



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

Anderzon Fabian Muñoz Barbosa

10481722355

Michael Daian Morales Ramirez

10481729753

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil y ambiental

Bogotá D.C, Colombia

2022

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

Anderzon Fabian Muñoz Barbosa

Michael Daian Morales Ramirez

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

M.Sc. I.C. July Estefany Carmona Álvarez

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil y ambiental

Bogotá D.C, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Tutora

Firma Jurado

Firma Jurado

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por la educación que me han brindado, por cada día que se levantaron a trabajar para que no me faltara nada, por ese hogar lleno de amor y valores en el que me criaron para ser el hombre íntegro que soy hoy en día. Les agradezco por cada consejo, por cada sacrificio que hicieron, porque soy muy consciente de que en muchas ocasiones sacrificaron su comodidad y felicidad por la mía, pero lo que más les agradezco fue haberme dado la oportunidad de seguir adelante cuando se creía que todo estaba perdido, cuando caí hasta el fondo por mis errores y fueron los grandes artífices del renacer de un joven que con toda la inexperiencia del mundo en la vida seguía con el sueño de ser ingeniero. Agradezco a mi hermano quien es mi gran motivación y me ha servido para tomar siempre el buen camino, porque quiero ser un gran ejemplo para él.

Agradezco a mi tía Yohanna por todo su apoyo y comprensión, por siempre escucharme y estar en todos los buenos y malos momentos. Agradezco a mi padrino Alvaro, quien ha sido un gran apoyo y siempre ha creído en mí. Agradezco a mi abuela Ligia por todo ese amor y cuidados que me ha dado cuando más los he necesitado. Agradezco eternamente a mi abuelo Gustavo por apoyarme siempre y brindarme tanto amor y comprensión, cada palabra que me dio como consejo la guardo como el tesoro más valioso y aunque no esté conmigo para compartir este logro tan importante sé que desde el cielo me acompaña y comparte mi felicidad, solo espero que se sienta muy orgulloso y que aunque no pueda estar de cuerpo presente sepa que sin él esto jamás hubiera sido posible.

En general doy mis agradecimientos a la familia Ramirez Corredor y a la familia Morales Cardenas por nunca dejarme solo y porque sé que siempre podré contar con ellos.

Gracias por creer en mí.

Michael Morales

Agradezco primeramente a DIOS, por darme salud y permitirme llegar hasta este gran logro.

A mis padres, hermana, novia y familia por brindarme un apoyo incondicional y especial sin importar momentos duros, por celebrar todos mis triunfos y acompañarme durante todo el proceso académico y espero poder recompensar todo el tiempo que no he podido compartir con ellos. Son todos ellos, los promotores de vernos cumplir nuestros objetivos, que de manera consecutiva y gradual se fue forjando a nuestro paso, esa experiencia única de ser estudiante, de ser quienes podamos representar con nuestra actitud, por los valores y principios que me han inculcado.

A los docentes de la Universidad Antonio Nariño, en especial a nuestra tutora July Estefany Carmona Álvarez por compartir su valioso conocimiento.

Anderson Muñoz

Tabla de contenidos

1. Introducción	14
2. Objetivos.....	17
3. Marco conceptual	18
3.1 Asentamientos	18
3.1.1 Asentamientos uniformes.....	19
3.1.2 Asentamientos diferenciales.....	19
3.2 Cimentaciones o fundaciones.....	21
3.2.1 Zapatas aisladas (pad)	22
3.2.2 Zapatas corridas (strip)	23
3.2.3 Losas de cimentación (balsa)	24
3.3 Cimentaciones profundas.....	25
3.3.1 Pilotes.....	26
3.3.2 Caisson	28
3.4 Estructuras de contención o estabilización	29
3.5 Excavaciones.....	31
3.6 Alternativas de contención de asentamientos diferenciales.....	33
3.6.1 Pilotes pre-excavados y fundidos in situ.....	33
3.6.2 Micropilotes	34
3.6.3 Jet Grouting	35

3.7 Tipología de suelos.....	36
4. Estado del arte.....	38
4.1 Estructuras con asentamientos diferenciales.....	38
4.1.1 Edificio José Luis	38
4.1.2 Edificio Manglar.....	40
4.2 Aplicación de alternativas de contención de asentamientos diferenciales en edificaciones.....	45
4.2.1 Jet Grouting	45
4.2.1.1 Estación Moncloa del metro de Madrid.....	45
4.2.1.2 Puerto de Valencia.....	46
4.2.1.3 Edificio Guernica.....	48
4.2.2 Micropilotes	49
4.2.2.1 Micropilotes para recalces de cimentación en una bodega de Madrid	49
5. Planteamiento del problema	51
5.1 Línea	51
5.2 Título	51
5.3 Descripción del problema	51
6. Metodología.....	53
7. Desarrollo	55
7.1 Descripción de las cimentaciones del Edificio Av. 100 con las edificaciones vecinas según los métodos constructivos de la época	59

7.2 Implementación de alternativas de mitigación de asentamientos diferenciales en el Edificio Av. 100	64
7.2.1 Implementación del método Jet Grouting	65
7.2.1.1 Procedimiento	68
7.2.2 Implementación de micropilotes	70
7.2.2.1 Procedimiento	71
8. Conclusiones y recomendaciones	73
Bibliografía	75

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de asentamientos.....	18
Figura 2. Zapata aislada.....	23
Figura 3. Zapata corrida.	24
Figura 4. Losa de cimentación.....	25
Figura 5. Pilotes de Desplazamiento a Rotación.	27
Figura 6. Pilotes Prefabricados Hincados.....	27
Figura 7. Pilotes In Situ.....	28
Figura 8. Construcción de un Caisson.....	29
Figura 9. Muros y Pantallas de Contención.....	30
Figura 10. Recalce de Cimentaciones	34
Figura 11. Micropilotes Para Hundimientos	35
Figura 12. Recalce De La Cimentación En Un Edificio Histórico - Geonovatek	35
Figura 13. Tecnología Jet-Grouting	36
Figura 14. Arcillas Expansivas y Suelos Expansivos En Edificación	37
Figura 15. Edificio José Luis.....	39
Figura 16. Edificio Manglar.	41
Figura 17. Construcción Edificio Manglar.....	41
Figura 18. Proceso de Construcción Edificio Manglar	42
Figura 19. Patología Estructural Presentada en el Edificio Manglar	43
Figura 20. Patología Estructural Presentada en el Edificio Manglar	44
Figura 21. Patología Estructural Presentada en el Edificio Manglar	45
Figura 22. Estación Moncloa del Metro de Madrid.....	45

Figura 23. Ubicación puerto de Valencia	46
Figura 24. Identificación del Súper Jet Grouting en el puerto de Valencia	47
Figura 25. Planos Puerto de Valencia	47
Figura 26. Anclaje de los elementos de recalce a un pilar	49
Figura 27. Máquina Utilizada En La Ejecución De Los Micropilotes Para Recalces, Trabajando En El Sótano De Una Nave Industrial En Villaverde (Madrid)	50
Figura 28. Localización Edificio Av. 100	55
Figura 29. Ubicación Edificio Av. 100	55
Figura 30. Patologías Edificio Av. 100	57
Figura 31. Zonificación Edificio Av. 100	59
Figura 32. Cimentación Flotante	60
Figura 33. Pilotes por Punta	63
Figura 34. Gráfico de Pilotes	63
Figura 35. Muro de Pantalla	64
Figura 36. Tipología del Jet Grouting	66
Figura 37. Rango de Aplicaciones para Técnicas de Inyección	67
Figura 38. Proceso de ejecución de Superjet-Grouting.....	70
Figura 39. Equipo de Comprobación de Resistencia Interna	71

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos del Edificio Av. 100 y edificios colindantes	58
Tabla 2. Parámetros de Trabajo para la Perforación.....	68

Resumen

En este documento se describe la problemática que existe en el edificio denominado Av. 100 ubicado en Bogotá por el mal estado de la edificación dados los asentamientos diferenciales que presenta la misma a causa de la ejecución de nuevas construcciones vecinas. Para el desarrollo de este trabajo se realizara una investigación descriptiva sobre la problemática y alternativas para la mitigación de asentamientos diferenciales en el edificio Av. 100, lo cual se desarrollará por medio de la elaboración de una comparación del comportamiento de las estructuras geotécnicas para problemas de asentamientos diferenciales, una descripción histórica de las estructuras de cimentación de las edificaciones colindantes a las estructuras con asentamientos diferenciales acorde a los métodos constructivos de la época y una descripción comparativa sobre las alternativas de mitigación planteadas para el Edificio Av. 100.

La elaboración de la presente investigación se llevó a cabo conforme a un proceso de investigación y consulta de varios tipos de fuentes para generar un análisis cualitativo, crítico e informativo con la finalidad de exponer la problemática de la edificación en estudio y plantear las alternativas que podrían ser eficientes para mitigar los asentamientos diferenciales del edificio.

Palabras claves: Asentamientos, cimentaciones, Jet Grouting, micropilotes.

Abstract

Within this document an existing problematic is described, the building known as Av 100 locate in Bogotá, building's bad condition due to differential settlements, related to the public works close to the building, To develop this project a descriptive research about the issue will be done and some alternatives to relief the differential settlements at Av 100 building, which will be developed by elaborating a comparison of geotechnical behavior for differential settlements problems, a historical description of structure foundations of buildings near by other buildings with differential settlements according to the structural methods of the time, and a comparative description of the stablished relief alternatives for Av 100 building.

The current investigation was developed by researching and consulting different sources to generate a qualitative, informative and critical analysis, in order to expose the building's problematic currently studied and stablish the possible alternatives which may be efficient to relief the differential settlements of the building

Key words: Settlements, foundations, Jet grouting, micropiles.

1. Introducción

Teniendo en cuenta la confiabilidad en la información para la ejecución de las obras hoy en día y la implementación de las cimentaciones que logren cumplir con los estándares mínimos de estabilidad y seguridad, además de conocer estudios que se deben realizar para la estimación de la capacidad portante del suelo, el cual es el elemento que termina por definir el tipo de cimentación y su diseño.

Para cada tipo de suelo se busca efectuar una cimentación acorde a sus características que transmita las cargas de forma eficiente y segura evitando fallas, por lo que encontramos una buena variedad de opciones para cimentaciones superficiales como zapatas aisladas, corridas o losas flotantes. Este tipo de cimentación superficial generalmente se aplica en edificaciones que no van a generar mucha carga al suelo, es decir, en construcciones de tamaño pequeño como las casas en barrios residenciales comunes de Bogotá o torres de no más de 5 pisos de altura, por lo general también de uso residencial. Para las construcciones grandes como el edificio Avianca y la torre Colpatria de Bogotá, se aplican cimentaciones profundas como pilotes o caisson en búsqueda de los estratos de suelo más resistentes dada la gran transmisión de cargas que este tipo de construcciones dan generalmente a los suelos.

