



Alternativas para la mitigación de asentamientos diferenciales en el edificio Av. 100 de la ciudad de Bogotá causados por la construcción de edificaciones vecinas

Anderson Muñoz Barbosa^a

Michael Morales Ramírez^b

July Estefany Carmona Álvarez^c

Resumen

En la zona nororiental de Bogotá son frecuentes las patologías graves en las edificaciones construidas hace más de 30 años, por factores antropogénicos y la respuesta mecánica del suelo a las distintas alteraciones que sufre. Un caso emblemático es el Edificio Av. 100, ubicado en la localidad de Chapinero: una edificación con alto estado de deterioro causado por asentamientos diferenciados, los cuales se presume fueron consecuencia de la construcción de edificaciones robustas en sus linderos. En esta investigación se realizó un análisis descriptivo de las posibles causas de la inestabilidad de la estructura basado en los planteamientos teóricos de casos similares, como también en la búsqueda de alternativas eficientes para la mitigación de asentamientos diferenciales. Algunos resultados se obtuvieron por la comparación del comportamiento de las

estructuras geotécnicas con problemas de asentamientos diferenciales, lo que se pudo recopilar mediante una construcción histórica de las estructuras de cimentación de las edificaciones colindantes a las estructuras con asentamientos diferenciales, acordes a los métodos constructivos de la época. Se realizó un análisis cualitativo e informativo sobre la eficiencia de métodos como el Jet grouting, como una alternativa que podría ser eficiente para mitigar los asentamientos diferenciales del edificio en estudio.

Palabras clave: asentamientos; cimentaciones; sistema Jet grouting; micropilotes, resiliencia urbana.

Abstract

In the northeastern areas of Bogotá, serious pathologies are frequent in buildings built more than 30 years ago, due to anthropogenic factors and to the mechanical response of the soil to the

^a Programa de Ingeniería Civil, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. anmunoz16@uan.edu.co

^b Programa de Ingeniería Civil, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. mimorales38@uan.edu.co

^c Programa de Ingeniería Civil, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. jcarmona55@uan.edu.co

different alterations they have suffered. An emblematic case is the “*Edificio Av. 100*” building located in the district of Chapinero: a building with a high deterioration caused by differentiated settlements, which are presumed to be the result of the construction of robust buildings on its boundaries. In this investigation, a descriptive analysis of the possible causes of the instability of the structure was carried out based on the theoretical approaches of similar cases, as well as on the search for efficient alternatives for the mitigation of differential settlements. Some results were achieved by comparing the behavior of geotechnical structures with differential settlement problems, which were compiled through a historical construction of the foundation structures of the buildings surrounding the buildings with differential settlements, according to the construction methods of that time. A qualitative and informative analysis was made on the efficiency of methods such as Jet grouting, an alternative that could be efficient to reduce the differential settlements of the building under study.

Keywords: settlements; foundations; Jet grouting; micropiles; urban resilience.

Introducción

Una de las problemáticas más visibles en la última década en Bogotá se relaciona con el incremento de unidades habitacionales (casas, apartamentos, entre otros) en las diferentes localidades, debido a la demanda para cubrir la necesidad de una vivienda digna. En los últimos diez años en las localidades como Usaquén, Chapinero y Mártires, se encuentra que, aparte del crecimiento de unidades habitacionales, hay un incremento en la demanda de unidades comerciales, la cual ha sido tan amplia que se ha evidenciado la necesidad de construir edificaciones con la capacidad instalada

mayor, para atender las necesidades principales del sector financiero y productivo de la ciudad.

La demanda de construcciones de edificios de alto nivel en la ciudad genera un aumento de carga en los suelos, haciendo que estos pierdan la capacidad de resistir y tengan comportamientos mecánicos atípicos. Las nuevas construcciones traen consigo nuevos elementos estructurales, procesos de construcción innovadores y uso de nuevos materiales, lo que se puede considerar como beneficioso para mejorar la calidad y tiempo de construcción; pero realmente estos procesos de construcción, que en muchas ocasiones resultan ser demasiado sofisticados, generan efectos adversos en construcciones aledañas que no cuentan con los mismos modelos ni sistemas de construcción y puede llegarse a considerar como la causa de la presencia de patologías estructurales graves [1].

Entre la calle 93 y la calle 100 y entre la carrera 9 y la carrera 11 se ha evidenciado el cambio de los niveles urbanos (aceras) de las edificaciones y la presencia de grietas en los predios con mayor tiempo de construcción que se localizan en esta zona. Estos acontecimientos han llamado la atención de los habitantes, transeúntes y profesionales de la ingeniería; para todos estos actores sociales es evidente el aumento de los daños a la infraestructura, tanto urbana como pública, y la falta de atención o reparación de las afectaciones ocasionadas. Para la academia, esto se ha convertido en una necesidad de participación social e investigativa con el propósito de encontrar las causas y consecuencias de las patologías estructurales presentes a la fecha, con el propósito de brindar alternativas que solucionen y mitiguen las afectaciones y que puedan evitar que esto suceda en zonas que tengan las mismas condiciones patológicas que afecten la estabilidad de la infraestructura de la ciudad [1].

Para entender este tipo de problemáticas de los entornos urbanos se hace necesario entender cuáles han sido los sistemas y modelos de construcción de la ciudad de Bogotá y cuáles son las implicaciones sobre el comportamiento mecánico de los suelos sobre la demanda de infraestructura de hoy en día, para las zonas donde se presentan las patologías a causa de asentamiento, licuefacción, consolidaciones o sobre consolidación; adicionalmente ver cómo, a nivel nacional o mundial, se han buscado alternativas de solución a estos problemas y considerar cuáles de estas serían oportunas de aplicar en la ciudad de Bogotá [2][3][4].

