

Subexcavación y renivelación de un edificio de oficinas en la zona norte del Valle de México

René CONTRERAS^{a,1}, Julio C. HERNÁNDEZ^a y Mario TRIGO^b

^a *Jefe de Proyectos, TGC Geotecnia S.A de C.V, Ciudad de México*

^b *Gerente General, TGC Geotecnia, S.A de C.V, Ciudad de México*

Resumen. El edificio de oficinas es una estructura de concreto construida en 1971, con dimensiones de 40 x 36 m en planta, cuenta con un semisótano, tres niveles y azotea. Su cimentación está compuesta por zapatas y trabes que a su vez están apoyadas en 90 pilotes circulares de concreto de 50 cm de diámetro apoyados a 25.0 m de profundidad en promedio. El edificio al paso de los años sufrió un desplome de 88.3 cm (1.64 %) hacia el sur oriente, valor que afectaba su funcionalidad; para corregir la deformación diferencial que tenía fue subexcavado y para llevar a cabo la maniobra los pilotes fueron transformados en pilotes de control con un sistema de transmisión de carga en la cabeza que sirve para regular los asentamientos diferenciales.

Palabras Clave. Subexcavación, pilotes de control, marco de reacción, hundimiento regional, asentamientos, desplomos, curvas de nivel.

1. Introducción

En las zonas de transición abrupta, donde entran en contacto los suelos lacustres del Valle de México con los domos volcánicos que los confinan, se desarrolla un gradual y continuo hundimiento diferencial con la consecuente aparición de fisuras en la superficie, Figura 1 [1]. Éste fenómeno está íntimamente relacionado con el proceso de consolidación de los suelos blandos, a su vez incrementado por la explotación de los mantos acuíferos.

Al producirse el hundimiento regional, hacia las fronteras de la zona lacustre se manifiestan grietas de tensión, las que por lo común siguen trayectorias semejantes a las curvas de nivel topográfico o bien, a los contornos de las formaciones arcillosas. Las lluvias favorecen su aparición, pero pueden presentarse sin su participación. En ocasiones se manifiestan periódicamente en la misma zona, con cambios de posición subsiguientes hacia el centro de la zona lacustre.

En el futuro previsible, en las zonas de transición abrupta los daños en la infraestructura urbana continuarán creciendo y las afectaciones en viviendas y edificaciones de todo tipo seguirán acumulándose, hasta convertirse en las zonas más conflictivas de la Cuenca de México. En este trabajo se presenta de manera general el

¹ René Contreras, TGC Geotecnia S.A. de C.V., Adolfo Prieto No. 1238 Piso 1, Col. Del Valle, Ciudad de México, México; E-mail: rcontreras@tgc.com.mx.

procedimiento empleado para renivelar un edificio de oficinas construido en 1971 en esa zona y que desde 1992 comenzó a inclinarse hacia una de sus esquinas.