Como resultado de una buena aplicación de algún tipo de cimentación acorde al tipo de suelo donde se va a ejecutar una obra se logra la mitigación de los asentamientos de tipo diferencial, puesto que toda construcción presenta asentamientos, pero lo que se busca siempre es que sean uniformes, y, en caso de ser de tipo diferencial, lo que se busca es que no sean lo suficientemente grandes como para generar daños a la estructura afectando su correcto funcionamiento. En muchas ocasiones las edificaciones quedan muy bien construidas y con el pasar de los años logran soportar eficientemente el uso para el que fueron diseñadas, sin embargo,

se encuentran muchos casos donde las edificaciones ya construidas tienen afectaciones por la construcción de edificaciones vecinas que por medio de sus diferentes procesos constructivos llegan a afectar de gran manera las edificaciones colindantes. Uno de los procesos con los que más afectan las nuevas construcciones a sus edificaciones vecinas ya existentes es con las excavaciones, un proceso bastante delicado ya que la remoción de tierras puede afectar el suelo sobre el que están cimentadas las estructuras vecinas generando comúnmente los asentamientos diferenciales en ellas.

La implementación de estructuras de contención en los linderos como muros o pantallas suelen ser las más usadas para no generar afectación en las edificaciones vecinas, pero en varias ocasiones las nuevas construcciones son de gran magnitud y retener el esfuerzo lateral de gran cantidad de suelo en las excavaciones es muy complicado de hacer sin generar alguna alteración en los suelos de las edificaciones colindantes.

Observando el historial de casos que se presentan en la ciudad de Bogotá acorde a lo nombrado anteriormente, uno de ellos es el del edificio Av. 100, un edificio ubicado en la calle 100 # 9a – 65 del barrio Chicó en la localidad de Chapinero el cual fue construido en el año 1974, cumpliendo a cabalidad su función hasta el inicio de la construcción de una nueva edificación en su costado izquierdo que generó afectaciones en el suelo sobre el que está cimentado el mismo, provocando el inicio de asentamientos diferenciales en la estructura. Tiempo después se inició la construcción de un nuevo edificio en la parte de atrás del Av. 100 empeorando la situación hasta el punto de convertir el edificio en una construcción abandonada por el gran riesgo de colapso.

Del mismo modo como el hecho de que una estructura presente asentamientos diferenciales es un problema, existen alternativas para mitigar los asentamientos, dado que la tecnología y la

capacidad de intervención de la ingeniería moderna permiten aplicar procedimientos para contener asentamientos diferenciales y hasta incluso recuperar el eje vertical de la estructura.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

- Establecer una alternativa para la mitigación de los asentamientos diferenciales presentados en el edificio Av. 100.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar una comparación del comportamiento de las estructuras geotécnicas para problemas de asentamientos diferenciales.
- Describir los parámetros geotécnicos colindantes a las estructuras con asentamientos diferenciales.
- Comparar las alternativas de mitigación para las estructuras afectadas por asentamientos diferenciales.

3. Marco conceptual

3.1 Asentamientos

La aplicación de una carga sobre el suelo genera un estrés sobre el mismo que se manifiesta con un movimiento hacia abajo, movimiento que acorde al tipo de carga cuenta con gran variedad de resultados en sus variables que se dividen en el tiempo, forma, velocidad y profundidad. Estos movimientos en el ámbito de la construcción son conocidos como asentamientos, los cuales se subdividen en asentamientos uniformes y asentamientos diferenciales (ver figura 1).

Estos asentamientos se presentan de varias maneras, ya sea por la consolidación del suelo (indicativo de la pérdida de humedad del suelo), reducción de los espacios entre las partículas presentes en el suelo, o por el caso contrario a la pérdida de humedad, que resulta ser la acumulación excesiva de humedad que genera el escurrimiento de arcillas y limos de menor tamaño, provocando pérdida en la capacidad de carga del suelo (Garza, 2004).



Figura 1. Tipos de asentamientos.

Fuente: https://www.researchgate.net/publication/336146162_CHAPTER_two_SOIL_SETTLEMENT

3.1.1 Asentamientos uniformes

En algunos casos las construcciones se realizan en zonas con suelos de un mismo tipo generando que los asentamientos se presenten de manera uniforme, encontrando un comportamiento en la estructura de un asentamiento casi a una misma velocidad en todas sus partes, del mismo modo, las cargas llegan al punto en el que son uniformes sobre toda la extensión estructural siendo transmitidas hacia el suelo.

Generalmente, este tipo de asentamientos uniformes no tienen gran influencia perjudicial sobre la integridad estructural sobre el edificio, pero en ocasiones influyen de manera negativa en aspectos estéticos y funcionales como el daño en partes de la red de suministro de agua, atascamiento de puertas y ventanas, daño en red eléctrica, entre otros (Largo, 2009).

3.1.2 Asentamientos diferenciales

Tanto en la ingeniería estructural como geotécnica se emplea el término asentamiento diferencial haciendo alusión a la desigualdad que presentan los cimientos de una estructura en el momento de asentarse. Todas las estructuras presentan asentamientos de algún tipo, son inevitables, pero lo que se procura es la mitigación de los mismos para evitar llegar a puntos críticos que a mediano o largo plazo generarán una serie de fallas en la estructura que puedan colocar en riesgo la integridad de la edificación entera.

Comúnmente se atribuyen los asentamientos diferenciales a las malas prácticas en los procesos constructivos de las edificaciones, sin embargo, la realidad es que los estudios y la previa evaluación junto con la preparación del terreno son las verdaderas causales de los asentamientos diferenciales, ya que el comportamiento del suelo debajo de la estructura puede presentar cambios como deformación, consolidación, retracción por secamiento, desplazamiento, expansión y demás. Todo este tipo de cambios en el suelo puede ser producido por inundaciones, drenaje deficiente,

tierra de relleno compactada de forma indebida, raíces de árboles, vibraciones o perturbaciones de construcciones cercanas, entre otras (Largo, 2009).

3.2 Estructuras geotécnicas

Para toda estructura es importante contar con una parte que cumpla con la labor de transmitir el peso de la misma y cargas externas hacia el suelo, esta parte de la estructura es conocida como estructura geotécnica, que cumple dicho papel fundamental. Las estructuras geotécnicas se dividen en:

- Cimentaciones o fundaciones.
- Estructuras de contención o estabilización.

Los desafíos más comunes a los que se enfrentan las construcciones se encuentran bajo tierra, ya que es allí donde se imponen grandes exigencias a los cimientos de las estructuras. Las gigantescas cargas, las zonas urbanas de alto tráfico y las amenazas de fenómenos naturales obligan al diseño e implementación de estas estructuras, que en los proyectos de construcción se evidencian como parte fundamental del mismo contando con un apartado completo en el que se desarrolla un análisis que determina la estructura más conveniente acorde al tipo de obra a ejecutar, para con esto pasar a su ejecución y aplicación dentro de la construcción que permita el desarrollo de los procesos restantes para la total culminación de la obra planificada.

Son muchas las estructuras geotécnicas existentes, sin embargo, hay algunas de ellas que son aplicadas específicamente en casos en los que los suelos generarían asentamientos diferenciales sobre la estructura poniendo en riesgo la integridad de la misma. Es por esto que en el análisis previo que permita determinar cuál estructura geotécnica a aplicar en la obra, se tienen en cuenta los tipos de estructuras geotécnicas y cuál será la más adecuada para la mitigación de

estos asentamientos acorde a la construcción a realizar, ya que no todas estas estructuras van a actuar de la misma forma para evitar al máximo los asentamientos (Chavez, 2012).

3.2 Cimentaciones o fundaciones

La cimentación es básicamente la parte soportante de una estructura, que logra su labor por medio de un grupo de elementos cuya misión es transmitir las cargas de la construcción al suelo distribuyéndolas de la forma más uniforme posible sin superar la presión admisible máxima, impidiendo cargas zonales concentradas en un punto que crean asentamientos diferenciales no deseados para garantizar el bienestar de la estructura.

A grandes rasgos los requisitos fundamentales de las cimentaciones son:

- Ser seguras contra las fallas del suelo al que son expuestas.
- No asentarse a un punto crítico que desfigure o afecte la estructura.
- Deben ser colocadas de forma correcta y a una profundidad idónea para evitar los daños que posiblemente puedan causar futuras construcciones colindantes.

Existen dos tipos de cimentaciones, las cuales a su vez tienen subtipos aplicables en las obras acorde a las necesidades de la misma. Esta aplicación depende en la mayoría de ocasiones de las particularidades presentes en el terreno que son las que proveen los datos necesarios acorde a estudios específicos para la realización de cálculos como la capacidad portante y la homogeneidad del terreno, que son generalmente los puntos más relevantes a tener en cuenta para la elección del tipo de cimentación a aplicar en obra. Los dos tipos de cimentaciones o fundaciones son superficiales o profundas (Chavez, 2012).

3.2.1 Cimentaciones superficiales

Este tipo de cimentaciones suelen ser apoyadas sobre las capas superficiales del suelo, es decir, sobre las capas de suelo que tienen menor profundidad. Generalmente se apoyan cimientos sobre ellas cuando tienen una gran capacidad portante resistiendo grandes esfuerzos o cuando en el terreno se realizará una obra secundaria cuyo peso sea relativamente bajo. Estos cimientos suelen repartir la carga en el suelo formando un plano horizontal para el apoyo, donde son acopladas a una profundidad suficiente que logre garantizar un rango mínimo de daños en las construcciones; de esto se encarga la tipología de cimentaciones superficiales tales como zapatas aisladas, zapatas corridas también llamadas combinadas y las losas de cimentación o balsas. Todos estos elementos se usan de forma individual o se unifican acorde a las especificaciones del terreno y requerimientos de las obras a ejecutar (Garza, 2004).

3.2.1 Zapatas aisladas (pad)

Son la base de elementos estructurales puntuales como las columnas, generando ampliación de la superficie de apoyo logrando que el suelo pueda soportar sin inconvenientes la carga transmitida evitando asentamientos en la estructura que seguramente la columna por si sola causaría, ya que esta no cuenta con una base amplia que haga contacto con el suelo y terminaría generando un efecto de penetración por punzonamiento puntual sobre el suelo. Se denomina zapata aislada porque este elemento estructural es único para asentar una sola columna siendo el tipo de zapata más simple tanto para su aplicación como para su diseño (Sosa, 2018).

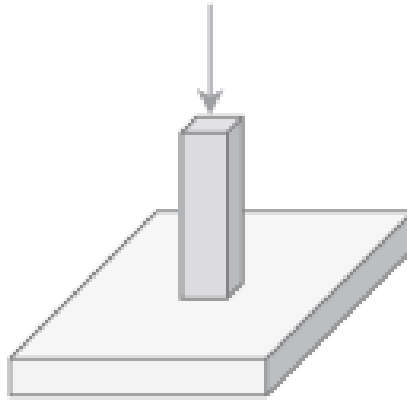


Figura 2. Zapata aislada.

Fuente: <https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9781260468489/chapter/chapter12>

3.2.2 Zapatas corridas (strip)

Estas se emplean cuando hay grandes cargas que buscan concentrarse en un solo punto y darán lugar a asentamientos diferenciales, también cuando hay proximidad entre las columnas, si el suelo tiene poca capacidad de resistencia o presenta discontinuidades. Pero no solo se emplean para dar más superficie de apoyo a las columnas generando un solo cuerpo estructural, también se apoyan sobre ellos muros con gran capacidad portante (Sosa, 2018).

