Monitoreo y rehabilitación de estructuras en concreto afectadas por asentamientos en Bogotá

Francisco Salazar F.
Salazar y Ferro

Mediante modelos teóricos es posible obtener cierto orden de magnitud de lo que serán los asentamientos elásticos que, por efectos de carga, presentará una edificación a corto plazo. Sin embargo, resulta muy complejo estimar la tasa de asentamientos que presentará por efectos de consolidación a largo plazo, más aún cuando la estructura está situada en una zona con un perfil geotécnico de arcillas blandas muy compresibles afectada por el fenómeno de subsidencia[1] por desecación progresiva, como es el caso de la sabana de Bogotá.

Aunque hay excepciones en que las medidas adoptadas no han tenido buenos resultados, es importante resaltar que las soluciones exitosas han sido fruto del trabajo integral de equipos profesionales de diversas empresas que se han formado en aspectos como la instrumentación, la definición del esquema básico de la intervención y su correspondiente ejecución.

Dependiendo del caso, las afectaciones en las estructuras pueden originarse por asentamientos totales, asentamientos diferenciales, o por combinación de ambos.

Desde el punto de vista geotécnico, estructural y aun funcional, lo ideal sería que los asentamientos totales permanecieran dentro del orden de magnitud previsto en los diseños. Todo esto depende, entre otros factores, del tipo de construcción. Si la construcción se asienta más a un costado que al otro, a la diferencia de asentamiento total se le denomina: asentamiento diferencial.

Los asentamientos totales muy superiores a lo previsto pueden causar problemas en los accesos de los edificios y en las acometidas de servicios públicos, entre otros. Los diferenciales singulares pueden ocasionar cambios de pendientes en desagües, afectar acabados y, dependiendo de su valor, comprometer la estabilidad misma de la estructura.

Foto 1. Edificio en Bogotá afectado por asentamientos diferenciales.
HERNÁN PIMENTEL

Frente al control de asentamientos totales, uno de los grandes problemas en Bogotá es la difícil disposición de referencias estables cercanas que permitan monitorear satisfactoriamente el régimen de asentamiento total de las estructuras, no solo durante su vida útil sino también durante la fase de construcción de los proyectos.

1: Conviene una urgente reflexión pluridisciplinaria en relación con la utilización del agua freática de la ciudad para cultivos de flores.

Subsidencia por desecación progresiva

El fenómeno de subsidencia de la Sabana se origina por la desecación progresiva e irreversible de las capas superiores de arcilla y resulta del efecto combinado de la extracción de agua en los acuíferos inferiores para cultivos de flores, de la menor infiltración de agua por expansión de la urbanización y de la menor recarga de los mantos arenosos por deforestación de los cerros circundantes.

Esta subsidencia se incrementa en determinados sitios de la ciudad por la existencia de vegetación de origen foráneo (eucaliptos, por ejemplo), y por la infiltración de agua hacia los sótanos de parqueo donde –en general, y salvo proyectos recientes especiales– el agua infiltrada no se devuelve al terreno como debe ser, sino que se conduce mediante bombas eyectoras al sistema de alcantarillado.

La subsidencia se ha vuelto tan crítica en ciertos sitios de la ciudad que ya no solo está alterando los estratos superiores y, por ende, las estructuras cimentadas superficialmente en estos estratos, sino que ya afecta estratos mucho más profundos a los edificios cimentados sobre estos mediante pilotes, por un efecto que se denomina fricción negativa, donde el suelo que se deseca se asienta y empuja hacia abajo los pilotes que están en contacto con él.

A pesar de la gravedad del fenómeno de subsidencia por el impacto sobre la urbanización, hay muy pocos sitios de la ciudad sobre los cuales se dispone de información precisa, como en el sector del piedemonte, en el cual las tuberías de red matriz provenientes de Chingaza pasan de estar apoyadas en estratos muy competentes de areniscas y arcillolitas a estar apoyadas en la formación lacustre.