Para esta investigación se tomó como caso de estudio el Edificio Av. 100, edificación ubicada en la Calle 100 # 9A-65 del barrio Chicó en la localidad de Chapinero; este es un edificio de ocupación habitacional, el cual fue construido en el año 1974. Los habitantes de este predio aseguran que esta edificación, hasta el año 2000, no presentaba patologías estructurales graves, pero que a partir de las actividades de construcción de las nuevas edificaciones aledañas la presencia de patologías como grietas y cambios del nivel del suelos fue evidente, lo que ocasionó su desalojamiento, ya que después de intervenciones técnicas y visitas de las entidades territoriales, se les recomendó que fuera desalojado como medida preventiva, ya que estaba en un estado de activo de falla y en cualquier momento podría colapsar [5].

Materiales y metodología

Para tomar decisiones que solucionen las problemáticas en donde la causa principal es la estabilidad del suelo, es clave la reconstrucción histórica en detalle, de la problemática y las alternativas presentadas como solución, puesto que el comportamiento mecánico de los suelos resulta tan impredecible como la cantidad de factores, va-

riables o elementos que causan las patologías de inestabilidad estructural. En consecuencia, el primer paso de la metodología fue establecer la reconstrucción histórica de alteraciones en la ciudad de Bogotá y causas de las alteraciones al comportamiento mecánico de los suelos.

Posteriormente se realizó un análisis e identificación del problema de la edificación en estudio. Esta identificación de los problemas de estabilidad de las estructuras se basa generalmente en el estudio patológico de la edificación: una descripción del tipo y proceso de construcción, de los materiales que componen los elementos que hacen parte de la estructura, del comportamiento mecánico del suelo de fundación según su vetustez, de la evaluación de la vida útil o residual aparente. Sin embargo, el acceso a la información sobre los detalles de la edificación y sus patologías es limitado debido a que actualmente hay un proceso de investigación activo ante entidades territoriales de la ciudad de Bogotá. Por lo tanto, el análisis de la problemática se realizó a partir de información pública existente y del contacto con propietarios afectados del edificio en cuestión.

Finalmente se realizó un análisis cualitativo e informativo sobre la eficiencia de métodos para mitigar asentamientos diferenciales, para proponer posibles soluciones a las afectaciones de los sistemas de cimentación del Edificio Av. Calle 100.

Resultados y discusión

Alteraciones a causa de los asentamientos diferenciales

Los asentamientos diferenciales resultan ser una de las principales causas de la aparición de patologías medias a graves en las edificaciones, especialmente de aquellas que son construidas en

suelos con alto índice de colapsabilidad o suelos con apariencia blanda o plástica. Como ejemplo de la gravedad de los asentamientos diferenciales se relaciona la investigación presentada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en donde se demostró que en la ciudad de Bogotá existen problemas de asentamientos diferenciales, especialmente en zonas donde se han realizado construcciones en suelos arcillosos [6]. En otro estudio, se encontró que los asentamientos diferenciales en la ciudad de Bogotá son causados principalmente por la compresibilidad de los suelos arcillosos y la falta de compactación adecuada en la construcción de las edificaciones [4].

Alteraciones a causa de los fenómenos de Licuefacción

Los fenómenos de licuefacción son mayormente provocados a causa de movimientos externos fuertes, como por ejemplo los sismos, haciendo que la estructura del suelo tenga alteraciones en su geomorfología inicial y así mismo las edificaciones se vean afectadas por la exposición de los elementos de transmisión de cargas (cimentaciones superficiales o profundas) o la inestabilidad estructural por la falta de equilibrio entre el suelo y la estructura [7].

La ciudad de Bogotá no se considera como una zona sísmica fuerte, razón por la cual los fenómenos de licuefacción no se consideran tan preocupantes a la hora de analizar la estabilidad de las estructuras, pero algunos estudios han demostrado la posibilidad de licuefacción en ciertas zonas de la ciudad debido a la presencia de suelos inestables y saturados de agua (López-Rincón & Gutiérrez-Ladino, 2022) . Los suelos más susceptibles a la licuefacción en Bogotá son los depósitos aluviales y los rellenos sanitarios. En estudios más recientes, se encontró

que la licuefacción puede ser un problema en la ciudad de Bogotá durante eventos sísmicos de magnitud moderada a alta, especialmente en zonas cercanas a ríos y cuerpos de agua debido a la alteración de la estructura por la presencia de alto nivel freático, lo que conlleva al suelo a tener mayor probabilidad de sufrir inestabilidad a causa del fenómeno de licuefacción [9].

Alteraciones a causa de la consolidación

Los procesos de consolidación son fenómenos normales en el dimensionamiento y construcción de toda estructura que tenga interacción directa con el suelo. La consolidación del suelo en Bogotá es un fenómeno complejo debido a la variabilidad del suelo y a la presencia de rellenos sanitarios en algunas zonas de la ciudad [9]. Además, la consolidación puede generar asentamientos diferenciales en las edificaciones.

Para todo ingeniero geotecnista, la consolidación es un fenómeno calculable y controlable desde la parte de la consultoría. Los fenómenos de consolidación son preocupantes o generan alteraciones al equilibrio entre el suelo y la estructura si pasado el tiempo o carga promedio de consolidación estimado se continúan presentando asentamientos a causa de la consolidación. Los principales factores que afectan los asentamientos son la carga, la resistencia del suelo y la interacción suelo-estructura [10].

En Bogotá se han realizado numerosos estudios sobre la consolidación de suelos debido a la construcción de infraestructuras como el sistema de transporte masivo [11], en donde las dinámicas y los procesos de construcción con tendencias innovadoras han generado procesos de sobreconsolidación de las estructuras circundantes a los nuevos proyectos, generando patologías que van desde leves a graves a causa de la subsidencia de esos procesos sobre las estructuras.

En otro estudio más reciente [12], se encontró que la construcción de la primera línea del Metro de Bogotá tendrá un impacto significativo en la consolidación de los suelos en la zona por donde pasará la línea, haciendo que aparezcan

patologías importantes en las estructuras tanto urbanas como públicas que ocasionen alteraciones en su funcionamiento y tal vez hasta la necesidad de reforzamientos estructurales.