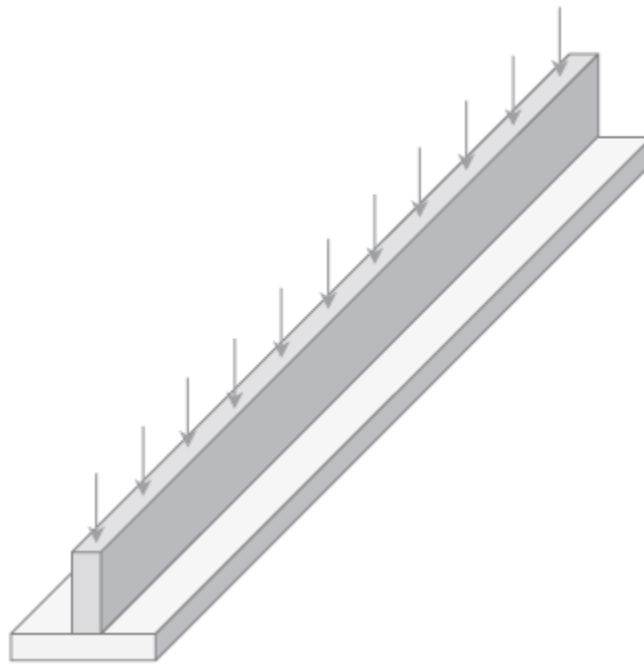


Figura 3. Zapata corrida.

Fuente: <https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9781260468489/chapter/chapter12>

3.2.3 Losas de cimentación (balsa)

Son placas que se apoyan directamente en el terreno y se utilizan para distribuir las cargas de una estructura en un área determinada más grande, usualmente en el área total de la estructura. También son utilizadas cuando las cargas generadas por las columnas u otras cargas tienen una posición cercana entre sí y los cimientos de zapatas individuales generarían una interacción. Las losas de cimentación son generalmente de concreto, que es extendido sobre el área total cargada y puede tener su mayor grado de rigidez y homogeneidad por medio de nervaduras o vigas que son incorporadas en la cimentación.

Estas losas cuentan con la gran ventaja de mitigar al máximo los asentamientos diferenciales en las distintas zonas de la misma, por lo que a menudo se emplean en suelos blandos o con materiales muy sueltos con capacidad baja de carga (Sosa, 2018).

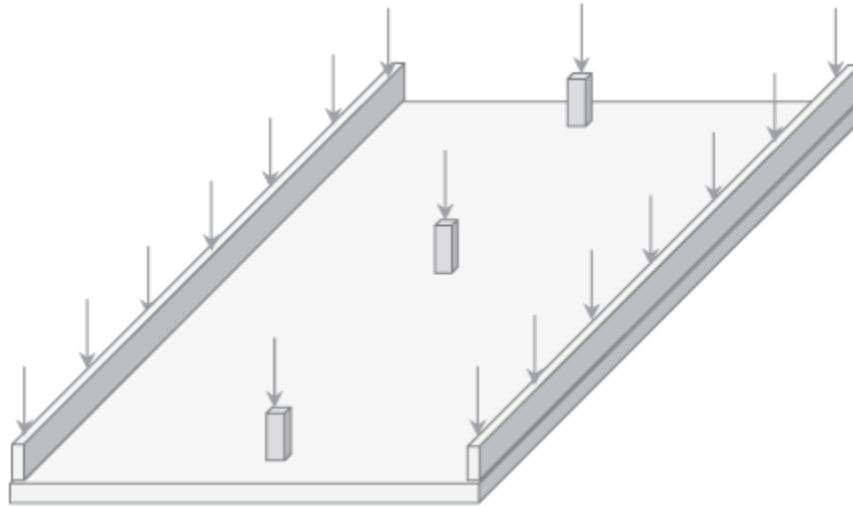


Figura 4. Losa de cimentación.

Fuente: <https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9781260468489/chapter/chapter12>

3.3 Cimentaciones profundas

Fueron pensadas como un tipo de cimentación que fuera capaz de transmitir las cargas generadas por la estructura misma o factores externos a los sustratos más resistentes de suelo. Este tipo de cimentación se hace necesaria cuando las cargas de una construcción no pueden ser distribuidas de la mejor manera en una cimentación de tipo superficial, también son aplicadas en casos en los que el terreno más próximo a la superficie es propenso a sufrir alteraciones por aplicación de cargas, en edificios altos en los que influyen de gran manera factores externos como los vientos o en estructuras muy pesadas que requieren apoyarse en materiales muy resistentes.

Las cimentaciones profundas cuentan con una tipología limitada entre las que se destacan los pilotes por su capacidad de aplicabilidad a gran variedad de proyectos logrando suplir necesidades técnicas propias de la geotecnia y estructuras que permiten economía y confiabilidad en las construcciones (Padilla, 2016).

3.3.1 Pilotes

Este tipo de cimentación profunda también conocido como sistema por pilotaje, es una cimentación puntual que se posiciona en el terreno en búsqueda de la capa o estrato que sea capaz de soportar las cargas transmitidas por la edificación. Este sistema se aplica comúnmente en casos donde:

- Las cargas que se transmiten hacia el suelo no se pueden distribuir de forma correcta en una cimentación de tipo superficial.
- El terreno es propenso a expansiones o retracciones por variación de la temperatura.
- Los cimientos serán propensos a tener que resistir esfuerzos de tracción.

Los tipos de pilotes más comunes son:

- Pilotes de desplazamiento: estos pilotes son construidos sin la necesidad de extraer tierra del terreno en el sitio donde serán posicionados. Generalmente llegan a la obra total o parcialmente fabricados y se introducen en el terreno mediante un procedimiento de presión, martilleo o vibración denominado hincas, ocasionando un volumen adicional en el terreno que modifica el estado de tensión del suelo y los otros elementos estructurales presentes.

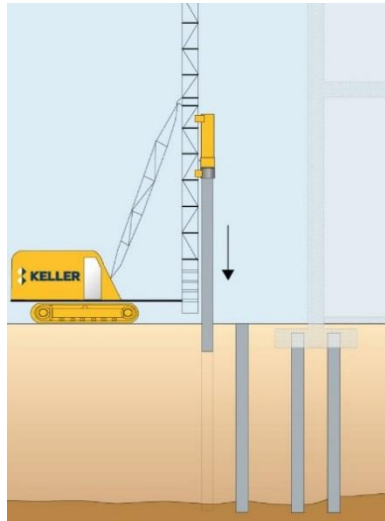


Figura 5. Pilotes de Desplazamiento a Rotación.

Fuente: <http://www.pilotesyobras.com/pilotes-desplazamiento-rotacion.asp>

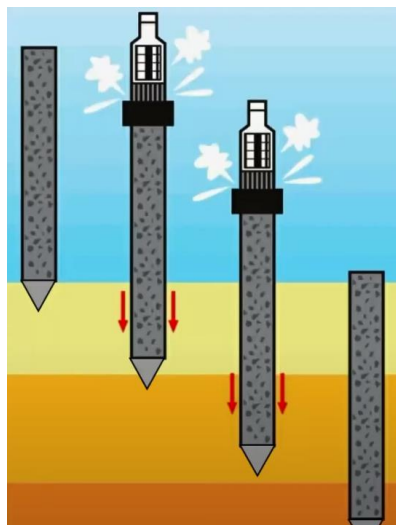


Figura 6. Pilotes Prefabricados Hincados

Fuente: <https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/pilotes-prefabricados-hincados>

- Pilotes de concreto In Situ: son elementos estructurales compuestos de concreto armado para los cuales es necesario realizar una excavación previa en el sitio de posición del pilote, excavaciones que se realizan por medio de tubos de acero hincados en el terreno para generar el espacio que ocupará el pilote, también puede hacerse la excavación por barrena que es un gran tornillo que por medio de rotación saca la tierra necesaria para generar el

espacio del pilote. Posteriormente a la excavación (sea por barrena o hincado), se debe introducir la armadura de acero para rellenar el espacio con concreto (Sosa, 2016).

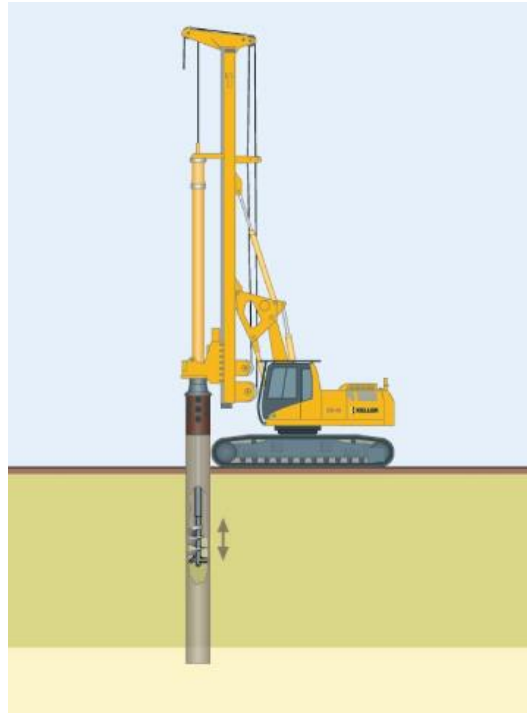


Figura 7. Pilotes In Situ

Fuente: <https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/pilotes-situ#:~:text=Los%20pilotes%20in%20situ%20son,a%20niveles%20profundos%20del%20terreno.>

3.3.2 Caisson

Tienen gran semejanza a los pilotes, tanto en su funcionalidad como en su composición. Difieren básicamente en el tamaño, ya que los caisson son de un diámetro mucho mayor y su proceso constructivo siempre se realiza en el mismo lugar de aplicación, es decir, son fundidos In Situ (Goswami, 2020).



Figura 8. Construcción de un Caisson

Fuente: <https://escuelaonlineparaarquitectos.com/tutoriales-de-construccion/como-se-construye-un-caisson-keison/>

3.4 Estructuras de contención o estabilización

Son muy utilizados para la construcción de edificios de gran altura o estructuras donde se requiera generar una barrera de contención contra el empuje lateral de tierras, además de ser las más adecuadas para generar excavaciones sin perjudicar construcciones colindantes. Existen dos grandes tipos que son los muros y pantallas de contención, las cuales generan una gran diferencia que es en su procedimiento constructivo, ya que para los muros se genera una excavación previa, caso contrario al de las pantallas donde primero se construyen estas para luego realizar las excavaciones en el terreno (Morales, 2018).



Figura 9. Muros y Pantallas de Contención

Fuente: <https://www.360enconcreto.com/Portals/%5BComunidad360%5D/muros-guia-foto1.jpg>
<https://www.muniporvenir.gob.pe/wp-content/uploads/2020/12/muro-de-contencion.jpg>

Dentro de los muros y pantallas de contención encontramos:

- Muros de gravedad: estos muros dependen únicamente de su propio peso para cumplir su función, combinando esto con la inclinación y posicionamiento generando un contrapeso a las fuerzas a las que es sometido.
- Muro cantiléver o en voladizo: generalmente compuestos de hormigón armado, los muros cantiléver se mantienen estables en su posición y forman una barrera efectiva contra las cargas laterales de tierra gracias a su peso y forma, ya que cuentan en su base con una losa que aprovecha el peso del mismo material que retiene para generar contrapeso.
- Tablestacas: son de las estructuras de contención más flexibles y de fácil instalación, formadas por elementos prefabricados usualmente de acero conectados entre sí con el fin de formar una pantalla de contención capaz de soportar cargas laterales de tierra. Su puesta en obra no necesita de excavación, ya que son hincados en el terreno por vibración o golpes de martillo controlados y monitoreados durante todo el proceso de instalación.

