Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA), to begin building the foundations of the tower. Once finished the foundations, the house had to be moved again to its original location.

The structure of the thesis is formed by four chapters:

## **Chapter 1. Generalities**

This section refers to the first movement of a building located in the city of Guadalajara Jalisco. It was the Telephone Exchange, and the project was led by Jorge Matute Remus, a Mexican Engineer in 1950.

## **Chapter 2. Project moving a house in Reforma Avenue**

The characteristics of the house, the technical solution chosen for the movement and its justification are listed in this section.

## **Chapter 3. Displacement of the House**

In this chapter the procedure is described that is used for the horizontal displacement of the house. Any previous preparation, the activities done before the structure movement and the equipment used for the process, is explained in due course.

## **Chapter 4. Replacement of the house to its original location**

Once finished with the foundation work of the new building, the next step was to return the house to its original place in Reforma Avenue. In this section some of the problems that arose and the way they were solved are mentioned. The topographical control and the supervision of work were essential for the success of this maneuver.

Finally presented are the general conclusions and some comments arising from this work.

# OBJETIVOS

***OBJETIVO GENERAL:***

Coadyuvar a difundir este procedimiento constructivo a la práctica cotidiana de la Ingeniería, así como motivar las líneas para la investigación de procedimientos constructivos que resulten afines.

***OBJETIVO PARTICULAR:***

Describir las fases, aplicación, operación y control efectuado en el movimiento de la casa.

# INTRODUCCIÓN

Estimado lector, iniciaré planteándole las siguientes preguntas:

1. ¿Alguna vez se ha cuestionado si es posible mover una edificación completa a un lugar tal que se requiera?
2. ¿Conoce de algún(os) caso(s), a nivel mundial, donde fue necesario mover alguna edificación?
3. Usted como profesional, ¿Sería capaz de ingeniar un sistema tal que permita mover una construcción existente? en caso afirmativo, ¿Qué ideas propone?
4. ¿Considera que la Ingeniería Civil Mexicana puede hacerlo?
5. ¿Si tuviera oportunidad en participar en un caso real, considera de interés en el aspecto profesional y personal, su participación y por qué?

Pues bien, en el mes de febrero de 2010 se llevó a cabo el movimiento de una casa construida en 1932 ubicada en Av. Reforma 483, que por tratarse de una construcción antigua es protegida por el INBA.

El objeto de realizar esta maniobra obedece a la necesidad de construir la cimentación de lo que será el edificio más alto de América Latina: *La Torre Reforma*; concluida la cimentación la casa fue regresada a su sitio original sobre avenida Reforma.

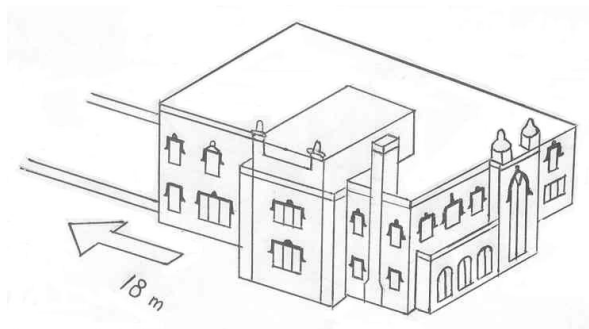
Esta operación es la primera que se realiza en su tipo por tratarse de una estructura frágil con escaso refuerzo y muy susceptible a deformarse ante cualquier movimiento, lo que implicó idear un sistema con tecnología de punta para mover la casa.

La solución es inédita en el rescate de monumentos históricos tanto en México como a nivel internacional y representa un parteaguas en la visión hacia el respeto del patrimonio y la evolución de la ciudad.

El alcance de este trabajo es *ilustrar los sistemas empleados para el movimiento de la casa ubicada en Av. Reforma, como una alternativa para mover una construcción protegida por el INBA*, dada la poca experiencia que se tiene en nuestro país en el movimiento de edificaciones. El caso de Av. Reforma conlleva a conocer detalladamente este procedimiento constructivo para valorar su conveniencia.

La necesidad de contar con herramientas de vanguardia que simplifiquen los procesos constructivos, demandan conocer con mayor detalle los aspectos técnicos y prácticos que implican su utilización; por ello, la justificación de esta tesis que lleva por título “Descripción del sistema empleado para el movimiento de una casa protegida por el INBA en Av. Reforma, de la Cd. México”.

La estructura de la tesis comprende 4 capítulos, iniciando con las generalidades, el proyecto del movimiento de la casa, el movimiento inicial y el movimiento final hasta posicionarla en Av. Reforma. Finalmente se establecen conclusiones y comentarios derivados de este trabajo.



# CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

## CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

### El retraso de México en el movimiento de edificaciones.

Las exigencias de reordenación y urbanización de las ciudades en crecimiento, son las que obligan a mover edificios completos, como ocurrió en 1950 en [Guadalajara](#).

En 1927 el gobierno de la Ciudad de Guadalajara decidió demoler el edificio de la Penitenciaría, que se encontraba en lo que hoy es la Estación Juárez del tren ligero, para unir la estrecha calle de Juárez con la amplia avenida Vallarta. Veinte años después el gobernador del estado, Jesús González Gallo, decretó la ampliación de la calle Juárez, para lo cual se hicieron las negociaciones correspondientes con los propietarios de las fincas de dicha calle; para 1948 todo estaba resuelto, excepto por el pequeño detalle de que la compañía de teléfonos, ubicada en el cruce de Juárez y Ocampo, se amparó, evitando la demolición de su edificio, y este quedó a media calle, entorpeciendo totalmente la obra.

Por más luchas que hizo el gobierno del estado, la compañía telefónica no cedía. Cambiar sus instalaciones resultaba demasiado complicado. Era necesario adquirir otro terreno, construir un edificio, adquirir nuevo equipo, colocarlo y conectarlo y todo esto costaría aproximadamente nueve millones cien mil pesos, que era toda una locura en aquellos años. Para el gobierno, la postura de la telefónica, era muy incomoda.

Fue entonces cuando apareció en escena Ing. Jorge Matute Remus, quien era por entonces miembro de la Comisión de Planeación del Gobierno y Rector de la Universidad de Guadalajara y quien expresó que *“si los de la telefónica consideraban que no podían hacer una nueva central porque les costaba una millonada, lo más sencillo sería mover el edificio”*.

Ante esta declaración del Ing. Matute muchos se quedaron sorprendidos. Parecía aquello una broma inapropiada, pero el ingeniero se dispuso a demostrarles teóricamente la validez de su declaración. Según él técnicamente era factible y que económicamente resultaba mucho más ventajoso porque le costaría a la telefónica únicamente un millón de pesos, en lugar de los nueve iniciales.

La dirección de la telefónica se interesó por la idea, pero antes de dar luz verde trajeron a unos ingenieros de Estados Unidos para asegurarse de que era factible su propuesta. Una vez que el Ing. Matute demostró con sus números que se podía, la telefónica dio la autorización correspondiente.

El 24 de octubre de 1950 se inició la difícil tarea. No se evacuó el edificio, se le dijo a todo el personal que debía seguir laborando como cualquier día normal, pero nadie se sentía seguro. ¿Cómo iban a mover el edificio con todo y personas adentro?. ¿No se derrumbaría sobre ellos?. El Ing. Jorge Matute Remus estaba tan seguro de su proyecto, que llevó a su esposa y a su hijo al interior del edificio y permanecieron dentro en el momento que se efectuaban las maniobras (Fig. 1).



Figura 1. Desplazamiento del edificio de teléfonos en Guadalajara, Jal.

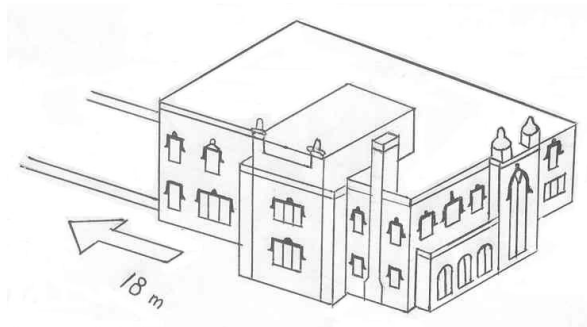
El trabajo se hizo con una precisión tan espectacular, que las telefonistas jamás dejaron de atender llamadas, todo fue como cualquier otro día. Incluso colocaron vasos de agua para ver que pasaba y el agua ni se movió. El edificio de 1,700 toneladas de peso fue movido doce metros, hasta alinearlos con la calle.