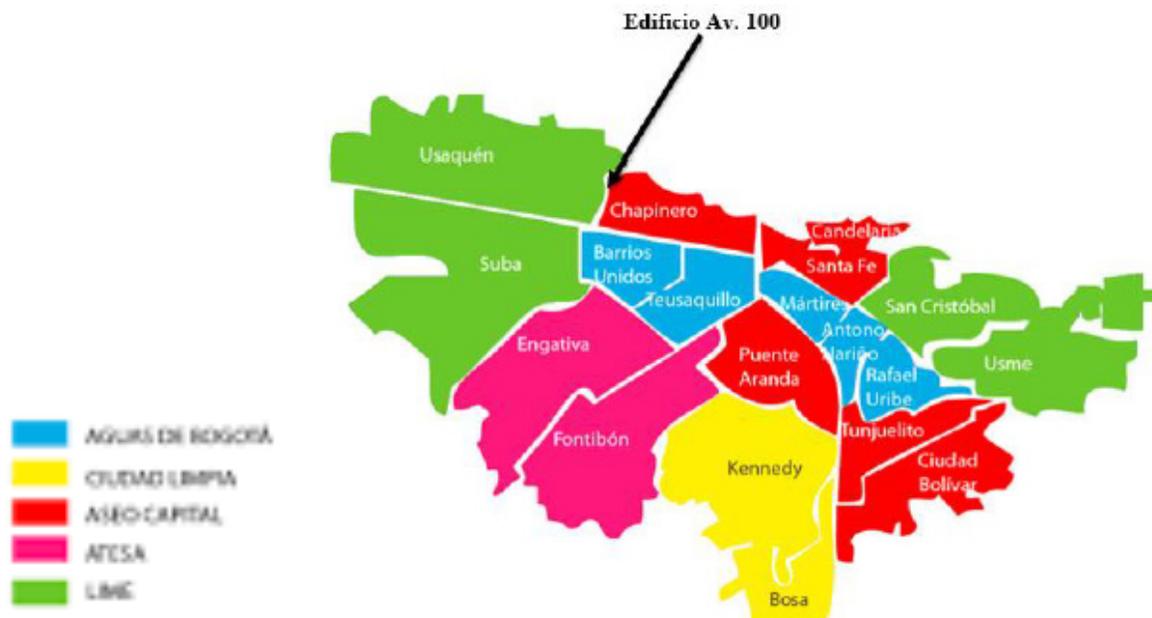


Fig. 1. Localización del edificio Av. 100. [13]

Caso de estudio: Análisis e identificación del problema en el Edificio Av. 100

Identificación de la problemática en el Edificio Av. 100

En el centro oriente de la ciudad de Bogotá es común evidenciar la presencia de edificaciones en condición de colapso o con presencia de incidencias en la infraestructura, generando que la funcionalidad de servicio sea parcial o completamente nula. Para esta investigación se tomó como caso de estudio el Edificio Av. 100, un edificio residencial ubicado en el barrio El Chicó, localidad de

Chapinero en la ciudad de Bogotá (Figura 1). Este barrio tiene sus límites entre los cerros orientales, la Autopista Norte, la calle 88 y la calle 100.

El Edificio Av. 100 (Figura 2) fue construido en el año de 1974 junto con el edificio Fuencarral y el edificio Combeima, edificios también destinados a ser de uso residencial, cuentan con una estructura y estética muy similar entre ellos. Todo transcurría con normalidad para los habitantes del Edificio Av. 100 hasta inicios del año 1996, en el que una empresa constructora adquirió el terreno colindante que contaba con propiedades de uso residencial, para derribarlas y así poder construir un gran complejo de oficinas, el cual hoy se conoce como Edificio Equidad Seguros (*Revista Semana*, 2021).



Figura 2. Ubicación del Edificio Av. 100 (centro); a la izquierda se observa el Edificio Equidad Seguros. [14]

Debido al proceso legal activo ante entidades territoriales y a la orden de sellamiento impuesta por la Alcaldía local y el IDIGER, no se pudo obtener información relevante como los planos estructurales del Edificio Av. 100; sin embargo se buscaron otras fuentes de información acerca de la problemática. Para ello se realizó una entrevista no estructurada a uno de los propietarios afectados del Edificio Av. 100, ingeniero civil de profesión, quien identificó las patologías iniciales causadas por la construcción de las edificaciones aledañas y generó las primeras alertas sobre la situación a los administradores y habitantes de la propiedad; los principales hallazgos de la entrevista se detallan a continuación:

- El edificio Equidad Seguros es una edificación de gran magnitud debido a su aspecto robusto. El edificio cuenta con 15 plantas y desde el inicio de su construcción empezaron los problemas estructurales para el Edificio Av. 100, desde las actividades de excavación para los cimientos y los sótanos de la edificación.
- En los planos del nuevo proyecto que se levantaba junto a la edificación en estudio, se evidenciaba que la profundidad de excavación supera la profundidad de los cimientos del Edificio Av. 100, lo que genera inestabilidades en este.
- Es probable que las acciones de protección y reforzamiento para mitigar las afectaciones sobre las edificaciones existentes por la nueva construcción no fueron suficientes o las adecuadas, no sólo durante la construcción de la nueva edificación sino también en la sobreconsolidación de las edificaciones vecinas.
- Se presume que el diseño de cimentación no contempló las necesidades de reforzamiento estructural de las edificaciones aledañas.
- Debido a la magnitud de la nueva edificación, el peso que aporta por unidad de área era mayor al de las edificaciones típicas de la zona, lo que podría indicar la posibilidad

de estar ante un fenómeno de asentamientos diferenciales o por sobreconsolidación.