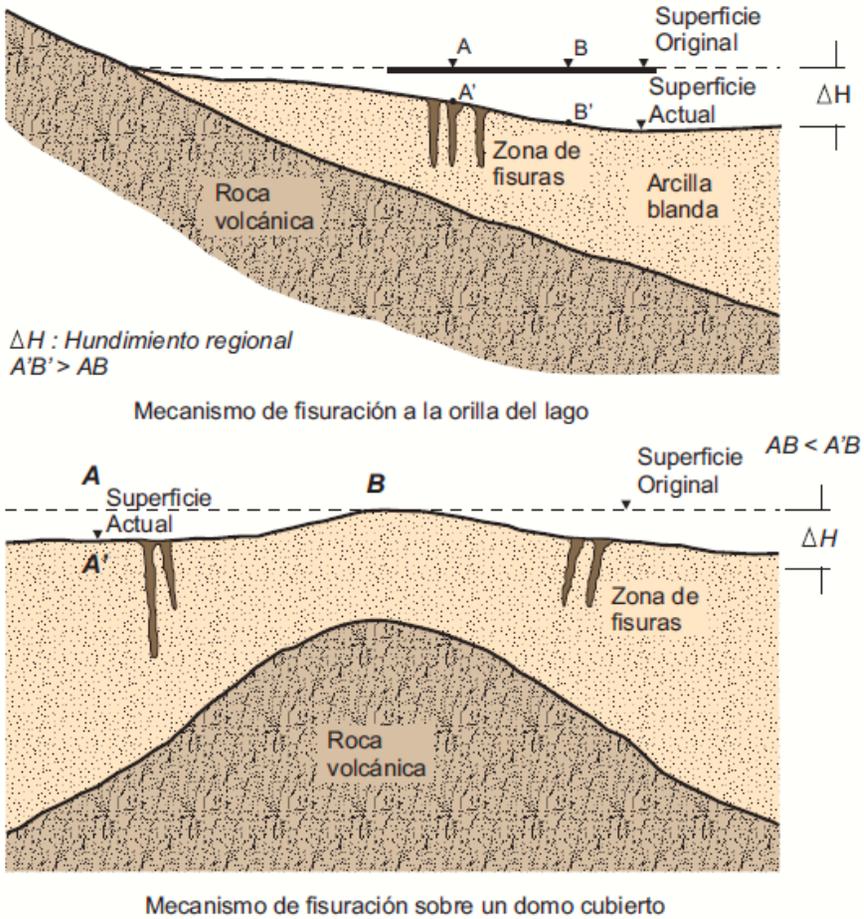
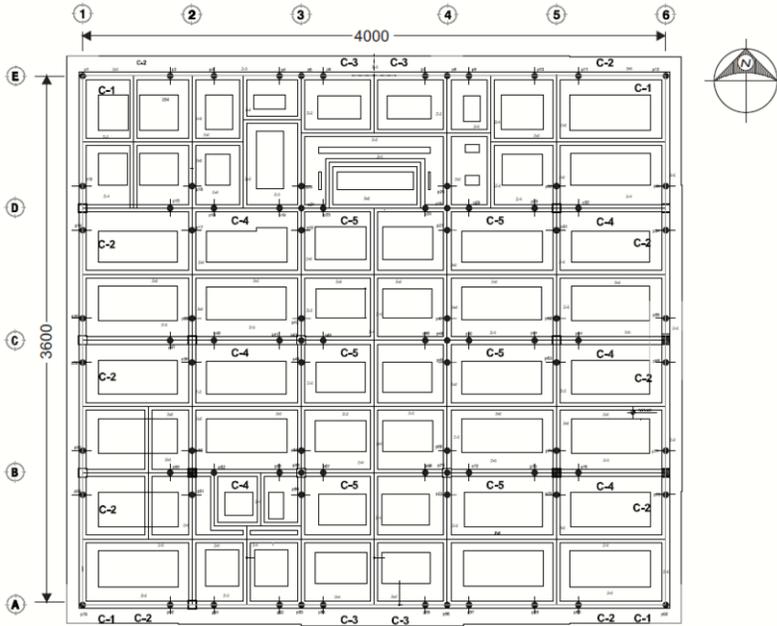


Figura 1. Condiciones de frontera que generan grietas.

2. Ubicación y características de la estructura

El edificio en estudio se encuentra al nor poniente del Valle de México en una zona que sufre asentamientos del orden de 10 a 26 cm/año [2]. Es una estructura de concreto de 40 x 36 m en planta, un semisótano, tres niveles y azotea. La cimentación está compuesta por zapatas corridas en ambas direcciones con anchos de 1.65 a 3.0 m, desplantadas a 2 m de profundidad que están apoyadas en 90 pilotes tipo mega (segmentados) de 50 cm de diámetro desplantados a 25 m de profundidad, Figura 2. A partir del año 1992 la estructura comenzó a inclinarse hacia su esquina surorientada hasta mostrar un asentamiento total acumulado de 88 cm respecto de la esquina norponiente, Figura 3.