Hoy en la esquina de Juárez y López Cotilla existe la estatua del ingeniero Jorge Matute Remus empujando con una mano el edificio. Muchos no entienden porqué está ahí. Algunos se toman fotos. Otros, maleducados, lo llenan de grafitis como si no fuera nada importante (Fig. 2).



Figura 2. Estatua del Ing. Jorge Matute Remus representando el empuje del edificio de teléfonos en Guadalajara.

El monumento es un testigo de que no existen imposibles. El hombre es capaz de mover montañas.



CAPÍTULO 2.

# PROYECTO MOVIMIENTO DE CASA EN AV. REFORMA



## CAPÍTULO 2 PROYECTO MOVIMIENTO DE EDIFICACIÓN EN AV. REFORMA

### 2.1. Antecedentes.

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. 3). El proyecto se ubica en la ciudad de México sobre el Paseo de la Reforma No. 483 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 construida a principios del siglo XX y catalogada por el INBA.



Figura 3. Torre Reforma.

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 (Figs. 4 y 5).



Figura 4. Maqueta de la casona catalogada en el proyecto de Torre Reforma.



Figura 5. Perspectiva de la Torre Reforma.

## 2.2. Características generales de la casa.

La casa es de dos niveles de 27.5 x 23 m en planta, edificada en 1932. Está catalogada por el 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. Las fotografías de las figuras 6 a 11 muestran fachadas y detalles de la casa.



Figura 6. Detalle de la casa catalogada donde se observa su arquitectura.



Figura 7 . Fachada Sur sobre Av. Reforma.



Figura 8. Detalle de la piedra de cantera.



Figura 9. Fachada oriente.



Figura 10. Fachada Poniente sobre Río Elba.



Figura 11. Fachada Poniente sobre Río Elba.

La casa 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, que “era lo común para esos tiempos”, describe Maya Dávalos Camacho, Secretaria de Conservación Patrimonial del Comité Nacional Mexicano del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS).

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 respecto al nivel de banquetta, con ancho del orden de 90 cm para las zapatas de colindancia y de 1.5 m para las centrales (Fig. 12).



Figura 12. Cimentación original de la casa.

### 2.3. Solución técnica para el movimiento de la casa.

#### *¿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 estaba limitada por 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 de la casa una retícula de traveses postensados con cables, parecida a la solución utilizada en la catedral de Montreal (TGC Geotecnia, 1999), pero por restricciones del mismo proceso, los apoyos no resultan colineales, complicándose las traveses que podían postensarse, razón por la cual se desechó el procedimiento.

- También, se planteó la posibilidad de recimentar la casa 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.**

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.

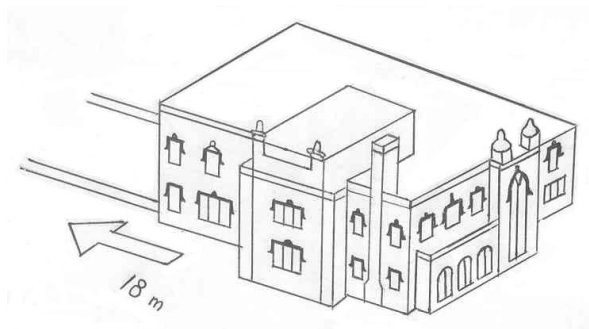
En México es la segunda edificación que se desplaza; el primer movimiento se realizó en 1950, en Guadalajara, Jalisco, donde se desplazó el edificio de una central telefónica para la ampliación de una avenida (Crespo C., 2010); pero **lo innovador de mover esta casona, es que se trata de una estructura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

#### **2.4. Justificación.**

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.

La operación representa entre el 1 y 2% del valor total de la construcción (100 millones de dólares), comenta Dr. Rodolfo Valles Mattox, ingeniero responsable del diseño estructural para el movimiento de la casa, asesor estructural para el diseño de la torre y director general de Diseño Integral y Tecnología Aplicada.

El costo de mover la casa se compensaría con el beneficio de un mejor aprovechamiento del predio, para dar lugar a la construcción de lo que será la Torre Reforma (Fig. 5).



CAPÍTULO 3.  
**MOVIMIENTO DE LA CASA**



## CAPÍTULO 3 MOVIMIENTO DE LA CASA

### 3.1. Proceso constructivo.

De manera general, el procedimiento para mover la casa consistió en:

- a) Reforzamiento de la estructura 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 despegarla del suelo y facilitar el movimiento.
- e) Colocación del equipo de deslizamiento.
- f) Movimiento de la casa.

A continuación se detallan cada una de las etapas enlistadas.

#### 3.1.1. Reforzamiento de la casa

Por tratarse de una estructura de principios del siglo XX, la casona catalogada era muy susceptible a cualquier deformación. Para garantizar el mínimo agrietamiento, fue necesario reforzarla estructuralmente, por lo que se colocaron tensores como contravientos, principalmente en la dirección paralela a la avenida Reforma, a fin de que los pocos centímetros de deformación que se presentaran no la afectaran (Fig. 13).



Figura 13. Tensores para rigidizar la estructura.



Figura 13. Tensores para rigidizar la estructura.

En aquellas habitaciones sin castillos o columnas fue necesario rigidizar el marco colocando armaduras metálicas para sujetar los tensores (Fig. 14 y 15).



Figura 14a. Empleo de armadura y viga de acero para rigidizar el marco y sujetar tensores.



Figura 14b. Empleo de armadura y viga de acero para rigidizar el marco y sujetar tensores.



Figura 15. Unión de mensulas a armadura para sujetar tensores.

La estructura tiene dos voladizos que tuvieron que reforzarse, añadiendo a los tensores (ver plano ET-01) unos muros de concreto armado por el interior de la casa (ver plano E11D, E-11H) y placa metálica que sirvió como cimbra de contacto (ver plano E-11A). La figura 16, ilustra los trabajos descritos.



Figura 16a. Vista frontal.



Figura 16b. Reforzamiento de muros con concreto armado y placa metálica.

Otros muros simplemente fueron cubiertos con malla de acero y repellados con mortero (ver plano E-12). La figura 17 muestra la secuencia de estos trabajos.



Figura 17. Reforzamiento de muros interiores con malla electrosoldada y repellado con mortero.

Asimismo, algunas losas de entepiso fueron reforzadas empleando vigas de acero (Fig. 18).



Figura 18. Reforzamiento de losas empleando vigas metálicas.



Para evitar deformaciones en los arcos, se decidió apuntalarlos (Fig. 19).



Figura 19. Apuntalamiento de arcos para evitar deformaciones.

“La piedra es muy sensible y si hubiera tenido una fricción en la parte central de la losa, los arcos se hubieran destrozado”, asegura el arquitecto Francisco Pérez Salazar, quien de forma independiente también colabora en la restauración de proyectos de la importancia del Archivo General de la Nación y del nuevo Museo de Hacienda del Centro Histórico, ambos ubicados en la Ciudad de México.

### 3.1.2. Recimentación de la casa

Durante el movimiento, la casa estaría apoyada sólo en dos de sus extremos, con un claro 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 de concreto, la cual sería lo suficientemente rígida para tener deformaciones pequeñas al levantarla y realizar el movimiento (Fig. 20).**



Figura 20. Charola de concreto (losa nervada) que sirvió para rigidizar la cimentación.

Esta charola se conformó recimentando la casa mediante una losa aligerada de concreto de alta resistencia ( $f'c = 700 \text{ kg/cm}^2$ ), con nervaduras principales de 1.75 m de peralte y secundarias de 0.8 m (Fig. 21).



Figura 21a. Detalle de armado en losa de recimentación.



Figura 21b. Detalle de armado en losa de recimentación.

El plano E-02 muestra algunos detalles de armado de las nervaduras.

Para aligerar la losa se utilizaron casetones de poliestireno (Fig. 22).



Figura 22a. Aligeramiento de losa empleando casetones de poliestireno.



Casetones de poliestireno

Figura 22b. Aligeramiento de losa empleando casetones de poliestireno.

La figura 23 ilustra los trabajos de la losa de recimentación en la parte exterior de la casa.



Figura 23a. Detalles de armado de la losa de recimentación en la parte exterior de la casa.



Figura 23b. Detalles de armado y colocación de casetones en losa de recimentación.



Fig. 23c. Detalle de la cimbra de contacto requerida.

Las siguientes figuras ilustran los trabajos terminados en losa de recimentación (Fig. 24 y 25).



Figura 24a. Losa terminada.



Figura 24b. Detalle del peralte de las traves.



Figura 25. Retícula de traves coladas.

La losa de recimentación también sirvió para confinar la cimentación original y como losa de cimentación definitiva para integrar la casa al proyecto de la Torre Reforma.