- El peso de la nueva edificación hizo que el Edificio Av. 100 presentase agrietamientos

estructurales graves, lo que ocasionó que se inclinara (Figura 3) y que obligara al desalojo de la edificación como prevención ante la posibilidad de colapso estructural.



Fig. 3. Fachada del Edificio Av. 100.

Vale la pena destacar que detrás del Edificio Av. 100 empezó a levantarse otra gran estructura (Edificio Heights 99) poco tiempo después del edificio Equidad Seguros, lo cual complicó el problema de asentamientos del Edificio Av. 100, pues este se inclinó aún más; también se afectaron los edificios Fuencarral y Combeima de la misma manera, aunque no de forma tan grave como al Edificio Av. 100.

Desde el año 2016 el Edificio se encuentra totalmente abandonado, solo cuentan con seguridad privada que hace rondas periódicas a la edificación para evitar que personas ajenas tomen posesión ilegal del predio. Por su parte, los

propietarios no han podido llegar a un consenso para dar una solución definitiva a la grave situación, debido a que aún no han recibido alguna propuesta de negociación justa por parte de los intervinientes en el caso.

En el año 2021, el Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (IDIGER), decidió sellar el Edificio como medida preventiva dando recomendaciones para evitar un desastre en el que se pueda generar daño a la integridad física de las personas que tienen algún tipo de relación con el edificio, dando a entender que su dictamen final es que en cualquier momento este puede venirse abajo. Sin embar-

go, este dictamen no declara al Edificio en ruina, dado que para que esto suceda tiene que haber un estudio geotécnico profundo el cual determinará si se puede dar dicho dictamen o no [5][6].

Para finalizar el diagnóstico de la problemática se pudo establecer comunicación con dos propietarios, quienes hicieron un pequeño recorrido por las instalaciones para observar algunos de los daños ocasionados internamente; como la visita la realizaron de manera no oficial, no es posible presentar registro fotográfico y de relatoría; sin embargo, las principales afectaciones se detallan a continuación:

- Rotura de vidrios y agrietamiento de la estructura a causa de los asentamientos.
- Marcos de ventanas y puertas desajustadas, que impiden abrir y cerrar estos elementos.
- Elementos artesanales construidos con madera y alambre para sostener componentes de las estructuras como muros.
- Un colapso evidente del suelo que impide la apertura de la puerta del sótano que daba paso a los vehículos de los habitantes.

Descripción de las cimentaciones del Edificio Av. 100 y edificaciones vecinas

En el año 1974 se construyó el Edificio Av. 100 con la confianza en los conocimientos de los ingenieros y maestros de obra de la época, dado que en esos tiempos no se tenía normativa alguna para guiar la planificación y ejecución de los procesos constructivos a nivel nacional [15][16]. Se realizaban las obras más grandes basadas en normas internacionales como las estadounidenses,

pero realmente los procesos no eran muy rigurosos para estructuras “pequeñas” como el Edificio Av. 100. En los años 70 no se hacían estudios de suelos para estructuras con menos de cuatro plantas, por lo que era muy común cimentar estas construcciones con zapatas aisladas si se veía que las condiciones de los suelos eran buenas, o como en el caso del Edificio Av. 100 se implementaron las losas de cimentación flotantes al identificar un suelo de tipo arcilloso [17]. Las cimentaciones profundas se utilizaban para edificios de grandes dimensiones donde el suelo era rocoso o se encontraban capas de gravas resistentes capaces de resistir las cargas transmitidas comúnmente por pilotes [18].

En Bogotá, las edificaciones de las zonas marginales de la época, como se nombraba anteriormente, eran soportadas sobre zapatas, las cuales tuvieron una gran funcionalidad en suelos más resistentes como los del centro de la ciudad o en Chapinero bajo y Teusaquillo; pero el mismo tipo de estructuras no tuvo un buen comportamiento en zonas de suelos arcillosos de origen lacustre como en los barrios Chicó, Polo, El Lago, entre otros, mostrando grandes asentamientos en sus construcciones que con el pasar del tiempo incrementaron la problemática [16].

En el caso puntual del Edificio Av. 100, el cual reposa sobre un suelo arcilloso, se optó por cimentar la edificación con una losa flotante (Figura 4) siguiendo los lineamientos dados por los constructores de la época, los cuales acorde a sus conocimientos tuvieron una idea acertada, justificando que las zapatas aisladas se hundirán fácilmente en este tipo de suelo altamente expansivo [16].





Fig. 4. Losa flotante. [19]

En el estudio del Edificio Av. 100 se logró identificar, con los lineamientos constructivos dictaminados por los ingenieros y a entrevistas realizadas a algunos propietarios, la existencia de cimentación de losa flotante, teniendo presente que el Edificio supera los cuatro pisos y se realizó una excavación para un sótano de parqueaderos. Estas construcciones un poco más altas en los años 70 en Bogotá, exigían que las losas fueran de flotación total al ser estructuras con un peso mayor, además de que el tipo de suelo influía mucho después de pruebas realizadas por ingenieros geotécnicos, que buscaban determinar la solución concreta para la problemática de los asentamientos diferenciales que se venían presentando en algunas zonas de Bogotá como el Lago y Chicó [20] [6].

Una de estas pruebas efectuadas por los ingenieros geotécnicos fue realizada en el terreno

donde se construiría un edificio llamado Centro 93, el cual contaría con 18 pisos de altura y con sótanos de hasta 12 metros, por lo que inicialmente se planificó una cimentación por losa flotante. La prueba era relativamente sencilla, se implementó un caisson anillado a 8 metros de profundidad con el que se buscaba explorar el suelo, extrayendo muestras directas y, de paso, controlar el comportamiento del caisson en este tipo de suelo que venía dando tantos dolores de cabeza a los ingenieros y constructores de la época. El caisson se hundió en poco menos de un día, con lo que se concluyó rápidamente que el proyecto del edificio Centro 93 era absolutamente inviable con las dimensiones y cargas presentadas en la primera propuesta, por lo que se terminaron cambiando los planos sustancialmente disminuyendo la excavación de 12 metros a máximo 5,5 metros y torres de máximo 8 pisos [20].