Planta de la cimentación (zapatas corridas apoyadas en 90 pilotes)

Figura 2. Planta de la cimentación (zapatas corridas apoyadas en 90 pilotes).

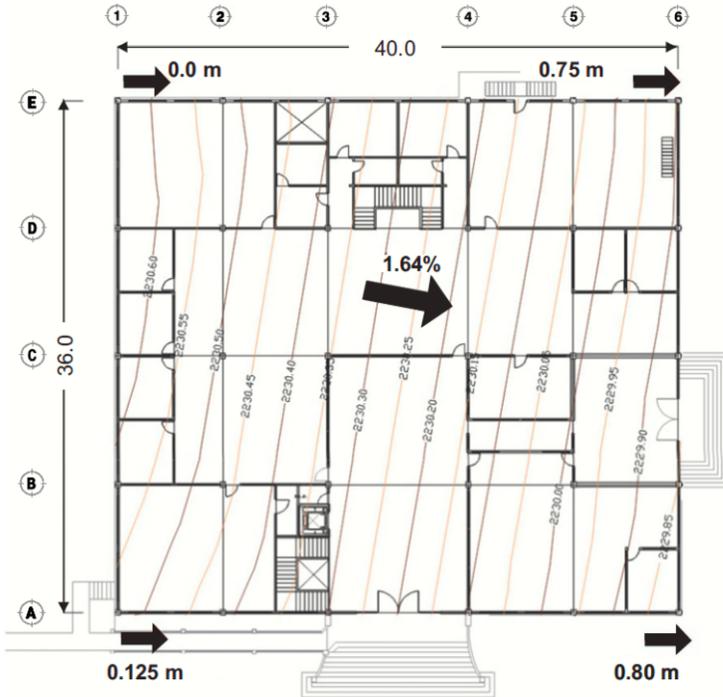


Figura 3. Desplomo de la estructura y curvas de nivel de la planta baja.

3. Condiciones geotécnicas del sitio

En la Figura 4 se presentan las condiciones estratigráficas del sitio, que de manera general se resumen en: *rellenos* hasta los 2.0 m (arcillas arenosas SC), *serie arcillosa superior SAS* de 2.0 m hasta 25.0 m (arcilla lacustre CH), *capa dura CD* de 25.0 m a 28.0 m (arenas limosas SM), *serie arcillosa inferior SAI* de 28.0 m a 37.0 m (arcillas de alta plasticidad de origen lacustre, con algunas intercalaciones de limos, arenas, cenizas y vidrios volcánicos), *depósitos profundos DP* de 37.0 a 49.0 m (depósitos fluviolacustres de alta compacidad y baja compresibilidad) y *serie arcillosa profunda SAP* a partir de los 49.0 m (serie de arcillas y limos con intercalaciones de arena pumítica, vidrio y ceniza volcánica).

En el interior del predio se instaló una estación piezométrica denominada EP-1 compuesta por un tubo de observación del nivel freático (TO) y cinco puntas piezométricas de tipo abierto a diferentes profundidades. El nivel freático se encontró a 8.97 m. Se llevó a cabo también un sondeo con piezocono en la esquina nor poniente del edificio donde se midió la presión del agua en siete diferentes profundidades. En la Tabla 1 se presentan las lecturas con las que se determinaron las condiciones de presión del agua del subsuelo así como sus respectivas pérdidas de presión de poro respecto de la hidrostática teórica; u es la presión hidrostática teórica en el sitio, u_0 es la presión de poro medida en la EP - 1, Δu es la pérdida de presión de poro respecto de la presión hidrostática ($U-U_0$).

Tabla 1. Presiones de poro medidas en la estación piezométrica EP-1.

Prof. (m)	Lectura (m)	u (t/m ²)	u_0 (t/m ²)	Δu (t/m ²)
14.10	13.25	5.13	0.85	4.28
24.70	17.36	15.73	7.34	8.39
35.20	22.61	26.23	12.59	13.64
49.25	31.08	40.28	18.17	22.11
62.10	37.70	53.13	24.40	28.73

En la Tabla 2 se presentan las propiedades mecánicas del suelo determinadas en prueba triaxial UU procedentes de dos sondeos de muestreo selectivo SMS.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los suelos.