### 3.1.3. Cimentación para los rieles.

El sistema utilizado para mover la casa constaba de unos gatos hidráulicos montados sobre rieles. Estos últimos requerían apoyarse 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 por lo que era necesaria una cimentación de los rieles, que soportara las concentraciones de carga sin sufrir deformaciones diferenciales.

Para economizar costos, 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. 26). *Recuérdese que bajo la casa se construirá el área de estacionamientos de la Torre Reforma.*



Figura 26a. Izaje de armadura metálica.





Figura 26b. Maniobras para bajar la armadura bajo la casa.



Figura 26c. Colocación de armaduras bajo la casa.

Los muros Milán para los rieles eran de 0.8 m y 1.2 m de espesor, y estaban desplantados a 52.0 m de profundidad en los llamados Depósitos Profundos.

La figura 27, ilustra uno de los ejes de desplazamiento de la casa.



Figura 27a. Se observa uno de los ejes donde se colocó en algunas zonas el sistema de armaduras.



Figura 27b.

Toma inferior bajo la casa, que muestra la continuidad del muro Milán empleando el sistema de armaduras que servirán de apoyo continuo al riel de desplazamiento para mover la casa.

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 (cleopatras) empotradas en la losa de recimentación de la casa, que sirvieron de puntos de apoyo para los gatos hidráulicos (Fig. 28).

El plano E-01A, muestra la localización de las cleopatras.



Figura 28. Ménsulas (cleopatras) empotradas en la losa de recimentación.

#### **3.1.4. 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, que sostuvieron la casa mientras se realizó el resto de la excavación (Figs. 29 y 30). El plano E-00A, ilustra la secuencia de excavación indicada por proyecto.

Se manejaron diferentes profundidades de excavación, comprendidas entre 2.75 y 5.0 m. Para llegar a estas profundidades se utilizaron taludes y muros Milán como elementos de contención.

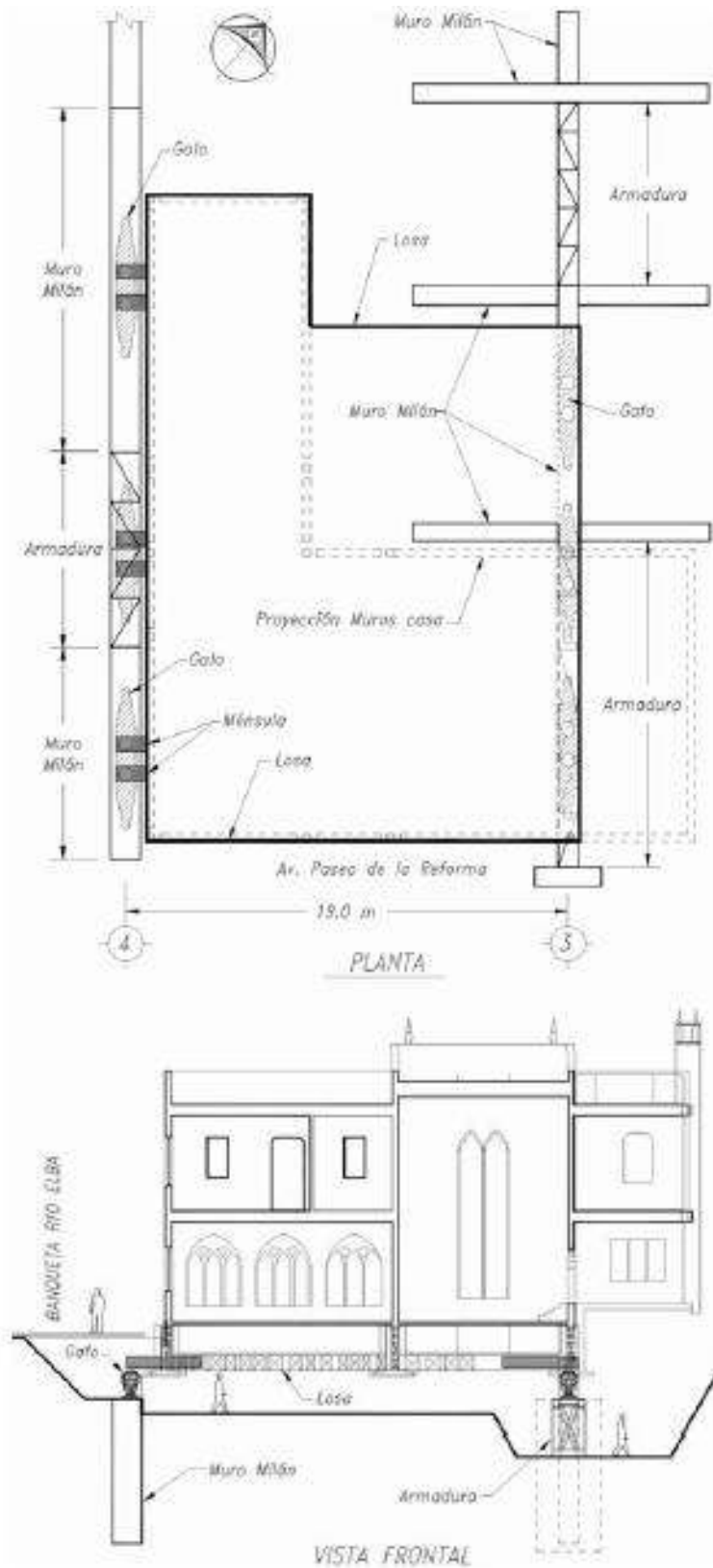


Figura 29. Esquema con la ubicación en planta de la cimentación de apoyo para los rieles durante el movimiento.



Figura 30. Vista panorámica bajo la cimentación de la casa una vez apoyada sobre los gatos hidráulicos, lista para el movimiento.

La figura 31, ilustra los trabajos de excavación a mano efectuados bajo la casa.



Figura 31a. Excavación a mano bajo la casa.



Figura 31b. Trabajos de excavación.



Figura 31c. Terreno excavado.

### 3.1.5. Colocación del equipo de deslizamiento.

Para esta actividad se utilizaron unos equipos hidráulicos conocidos como patines de deslizamiento (*skidshoes*). Su función principal fue transmitir el peso de la casa a la cimentación de la Torre. En el subtema 3.3. equipo utilizado, se describe con mayor detalle estos elementos.

A continuación se hace una descripción de los pasos que se realizaron para el montaje previo de los *skidshoes* 4A / 4C.

1. Montaje línea de deslizamiento inicial en el EJE 4. Una vez que se marcó el eje de referencia, se realizó el montaje de una línea de carriles de 30 m de longitud. Montada toda la línea se soldaron unos topes al borde del primero y último carril, de manera que no pudieran tener ningún desplazamiento en sentido longitudinal.
2. Preparación de *skidshoes* y carriles. Se instalaron unas planchas de teflón que se aceitaban para disminuir la fricción de los gatos y deslizarlos correctamente.
3. Introducción del *Skidshoe* 4A. Mediante una grúa, se colocó el *Skidshoe* sobre un carril de la línea de deslizamiento inicial y con ayuda de un polipasto manual de cadena se deslizó el *Skidshoe* 4A hasta su posición de trabajo. Previamente, se hizo una inspección general para comprobar que no había nada entre el patín y los teflones.
4. Introducción del *Skidshoe* 4C. El proceso es el mismo que se ha descrito para el *Skidshoe* 4A.

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 (Fig. 32). Una vez hecho esto, se instalaron dos líneas de carriles modulares o rieles, con una longitud total de 46.0 m por línea aproximadamente (Fig. 33). Para evitar movimientos transversales de los rieles durante el movimiento de la casa, se soldaron topes en tresbolillo en los laterales de los carriles.



Figura 32a. Descenso de *Skidshoe* para desplazarse sobre el carril.



Figura 32b. Maniobras para colocar los *skidshoes* bajo las ménsulas (cleopatras).



Figura 33a. Base horizontal para apoyar los carriles, observe sobre el carril el arreglo de las planchas de teflón.





Figura 33b. Carriles o rieles laterales.

Posteriormente se instalaron seis *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.

Una vez terminadas todas las conexiones hidráulicas, se elevaron los gatos hidráulicos de los *skidshoes* hasta tomar contacto con la base de las cleopatras para fijarlos a ellas. En este momento, se comenzó con la toma de carga (Fig. 34).



Figura 34. Transmisión de carga hacia los gatos hidráulicos.

Puesta en carga.