Poco a poco los avances se fueron notando en la implementación de cimentaciones en Colombia; a mediados de los años 80 se inició la implementación de pilotes por fricción, basados en un análisis de cimentaciones de edificios en Chicago que superaban los 30 pisos de altura incluyendo la torre Sears, que fue la más alta del mundo en la época con 108 pisos y 442 metros de altura. La implementación de pilotes en las construcciones bogotanas trajo resultados bastante satisfactorios, como el Edificio Avianca del año 1969 por placa y pilotes y la Torre Colpatria, con lo que se terminaba en depositar confianza en la eficiencia de este tipo de cimentación para evitar los asentamientos diferenciales que eran muy notorios con las losas flotantes, independientemente de que el suelo de origen lacustre bogotano mostraba baja consistencia para implementar los pilotes por fricción [6] [19].

A finales de los años 80 se implementaron diseños de cimentaciones combinadas entre placas y pilotes para contribuir al buen funcionamiento del pilote; sin embargo fue en los años 90 donde la construcción de edificios con múltiples niveles de sótano se hizo más común, llevando a implementar los pilotes como un método geotécnico

de previa aplicación a la construcción de los sótanos, con el fin de equilibrar y contener la presión de la tierra que ejercía presión lateral, además de la utilización de muros y pantallas que lograban cumplir la misma función [21].

En el año 1998 llegó la NSR-98, norma con la que se establecieron de forma concreta procesos de diseño y construcción de cimentaciones para todo tipo de estructuras, teniendo en cuenta las condiciones de suelo y ambiente en Colombia [22]. El gran avance normativo trajo consigo la rápida expansión de construcciones de mayor tamaño y mejor calidad, logrando construir a gran altura en condiciones complicadas, obteniendo resultados satisfactorios como en el caso de los edificios vecinos al Av. 100, el Equidad Seguros y el edificio Heights 99. Estos edificios fueron construidos bajo la norma NSR-98 con un sistema de cimentación por pilotes en punta (Figura 5) que buscaba transmitir las cargas a los estratos de suelo más fuertes y resistentes, dadas las condiciones adversas en los estratos superficiales del suelo para soportar el peso de estructuras tan grandes, además de contar con los encepados a la cabeza de los pilotes para generar más estabilidad en la transición de cargas.

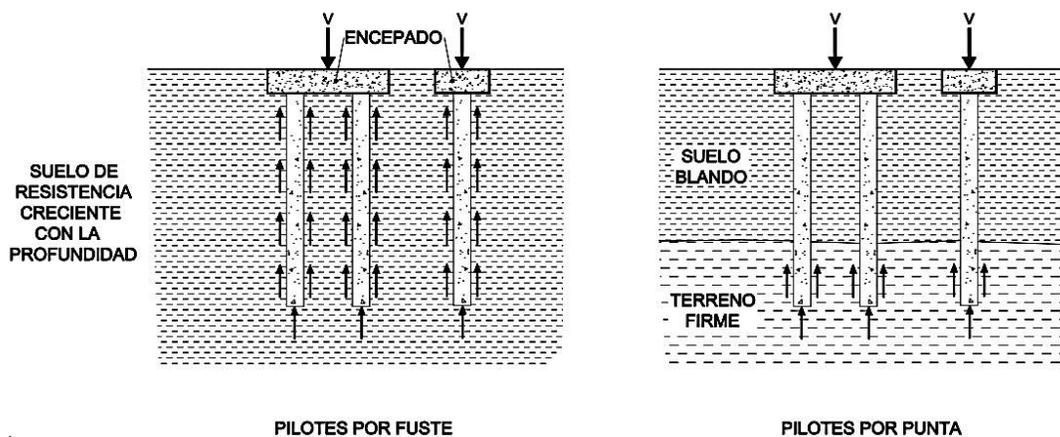


Fig. 5. Ejemplo de cimentación profunda. [23]

Para la construcción de los sótanos antes de la excavación se hizo la construcción de pantallas, con el fin de crear una contención de tierras que ejerza un empuje lateral una vez se iniciara con la remoción de tierras; estas pantallas siguieron

los lineamientos de la NSR-98 para su ejecución, iniciando con la excavación de zanjas con un ancho entre los 40 cm y 150 cm y un largo por modulares que oscila entre los 2.5 m a 4.5 m (Doe & Smith, 2023).

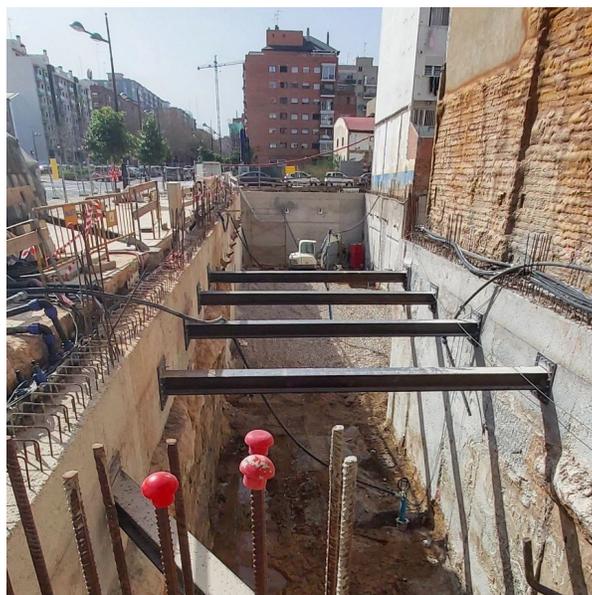


Fig. 6. Fotografía de muros de contención. [25]

Posibles soluciones a las afectaciones de los sistemas de cimentación del Edificio Av. Calle 100

Método Jet Grouting para la mitigación de asentamientos diferenciales

Consiste en la inyección de lechada de cemento, mortero o concreto pobre en el suelo a altas presiones que tienen la capacidad de romper el terreno para generar una mezcla del suelo con el material inyectado. El resultado es un suelo con nuevas capacidades y composición mejoradas en comparación con los parámetros iniciales, teniendo ahora una forma de cilindros de concreto

que generan mayor resistencia[26]. En el proceso de perforación se utiliza generalmente un martillo tricono de fondo, para proceder a la búsqueda de la cota donde se iniciará con el proceso de inyección del concreto. Alcanzada esta profundidad, se procede a sacar el equipo de perforación al mismo tiempo que se posiciona el tubo de inyección [26] [27].