Sondeo	Prof. (m)	c (t/m ²)	ϕ (°)	γ (t/m ³)	e_i
SMS-1	5.93	4.0	0	1.152	7.01
	11.5	4.0	0	1.224	5.10
	17.5	5.2	0	1.172	6.83
	23.2	10.5	0	1.178	6.34
	33.4	16.0	0	1.374	2.53
	50.1	20.8	0	1.270	3.14
SMS-2	6.10	2.0	0	1.193	6.36
	7.30	2.1	0	1.163	7.25
	12.3	5.0	0	1.224	4.72
	23.6	8.8	0	1.156	6.26
	33.4	9.6	0	1.316	3.27

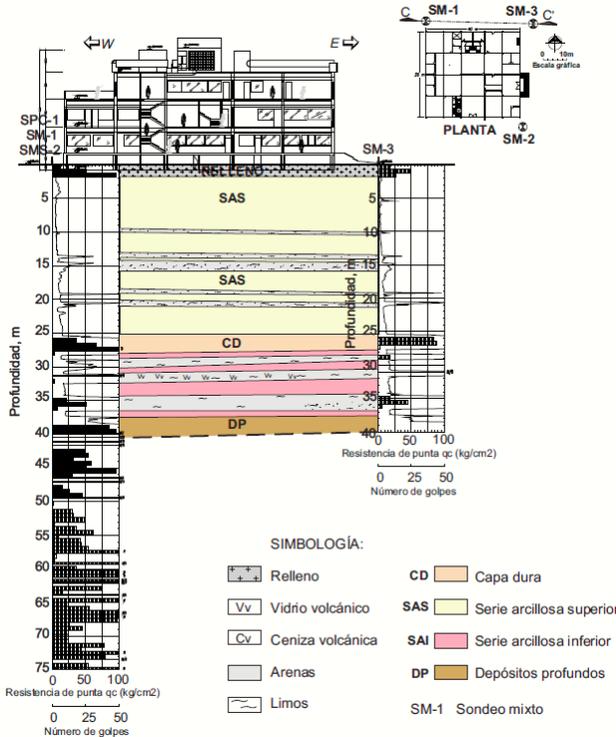


Figura 4. Condiciones estratigráficas del sitio.

4. Condiciones de la estructura

El edificio se construyó en 1971 y en 1992 se empezaron a notar desniveles importantes hacia las esquinas del sur, siendo la esquina sureste la que se hunde con más velocidad. Fue hasta el año de 2002 cuando se empezaron a tomar desniveles en las cuatro esquinas en diferentes fechas obteniéndose los valores de asentamientos totales y su respectiva velocidad de hundimiento. En la Tabla 3 se presentan los valores para la esquina sureste tomados hasta el 2006.

Tabla 3. Asentamientos medidos en la esquina sureste.

Fecha	Días transcurridos	Asentamientos diferenciales (cm)	Vel. de asentamiento (cm/año)
5 Oct 02	0	60	
4 Junio 05	973	64.5	1.7
21 Ene 06	1204	68	5.5
30 Oct 06	1486	70	2.6

Al deformarse los edificios por causas diversas, se modifican sus condiciones de trabajo y se les generan grietas; cuando la deformación se incrementa pueden hasta inclinarse y quedar desplomados. De acuerdo con la Tabla 4 se puede establecer un criterio para calificar los desplomos.

Tabla 4. Criterios para juzgar desplomos o inclinaciones en los edificios.