La casa tiene un peso aproximado de 2,500 t. Esa carga se transmitió a los gatos en incrementos cercanos del 20% del peso total, siguiendo la secuencia que se indica en la Tabla 1.

Paso	CARGA PREVISTA (T/pto.)						TIEMPO DE ESPERA	VERIFICACIONES
	EJE 3			EJE 4				
	3A	3B	3C	4A	4B	4C		
20%	183	142	39	52	130	122	2 min	* Chequeo de cargas obtenidas y comprobación con teóricas.
40%	366	283	78	104	261	245	2 min	* Inspección visual de posibles asentamientos y fisuras en el terreno y estructura soporte de la casa (principalmente en los puntos de apoyo donde se transmite la carga).
60%	550	425	118	157	391	367	2 min	
80%	733	566	157	209	522	490	5 min	* Comprobación del comportamiento de equipos y estructura casa mediante tiempos de espera.
90%	824	637	176	235	587	551	5 min	
100%	916	708	196	261	652	612	15 min	* Al 100% de la carga, inspección visual de posibles asentamientos y estructura de la casa.

Tabla 1. Cargas previstas *skidshoes* en Eje 3 y Eje 4.

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 (ver Figura 29). Posteriormente, se midieron presiones y se verificaron niveles para confirmar que el peso teórico de la casa correspondía al real (Fig. 35 y 36).



Figura 35. Carril de desplazamiento sobre el eje 4.



Figura 36. Tren de desplazamiento sobre el eje 3.

### **3.1.6. Movimiento inicial 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 hacia el norte, longitud total de movimiento de la estructura (Fig. 37).

El primer desplazamiento de la casa tardó 10 horas, dado que hubo un constante monitoreo del inmueble, para evitar que sus niveles se alteraran más de lo permitido, y para observar qué deformaciones presentaba y ajustar los gatos y tensores en caso necesario.



Figura 37a. Ubicación de la casa, antes de su movimiento.



Figura 37b. Desplazamiento inicial de la casa efectuado el 13 de febrero de 2010.

El proceso de desplazamiento fue tan “meticulosamente cuidado y diseñado”, que la casa suspendida hubiera resistido un sismo de 5 grados en la escala de Richter, sin sufrir afectaciones en su estructura, enfatiza el Dr. Valles Mattox.

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 (Fig. 38), 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.



Figura 38a. Apoyos temporales y gatos hidráulicos que sirvieron de soporte a la casa durante dos meses.



Figura 38b. Condiciones de apoyo.



Figura 38c. Detalle de uno de los apoyos temporales, obsérvese la altura.



### 3.2. Muro Milán

La construcción de los muros se realizó en aquellas áreas donde la casa lo permite y el proceso de desplazamiento lo requería. Una vez efectuado el movimiento de la casa hacia el norte, se continuó con la construcción de los muros Milán del resto de la obra.

Los muros Milán se llevaron aproximadamente a 52 metros de profundidad, en lo que representó la operación más profunda en su tipo, pues en la Torre Mayor sólo llegaron a 30 metros.

La empresa CIMESA fue la responsable de este procedimiento. La cimentación de los sótanos se realizó con el proceso conocido como “*top and down*”, en el que se construyen los sótanos de arriba hacia abajo.

La figura 39, ilustra la secuencia constructiva de los muros Milán.



(a)



(b)



(c)



(d)



(d)



(e)

Figura 39. Proceso constructivo del Muro Milán: (a) brocales, (b) excavación, (c) izaje de armado de refuerzo, (d) descenso y (e) colado.

El movimiento de regreso de la casa se efectuó el 18 de abril de 2010 utilizando el mismo proceso. Estas actividades se detallan en el siguiente capítulo.

Después de concluir 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.

### 3.3. Equipo utilizado.

El equipo utilizado para desplazar la casa, así como todo el procedimiento, estuvo a cargo de la empresa Ale Heavylift, especialista en 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. 40).



Figura 40. Sistema SKS1000 integrado por rieles modulares y patines de deslizamiento (*skidshoes*).

Se colocaron seis *skidshoes* distribuidos en dos ejes (ver figura 29); los *skidshoes* soportaban cargas variables entre 432 t y 782 t, en función de su ubicación y las descargas asociadas a la estructura. Cada *Skidshoe* medía 5.5 m de largo y tenía una capacidad de 1000 t cada uno, distribuida en dos cilindros hidráulicos verticales de 500 t de capacidad y de 30 cm de carrera.

A continuación se tratan algunos datos importantes de las fichas técnicas de los equipos:

➤ SISTEMA DE DESLIZAMIENTO SKS-1000 (Capacidad 1000 t)

El equipo de deslizamiento para movimientos “load-outs” ha sido diseñado y creado por ALE LASTRA, en el cual los *skidshoes* hidráulicos provistos de acero inoxidable en su parte inferior deslizan sobre planchas de teflón alojadas en los carriles de deslizamiento (Fig. 41).

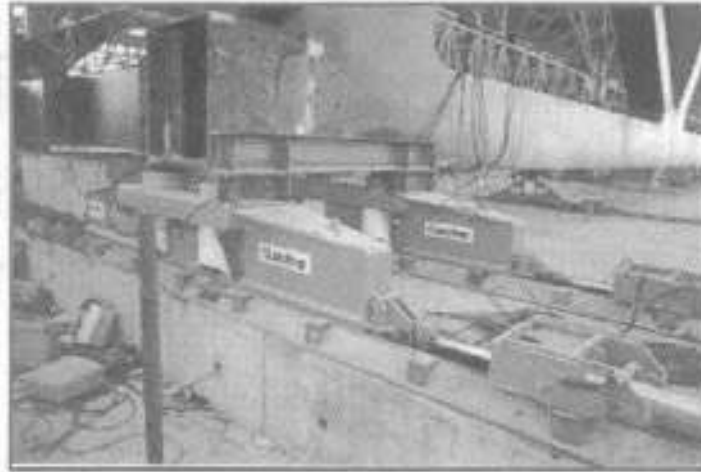
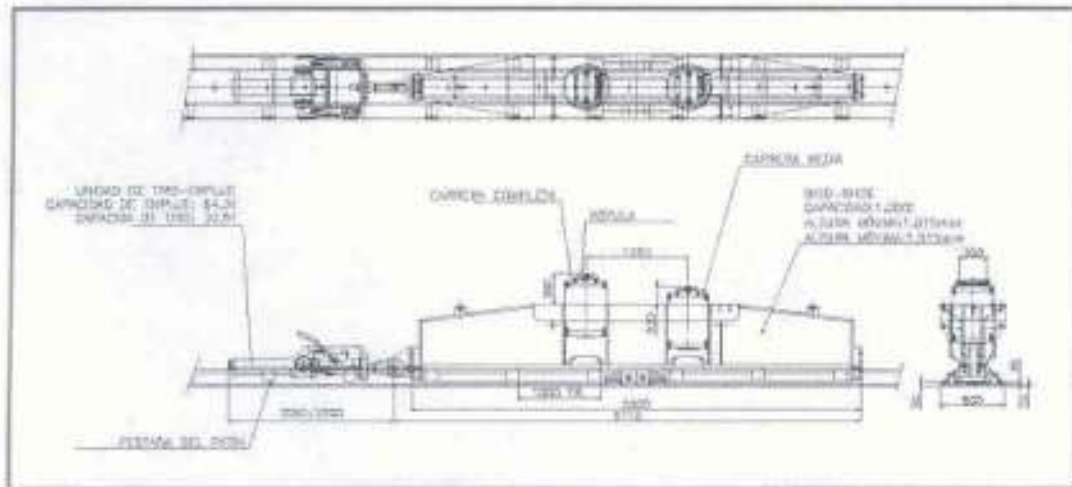


Figura 41. Sistema SKS 1000, diseñado por Ale Lastra.

Este equipo fue diseñado como muestra el plano, con un *Skidshoe* de 1000 t que incorpora 2 cilindros hidráulicos de 500 t de capacidad y 30 cm de carrera.



Cada cilindro está provisto en su parte superior con una rótula que permite el movimiento longitudinal.

Se pueden formar otras configuraciones de los gatos de 1000 t de forma que con la misma presión hidráulica en el sistema se transmitan distintas fuerzas de gateo individuales.



La fuerza necesaria para desplazar la carga es aportada por cilindros hidráulicos de tiro-empuje horizontal, los cuales forman parte integral del carril o línea de deslizamiento.

El movimiento es intermitente, y está compuesto por una secuencia de extensión y retracción de los cilindros, los cuales pueden operarse simultánea o individualmente, según las necesidades. Estos cilindros van acoplados directamente a los *skidshoes*.