Asentamientos diferenciales

Salvo para proyectos especiales donde se han instalado referencias altimétricas (o BM`s) ancladas a gran profundidad, en general los registros de los controles topográficos infortunadamente no corresponden a asentamientos totales ni a asentamientos diferenciales. Se trata, simplemente, de incrementos relativos de asentamientos respecto a una fecha inicial en que se instalan una serie de niveletas en determinadas columnas y muros. Con frecuencia, las niveletas son insuficientes en número y grado de exhaustividad, o todas están situadas a una misma cota, independientemente de que la construcción haya padecido o no asentamientos anteriores a esa fecha de referencia.

Los incrementos en asentamientos relativos también pueden obedecer a que las referencias externas, como las placas del Instituto Geográfico, también se han visto afectadas por el fenómeno de subsidencia por desecación.

Todo lo anterior explica la razón por la que, de no tenerse en cuenta estas consideraciones, los registros topográficos de asentamientos pueden llevar a falsas conclusiones como que las estructuras se levantan en vez de asentarse lo cual, en general, no es cierto. El levantamiento de edificaciones es excepcional, pero efectivamente ha ocurrido en Bogotá en edificios de parqueaderos sin superestructura, en los cuales el peso de la estructura resulta despreciable frente al peso de la tierra excavada.

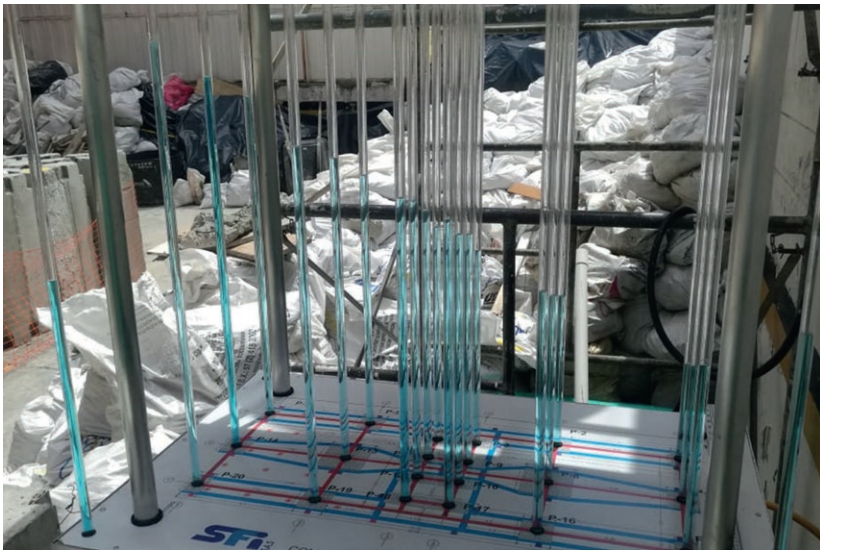
Es por estas razones que en perfiles geotécnicos como el de la sabana de Bogotá, para estructuras afectadas por asentamientos –en particular si son antiguas– solo es posible establecer con el mismo pobre nivel de precisión durante la construcción, el régimen de asentamientos diferenciales obtenidos por simple resta aritmética y que, por tanto, resultan independientes de la referencia.

Conviene insistir en la importancia de conocer el estado de los asentamientos de la edificación, pero también en establecer las variaciones que han tenido estos asentamientos en el tiempo y en todas las direcciones. No siempre se logra en corto tiempo porque, además, las tendencias pueden cambiar con los años, dependiendo de eventualidades externas como, por ejemplo, una excavación profunda cercana.

Que un edificio se asiente con el paso del tiempo de manera diferencial no necesariamente significa que exista una afectación estructural. De hecho, muchos edificios construidos en Bogotá se han asentado siguiendo la conformación de un simple plano inclinado, sin deformación interna alguna de la estructura. En casos más complejos, la estructura no solo se ha inclinado, sino que se ha deformado internamente. Dependiendo de su magnitud, la deformación puede llegar a comprometer la estabilidad de la estructura.