Inclinación en por ciento	Desplomo en 10 m de altura	Comentario estructural y reacción de las personas que habitan edificios inclinados
Mayor de 1.5 %	Más de 15 cm	Grave riesgo para las personas y la estructura
1.5 %	15 cm	Inadmisible, profundamente incómodo para las personas
1.0 %	10 cm	Límite admisible y molesto para las personas
0.75%	7.5 cm	Admisible pero empieza a ser incómodo a las personas
0.5%	5 cm	Tolerable, lo advierten las personas
Menor de 0.5%	Menos de 5 cm	Sin importancia, desapercibido para muchas personas

Tomando los valores de los desniveles medidos en mayo de 2010 se tiene una inclinación de 1.64 %, que de acuerdo con la Tabla 4 estaría en grave riesgo para las personas y la estructura.

5. Procedimiento de subexcavación

El procedimiento que se siguió para la nivelación del edificio fue el siguiente:

Construcción de celdas. Para convertir los pilotes originales en pilotes de control se construyeron 5 tipos de celdas denominadas C – 1 a C – 5 a 3.5 m de profundidad a partir del sótano, Figuras 5 y 6; en total se construyeron 30 celdas para un total de 90 pilotes.

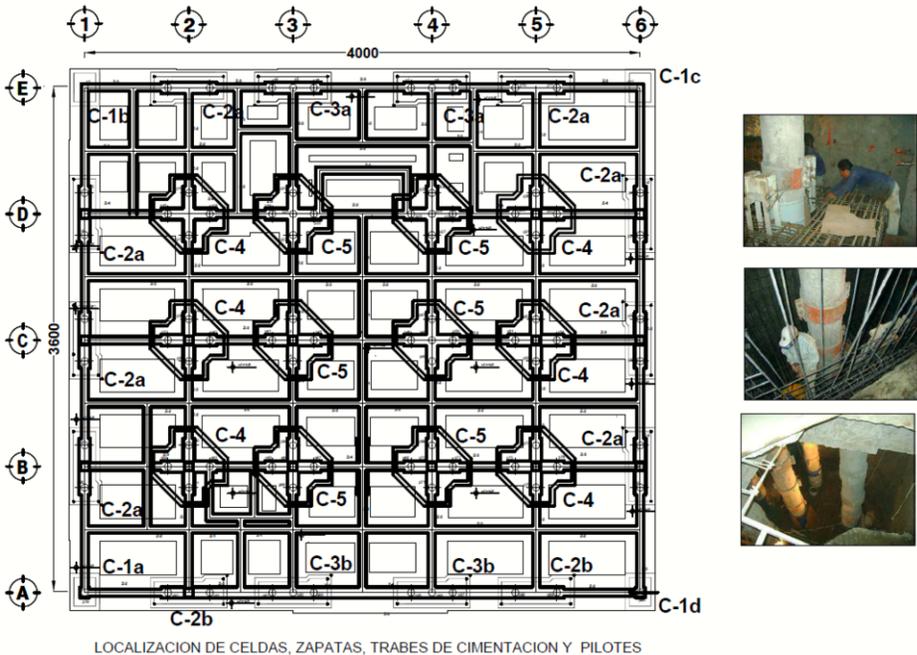


Figura 5. Planta de localización de celdas.

Construcción de lumbreras de subexcavación. A partir del nivel del sótano se construyeron 12 lumbreras de subexcavación (L-1 a L-12, Figuras 7 y 8) con un diámetro exterior de 3.16 m, 7.0 m de profundidad y cada una con 19 ventanas de subexcavación de forma rectangular de 30 cm de ancho por 10 cm de altura. Como se aprecia en la Figura 8, en esta etapa a los pilotes originales ya se les colocó el sistema de control en la cabeza. Las ventanas de subexcavación sirvieron para introducir un Hidrotopo con el cual se llevó a cabo la subexcavación, Figura 9.