Los paquetes de potencia (power packs) de diesel, centralizados, generan la potencia suficiente para operar los cilindros hidráulicos de los *skidshoes* y las unidades de tiro-empuje (Fig. 42).



Figura 42. Power Pack.

El *Skidshoe* ha sido diseñado para mantener su estabilidad ante una fuerza lateral desde 20 t hasta un máximo del 10% de la carga vertical apoyada en él.

Existe la posibilidad de instalar transductores de carrera por separado, para controlar la carrera de cada cilindro y operar y controlar individualmente cada gato.

La capacidad máxima de 1000 t de cada *Skidshoe* crea un sistema único para el movimiento de grandes cargas puntuales, concentradas.

**Con la combinación de diferente número de *skidshoes* se puede formar un sistema flexible para mover cargas pesadas y de gran complejidad.**

La figura 43 ilustra el generador hidráulico empleado durante el movimiento de la casa.



Figura 43. Generador hidráulico usado en el movimiento de la casa para operar equipos hidráulicos.

Para suministrar la fuerza de movimiento se utilizaron cuatro gatos de empuje SS500 de 64 t de capacidad cada uno, los cuales se colocaron en las dos líneas de rieles apoyados sobre los *skidshoes* (Fig. 44).



Figura 44. Gatos de empuje SS500.

### 3.3. Programa de obra.

#### Planeación

#### ALCANCE DE LOS TRABAJOS

Las operaciones a realizar para el **movimiento de la casa**, desde su posición inicial hasta su posición final, fueron las siguientes:

- Montaje del sistema de deslizamiento sobre las vigas para tal fin.
- Puesta en carga de los equipos de deslizamiento y elevación de la casa aproximadamente 50 mm o de la altura suficiente dentro de los márgenes de la carrera prevista en los gatos para liberarla de sus apoyos.
- Deslizamiento de la casa 18 m hacia el norte.
- Apoyo de la casa sobre soportes temporales para la construcción del sótano de la torre.
- Deslizamiento de la casa 18 m hacia el sur (Av. Reforma).
- Apoyo de la casa en su posición final.
- Desmontaje del sistema utilizado en el deslizamiento de la casa.

#### CONDICIONES PREVIAS REQUERIDAS

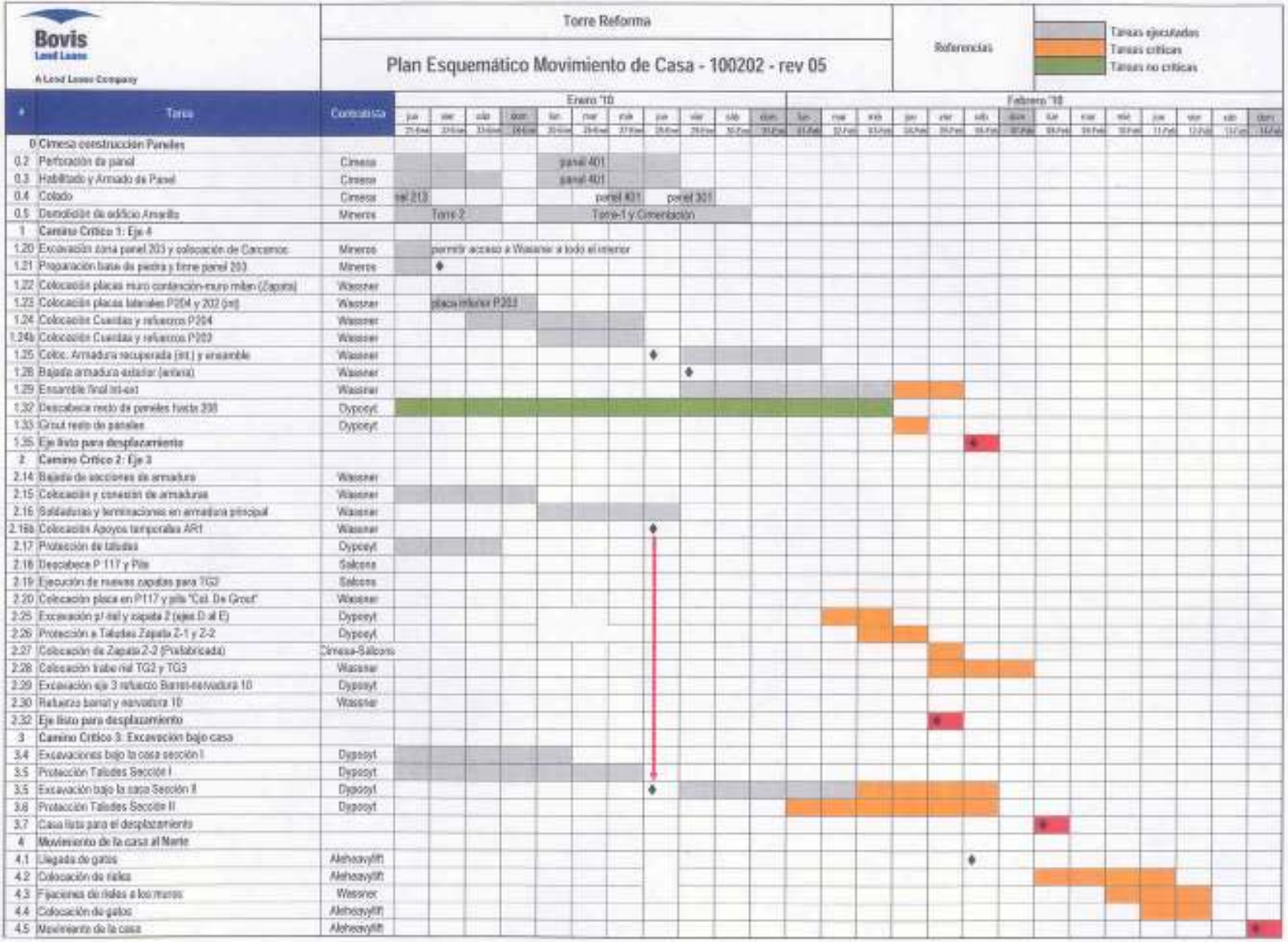
Previo al inicio de los trabajos se realizaron las siguientes operaciones:

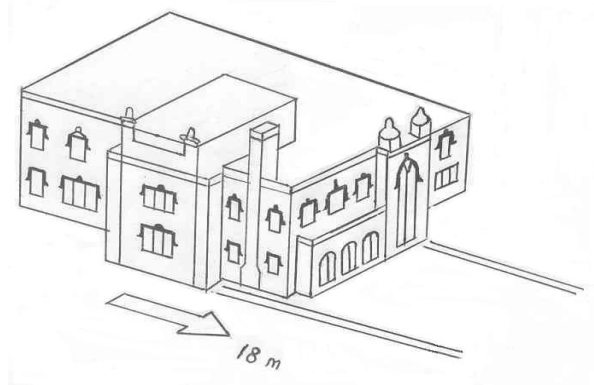
- ✓ Aprobación del procedimiento de ejecución por el cliente.
- ✓ Habilitación de los accesos necesarios para el personal y los equipos de Ale Heavylift de México S.A. de C.V. al interior de la obra.
- ✓ Información a todo el personal de Ale Heavylift de México S.A. de C.V. sobre el alcance de las operaciones a realizar.
- ✓ Delimitación de, las áreas de trabajo y de exclusión, por motivos de seguridad por personal de seguridad, con objeto de evitar interferencias con otros trabajos.
- ✓ Verificación de la horizontalidad del terreno a todo lo largo de los carriles de desplazamiento.
- ✓ Verificación de que la zona lateral exterior a las dos líneas de deslizamiento esté horizontal y despejada para el tránsito del personal durante la operación, en una anchura de aproximadamente 1.5 m.



- ✓ Verificación que las vigas de deslizamiento sean capaces de soportar las cargas durante los trabajos. La carga máxima transmitida al suelo se estimó en 76.5 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ Preparación por parte del cliente de las zonas de montaje para la realización de un trabajo seguro y libre de interferencias.
- ✓ Marcado de los ejes donde se instalarán los carriles de deslizamiento, previo la montaje.
- ✓ Habilitación de una zona de acopio para alojar los equipos mientras se realiza el montaje y de espacio para un contenedor de 8 pies, 2.4 x 2.4 x 2 m y otro de 20 pies, 2.4 x 2.4 x 6 m, para almacenar equipo que no se este utilizando en ese momento.
- ✓ Implementación de todos los medios necesarios para la realización del montaje de los equipos, previo a la realización de los trabajos. La carga máxima a manejar para la movilización de los equipos fue la de los *skidshoes* de 1000 t los cuales tienen un peso de 11.5 t.
- ✓ Conexiones eléctricas del tipo trifásico de 380 V y potencia de 60 kvA para la utilización de los generadores hidráulicos. Para la utilización del resto de las herramientas de uso menor (radial, equipo de soldadura, etc.) fueron necesarias conexiones de 220 V.
- ✓ La altura libre entre la base de las “cleopatras” y los muros Milán utilizados en el deslizamiento será como máximo de 1.2 m ya que es necesario disponer como mínimo de 0.15 m de carrera en los gatos para tener margen suficiente de trabajo.