Como resultado se obtiene un tipo de columna cilíndrica en el terreno, donde sus principales características, como la resistencia y dimensión, dependen del tiempo de inyección, presión de inyección, tipo de terreno y componentes de la mezcla, que en ocasiones puede incluir sustancias químicas [27].

El equipo elegido para el procedimiento de Jet Grouting en el Edificio Av. 100 genera un ascenso

continuo que en conjunto con la rotación, construye columnas cilíndricas de concreto en espiral. La instalación de este equipo en el edificio se realiza en el sótano de parqueaderos donde se posiciona el equipo de mezcla capaz de producir hasta 25 m³/hora, bombas hidráulicas para proporcionar el material en el caudal apropiado, mangueras y la perforadora hidráulica con sus implementos menores [21]. El procedimiento para aplicar el método se describe a continuación:

1. Se realiza la perforación de la losa flotante y del terreno hasta una profundidad de 8 m.
2. Se inyecta el concreto y el aire con el propósito de envolver el Jet de concreto generando un incremento en la eficacia de penetración en el suelo.
3. Se mantiene una baja velocidad de rotación y ascenso controladas, alcanzando así diámetros de columnas de aproximadamente 1.5 m. La presión de inyección del concreto es de 50 MPa
4. El concreto inyectado se mezcla con el suelo compactado y expulsa sobrecargas de agua por un orificio previamente perforado en la losa de cimentación, sirviendo éste como ruta de escape.
5. El procedimiento termina en aproximadamente 30 minutos, dejando una columna de forma cilíndrica con aproximadamente 80 cm de diámetro dada la rotación en la inyección.

Este procedimiento (figura 6) se repite en la zona afectada delimitada por el asentamiento diferencial (zona del edificio más hundida en el terreno), a lo largo de los 20 m lineales de profundidad que tiene la estructura, posicionando 5 inyecciones con el Jet cada 4 m.

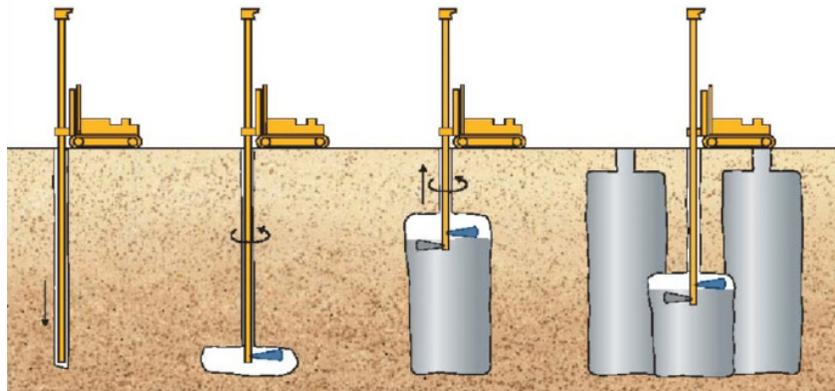


Fig. 7. Proceso de ejecución de Jet Grouting. [28]

Posterior al procedimiento de ejecución de inyección por el método *Jet Grouting* se deben tener en cuenta controles de resultados para garantizar la homogeneidad y estabilidad en cada

uno de los elementos construidos, esto se hace por medio de sondeos y muestras obtenidas para llevarlas a ensayos de laboratorio [27].

Aplicación de micropilotes para la mitigación de asentamientos diferenciales en el edificio Av. 100

Posteriormente a la aplicación del *Jet Grouting* en el Edificio Av. 100 se implementarían los micropilotes para completar la mitigación de los asentamientos diferenciales presentes en la edificación. Los micropilotes previamente fabricados, compuestos de acero de alta resistencia, deben ser hincados en los mismos orificios perforados para la inyección del concreto por el método *Jet Grouting*, ya que deben quedar lo más centrados posible sobre los cilindros inyectados en el suelo junto a los otros dos orificios que deben quedar posicionados linealmente al central con un espaciado de 20 cm [31]. Los micropilotes son ideales para edificaciones ya construidas que necesitan ser reforzadas, ya que son resistentes a la compresión y tracción, siendo ideales para ser ejecutados en conjunto, conformando un

sistema de micropilotes en busca de mitigar los asentamientos del edificio en estudio que pasa de tener una cimentación superficial a una cimentación profunda por recalce capaz de transmitir las cargas impuestas por la estructura al suelo ya estabilizado con mejores características físico-mecánicas. El procedimiento para implementar los micropilotes se describe a continuación¹:

- Poner el elemento perforador sobre cada punto de la losa a perforar.
- Iniciar con el proceso de perforación de los orificios en la losa de cimentación continuando con la perforación en el suelo hasta llegar a los elementos construidos con el *Jet Grouting* sobre los que quedarán apoyados los micropilotes.
- Anclar los micropilotes a la losa de cimentación con el cabezal metálico.