- Pantallas continuas In Situ: son pantallas construidas dentro de unas perforaciones alargadas y profundas previamente ejecutadas para posteriormente ser rellenas de concreto, formando una estructura continua. Para su elaboracion no se hace necesario el uso de encofrados o entibaciones, ya que con las perforaciones ejecutadas es suficiente para generar el espacio y forma adecuados para el vaciado de concreto que generen correctamente las pantallas.
- Pantallas de paneles prefabricados: son elementos de forma rectangular fabricados previamente a su puesta en obra. Para su colocacion es necesario crear una zanja con dimensiones un poco mayores a las del elemento prefabricado, para proceder a introducir dicho elemento en la zanja. El ultimo paso es verter concreto alrededor para garantizar su estabilidad y compactacion con el terreno relleno los espacios resultantes del proceso.

3.5 Excavaciones

Las excavaciones tienen varias definiciones acorde a su aplicacion, pero en el ambito de la construccion se definen como el movimiento de materiales o tierras con el fin de acondicionar el espacio para elementos constructivos de soporte y transmision de cargas, es decir, para los cimientos.

Las excavaciones en construccion de obras civiles tienen una tipologia dividida en:

- Excavacion de zanjas: son usualmente empleadas para la adecuacion de cimentaciones o sistemas de canalizacion.
- Excavacion de pozos: se emplean especificamente para la captacion de aguas.
- Excavacion de zapatas: suelen ser excavaciones de pequenas dimensiones enfocada unicamente a la adecuacion del espacio para la construccion de zapatas.

- Excavaciones de grandes dimensiones: la profundidad y el largo de estas excavaciones suelen ser iguales o superiores al de la edificación entera. Son utilizadas para cimentaciones de gran magnitud en grandes proyectos o para la adecuación de sótanos.

Para las excavaciones se debe tener presente que el suelo es básicamente el material suelto de la tierra y que la corteza dura de la tierra es la roca, aunque todos los suelos se consideran de manera geológica como formaciones rocosas. En las excavaciones estos grandes términos (suelo y roca), pueden generar diferencias en cuanto a la ejecución, presentando procesos diferentes, ya que para el suelo las excavaciones suelen ser manuales si no son muy profundas y solo se requerirá de maquinaria si la excavación es de grandes dimensiones. Por otro lado, en las excavaciones de roca se necesita de maquinaria con gran potencia sin importar el tamaño de la excavación (Yepes, 2019).

Dentro del proceso de excavaciones se debe mantener un control en muchos aspectos para no afectar edificaciones vecinas, aspectos que son de gran importancia tanto para la obra en ejecución como para las edificaciones colindantes, ya que generalmente en la adecuación de espacios para la cimentación de nuevas edificaciones o para la construcción de sótanos se termina por generar daños a las edificaciones cercanas (Padilla, 2016). Para esto, los controles fundamentales en el proceso de cualquier excavación se puede dividir en:

- Aplicación de estructuras geotécnicas capaces de evitar deslizamientos de roca y contener la tierra en los linderos de la excavación.
- Seguir al pie de la letra las especificaciones dadas por el profesional en geotecnia dictaminados en base al estudio de suelo.
- Mantener el sitio de la excavación siempre como un ambiente controlado.

- Monitorear el comportamiento de las estructuras geotécnicas aplicadas en el cumplimiento de su función.

3.6 Alternativas de contención de asentamientos diferenciales

Existe una buena variedad de alternativas para contener asentamientos diferenciales en estructuras con esta patología que aqueja muchas construcciones en Bogotá, sin embargo, se hará un enfoque en las más idóneas para implementar en las estructuras nombradas a lo largo de este trabajo, las cuales están situadas sobre suelos arcillosos expansivos con una cimentación de tipo superficial.

3.6.1 Pilotes pre-excavados y fundidos in situ

Estos elementos estructurales cuentan con grandes ventajas que los hacen importantes en el momento de elegir una alternativa para contener asentamientos diferenciales en una estructura con esta patología. Son ideales para el recalce de cimentaciones superficiales que están sobre estratos de suelo débil, ya que crean una profundidad en estas cimentaciones convirtiéndolas en cimentaciones profundas, logrando que la transmisión de cargas se dirija a un punto más profundo y resistente del suelo posicionándose debajo de la cimentación ya existente (sean zapatas corridas, zapatas aisladas o losas flotantes). También tienen la gran ventaja de no requerir grandes máquinas para su implementación, ya que al buscar aplicarlas en edificaciones ya construidas la intervención de máquinas como una piloteadora no sería posible (Rios, 2011).



Figura 10. Recalce de Cimentaciones

Fuente: <https://ingeniero-de-caminos.com/recalce-de-cimentaciones/>

3.6.2 Micropilotes

Su implementación es prácticamente la misma que la de los pilotes pre-excavados fundidos in situ pero a una escala menor, el diámetro de estos micropilotes se reduce considerablemente comparado con el diámetro de los pilotes. Cumple la misma función de los pilotes para el recalce convirtiendo la cimentación superficial en profunda, pasando de la misma manera el soporte de las cargas a niveles inferiores del suelo con mayor resistencia. Su implementación requiere de equipos de tamaño pequeño para ser hincados en el terreno, teniendo presente que estos micropilotes llegan prefabricados y tienen una capacidad portante menor a la de los pilotes pre-excavados fundidos in situ, por lo que son aplicados para el recalce en estructuras con cimentaciones que no deben transmitir cargas muy altas (Nuevo periódico, 2020).



Figura 11. Micropilotes Para Hundimientos

Fuente: <https://nuevoperiodico.com/micropilotes-para-hundimientos/>



Figura 12. Recalce De La Cimentación En Un Edificio Histórico - Geonovatek

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=suOUrMeLNh4>

3.6.3 Jet Grouting

Su procedimiento consta de inyecciones de lechada de cemento, mortero o concreto pobre junto con aditivos químicos acorde al tipo de suelo en el que se va a aplicar. Estas inyecciones de material se ejecutan a altas presiones con el fin de irrumpir en el suelo mezclándose con el mismo, para con esto lograr un suelo con características muy superiores permitiendo el recalce de la cimentación existente y la recuperación del nivel de la estructura en casos como el del Edificio Av. 100, además se ser ideales para suelos de tipo arcillosos o con presencia de arenas de grano fino (AETESS, 2016).

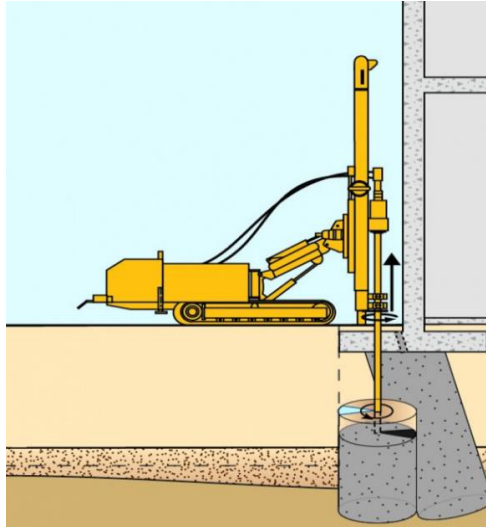


Figura 13. Tecnología Jet-Grouting

Fuente: <https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/jet-grouting-soilcrete>

3.7 Tipología de suelos

Para la descripción y caracterización de los suelos se requiere un estudio amplio gracias a la gran variedad que se encuentra, la funcionalidad y características de cada suelo es un mundo completo de información acorde a su disposición en la planificación de obras civiles. Por este motivo se realizará un enfoque en suelos arcillosos expansivos de origen lacustre, los cuales acorde a la zonificación de suelos de Bogotá realizada por el IDIGER (Instituto Distrital De Gestión De Riesgo y Cambio Climático), son los que están presentes bajo las estructuras nombradas a lo largo de este trabajo que presentan los problemas de asentamientos diferenciales.

La zona del Edificio Av. 100 solía ser una laguna pantanosa, de ahí el origen de la palabra lacustre que viene del latín lacus (lago) y la culminación de palustre que hace alusión a lagunas y pantanos. Esta característica del pasado del suelo donde ahora se encuentra el Edificio Av. 100 dejó arcillas altamente expansivas que al contacto con el agua u otros líquidos que modificando las condiciones de humedad incrementan su volumen. Estos cambios en las arcillas no se dan solo por el contacto con líquidos, también cuando se presentan tiempos de calor donde las arcillas

pierden la humedad que contienen promoviendo un fenómeno de retracción o contracción, conllevando de nuevo al cambio de volumen que esta vez se ve reducido (IDIGER, 2016).



Figura 14. Arcillas Expansivas y Suelos Expansivos En Edificación
Fuente: <https://archxde.com/arcillas-expansivas/>

Por la contracción y expansión de los suelos arcillosos (cambios de volumen), es que se presentan muchos casos de problemas estructurales en construcciones como los asentamientos diferenciales, por lo que las normas conllevan a que los diseños de las edificaciones que se van a establecer sobre este tipo de suelos sean pilotes buscando la capa de suelo más resistente o losas flotantes para transmitir las cargas a un área mayor evitando así el hundimiento de las estructuras por el punzonamiento en los suelos de cimentaciones como las zapatas aisladas. Sin embargo el problema viene cuando se ejecutan construcciones vecinas donde las excavaciones que se realizan para sótanos y cimentaciones crean una inestabilidad del suelo muy difícil de controlar, independientemente de los esfuerzos de los ingenieros al aplicar estructuras geotécnicas de contención como muros o pantallas, ya que estas arcillas suelen ser muy dúctiles y a cualquier vibración o presión genera un cambio en su forma (Washualdo, 2021).

4. Estado del arte

4.1 Estructuras con asentamientos diferenciales

4.1.1 Edificio José Luis

Los asentamientos diferenciales en estructuras alrededor del mundo abundan, realmente hay bastantes casos de construcciones con esta gran problemática, pero, si específicamente se hace un enfoque de casos presentes en la ciudad de Bogotá, nos vamos a topar una gran cantidad de edificaciones inclinadas que pareciera que en cualquier momento se van a derrumbar. Existen casos muy relevantes y conocidos como el del caso en estudio (Edificio Av. 100), que han sido famosos por su ubicación tan concurrida y notoriedad de la inclinación causada por los asentamientos, además de la relevancia mediática que han tenido. En Bogotá al Edificio Av. 100 lo acompañan otras estructuras inclinadas llamadas popularmente “las torres de Pisa bogotanas” con la misma problemática, que según estudios y semejanza en las afectaciones muestran tener la misma causa: la construcción de edificaciones vecinas.

Uno de estos casos es un edificio llamado José Luis ubicado en el barrio el Lago, más exactamente en la carrera 16 con calle 80 el cual fue inaugurado en el año 1989 poniéndose al servicio de sus propietarios como una edificación de vivienda multifamiliar dividida en unidades habitacionales de aproximadamente 85 metros cuadrados. La estructura presentó una inclinación mínima descrita y prevista dentro de los diseños, dado que el suelo de la zona es de tipo lacustre de suelos arcillosos expansivos, para lo cual se realizó un diseño en su cimentación de losa flotante capaz de distribuir el peso de la estructura de forma uniforme en un área de suelo más grande.

Años más tarde iniciaría la construcción de un nuevo edificio al costado sur del edificio José Luis (edificio Blue Sky), el cual fue planificado por una constructora llamada Advance constructora S.A.S para tener 3 sótanos y 10 pisos. Una vez iniciadas las excavaciones del edificio

vecino para la realización de los 3 sótanos, empezaron los grandes problemas para el edificio José Luis, el cual inicio con su gran inclinación que a día de hoy supera los 40 cm (Periódico El Tiempo, 2008).