A continuación se presenta el Programa de Obra:





CAPÍTULO 4.  
**MOVIMIENTO DE REGRESO DE  
LA CASA A SU POSICIÓN  
ORIGINAL**

## CAPÍTULO 4 MOVIMIENTO DE REGRESO DE LA CASA A SU POSICIÓN ORIGINAL.

### 4.1. Problemática.

Efectuado el movimiento de la casa de 18 m hacia el norte, se iniciaron los trabajos para la construcción del muro Milán, en aquellas zonas que marcaba el proyecto, que sirven como cimentación de la Torre Reforma y además aprovechar el área desocupada para la construcción de la zona de estacionamientos.

Concluido el muro Milán (Fig. 45), el siguiente paso fue mover la casa a su posición original sobre Av. Reforma.

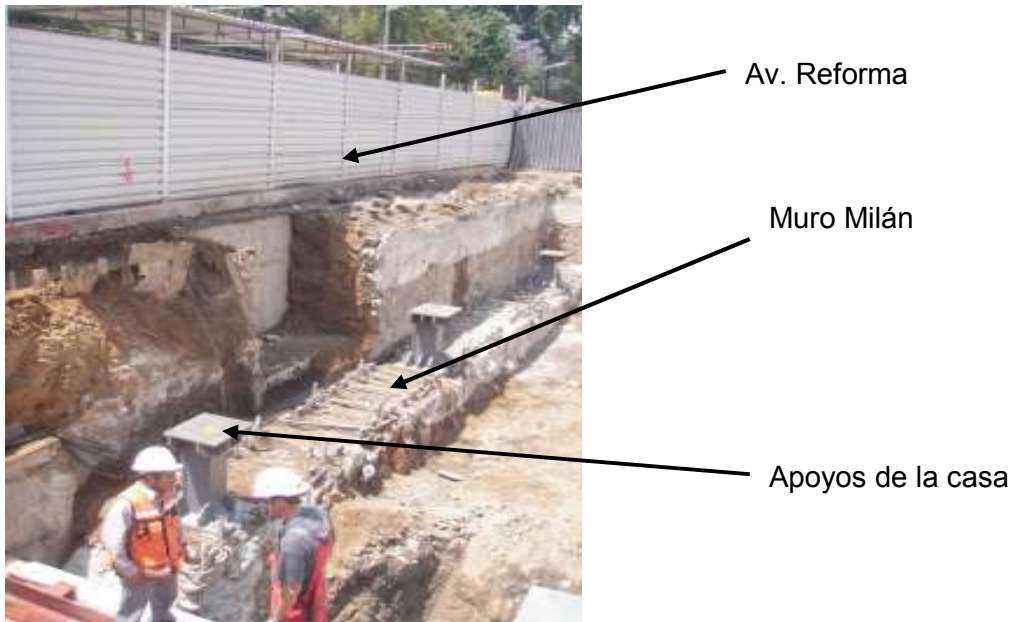


Figura 45. Muro Milán terminado.

Después de realizado el movimiento inicial de la casa, se presentaron algunos ligeros agrietamientos en la fachada poniente (Fig. 46) y oriente (Fig. 47).



(a)



(b)



(c)



(d)



( e )



( f )

Figura 46. Agrietamientos en fachada poniente, ver secuencia ( a – f ).



Figura 47. Agrietamientos en fachada oriente.

Aunque estos agrietamientos eran mínimos y estaban previstos, se decidió controlarlos utilizando mortero, además de poner especial atención en su comportamiento (Fig. 48).



Figura 48. Reparación de agrietamientos mediante mortero.

#### 4.2. Seguridad.

Esos agrietamientos no ponían en riesgo la seguridad de la estructura. Sin embargo, consultando a las personas encargadas del diseño estructural, decidieron colocar una armadura metálica debajo de la casa con dirección oriente-poniente, para absorber esos pequeños asentamientos (Fig. 49).



Figura 49a. Armadura metálica para controlar agrietamientos colocada debajo de la casa de oriente a poniente.





Figura 49b. Armadura metálica vista desde el exterior de la casa.

Para el movimiento de regreso de la casa, los encargados del área estructural decidieron, además de la armadura metálica, colocar cables de presfuerzo en la misma dirección para evitar cualquier incremento de posibles asentamientos que pudiesen reflejarse en agrietamientos de la estructura. La encargada de esta actividad (ver plano E-39), fue la empresa Freysinnet.

De la figura 50 a la 55, se muestra la secuencia de actividades mencionada.



Figura 50. Preparativos para colocación de cables de presfuerzo, vista fachada poniente.



Figura 51. Tensión aplicada a cables de presfuerzo.



Figura 52. Cables de presfuerzo terminados.



Figura 53. Obsérvese placa metálica para rigidizar la estructura.



Figura 54. Tensión aplicada a cables de presfuerzo.



Figura 55. Cables de presfuerzo trabajando, vista fachada oriente.

### 4.3. Control topográfico.

Desde que iniciaron los trabajos, el control topográfico que se llevó a cabo fue fundamental para llevar a buen término las acciones durante los movimientos de la casa (Fig. 56).



Figura 56. Control topográfico.

Era importante tomar mediciones y prever cualquier asentamiento o desplome de la estructura. Para ello las brigadas de topografía fueron indispensables para llevar el control (Fig. 57).



Figura 57. Brigadas de topografía.

Se colocaron perimetralmente en la casa reglas metálicas y un tornillo que sirviera como referencia para tomar mediciones periódicas y valorar los asentamientos que pudiesen presentarse (Fig. 58). Cabe mencionar que siempre los valores obtenidos fueron mínimos y estaban dentro de lo permisible.

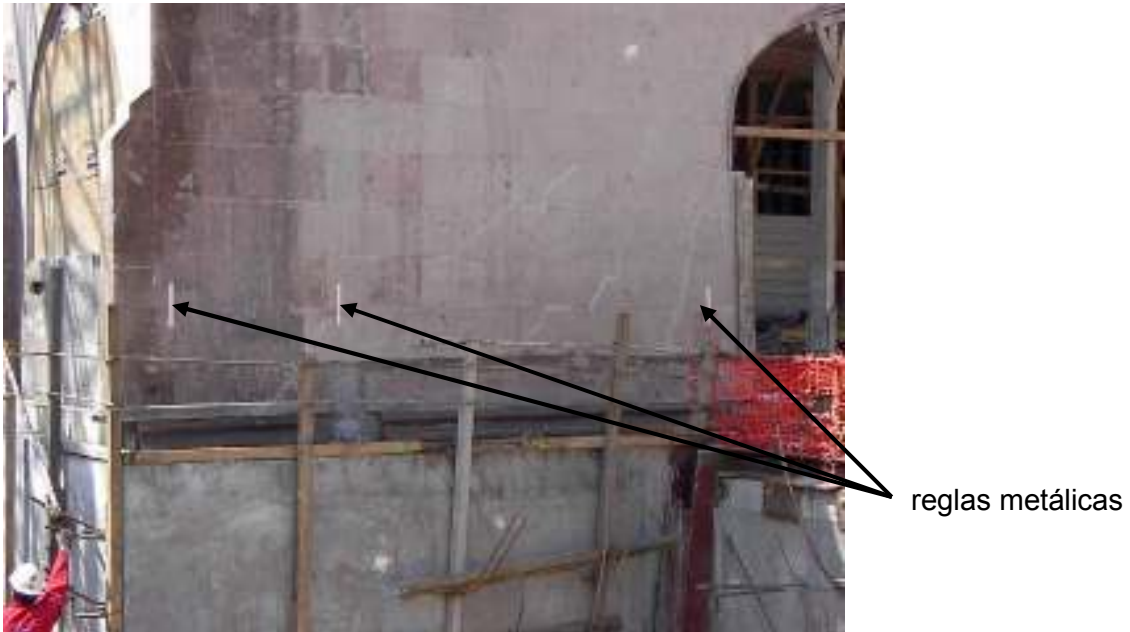


Figura 58. Reglas metálicas colocadas perimetralmente.