Muchas construcciones afectadas por asentamientos diferenciales en la ciudad son anteriores a la Norma Sismo Resistente NSR-10 y no se les puede aplicar lo estipulado, que consiste en limitar las derivas de las estructuras para evitar daños mayores en los acabados. Sin embargo, los topes permitidos en términos de distorsión angular (numeral H.4.9.3 de la Norma) pueden

Foto 2. Medición de asentamientos diferenciales con niveles hidráulicos.
FRANCISCO SALAZAR



resultar de cierta utilidad para calificar los grados de inclinación y deformación interna de la estructura y, por ende, la decisión sobre la conveniencia o no de efectuar determinada intervención.

Aunque hay casos de edificios que no cuentan con plataforma y se han inclinado, también existen muchos ejemplos de edificios afectados por asentamientos diferenciales en que la estructura está compuesta por una torre de varios pisos y una plataforma circundante de menor altura y, por lo tanto, de menor peso y con una estructura de cimentación diferente a la de la torre. En lo correspondiente a edificios anteriores a los años 90, la torre cimentada superficialmente[2] ha tendido a asentarse en el largo plazo con una tasa mayor que la correspondiente a su plataforma aledaña, mucho más liviana. Por el contrario, para edificios de los años 90 y posteriores cimentados sobre pilotes de concreto reforzado que trabajan por fricción[3], la plataforma, por lo general cimentada superficialmente, a pesar de su baja carga tiende a asentarse a mayor tasa que la torre. En ambos casos, los asentamientos diferenciales que suceden entre torre y plataforma pueden acarrear problemas no solo a nivel de acabados sino también de estructura cuando existe, además, continuidad estructural entre la torre y la plataforma.

Sin embargo, el problema de edificios afectados por asentamientos no solo se presenta en la zona lacustre de arcillas blandas en Bogotá o en edificios de cierta edad; se han presentado también en edificios en construcción con más de 18 pisos localizados en zonas de piedemonte, apoyados sobre pilotes que trabajan en parte por punta apoyada en areniscas y arcillolitas que subyacen bajo la formación lacustre.

El presente artículo se refiere al caso de Bogotá, aunque esto no significa que se trate de una misma tipología frente a los asentamientos y tipos de cimentaciones y, menos aún, que cualquiera de las metodologías de solución ilustradas más adelante sea aplicable indistintamente a cualquier estructura afectada por asentamientos en la ciudad.

Casos de estudio

Un CAI

Comenzaremos por un caso elemental reciente, la inclinación de una construcción muy pequeña y de una sola planta. Se trata de un CAI (Comando de Acción Inmediata de la Policía), localizado en un parque que se ladeó singularmente; cuyo ejemplo puede ayudar a evitar la confusión usual que existe entre lo que es un problema de capacidad portante y un problema de asentamiento.

Por malas que sean las características mecánicas del suelo en el sitio, el área de la losa de cimentación y la carga de la estructura son tales que, de manera muy sencilla, se comprueba que no existe problema alguno de capacidad portante. Entonces, si no hay problema de capacidad portante, ¿por qué se inclinó el CAI? Una respuesta inicial podría ser que el CAI fuera más pesado del lado que más se asentó, es decir, que el centro de gravedad de la estructura no coincidiera con el centroide del área de cimentación.

Conviene subrayar que esa excentricidad que resulta cuando una edificación pesa más de un lado que del otro es la causante de la inclinación de un sinnúmero de casos en la ciudad, empezando por los edificios en serie de la calle 80 en los que, por razones arquitectónicas (numerosos muros divisorios en el costado de alcobas y servicios, frente a los que quedaron en el costado del área social), se ha generado una inclinación progresiva a lo largo de todos estos años, que ya se tornó crítica.