Figura 15. Edificio José Luis.
Fuente: Google Earth

Según propietarios, inicialmente los parqueaderos del edificio José Luis tenían una altura en torno a los 2.2 metros, altura que dados los asentamientos paso a ser de aproximadamente 1.8 metros en las zonas más afectadas de los parqueaderos, lo cual es gran muestra del asentamiento diferencial de la estructura. Además del edificio José Luis hubo dos viviendas en la parte posterior del nuevo edificio construido por Advance Constructora S.A.S que presentaron grandes fallas una vez iniciadas las excavaciones de los 3 sótanos, sin embargo, éstas a diferencia del edificio José Luis ya fueron demolidas como medida preventiva dada la imposibilidad de seguir dando uso de la mismas y el peligro para los transeúntes del sector.

Advance Constructora S.A.S realizó inspecciones a las instalaciones del edificio José Luis comprometiéndose a dar solución a la problemática, pero hasta el momento lo único que ha hecho la constructora ha sido bajar el nivel del suelo en los parqueaderos del edificio José Luis para

devolverle su altura original de 2.2 metros, solución que realmente no encaja en la resolución total del problema que cada vez más se encamina hacia una demolición completa de la estructura dados los grandes asentamientos. Internamente el edificio José Luis también empezó a mostrar los efectos de los asentamientos diferenciales, ya que las grietas en muros, los marcos de puertas y ventanas torcidos, las fisuras en las escaleras y hasta las baldosas de los pisos rotas son aspectos que han hecho este edificio inhabitable e inseguro. Ya el IDIGER presento un dictamen después de inspecciones y estudios para determinar la condición de la estructura, pero no fue mucho lo que tuvieron que hacer para recomendar la evacuación total de inmediato, sin embargo, los propietarios del edificio no están dispuestos a irse sin que les sea brindada una solución concreta y racional por parte de Advance Constructora S.A.S, por lo cual 7 de las 10 unidades habitacionales aún siguen siendo ocupadas por sus propietarios y familiares que tienen que ver como día a día el problema empeora, a tal punto que las autoridades competentes tomaron la determinación de cerrar completamente el paso peatonal aledaño al edificio José Luis sobre el cual se está inclinando la estructura con el fin de prevenir alguna tragedia (Periódico El Tiempo, 2008).

4.1.2 Edificio Manglar

Otro caso muy relevante con la misma problemática es el edificio Manglar ubicado en la calle 95 con transversal 23 de Bogotá, un edificio de 5 pisos que cuenta con 17 unidades habitacionales construido en el año 2006 bajo la normativa NSR-98 que llevó a los ingenieros a proporcionar un diseño de pórticos de concreto reforzado con varilla. Este edificio se asienta sobre un suelo de tipo lacustre de suelos arcillosos expansivos igual al del edificio José Luis y el Av. 100, pero lo realmente relevante es el inicio de la presencia de asentamientos diferenciales en el edificio Manglar, los cuales también fueron por la construcción de nuevas edificaciones vecinas.



Figura 16. Edificio Manglar.

Fuente: Google Earth

En el año 2016 iniciaron obras al norte del edificio Manglar para la construcción de una torre de apartamentos de 7 pisos y 2 sótanos llamada Plaza 96, con la cual iniciaron los problemas para el edificio Manglar una vez puestas en marcha las excavaciones de los sótanos. Los daños en el edificio Manglar empezaron a notarse con la inclinación de la estructura hacia el sector noroccidental, que aunque no era de grado muy alto si fue suficiente para crear la señal de alerta en los propietarios del edificio y transeúntes del sector.



Figura 17. Construcción Edificio Manglar

Fuente: Google Earth

Pese a esto, no se le dio mayor importancia a la problemática dado que se realizaron inspecciones por parte de especialistas quienes determinaron que el edificio Manglar se encontraba en buen estado y podía seguir siendo utilizado con normalidad, pero los propietarios no quedaron muy conformes con esto dado que eran sus viviendas las afectadas.

Poco tiempo después, más exactamente en el año 2018 iniciaron obras para la construcción de otro nuevo edificio vecino llamado Morph Chicó ubicado al costado oriental del edificio Manglar, el cual tendría 9 pisos de altura y 1 sótano. Con las excavaciones para el sótano del nuevo edificio vecino se empezó la reactivación de los asentamientos en el edificio Manglar; los cuales fueron mostrando daños como grietas en los muros, ventanas rotas que no podían ser abiertas y lo peor, el aumento de la inclinación de la estructura completa que ya era muy notoria tanto dentro como fuera del edificio, dado que los pasos peatonales y antejardines exteriores junto con las cercas del edificio se empezaron a hundir y romper.



Figura 18. Proceso de Construcción Edificio Manglar
Fuente: Google Earth

Este caso tiene una gran diferencia con los demás similares encontrados en Bogotá, donde el problema es bastante recurrente y más en zonas como el Lago, Niza y Chicó; esta gran diferencia

es que el edificio Manglar tuvo que soportar la construcción no de 1 sino 2 edificaciones vecinas con excavaciones de grandes magnitudes prácticamente ejecutadas al tiempo. Actualmente en el edificio se pueden ver las grandes afectaciones por la construcción de sus edificios vecinos, la puerta de entrada a los parqueaderos del piso superior no abre al ser enterrada en el suelo por el peso de la estructura, las deformaciones en gran parte de la estructura van desde los 3 hasta los 8 cm de diferencia con el eje vertical, siendo estas más críticas en el costado norte colindante con el edificio Plaza 96.



Figura 19. Patología Estructural Presentada en el Edificio Manglar

Fuente: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30833/2020yudycastelblanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

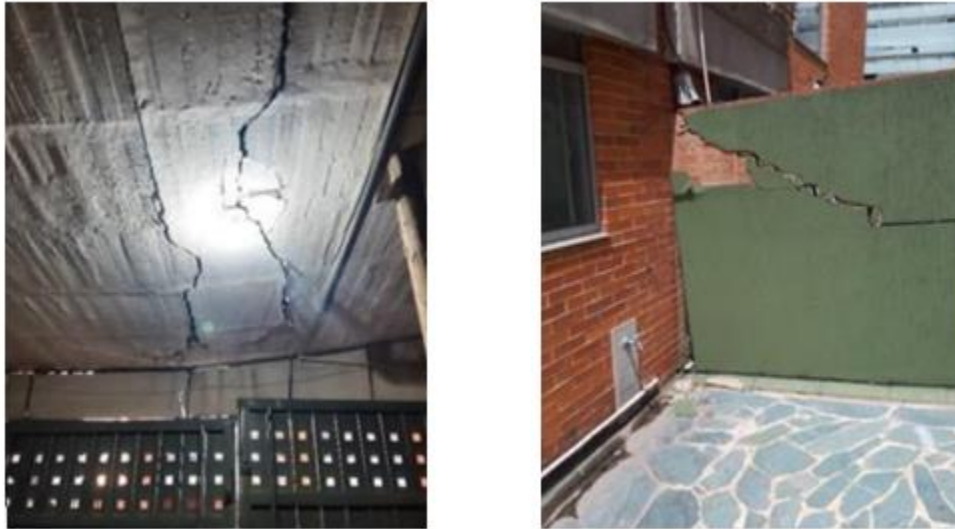


Figura 20. Patología Estructural Presentada en el Edificio Manglar

Fuente: <https://repository.usia.edu.co/bitstream/handle/11634/30833/2020yudycastelblanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Por todo lo nombrado anteriormente, se realizaron nuevas inspecciones por profesionales puestos al servicio de los propietarios por parte de las constructoras de las nuevas edificaciones, que en compañía del IDIGER dieron parte negativo sobre el estado de la estructura del edificio Manglar declarándolo como un peligro potencial que en cualquier momento podría colapsar, por lo que de manera preventiva el IDIGER ordenó de forma inmediata el desalojo del edificio y pidió ejecutar un proceso de apuntalamiento de la estructura en la zona norte del edificio, la zona más afectada por los asentamientos (Casteblanco, 2020).



Figura 21. Patología Estructural Presentada en el Edificio Manglar

Fuente: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30833/2020vudycastelblanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

4.2 Aplicación de alternativas de contención de asentamientos diferenciales en edificaciones

4.2.1 Jet Grouting

4.2.1.1 Estación Moncloa del metro de Madrid

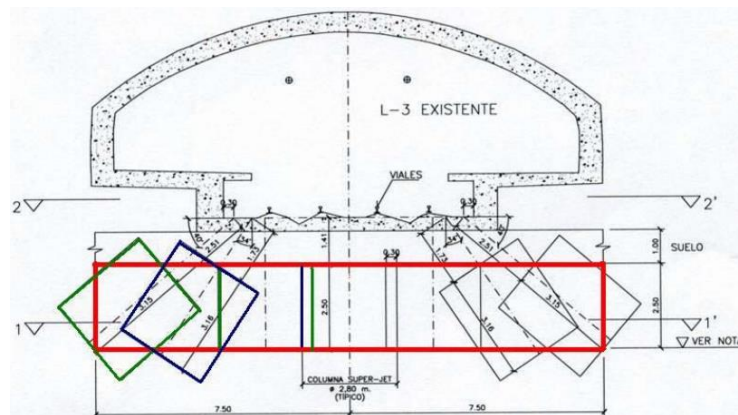


Figura 22. Estación Moncloa del Metro de Madrid

Fuente: https://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf

La solera del túnel de la tercera línea del metro de Madrid en la estación Moncloa necesitó reforzamiento de suelos, para lo cual fue utilizado el método de Jet Grouting. El suelo no tenía la suficiente capacidad portante para soportar por sí mismo las cargas inducidas por el túnel, dada la presencia de materiales finos en los estratos del suelo con baja capacidad de compactación, por lo

que la alternativa del Jet Grouting fue la ideal proporcionando estabilidad al suelo bajo el túnel por medio de 500 columnas de inyección tradicional de concreto pobre. Este procedimiento se realizó en 15 días dentro de los cuales se vio la necesidad de implementar un adicional de 65 columnas de Superjet Grouting, columnas de aproximadamente 2.8 m de ancho en las zonas donde el túnel ejercía mayor transmisión de cargas hacia el suelo.

Lo conseguido en este caso con este método fue un manejo adecuado del suelo bajo el túnel cumpliendo con el propósito de la continuación de la construcción de la tercera línea del metro de Madrid sin retrasos o complicaciones en la estructura que pasaba sobre el suelo donde se aplicó el método Jet Grouting (Fernandez, 2011).

4.2.1.2 Puerto de Valencia

En el puerto de Valencia se realizó la ampliación del calado del muelle de Levante que tiene una longitud de 1230 m de atraque, para lo cual se usó del método SuperJet Grouting para el reforzamiento del suelo bajo la cimentación del muelle, el cual no era capaz de contener las cargas de forma eficiente en el proceso de ampliación del calado del muelle.