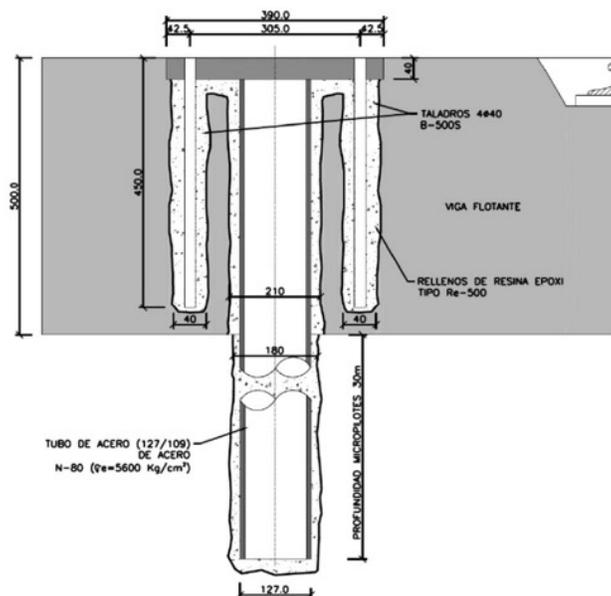


Fig. 8. Detalle Micropilote. [30]

1 Ver [20], [22], [29].

Para finalizar, independientemente de que existan soluciones a implementar para mitigar los asentamientos diferenciales, es responsabilidad de los constructores de las nuevas edificaciones contar con un plan bien elaborado, que permita construir sin afectar edificaciones vecinas, siendo también responsabilidad de los organismos de control brindar licencias de construcción a edificaciones que cuenten con un correcto manejo de procesos para dicho fin.

La mayoría de proyectos de construcción nuevos no incluyen en su etapa de planeación la gestión del riesgo por posibles afecciones a edificaciones vecinas, más cuando estas nuevas construcciones requieren de excavaciones profundas de gran tamaño. Las afectaciones que se puedan generar en las edificaciones más vetustas, especialmente en las zonas de alto riesgo de la ciudad de Bogotá, en donde las nuevas edificaciones afectan la estabilidad de las edificaciones ya construidas a su alrededor, es un tema a resaltar para evitar al máximo los daños a otras construcciones por medio de métodos constructivos y de protección de linderos mucho más fundamentados y aplicados acorde a las características de las edificaciones vecinas.

La intervención a una edificación con asentamientos diferenciales debe contar con un estudio sistemático de procesos geotécnicos y estructurales para garantizar el funcionamiento de la alternativa de mitigación de los asentamientos diferenciales a implementar; sin embargo, la estimación de datos por medio de base teórica de métodos constructivos de la época de construcción de las edificaciones y ejemplos de aplicación de estas alternativas a otras edificaciones, resultan ser un excelente punto de partida para el estudio de casos con esta patología.

Conclusiones

Con el análisis de la información se logra deducir el tipo de cimentación aplicada en el Edificio Av. 100, que es una losa de flotación total sobre la que fueron montadas las columnas que sostienen el resto de la edificación. La cimentación funcionó bien en el edificio hasta el inicio de la construcción de los nuevos edificios colindantes, por lo que se concluye que fue una causa externa la generadora del problema, porque el Edificio Av. 100 se construyó con criterios empíricos dados por los maestros de obra de la época, que no contaban con una norma técnica para la construcción y que no tenían en cuenta este tipo de daños ocasionados por las nuevas construcciones vecinas.

Las alternativas para la mitigación de los asentamientos diferenciales en el Edificio Av. 100 tienen antecedentes de eficiencia y buena trabajabilidad, además de su fácil implementación que por lo general termina por brindar una solución práctica definitiva al problema de los asentamientos, mitigando estos gracias al mejoramiento del suelo y de las cimentaciones en las zonas más afectadas de la estructura.

Cada caso para la implementación de alternativas de mitigación de asentamientos diferenciales es diferente, por lo que generalizar en el uso de estos métodos resultaría ser un error. Pero sí existe la información suficiente y estudios realizados que confirman que el uso del Jet Grouting y los micropilotes se adapta casi que a cualquier tipo de suelo y estructura con asentamientos diferenciales.

Declaraciones

- Autoría: los autores declaran la originalidad de los resultados presentados y su contribución específica dentro del artículo.
- Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún conflicto de interés para la publicación del artículo.

Referencias

- [1] Y. Casteblanco. Estudio de Caso para Patología Estructural presentada en el Edificio Manglar de la Ciudad de Bogotá. Trabajo de Especialización, Facultad de Ciencias y Tecnologías. Especialización en Patología de la Construcción. Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2020.
- [2] G. Gallardo. Metodología para evaluar la vulnerabilidad estructural de edificaciones aporcadas de hormigón armado debido a asentamientos diferenciales. *Ventana Científica* vol.II no. 17. pp 45-62, 2021. Disponible: <http://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ventana-cientifica/article/view/3131>
- [3] F. Morales. “Alternativas de cimentaciones superficiales para edificaciones cimentadas en un terreno con asentamiento diferencial”. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Continental, Huancayo, Perú, 2020. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4839>
- [4] F. Orozco. Asentamientos totales y diferenciales en Bogotá –Recuperación de la verticalidad de edificios. Encuentro nacional de ingenieros de suelos y estructuras, 2011. Disponible: https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/asentamientos_totales_diferenciales_bogota.pdf
- [5] Caracol Radio. La historia del edificio inclinado de la calle 100 en Bogotá. Caracol radio, 2021. Disponible: https://caracol.com.co/emisora/2021/08/04/bogota/1628092657_594175.html
- [6] IDEAM. *Caracterización de suelos y evaluación preliminar de asentamientos diferenciales en la ciudad de Bogotá*. Informe técnico. Bogotá, Colombia, 2013.
- [7] M. Torres-García, F. Gómez-Martínez & P. Martínez-Pagán. Análisis de la licuefacción de suelos y su influencia en la respuesta sísmica de estructuras. *Ingeniería Sísmica y Estructural*, vol. 25, no. 3, pp. 167-180, 2019.
- [8] J.D. López-Rincón & L.Y. Gutiérrez-Ladino. “Cuantificación y clasificación del nivel de amenaza por deslizamiento en la zona de la ladera comprendida entre la carrera 1 con calle 60 a y la quebrada las delicias en la ciudad de Bogotá, Colombia”. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia, 2022.
- [9] N. García, N. Romero & D. Rodríguez. Evaluación preliminar del riesgo de licuefacción en la ciudad de Bogotá, Colombia. *Dyna*, vol 87 no. 213, pp. 209-216, 2020.
- [9] A. Espinosa, A. Herrera & O. Ayala. Análisis de la consolidación del suelo en la ciudad de Bogotá mediante técnicas geotécnicas y de teledetección. *Revista de Geotecnia*, 32(2), 18-25, 2017.
- [10] R. Fernández, E. Villamizar & J. Ramos. Evaluación de los asentamientos en edificaciones de Bogotá mediante métodos numéricos. *Revista de Ingeniería*, vol. 47 no. 1, pp. 40-47, 2018.
- [11] J.D. Jara, C.C. Flórez & O.P. Rebolledo. Consolidación de suelos en Bogotá por la cons-