En términos de solución de problemas, cuando una edificación se inclina porque pesa más de un lado que de otro, la verticalidad se puede restablecer colocando suficiente contrapeso del lado menos asentado y/o implementando tensores verticales descendentes en este mismo costado. Ambos procedimientos se aplican en intervenciones efectuadas en la ciudad, como se muestra más adelante.

Si bien las cimentaciones superficiales son cada vez menos frecuentes en Bogotá en razón a su vulnerabilidad frente a asentamientos, al optar por esta cimentación para

Foto 3. CAI de Policía en Bogotá.
WIKIPEDIA

un nuevo edificio es necesario verificar previamente que no exista excentricidad de ningún tipo en la estructura, lo que puede ser tema de discusión entre el ingeniero y el arquitecto.

Una plataforma dispuesta solo a un costado de una torre y vinculada a ella estructuralmente puede hacerla inclinar, aunque las cargas de la torre estén centradas respecto a su área de cimentación. Esto también puede presentarse en el caso de torres piloteadas, como sucedió en un conjunto de edificios de singular altura localizados alrededor de una plataforma central vinculada estructuralmente a las torres, donde una de las soluciones adoptadas consistió en generar una plataforma "flotadora" del costado opuesto a la plataforma central.

Igualmente, un espesor singular de recebo compactado dispuesto bajo un edificio, pero extendido solo en uno de sus costados (una técnica de cimentación muy utilizada en la ciudad en los años 80), puede hacer que el edificio se incline hacia el costado opuesto, aunque el centro de cargas del edificio coincida bastante bien con el centroide del área de cimentación.

En el caso del CAI, la construcción se inclinó en una dirección en la cual había simetría perfecta de la estructura, por lo cual quedaba descartado cualquier argumento relacionado con la excentricidad. En este ejemplo simple conviene aclarar que existe una confusión muy frecuente relacionada con el tema, y es el hecho de que la inclinación se produce únicamente porque uno de los lados de la construcción se asienta y el otro no. En construcciones cimentadas superficialmente sobre perfiles geotécnicos como este, ningún costado de la edificación conserva su nivel. En tales casos, un costado se asienta más que el otro, lo que resulta bastante útil en términos de solución del problema, pues si por algún procedimiento se logra reducir la tasa de asentamiento del costado más asentado a una tasa inferior a la correspondiente al costado menos asentado, la construcción necesariamente tenderá a enderezarse con el tiempo.

Lo anterior resume la metodología aplicada en gran cantidad de intervenciones, pero que no resultaba viable en el caso del CAI, debido a que la inclinación

2: Estas cimentaciones incluían a veces pilotes de madera destinados a reducir asentamientos, que en muchos casos se han descompuesto por el cambio de humedad de la zona producto de la subsidencia.
3: Los pilotes de fricción, muy comunes hoy en día, solo se utilizaron en Bogotá después de haberse comprobado su efectividad en los puentes de la ciudad construidos por firmas foráneas a principios de los años 80.

era demasiado notoria e incómoda y urgía una pronta solución para el servicio de policía de la zona.

Muchas intervenciones ejecutadas en edificios cimentados superficialmente en Bogotá han consistido en trasladar las cargas de las zonas más asentadas a estratos más profundos mediante micropilotes hincados o preexcavados de tal manera que se reduzca la tasa de asentamiento en este costado y que, en determinado tiempo, el otro costado se asiente por combinación de gravedad y subsidencia.

Infortunadamente, en cuanto al plazo necesario para que una estructura recupere su verticalidad por simple gravedad y subsidencia, es necesario indicar que una vez piloteada la zona más asentada, se debe esperar cierto tiempo a que se dé un asentamiento adicional de este costado, ya de por sí bastante asentado, de manera que se produzca el acortamiento elástico de los pilotes para que comiencen a trabajar en toda su longitud.