#### **4.4. Actividades previas.**

##### Retiro de apoyos temporales.

Antes de proceder con el movimiento de la casa, se procedió al retiro de los apoyos temporales que sirvieron, durante dos meses, para transmitir al suelo parte del peso de aquella (Fig. 59).



Figura 59. Retiro de apoyos temporales.

##### Apuntalamiento y placas en fachada.

Para conservar la fachada lo mejor posible, se decidió apuntalar aquellas áreas más susceptibles a sufrir algún daño y además, en otras zonas, se colocaron placas metálicas para controlar posibles agrietamientos (Fig. 60 y 61).



Figura 60. Apuntalamiento en fachada sur.



Figura 61. Placas y elementos metálicos para rigidizar fachada.



#### **4.5. Movimiento de regreso de la casa.**

##### Coordinación.

El movimiento de regreso se efectuó el 18 de abril de 2010, utilizando el mismo proceso implementado en el movimiento inicial.

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

La coordinación adecuada condujo a obtener resultados exitosos hasta regresar la casa a su posición original.

##### Inspección.

Se hizo una inspección de la estructura bajo la casa con el fin de verificar que no existieran obstáculos durante su movimiento (Fig. 62). Así mismo, se verificó que los apoyos metálicos para apoyar la casa estuviesen listos para recibirla (Fig. 63).



Figura 62. Inspección previa bajo la casa antes de su movimiento.



Figura 63a. Apoyos metálicos, al fondo se observa el muro Milán terminado.



Figura 63b. Terreno listo para regresar la casa a su posición original.



Figura 63c. Apoyos metálicos perfectamente alineados y listos para recibir la estructura.

Concluida la inspección, se dio la indicación de desalojar el área para iniciar el movimiento de la casa (Fig. 64).



Figura 64. Desalojo del área para iniciar el movimiento de la casa.

Avance.

La empresa Ale Heavylift fue la encargada de regresar la casa a su posición original. La operación duró aproximadamente 7 h. Se desplazó 30 cm en promedio cada 7 minutos (Fig. 65).



Figura 65. Personal de Ale Heavylift, con overol rojo, encargados de regresar la casa a su sitio original.

La figura 66, muestra la secuencia del movimiento de la casa tomando como referencia el borde derecho de la escalera.



Figura 66. Secuencia donde se aprecia el movimiento de la casa tomando de referencia uno de los bordes de la escalera.

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 descompensación de cargas por pequeñas variaciones en la nivelación del terreno.

Durante el avance se realizaron verificaciones topográficas cada 2-3 m, para revisar el comportamiento de la casa y el terreno (Fig. 67 y 68).

La figura 69, ilustra lo importante que fue la coordinación del personal técnico durante el movimiento de la casa.



Figura 67. Verificaciones topográficas periódicas durante el movimiento de la casa.



Figura 68. Cada 2 o 3 metros de avance se realizaron mediciones topográficas.



Figura 69. Coordinación del personal técnico durante el movimiento de la casa.



La figura 70 y 71, es otra toma del avance de la casa tomando como referencia el apoyo metálico.

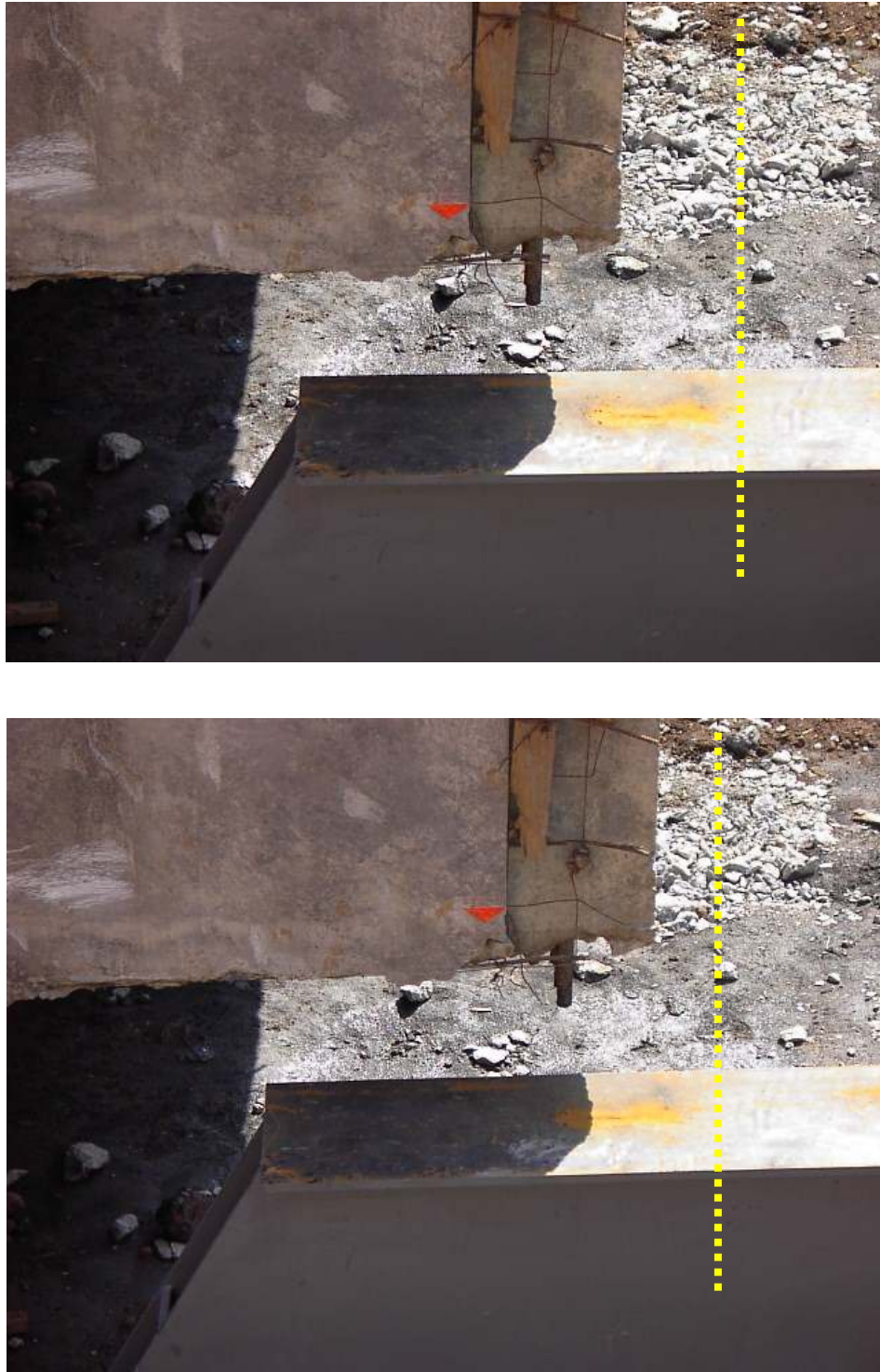


Figura 70. Se observa el avance de la casa tomando como referencia el apoyo metálico.



Figura 71. Muestra el avance de la casa tomando como referencia el apoyo metálico.

Posición final.

La figura 72, permite observar los metros faltantes para posicionar la casa en su sitio original, sobre Avenida Reforma.



Figura 72. Escasos metros para concluir el movimiento de regreso de la casa.

La figura 73 muestra las mediciones previas para alinear la casa sobre Avenida Reforma.



Figura 73. Mediciones previas para alinear la casa sobre Av. Reforma.

La figura 74 ilustra el alineamiento de la casa sobre Av. Reforma.



Figura 74. Alineamiento de la casa sobre Av. Reforma.

En la foto de la figura 75, tomada desde Av. Reforma, se observa la casa posicionada en su sitio original. Inclusive da la impresión que nunca se movió y que todo transcurre en un día normal como cualquier otro.



Figura 75. Nuevamente la casa esta posicionada sobre avenida Reforma.

En el caso de Torre Reforma la inversión es tan grande que justifica el costo de la maniobra para aprovechar el potencial del predio sin matar la historia. Para el equipo de LBR&A arquitectos: “Esta casa es el testigo de la época en que Paseo de la Reforma era una avenida residencial. En lugar de conservar un fachadismo decidimos pensar en ella como una unidad y aprovecharla en el proyecto”. Otra aportación de ésta magna obra es que entre la casa y el nuevo edificio se generará una plaza con lo que el desarrollo cederá un nuevo espacio público a la Ciudad de México.