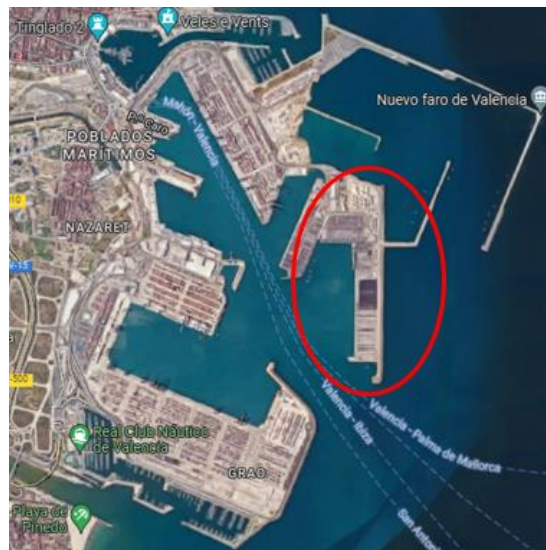


Figura 23. Ubicación puerto de Valencia
Fuente: Google Earth

En la figura se ve sobre el muelle el equipo de excavación e inyección utilizado para la implementación del método Super Jet Grouting en el momento en el que se encontraba realizando la operación de reforzamiento del suelo en una zona específica bajo la cimentación del muelle.



Figura 24. Identificación del Súper Jet Grouting en el puerto de Valencia

Fuente: https://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf

Para el procedimiento se perforaron los cajones de cimentación dando guía a la perforación con un tubo metálico por el que se inyectaba la mezcla de cemento. El procedimiento terminó dando mayor rigidez a la parte inferior de la cimentación del muelle permitiendo la continuidad al dragado con el que se haría la ampliación del calado (Fernandez, 2011).

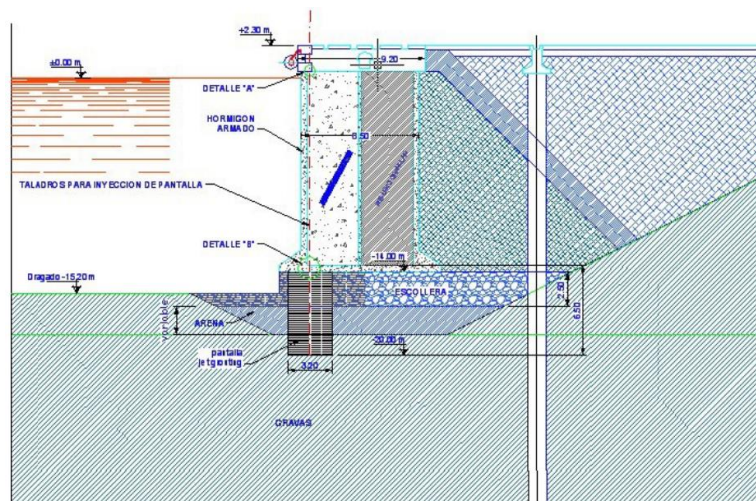


Figura 25. Planos Puerto de Valencia

Fuente: https://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf

4.2.1.3 Edificio Guernica

Las operaciones para devolver la verticalidad a un edificio no son sencillas, sin embargo, existen varios métodos que han permitido la corrección de estructuras para evitar demolerlas y continuar dándole el uso para el que fueron destinadas.

En Guernica se encontró un caso de fuertes asentamientos diferenciales en un edificio residencial de 4 pisos con varias unidades habitacionales para el cual se utilizó un método por gatos hidráulicos para devolverle la verticalidad a la estructura. Por medio de unos pilotes prefabricados sobre los cuales fueron puestos unas vigas exteriores se logró detener el avance de los asentamientos de la estructura pero la inclinación quedó a un punto tan alto que superaba los 30 cm.

Como se nombró anteriormente la solución para devolver la verticalidad al edificio llegó por medio de gatos hidráulicos, los cuales fueron anclados en grupos de 4 para cada uno de los 19 pilares que conformaban la cimentación de la estructura. Los gatos fueron soportados sobre suelo firme de concreto que se usaba como andén y suelo del semisótano.

La siguiente Figura (figura 26) ejemplifica el anclaje de todos los elementos a un pilar, proceso que fue repetido para los 19 pilares que posteriormente por la fuerza de los gatos fueron capaces de ser levantados y soportados mientras se realizaba el proceso de reforzamiento del suelo con el fin de que tuviera la capacidad de sostener el peso de la estructura y no volviera a presentar los asentamientos diferenciales de nuevo:

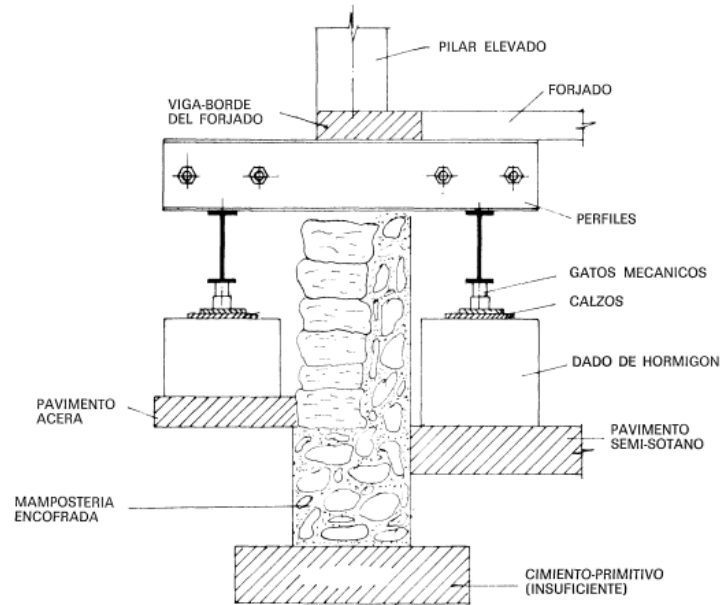


Figura 26. Anclaje de los elementos de recalce a un pilar

Fuente: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2844/3154>

Esta medida resultó ser un éxito, dado que toda la estructura logró ser levantada y puesta a nivel al tiempo que se logró reforzar el suelo por medio de inyecciones de concreto. A día de hoy la estructura sigue en pie siendo totalmente habitada y funcional (Madariaga, 1975).

4.2.2 Micropilotes

4.2.2.1 Micropilotes para recalces de cimentación en una bodega de Madrid

En la ciudad de Madrid se encuentra una bodega industrial de 432 m² donde se aplicó el sistema de micropilotes para el recalce parcial de la estructura con el fin de mitigar los asentamientos presentados por la estructura. En la estructura de la bodega se empezaron a notar fallas dadas la presencia de grietas, deformaciones en los muros y fisuras. Después de unos estudios realizados se tomó la decisión de implementar micropilotes para el recalce de la cimentación en la zona de la bodega donde se presentaban las fallas mitigando así los asentamientos, implementando micropilotes de 18,8 cm de ancho a una profundidad de 7 m en busca del estrato de suelo más resistente que fuera capaz de soportar las cargas transmitidas por la bodega. Para unir los

micropilotes a la bodega fueron necesarios encepados metálicos, ya que la bodega no contaba con una cimentación como tal haciendo que los muros se fueran enterrando en el suelo generando los asentamientos (Fernandez, 2013).



Figura 27. Máquina Utilizada En La Ejecución De Los Micropilotes Para Recalces, Trabajando En El Sótano De Una Nave Industrial En Villaverde (Madrid)

Fuente:

<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3690/tfg%20304.pdf;jsessionid=44DDB9DCA10E1BAA074C5FD2557F7788?sequence=1>

5. Planteamiento del problema

5.1 Línea

El trabajo desarrollado se enfoca en la línea de consulta de las alternativas de contención aplicables al Edificio Av. 100, con el fin de mitigar los asentamientos diferenciales que presenta el mismo por la elaboración de estructuras vecinas.

5.2 Título

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

5.3 Descripción del problema

El problema de asentamientos diferenciales que presenta el Edificio Av.100 de Bogotá deja grandes incógnitas sobre los aspectos a evaluar al momento de aplicar métodos en construcciones nuevas que cuentan con edificaciones colindantes con el fin de mitigar los daños que estas puedan generar.

La problemática ha ido en aumento, son muchas las estructuras a nivel mundial que han presentado asentamientos por la construcción de nuevas edificaciones a su alrededor, lo que en la gran mayoría de los casos conlleva a graves fallas en su estructura provocando el colapso. Es deber de los ingenieros y las empresas constructoras el buscar la forma de realizar una buena planificación para la implementación de los estudios y métodos necesarios para evitar al máximo que se presente esta problemática, poniendo como prioridad la vida y el bienestar general de las personas que harán uso de estas obras civiles.

Como resultado final se busca conocer cuál es la alternativa más eficiente para contener los asentamientos diferenciales que presenta el Edificio Av. 100 ubicado en la calle 100 # 9a – 65

determinando, ¿qué alternativas de contención se pueden aplicar en el Edificio Av. 100 para mitigar los asentamientos diferenciales que se presentan en esta edificación?

6. Metodología

El tipo de investigación con el que se busca alcanzar los objetivos propuestos en el presente proyecto de grado es la investigación descriptiva. Este tipo de investigación busca explicar el objeto en estudio sin la necesidad de adentrarse en datos cuantitativos. El factor de observación en la investigación descriptiva es vital porque permite encontrar características del objeto en estudio que junto a una recopilación de información logran establecer datos cualitativos con los que es posible desarrollar la ampliación del problema descrito en el planteamiento. Además, la investigación descriptiva busca establecer una base argumentativa por medio del análisis y la crítica de los autores en función informativa sobre la información recopilada de las distintas fuentes de un tema específico, mostrando de forma organizada las opiniones y apreciaciones particulares de los autores que, basados en todos los datos técnicos y argumentados descritos en las fuentes, logran establecer coherencia en sus opiniones (Morales, 2012).

Para dar cumplimiento al objetivo de este tipo de investigación, se debe realizar la búsqueda de información existente dada la dificultad que se presenta para obtener datos cuantificables (motivo principal por el cual se elige la investigación descriptiva), siendo así los libros y el internet los principales proveedores de información para generar la base a la formulación de un marco teórico y estado del arte capaces de funcionar como promotores en el desarrollo del trabajo.

La investigación descriptiva lleva a subdividir la metodología en las siguientes fases:

Fase 1: Exponer la base teórica necesaria para la descripción de la problemática del Edificio Av.100 por medio de un marco teórico y estado del arte enfocado en antecedentes de la aplicación de las alternativas de mitigación de los asentamientos diferenciales, además de mostrar edificios que presentan una patología similar a la del Edificio AV. 100.

Fase 2: Generar una descripción de la problemática y de los tipos de cimentación que se estima tengan el Edificio Av. 100 y sus edificios vecinos. Esto se desarrolla por medio de una investigación del año en el que fueron construidas estas edificaciones y los métodos constructivos de la época.

Fase 3: Establecer una alternativa de mitigación para los asentamientos diferenciales presentados en el Edificio Av. 100, describiendo esta alternativa de contención seleccionada con su método constructivo, aplicaciones, ventajas, desventajas, equipos a implementar y cuidados posteriores a su aplicación en edificaciones.

7. Desarrollo

El Edificio Av. 100 es un edificio residencial ubicado en la localidad de Chapinero en la ciudad de Bogotá, más específicamente en el barrio El Chicó. Este barrio tiene sus límites entre los cerros orientales, la autopista norte, la calle 88 y la calle 100.