- trucción del sistema de transporte masivo TransMilenio. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 41 no, 158, pp. 41-50, 2017.
- [12] D. Muñoz, L. Sanabria & E. Ortega. Evaluación de la consolidación del terreno debido a la construcción del Metro de Bogotá. En *VI Congreso Colombiano de Geotecnia y VII Seminario Internacional de Geotecnia*, pp. 1-12, 2021.
- [13] Alcaldía Local La Candelaria. Mapas de distribución y unidad administrativa de servicios públicos, 2021. Disponible: <http://www.lacandelaria.gov.co/mi-localidad/mapas>.
- [14] Revista Semana. Los edificios huecos de la calle 100 en Bogotá desatan una batalla campal entre los vecinos, 2021. Disponible: <https://www.semana.com/nacion/articulo/los-edificios-huecos-de-la-calle-100-en-bogota-desatan-una-batalla-campal-entre-los-vecinos/202145/>.
- [15] MIDUVI. Norma Ecuatoriana de la Construcción. Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda del Ecuador, 2014. Disponible: <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec6.pdf>.
- [16] A. González Pinzón. La historia no contada del primer código de construcción en Colombia. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, vol. 40. Enero-junio de 2014, pp. 82-84. 2005. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n40/n40a12.pdf>.
- [17] A. Velandia Torres & P. Veloza Velandia. Análisis del comportamiento del suelo de cimentación de edificaciones pequeñas, sometidas a incrementos de esfuerzos generados por construcciones vecinas de mayor tamaño. Trabajo de pregrado Programa de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, 2016. Disponible: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2565>
- [18] D. Padilla. *Topografía y suelos: Cimentación mixta compuesta por pilotes y sótanos*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil Facultad de Arquitectura y Diseño, 2016. Disponible: <https://library.co/document/qvx087gy-cimentacion-mixta-compuesta-por-pilotes-y-sotanos.html>.
- [19] ArqZon. Características de la losa de cimentación. 2021. Disponible: https://arqzon.com.mx/wp-content/uploads/2022/04/IMG_20180126_130707-768x1024.jpg.
- [20] J. Núñez. “Consideraciones para el análisis geotécnico de la cimentación de un edificio de gran altura en la ciudad de Bogotá D.C., caso: edificio ‘entre calles’ localizado en la calle 19 con carrera 7”. Trabajo de grado Maestría en Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, 2019. Disponible: <http://hdl.handle.net/10654/36925>
- [21] C. Rodríguez. “Balance de asentamientos diferenciales presentes en edificación con cimentaciones sobre pilotes”. Trabajo de Grado Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena, 2014. Disponible: <https://hdl.handle.net/11227/1866>
- [22] Norma NSR-98. Diseño y construcción de cimentaciones para estructuras en Colombia. Minvivienda, 1998.
- [23] V. Yepes. Ejemplo de cimentación profunda. Blog de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica de Valencia [En línea]. Disponible: <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2019/01/Figura-2-3.jpg>. [Accedido: 22 de junio de 2023].
- [24] J. Doe & A. Smith. Construction of Basements Using Soil Retention Screens: Compliance with NSR-98 Guidelines. *Proceedings*

- of the International Conference on Civil Engineering*, pp. 123-135, 2023.
- [25] V. Yepes. Sostenimiento de un muro pantalla y elementos de sujeción. Blog de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica de Valencia, 2021 [En línea]. Disponible: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/01/03/sostenimiento-de-un-muro-pantalla-y-elementos-de-sujecion/>
- [26] AETESS. Aplicaciones del Jet Grouting, 2016. Disponible: <https://www.aetess.com/publicaciones>
- [27] AETESS. Tipos de Jet Grouting, 2016. Disponible: <https://www.aetess.com/publicaciones>.
- [28] ResearchGate. Jet Grouting procedure [Online]. Disponible: https://www.researchgate.net/figure/Jet-Grouting-procedure_fig2_237749672
- [29] AETESS. Micropilotes y anclajes, 2014. Disponible: <https://www.aetess.com/publicaciones>
- [30] J. Morán. Detalle micropilote, Interempresas [En línea]. Disponible: <https://img.interempresas.net/fotos/3139836.jpeg> [Consulta: 22 de junio de 2023].
- [31] J. Fernández. Jet Grouting,. 2011. Disponible: https://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf
- [32] Ministerio de Fomento de España. (2005). Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes. <https://www.mitma.es/recursos/mfom/0710200.pdf>.
- [33] R. Lorente Fernández. “Ejecución de micropilotes en recalce de cimentaciones”. Trabajo de grado en Ingeniería de Edificación, Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación, Universidad Politécnica de Cartagena, 2013. Disponible: <https://www.udocz.com/apuntes/70996/ejecucion-de-micropilotes-en-recalce-de-cimentaciones-lorente-proy-de-grado>