#### **4.6. Supervisión de los trabajos.**

Las empresas y personas que intervinieron en el proyecto son:

Concepto Arquitectónico:

LBR&A

Arq. Benjamín Romano

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 Vázquez Martínez

Equipo especializado:

Ale – Heavylift

Mecánica de suelos:

TGC – Geotecnia

Muros Milán:

Cimesa

Gerencia de Construcción:

Bovis Lend & Lease

Director Responsable de Obra (DRO)

Ing. Federico Alcaraz Lozano

Durante las fases de movimiento de la casa, todos estuvieron presentes tomando la responsiva que a cada uno le compete. Es importante destacar que trabajos de Ingeniería como el descrito, implicó la participación de profesionistas expertos en su área trabajando de forma interdisciplinaria para un mismo fin “mover la casa”.

En las fotos de la figura 76 a 80, aparecen estos profesionistas.



Figura 76. Personal de LBR&A, al centro el Arquitecto Benjamín Romano, diseñador de Torre Reforma.



Figura 77. Dr. Roberto Meli Piralla, con lentes, Responsable estructural por parte del Instituto de Ingeniería de la UNAM.



Figura 78. Ing. Federico Alcaraz Lozano, con casco azul, el Director Responsable de Obra.



Figura 79. Dr. Rodolfo Valles Mattox, caminando de espalda, encargado del Diseño Estructural.



Figura 80. MI Ismael Vázquez Martínez, con casco naranja, encargado del Diseño Estructural.



#### 4.7. Cobertura.

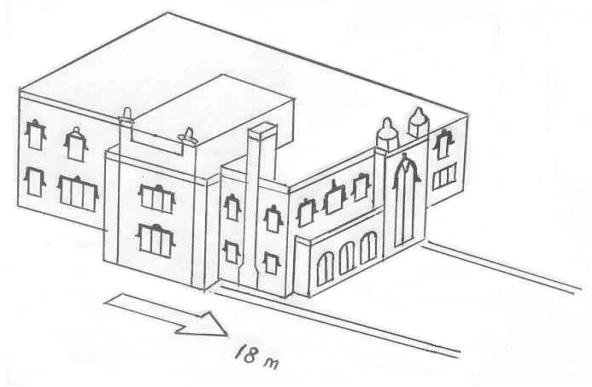
Como se comentó inicialmente, el movimiento de esta casa no fue el primer caso en México, pero si representó, para nuestra época, un reto moverla por lo frágil de la estructura, empleando tecnología de vanguardia, sin olvidar que se trató de una casa protegida por el INBA.

Durante las acciones coordinadas del movimiento de la casa, se contrató un estudio de video para filmar los detalles.

La figura 81 ilustra el personal encargado de esta actividad.



Figura 81. Filmación de video, desde diferentes ángulos, durante el movimiento de regreso de la casa.



# CONCLUSIONES GENERALES

# CONCLUSIONES GENERALES

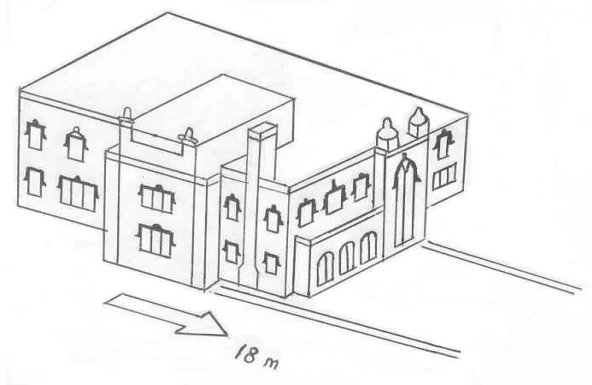
La posibilidad de mover estructuras catalogadas, es una alternativa que puede ser utilizada para casos similares en futuras ocasiones.

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

Esta maniobra, representa un parteaguas en la visión hacia el respeto del patrimonio y la evolución de la Ciudad de México.

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, estimado entre 1 y 2 millones de dólares, se compensó con el beneficio de un mejor aprovechamiento del predio que llevaba mucho tiempo desocupado. El predio, a pesar de su gran plusvalía, no interesaba a los inversionistas dada la presencia de la casa que no podía modificarse ni demolerse y que limitaba cualquier desarrollo inmobiliario.



# COMENTARIOS

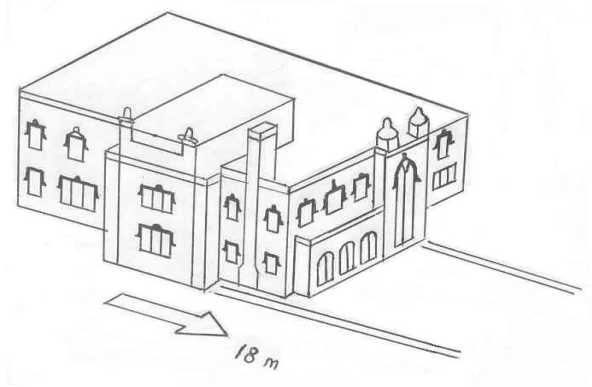
## COMENTARIOS

En un boletín de prensa se dio a conocer que este desplazamiento, único en México, fue avalado por las autoridades del Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA), la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) y la Delegación Cuauhtémoc, por ser una de las innovaciones tecnológicas más importantes que en materia de ingeniería y conservación patrimonial existen y una excelente solución para integrar edificios con valor histórico a los espacios más vanguardistas e innovadores de la ciudad.

Desde el punto de vista académico resulta de gran interés y provechoso conocer sobre un sistema constructivo poco usual y verlo aplicado a un proyecto real en Av. Reforma. Además, es la pauta para *plantear líneas de investigación* futuras con objeto de hacerlo perfectible.

Para la docencia, en aquellos cursos afines al área de construcción, será un elemento que puede ser compartido y discutido con los alumnos ampliamente.

En lo personal considero que el tema es atractivo, relevante y desde el punto de vista de ingeniería: *un reto a vencer*.



# BIBLIOGRAFÍA

**BIBLIOGRAFÍA**

ALE Heavylift (2009). "Procedimiento de ejecución para traslado de una casa de 2,500 t en México D.F." Informe No. Hex-01-PTO.

CNN Expansión (2010). "Movimiento crucial en la Torre Reforma", Junio de 2010.

Fondo Hexa (2010). "Información general del proyecto".

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2010). "Y sin embargo...se movió", IMCYC, Construcción y tecnología, Junio de 2010.

XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. "Desplazamiento horizontal de una casona catalogada en la Ciudad de México", Acapulco, Gro, noviembre de 2010.

Crespo C.C. (2010). "Mecánica de suelos y cimentaciones", Sexta Edición, México D.F., Editorial Limusa.

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.

<http://www.torrereforma.com>

<http://www.cnnexpansion.com/obras/2010/04/20/torre-reforma-casona-el-divino-obras>

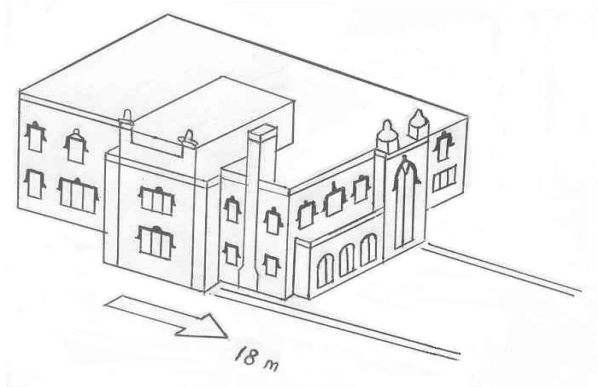
Visitas diversas a la obra. Av. Reforma 483 y Río Elba. Delegación Cuauhtémoc. México D.F.

Guinness World Record (2010) "Heaviest building moved intact",

<http://www.guinnessworldrecords.com>

[http://www.citytunnelleipzig.de/Portikusverschiebung2006\\_36.html](http://www.citytunnelleipzig.de/Portikusverschiebung2006_36.html)

<http://www.ecuadorciencia.org/videos.asp>



**ANEXOS**



**ANEXOS**

## PLANOS DE LA CASA

PLANO	DESCRIPCIÓN
ET-01	Localización de detalle Eje C3'.
E-11D	Armado en muro MC-A.
E-11H	Detalles 2 de 4
E-11A	Despiece de placa en muro MC-A.
E-12	Refuerzo en muros de mampostería.
E-02	Armado de nervaduras 1/3.
E-01A	Planta localización de cleopatras.
E-00A	Fases de movimiento de casa 1/2.
E-39	Planta localización de presfuerzo.