También conviene indicar que, con el tiempo y en algunos casos, los asentamientos han tendido a tornarse asintóticos en el costado inicialmente más asentado, pero sin mayor recuperación de la verticalidad. Por el contrario, en otros casos las construcciones han recuperado su verticalidad en el mediano plazo, obligando a proceder con una segunda fase de pilotaje correspondiente al costado que en un principio se encontraba más asentado, todo lo cual se convierte, paradójicamente, en problema mayor en el caso de copropiedades que ante la dificultad para recaudar el dinero correspondiente a esta segunda intervención, ven que el valor comercial de sus predios se deteriora cada vez más por cuestiones relacionadas con asentamientos hacia el costado opuesto, tal como sucedió con el edificio en la calle 100, al occidente de la carrera 9. En la actualidad el edificio está inclinado hacia el occidente, pero en un principio, y a causa de la excavación profunda que se ejecutó por el oriente, se inclinó hacia ese costado. Por esta razón se colocaron pilotes al costado oriental que permitieron que el edificio recuperara su verticalidad, pero posteriormente contribuyeron al asentamiento singular hacia el costado occidental que se observa en la actualidad, lo que obligó a ordenar la demolición por daños en las columnas. Todo esto se habría podido evitar de haberse ejecutado a tiempo una segunda fase de pilotaje en el costado inicialmente más asentado.

Retomando de nuevo el caso ilustrativo del CAI, la explicación más probable de su inclinación puede ser la presencia cercana de grandes árboles que desecaron el suelo bajo la construcción en este costado, aunque también pudo haber influido, aunque en menor proporción, la proximidad de un canal de aguas lluvias cuyas paredes en concreto pueden tener cierta permeabilidad que facilita un drenaje asimétrico del suelo bajo el CAI hacia este costado. Algo similar sucedió con un edificio cimentado superficialmente, cuya verticalidad tuvo que ser corregida al presentar asentamientos diferenciales singulares por cuenta del drenaje asimétrico causado a través del parqueadero subterráneo del mismo proyecto colindante por el costado del edificio hacia el cual se inclinó.

Varias construcciones cimentadas superficialmente en cercanía a estos canales de la ciudad presentan asentamientos diferenciales de consideración debidos, en algunos casos, al agua que se pierde a través de la pared del canal, y en otros, a la estrangulación de la sección transversal de los canales a causa de los suelos blandos. No olvidemos que un canal está constituido por dos taludes bastante pronunciados y de precarias condiciones de estabilidad.

En cuanto a la solución de problemas de asentamiento, si una construcción se inclina a causa de drenajes asimétricos y/o por desconfinamiento lateral del suelo y se pretende corregir su verticalidad, se puede generar la inclinación hacia el costado opuesto cavando una zanja profunda a ese costado que induzca el drenaje asimétrico y el desconfinamiento lateral del suelo bajo la construcción. Este procedimiento es de aplicación común en varias intervenciones en Bogotá.

En cuanto a los árboles en el ejemplo del CAI: la poda o eliminación se descartó desde un principio por hallarse en un parque muy concurrido, pero siempre conviene sopesar el impacto ambiental con el daño a la edificación por cuenta de un árbol cercano, sobre todo cuando la afectación amenaza la estabilidad misma de la construcción.

Para cerrar el tema del CAI, la solución implementada consistió en reaccionar sobre la estructura misma, complementando con una sobrecarga consistente en módulos de pilotes para hincar por secciones con gato hasta una profundidad en la cual el efecto de fricción negativa por subsidencia fuera menor. Después de un tiempo prudencial, al tratarse de suelos cohesivos donde la carga de hinca resulta más o menos la mitad de lo que aguanta el pilote hincado y una vez disipado el aumento de presión de poros, entre otros efectos generados durante el proceso de hinca, se reacciona sobre los pilotes para re-nivelar la estructura con una serie de herrajes y gatos hidráulicos, monitoreando permanentemente todo el proceso con alta precisión para comprobar que las operaciones no causaran deformaciones internas de la estructura.