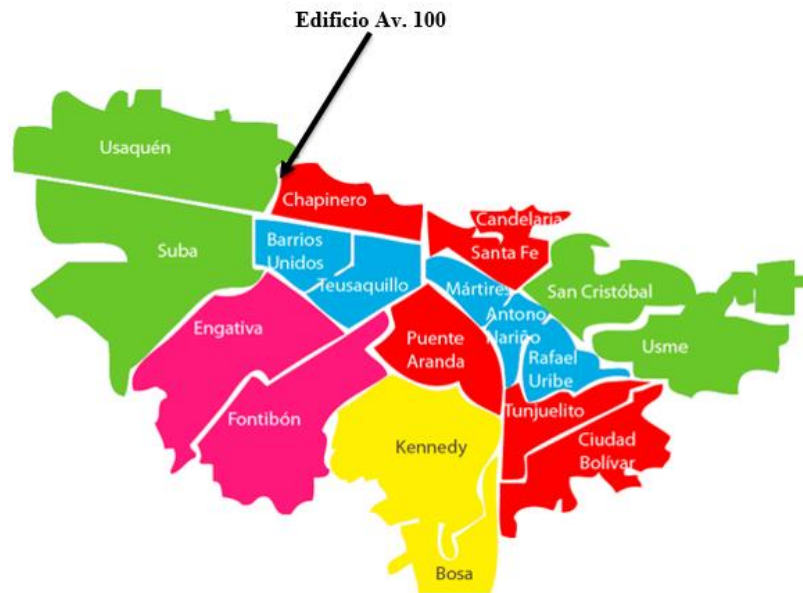


Figura 28. Localización Edificio Av. 100

Fuente: <http://www.chapinero.gov.co/mi-localidad/mapas>

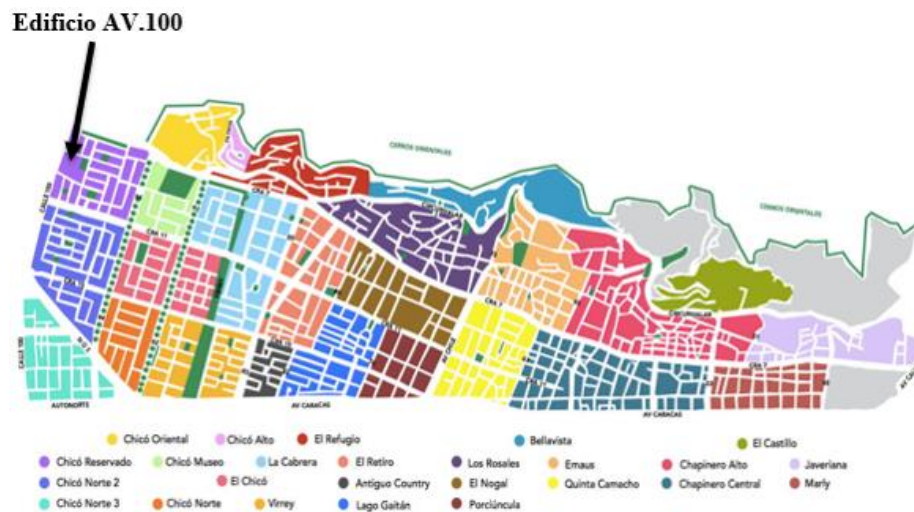


Figura 29. Ubicación Edificio Av. 100

Fuente: <https://ucarecdn.com/7bc88073-54c0-4ec8-9647-3ed95e0a2998/-/preview/>

El Edificio Av. 100 fue construido en el año de 1974 junto con el edificio Fuencarras y el edificio Combeima, edificios también destinados a ser de uso residencial, además de contar 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.

Este proyecto nuevo contaba en sus planos con una profunda excavación que superaba la profundidad de los cimientos del Edificio Av. 100, lo cual traería grandes problemas a futuro para su edificio vecino. Sin embargo, el problema no es la generación de un hoyo de estas magnitudes, es la falta de aplicar correctamente la estructura geotécnica indicada para mitigar al máximo los problemas que se le puedan generar a las edificaciones colindantes, ya que todo esto debe estar incluido dentro de la planificación del proyecto.

Uno de los propietarios de una de las unidades habitacionales del Edificio Av. 100, el cual es ingeniero civil, se dio cuenta de la falta de aplicación de este tipo de estructuras, por lo cual decidió tomar cartas en el asunto y levantar la voz explicando a sus copropietarios sobre los posibles daños que esto podía ocasionar al edificio que habitaban. Efectivamente tiempo después, cuando el edificio de equidad seguros, el cual cuenta con 15 plantas se elevó, empezaron los grandes problemas estructurales para el Edificio Av. 100, ya que aparte de la gran excavación del edificio Equidad Seguros, su gran peso hizo que el Edificio Av. 100 presentara asentamientos diferenciales haciendo que este empezara a inclinarse por la inestabilidad que había generado en sus cimientos y el suelo sobre el cual estos reposaban.



Figura 30. Patologías Edificio Av. 100

Fuente: Elaboración de los autores

Detrás del Edificio Av. 100 empezó a levantarse otra gran estructura poco tiempo después del edificio Equidad Seguros, esta estructura es el edificio Heights 99 lo cual complicó aún más el problema de asentamientos del Edificio Av. 100, haciendo que este se inclinara aún más y afectando también a los edificios Fuencarras y Combeima de la misma manera, aunque no de forma tan grave como al Edificio Av. 100.

En una de las visitas que realizamos nos encontramos con dos propietarias, las cuales nos dieron ingreso al edificio para observar algunos de los daños ocasionados internamente; vidrios rotos, marcos de ventanas y puertas torcidos, muros sostenidos por trozos de madera con amarres

improvisados, e incluso, la puerta del sótano que daba paso a los vehículos para los parqueaderos ya no abre por el peso de la estructura que la clavo al suelo.

Desde el año 2016 el edificio se encuentra totalmente abandonado, ya no lo habita nadie y ninguno de los propietarios quiere ponerse de acuerdo para dar una solución definitiva. En el año 2021 el IDIGER (Instituto Distrital De Gestión De Riesgo y Cambio Climático), 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 el edificio puede venirse abajo. Sin embargo, este dictamen no declara al edificio en ruina, dado que para que esto suceda tiene que haber un estudio geotécnico profundo el cual si está en potestad de dar dicho dictamen o no (Revista Semana, 2021).

Algunos datos relevantes sobre el Edificio Av. 100, los edificios colindantes y la zona del barrio Chicó son:

Tabla 1. Datos del Edificio Av. 100 y edificios colindantes

Edificio	Número de plantas	Área del terreno (m ²)
Edificio Av. 100	6	462
Equidad Seguros	15	2867
Heights 99	11	596

Geología del barrio Chicó: el barrio Chicó se encuentra en la zona geotécnica denominada como lacustre. Esta zona se conforma principalmente por depósitos de arcillas blandas con una profundidad de aproximadamente 50 metros. También se pueden encontrar depósitos de arena y

turbas de un espesor no muy alto. La capa superficial se encuentra preconsolidada y es de espesor variable, generalmente no mayor a 10 metros (IDIGER, 2010).

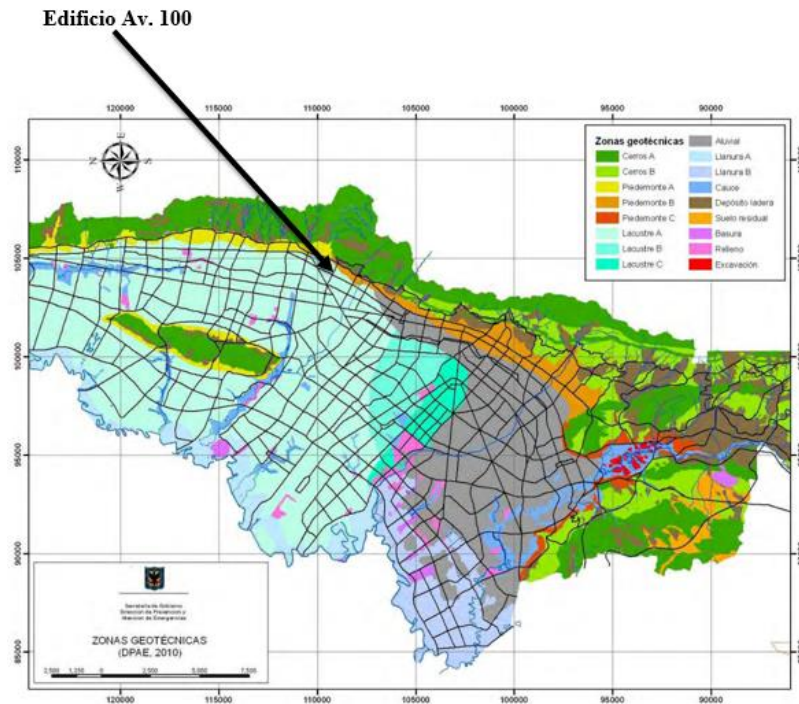


Figura 31. Zonificación Edificio Av. 100

Fuente: <https://www.idiger.gov.co/documents/20182/112614/Zonificacion Respuesta Sismica-FOPAE-2010.pdf>

7.1 Descripción de las cimentaciones del Edificio Av. 100 con las edificaciones vecinas según los métodos constructivos de la época

Para el año 1974 se generó la construcción del Edificio Av. 100 bajo 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. 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. Para los años 70 no se hacían estudios de suelos para estructuras con menos de 4 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

implementaban las losas de cimentación flotantes al identificar un suelo de tipo arcilloso. 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.

En Bogotá las edificaciones de las zonas marginales de la época, que como se nombraba anteriormente eran soportadas sobre zapatas, 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 el mismo buen comportamiento en zonas de suelos arcillosos de origen lacustre como en el barrio el Chicó, Polo, el Lago, entre otros; mostrando grandes asentamientos en sus construcciones que veían como al pasar del tiempo se incrementaba la problemática.

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 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 hundirían fácilmente en este tipo de suelo altamente expansivo.



Figura 32. Cimentación Flotante

Fuente: <https://www.diccionario.geotecnia.online/wp-content/uploads/2020/06/Cimentacio%CC%81n-Flotante.jpg>

En el caso puntual del Edificio Av. 100 se logró identificar acorde a 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 superaba los 4 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. 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 (Orozco, 2013).

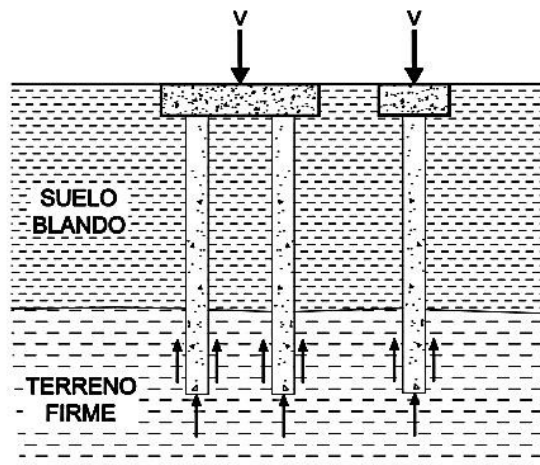
Poco a poco los avances se fueron notando en la implementación de cimentaciones en Colombia, a mediados de los años 80 se empezó con la implementación de pilotes por fricción basados en un análisis de cimentaciones de edificios en Chicago que ya superaban los 30 pisos de altura incluyendo la torre Sears que fue la más alta del mundo en la época con sus 108 pisos que

suman 442 metros de altura. La implementación de los pilotes en las construcciones bogotanas trajo resultados bastante satisfactorios, el ejemplo que dio la construcción del galardonado edificio Avianca del año 1969 por placa y pilotes a la construcción de la torre Colpatria es gran muestra de ello, con lo que se terminaba en depositar confianza en la eficiencia de este tipo de cimentación para evitar los asentamientos diferenciales que si 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.