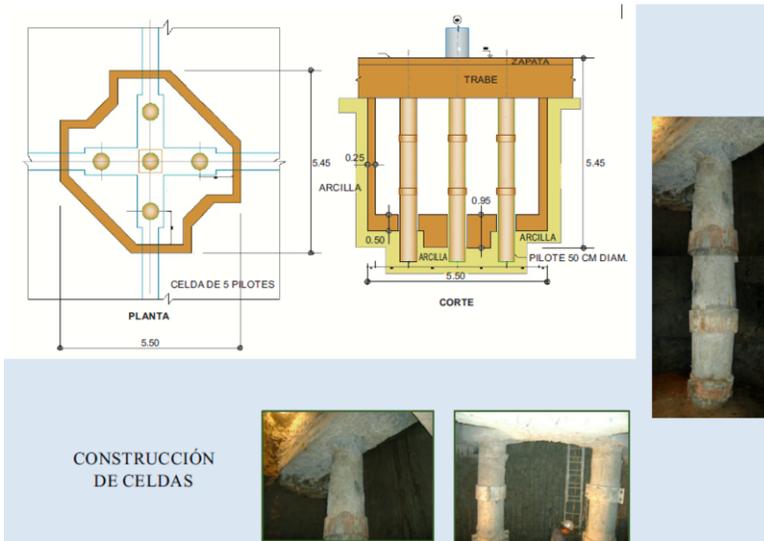


Figura 6. Construcción de celdas para los pilotes.

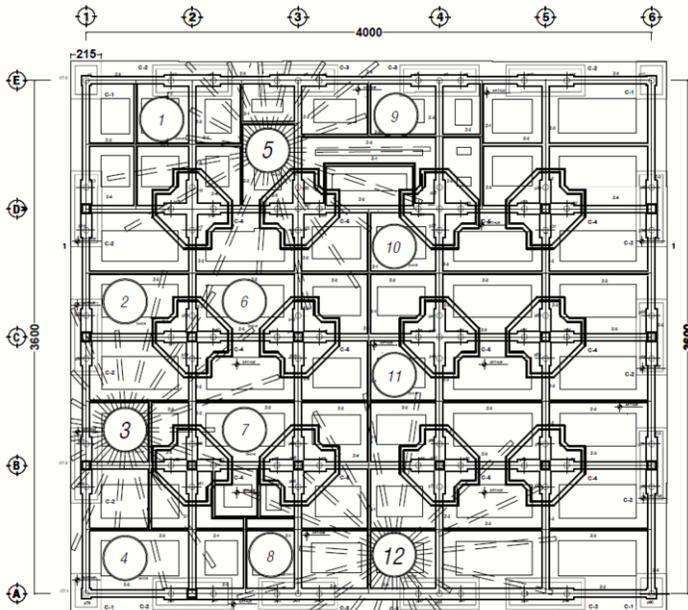


Figura 7. Lumbreras de subexcavación.

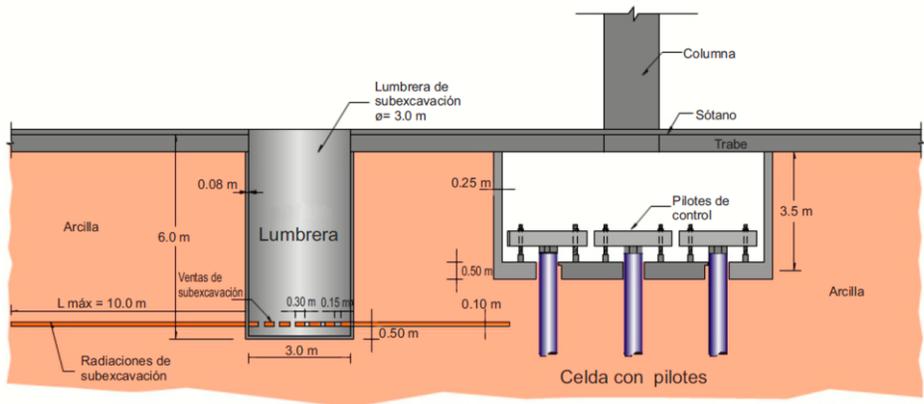


Figura 8. Lumbreras de subexcavación y celdas para pilotes de control.

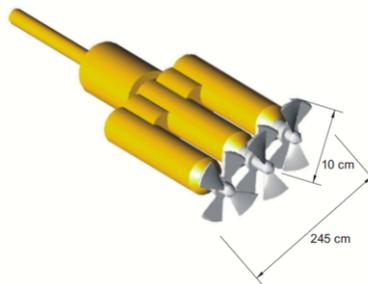


Figura 9. Hidrotopo para subexcavación.