Edificio carrera 15 con Calle 80

El segundo caso ilustrativo que permite explicar algunas alternativas de solución, corresponde a un edificio que se inclinó en la carrera 15 con calle 80 durante un fin de semana en los años 70 debido a la excavación para construir el edificio vecino. Para detener la inclinación del edificio afectado y enderezarlo, se instaló una serie de palancas de gran dimensión que ocupaban todo el lote de la nueva construcción, apoyadas sobre pilotes muy cercanos al lindero, a fin de obtener el mayor brazo de palanca posible. Aunque el edificio no siguió inclinándose, nunca fue posible enderezarlo y ambas propiedades quedaron inutilizables por varios años hasta cuando un inversionista las adquirió, se propuso enderezar el edificio y aprovechar el lote vecino para ampliar la construcción.

La metodología empleada por el nuevo equipo de profesionales a cargo consistió en reducir significativamente el peso del edificio inclinado demoliendo muros y sobrepisos antes de aplicar carga con gatos hidráulicos de gran capacidad que reaccionaran sobre los pilotes existentes bajo las palancas. Todo esto suponía el retiro previo y cuidadoso de las palancas cuyo trabajo se desconocía, monitoreando permanentemente a través de un Comparador Hidrostático de Niveles instalado en el edificio inclinado, un sistema de instrumentación que ya se utilizaba con éxito en el descenso de cajones controlados y que permite registrar a escala y en tiempo real, de manera simultánea en tres dimensiones y en obra, los niveles relativos de todos los puntos de control que se desee. Una vez retiradas las palancas, cuyo efecto sobre el edificio inclinado resultó marginal, no fue posible levantar ese costado con los gatos hidráulicos, como se había previsto, a pesar de haber aplicado una carga total muy superior a la requerida. Es muy probable que el fracaso de esta nueva intervención haya obedecido a cierto efecto de de succión que se produce durante el contacto entre la cara inferior de la losa de cimentación y el suelo subyacente.

Para cumplir el compromiso de enderezar el edificio se definió un nuevo método inspirado en los cajones controlados que se venían hincando a principios de los años 80. El procedimiento consistió en debilitar la cimentación del costado menos asentado demoliendo las muy delgadas placas sobre y bajo los casetones de tal manera que el edificio quedara soportado en el costado menos asentado, únicamente sobre los nervios estructurales correspondientes a las vigas y viguetas entre casetones, bajo las cuales se realizó posteriormente una excavación diferencial de menor espesor, mientras que del lado más asentado, el edificio quedaba apoyado sobre la totalidad del área de cimentación. El edificio empezó a enderezarse, pero el ritmo de recuperación de la verticalidad resultó demasiado lento, obligando a implementar anclajes geotécnicos verticales profundos del costado menos asentado, similares a los utilizados para timonear el descenso de los cajones controlados. Con esto se logró que el edificio se asentara de este costado y recuperara su verticalidad en un tiempo prudencial.

Desde entonces esta metodología se ha vuelto a utilizar con éxito en Bogotá en varios casos de cimentaciones sobre losa flotante, combinando en algunos casos la carga vertical descendiente de los anclajes geotécnicos con lastre, dispuesto en el costado inicialmente menos asentado, con la excavación de zanjas profundas y lloraderos verticales en el mismo costado para inducir el asentamiento por consolidación mediante un efecto combinado entre carga y drenaje. Conviene subrayar que, en casi todas las losas aligeradas intervenidas, los casetones se han encontrado llenos de agua, lo cual significa que existe una carga adicional en términos de asentamientos, sobre todo si tenemos en cuenta que el agua tiende a acumularse donde el edificio está más asentado y donde es frecuente que no haya pozos eyectores que evacúen estas aguas.