Aflojado de los pilotes e inicio de la subexcavación. El ciclo de trabajo en cada una de las zonas consistió en llevar a cabo primero, el aflojamiento de todos los pilotes de las celdas involucradas e inmediatamente después, la subexcavación con Hidrotopo en cada una de las lumbreras que abarca cada zona. El aflojado consistió en provocar una separación entre la cabeza del pilote y el puente de reacción equivalente a una vuelta de las tuercas (5 mm). Inmediatamente después del aflojado de los pilotes se inició la subexcavación de manera simultánea en varias lumbreras mediante el equipo de Hidrotopo. Para cada lumbrera se calculó un volumen final teórico de subexcavación, así como el número necesario de pasadas con Hidrotopo para lograr ese volumen.

Control durante la Subexcavación. Para el monitoreo diario se usó un circuito con niveles de manguera y nivelaciones topográficas procesadas en secciones, con el fin de conocer de manera continua el proceso de subexcavación. Durante todo el proceso de subexcavación se fijó como desnivel máximo inducido por la subexcavación un valor no mayor a 10 cm. Este criterio rigió para controlar tanto el aflojado de pilotes como las pasadas de subexcavación necesarias en cada una de las lumbreras. Una vez terminada la subexcavación, se apretaron los pilotes para dejar el sistema funcionando como pilotes de control.

Bajo la secuencia descrita anteriormente se logró renivelar la estructura en un periodo comprendido entre el 31 de mayo y el 14 de diciembre de 2010, Figura 10. El desnivel entre la esquina más hundida y la más levantada quedó en 5 cm, que equivale

al 0.125 %, logrando recuperar la verticalidad del edificio, aprovechar los pilotes de control para futuros hundimientos y lograr un factor de seguridad estructural de 1.4 y de 2.5 para la cimentación.



Fig. 1 Configuración topográfica con nivel de manguera en sótano
Medición del 31 de mayo de 2010 (Inicial)



Fig. 2 Configuración topográfica con nivel de manguera en sótano
Medición del 14 de diciembre de 2010

Figura 10. Comparación entre las condiciones originales y las actuales de la estructura.

6. Comentarios

El término subexcavación fue acuñado para describir la primera etapa de los trabajos de Corrección Geométrica de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México que esencialmente consistieron en extraer ordenadamente pequeños volúmenes de suelo para inducir asentamientos que redujeran la deformación histórica acumulada en la estructura; es decir, se hizo hundir las partes altas para darle mayor uniformidad a la cimentación y por ende a la estructura.

Este mismo principio fue implementado en el edificio de oficinas que se describió anteriormente, complementado con pilotes de control concebidos originalmente por el Ing. Manuel González Flores a mediados del siglo pasado [3]. La subexcavación es por ahora la mejor alternativa para corregir las muchas estructuras de la Ciudad de México apoyadas sobre suelos muy blandos que están inclinadas a causa de: el hundimiento regional, magnitud y excentricidad de cargas, entre otros factores. En la mayoría de los casos la inclinación es consecuencia de una combinación de influencias nocivas que ha llevado a muchos edificios y viviendas a sufrir un proceso de inclinación gradual que les reduce paulatinamente la seguridad, causa incomodidad y angustia a sus moradores.

Referencias

- [1] Santoyo, E., et al, *Síntesis geotécnica de la cuenca del valle de México*, Ed. TGC Geotecnia S.A de C.V., México, 2005.
- [2] Gerencia de Aguas del Valle de México, *Curvas de igual hundimiento anual en cm (1985-1995)*, G.A.V.M México, 2000.
- [3] Santoyo, E. Alanís R, *Monografía sobre los pilotes de control, utilidad, mantenimiento y desatinos*, Publicación interna TGC Geotecnia S.A de C.V, México, 2016.