Un efecto similar ocurre en edificios asentados diferencialmente, en los cuales los propietarios nivelan con mortero los pisos de las zonas más asentadas de la estructura, agregando peso adicional en este costado ya de por sí muy asentado, lo que a su vez aumenta el asentamiento diferencial. En muchos de estos casos, las medidas orientadas a enderezar la edificación se combinan con pilotes previamente hincados o preexcavados en el perímetro de la zona inicialmente más asentada, de manera que se reduzcan los asentamientos hacia este costado. Hay que resaltar que la instalación de pilotes en sitios distintos al perímetro, como en el área central de la cimentación –tal como se hizo en intervenciones no destinadas a corregir la verticalidad sino a minimizar asentamientos futuros– dificulta cualquier posterior intervención para recuperar la verticalidad de la construcción.

Antes de cualquier intervención debe procurarse que exista total claridad sobre los pros y los contras de las obras. Esto no siempre se evidencia en las copropiedades, sobre todo si se tiene en cuenta que la licencia para estas intervenciones en cimentaciones se emite bajo la modalidad de "reforzamiento estructural", lo que puede prestarse para confusiones y posteriores reclamos. Salvo proyectos especiales en que se ha aprovechado la oportunidad para reforzar la superestructura, las intervenciones se han enfocado en repotenciar la fundación, en lo cual ha sido de gran utilidad la colaboración de los ingenieros de las distintas curadurías que han licenciado tales intervenciones.

Edificio Charleston

Para concluir, en los casos de edificios cimentados sobre placas flotantes, como el Edificio Charleston, al norte de Bogotá, se reaccionó sobre pilotes hincados y probados previamente[4] para posteriormente recuperar los niveles de los pisos superiores de la superestructura. Previamente se debe realizar un encamisado metálico en dos secciones diferentes en todas las columnas a nivel de sótano, debidamente vinculado a la estructura original mediante conectores de cortante y *grouting*, y el soporte previo de las cargas de cada columna mediante herrajes, gatos hidráulicos y tornillos de alta capacidad, anticipando la posibilidad de falla del sistema hidráulico. Todo esto debe realizarse antes de cortar las columnas a la mitad de altura donde los momentos son menores, y antes de iniciar un proceso de levantamiento gradual, diferencial y simultáneo de la superestructura desde todos los sitios de intervención. De esta manera se evita inducir deformaciones internas de la estructura por efectos del mismo proceso, para una vez restituidos los niveles, emprender la reparación integral de las columnas en que las cargas quedarán viajando por el elemento metálico al final de la intervención.

Foto 4. Trabajos de enderezamiento Edificio Charleston, Bogotá.
FRANCISCO SALAZAR

4: Toda intervención de este tipo se inicia con una prueba de carga según norma ASTM 1143 para corroborar diseños.

Foto 5. Corte de pilotes en intervención del edificio Picasso.
FRANCISCO SALAZAR

En términos de riesgo durante este tipo de intervenciones cabe aclarar que, una vez cortada la gran mayoría de las columnas del Charleston, se presentó un sismo de gran intensidad en Bogotá, y en las dos torres intervenidas no hubo novedad mayor al golpeteo normal de los topes sísmicos dispuestos en ambas direcciones en todas las columnas.

Durante el proceso de renivelación del Charleston hubo una permanente redistribución de cargas en las diferentes columnas, lo que obligó a efectuar ajustes. Para esto resultó de gran utilidad contar con la interfaz Dinamcad[5] en tres dimensiones y tiempo, aplicación que se viene desarrollando desde la época de la hinca de los cajones controlados y que permite agregar y apreciar de manera expedita en galerías de imágenes informativas dinámicas tridimensionales que hablan por sí mismas, no solo en lo correspondiente a los controles de carga, niveles relativos y demás registros de instrumentación, sino en cuanto al avance de la intervención.

Las intervenciones no se han realizado únicamente en edificios cimentados sobre losas flotantes; también se han aplicado a varios edificios cimentados sobre losas con vigas descolgadas a través de la colocación de un lastre en el costado menos asentado, práctica que obliga al desalojo temporal de la primera planta. Cuando no es posible la evacuación, se instalan tensores verticales o se implementa una especie de zanja desestabilizadora en el mismo costado para acelerar el asentamiento por desconfinamiento lateral y drenaje. Todo lo anterior debe ser monitoreando y ajustado permanentemente durante el proceso en función del régimen de asentamientos monitoreado mediante Comparadores Hidrostáticos de Niveles. Esto ha permitido restablecer la verticalidad de varios edificios en tiempos prudenciales sin tener que desalojar los pisos superiores y sin haber afectado ni un vidrio de fachada.

Frente a la intervención en edificios cimentados sobre zapatas que no solo se encuentran inclinados sino deformados internamente, las cargas se han trasladado mediante pilotes pre-excavados a estratos profundos antes de actuar sobre ellos para recuperar los niveles originales de la superestructura con el corte de las columnas en una operación similar a la indicada para el edificio Charleston. Esto permite eliminar los esfuerzos internos que se hayan podido generar por efectos de asentamientos diferenciales, no sin antes comprobar que antes de la intervención las deformaciones correspondientes no hubieran sobrepasado lo correspondiente al esfuerzo de fluencia del acero.

Se han realizado intervenciones mucho más complejas en edificios de hasta 25 pisos de altura afectados por asentamientos diferenciales. Tal es el caso del Edificio Picasso, presentado ante el Congreso Internacional de Geotecnia en China (2016) que tuvo una intervención exitosa, pues después de ubicar micropilotes en el costado más asentado, el edificio quedó temporalmente soportado sobre gatos hidráulicos y tornillos mecánicos localizados entre dos anillos previamente adosados a los pilotes intervenidos, mientras se realizaba el corte de los pilotes de la zona menos asentada y se efectuaba el descenso gradual, diferencial y simultáneo de la superestructura.

Un caso atípico de corrección de verticalidad de un edificio mediante inyección de mortero seco a presión bajo el suelo de fundación correspondió a la efectuada en la tercera etapa del World Trade Center, cuya cimentación original había sido un cajón controlado hincado que se inclinó varios años después de su puesta en servicio a causa de la excavación profunda efectuada en el lote colindante por ese costado.

Conclusión

En la actualidad es común que cualquier excavación profunda que se realice en Bogotá cuente con instrumentación geotécnica, inclinómetros y piezómetros que permitan monitorear el desconfinamiento lateral por deflexiones horizontales de las pantallas perimetrales y el abatimiento del nivel freático en el suelo aledaño a la excavación a través de flujos en las paredes y fondo de la excavación, efectos que, dependiendo de su valor, pueden afectar singularmente estructuras vecinas. Asumiendo que ambos efectos resulten marginales durante la construcción de un nuevo proyecto, el solo hecho de construir una cimentación profunda vecina a un edificio cimentado superficialmente con el tiempo suele convertirse en un problema. Por más que no exista vínculo alguno entre las construcciones nueva y vieja, la cimentación profunda que venía asentándose de manera más o menos uniforme por efectos de subsidencia todos estos años, tiende a frenarse del costado en el que colinda con la nueva construcción que, por norma actual, debe quedar a suficiente distancia de la superestructura antigua para evitar que se choquen durante un sismo.

Para finalizar, es necesario aclarar que, aunque hay intervenciones poco afortunadas, y que los créditos de las intervenciones exitosas arriba referidas pertenecen a equipos de profesionales de las distintas empresas que han participado en dichas operaciones, es posible afirmar que ante este problema frecuente en Bogotá ya hay suficiente experiencia acumulada y se han desarrollado herramientas de nivel local que, en principio, pueden contribuir a la solución efectiva de gran cantidad de tipologías de edificaciones afectadas por asentamientos diferenciales.

5: La aplicación de esta herramienta en el campo de la instrumentación de proyectos hidroeléctricos se encuentra publicada en la revista internacional *Hydropower and Dams*.