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.

En el año 1998 llegó la NSR-98, norma con la que se estableció 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. 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 que buscaban 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 (Revista Memoria, 2005).



PILOTES POR PUNTA

Figura 33. Pilotes por Punta

Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2019/01/Figura-2-3.jpg>

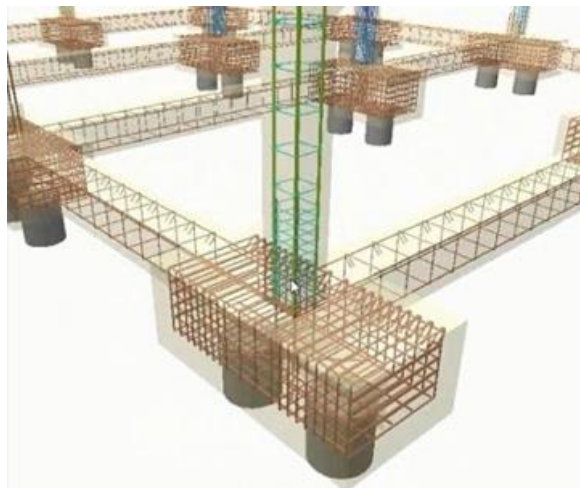


Figura 34. Gráfico de Pilotes

Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/5r5d1jtaJgA/hqdefault.jpg>

Para la construcción de los sótanos se realizó previo a la excavación la construcción de pantallas con el fin de crear una contención de tierras que ejercerían 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 oscilan entre los 2.5 m a 4.5 m.



Figura 35. Muro de Pantalla

Fuente: <https://www.ribecosl.com/imagenes/contenidos/1563883177-muro-pantalla.jpg>

7.2 Implementación de alternativas de mitigación de asentamientos diferenciales en el Edificio Av. 100

Las alternativas seleccionadas para la mitigación de asentamientos diferenciales en el Edificio Av. 100 son el Jet Grouting y los micropilotes.

El proceso para el refuerzo de la cimentación ya existente y del suelo sobre el que fue cimentado el Edificio Av. 100 conlleva a la ampliación en el apoyo en niveles más bajos del suelo que sean más resistentes sin la necesidad de llegar a cotas muy profundas como para llegar a considerar la cimentación de tipo profunda. Las intervenciones a la edificación deben ser muy tenues y delicadas, ya que son de alto riesgo y siempre deben adoptar la postura de detener y corregir los daños producidos en el edificio por los asentamientos.

El procedimiento debe contar con factores ordenados para la ejecución del reforzamiento del suelo por el método del Jet Grouting, el cual generara compactación en el suelo y se consolidara como una capa capaz de dar mayor soporte a los micropilotes que posteriormente serán hincados

hasta posarse sobre el refuerzo hecho por las inyecciones del Jet Grouting y se anclaran a la losa de cimentación ya existente en la edificación.

7.2.1 Implementación del método Jet Grouting

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 generarán mayor resistencia.

La conformación del equipo para la aplicación del método consta de 3 componentes que son:

- Perforadora
- Mezcladora dosificadora de lechada, mortero o concreto
- Bomba de grandes presiones y caudal graduable

En el proceso de perforación se utiliza generalmente un martillo tricono de fondo, para proceder a la búsqueda de la cota donde se iniciara 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.

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

Los tipos de inyección por el método Jet Grouting se dividen en:

Jet sencillo: La inyección varía a una presión entre 20 MPa y 60 MPa, siendo el material principal la lechada o el concreto inyectado a una velocidad de ascenso que varía entre los 5 cm y los 50 cm por minuto. La velocidad del rotor varía entre las 10 rpm y las 30 rpm.

Jet doble: Consta de un sistema de inyección doble, donde por un lado se inyecta la lechada de cemento o concreto y por el otro lado aire. La presión de inyección del material puede llegar a 50 MPa, mientras que la inyección de aire va a una presión de aproximadamente 1 MPa.

Jet triple: Inyecta lechada de cemento o concreto, aire y agua. La presión de inyección del material y del agua es de 50 MPa aproximadamente, mientras que la inyección de aire cuenta con una presión de 1 MPa. El ascenso de los tubos de inyección varía entre los 4 cm y los 10 cm por minuto generando una rotación de 6 rpm en promedio.

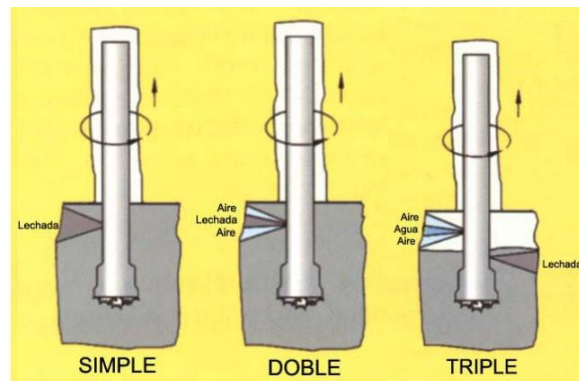


Figura 36. Tipología del Jet Grouting

Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2019/07/jet-g.jpg>

Esta técnica tiene ventajas en comparación con otros sistemas, ya que es capaz de pasar todo tipo de suelo y por su pequeño tamaño logra adaptarse a espacios reducidos. Además, el Jet Grouting puede proporcionar un sistema silencioso y poco perturbador gracias a sus bajos niveles de vibración, siendo aplicable en el recalce de cimentaciones donde estas no fueron suficientes para transmitir de forma eficiente las cargas al suelo, en el refuerzo de una cimentación ya existente, en el reforzamiento de suelos en estructuras que presenten asentamientos que generen

daños estructurales o en el reforzamiento de excavaciones para la construcción de sótanos con edificaciones colindantes ya establecidas (Yepes, 2019).

La selección del sistema ideal para la mitigación de los asentamientos del Edificio Av. 100 se realizó teniendo en cuenta el tipo de suelo presente en la zona y sus propiedades, siendo este de tipo arcilloso. Sin embargo, cualquiera de los 3 tipos de inyección de Jet es aplicable a casi todos los tipos de suelo (ver figura), pero al ser el suelo bajo el Av. 100 un suelo arcilloso altamente expansivo se opta por la inyección por Jet doble inyectando concreto de mínimo 1500 psi junto con aire.



Figura 37. Rango de Aplicaciones para Técnicas de Inyección

Fuente: https://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf

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.

El método para la perforación se rige a los parámetros de trabajo que tenga la maquinaria, los cuales se encuentran estipulados en la siguiente tabla:

Tabla 2. Parámetros de Trabajo para la Perforación

Parámetros de trabajo	Monofluido	Doble fluido (aire)	Doble fluido (agua)	Triple fluido	SuperJet
Presión de la lechada (MPa)	30-50	30-50	> 2	> 2	30-50
Caudal de la lechada (l/min)	50-450	50-450	50-200	50-200	300-450
Presión de agua (MPa)	-	-	30-60	30-60	-
Caudal de agua (l/min)	-	-	30-150	50-150	-
Presión de aire (MPa)	-	0,2-1,7	-	0,2-1,7	0,2-1,7
Caudal de aire (m ³ /min)	-	3-12	-	3-12	3-12
Toberas de corte (mm)	1,5-5	1,5-6	1,5-6	1,5-6	4-6
Toberas de relleno (mm)	-	-	4-12	4-12	-
Velocidad de ascenso (cm/min)	20-70	10-50	10-50	10-50	5-30
Velocidad de rotación (rpm)	10-30	5-20	5-20	5-20	2-15

Fuente: https://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf

En el diseño de una barrera de impermeabilización realizada mediante columnas de jet-grouting, hay que tener en cuenta que su misión fundamental es limitar el paso de agua a través suyo y disminuir los arrastres del terreno.

El proceso de diseño del tratamiento debe seleccionar el tipo de sistema a emplear más adecuado al terreno existente, y a las características medias, tanto geométricas como mecánicas, buscadas del terreno tratado. También se debe evaluar las desviaciones previstas en la perforación de cada elemento, para que de acuerdo con las características geométricas de las columnas, se pueda diseñar la malla del tratamiento, para evitar zonas localizadas no tratadas. Esto conlleva a determinar solapes mínimos entre elementos. El coeficiente de permeabilidad se puede estimar entre 10^{-7} y 10^{-9} m/seg. Es importante en todo caso indicar que la permeabilidad global depende tanto de la continuidad del tratamiento como de la permeabilidad del propio suelo tratado (Fernandez, 2011).

7.2.1.1 Procedimiento

- Se realiza la perforación de la losa flotante y del terreno hasta una profundidad de 8 m.

- Se da inicio a la inyección del concreto, inyectando también aire con el propósito de envolver el Jet de concreto generando un incremento en la eficacia de penetración en el suelo.
- 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 aproximadamente, mientras que la inyección de aire cuenta con una presión de 1 MPa. El ascenso de los tubos de inyección se controla entre los 4 cm y los 10 cm por minuto generando una rotación de 6 rpm en promedio.
- El concreto inyectado se mezcla con el suelo compactándolo y expulsando sobrecargas de agua por un orificio previamente perforado en la losa de cimentación, sirviendo este como ruta de escape.
- 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 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.

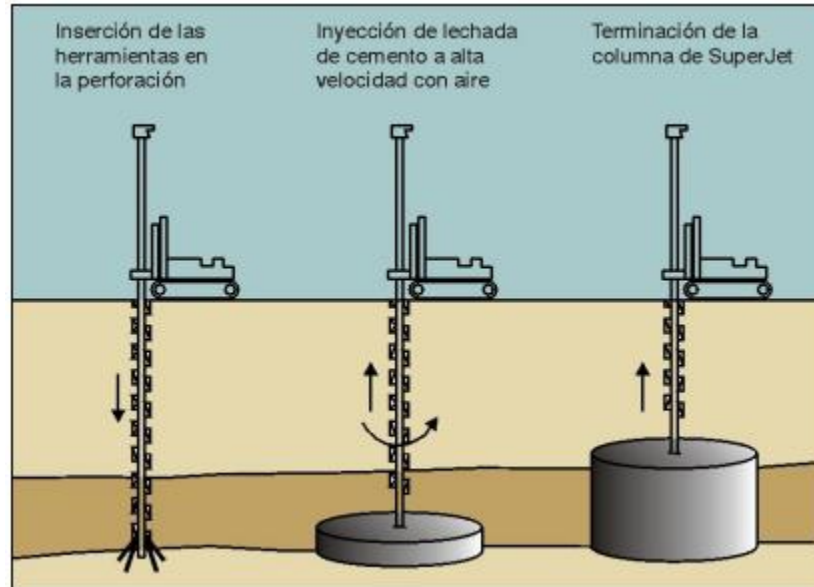


Figura 38. Proceso de ejecución de Superjet-Grouting

Fuente: https://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf

Posteriormente 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 (Baez, 2015).

7.2.2 Implementación de micropilotes

Posteriormente a la aplicación del Jet Grouting en el Edificio Av. 100 se procede a la implementación de los micropilotes para completar el procedimiento que permite mitigar 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 2 orificios que deben quedar posicionados linealmente al central con un espaciado de 20 cm. 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 (Basset, 2018), (Lorente, 2013).

7.2.2.1 Procedimiento

- Se posiciona 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.

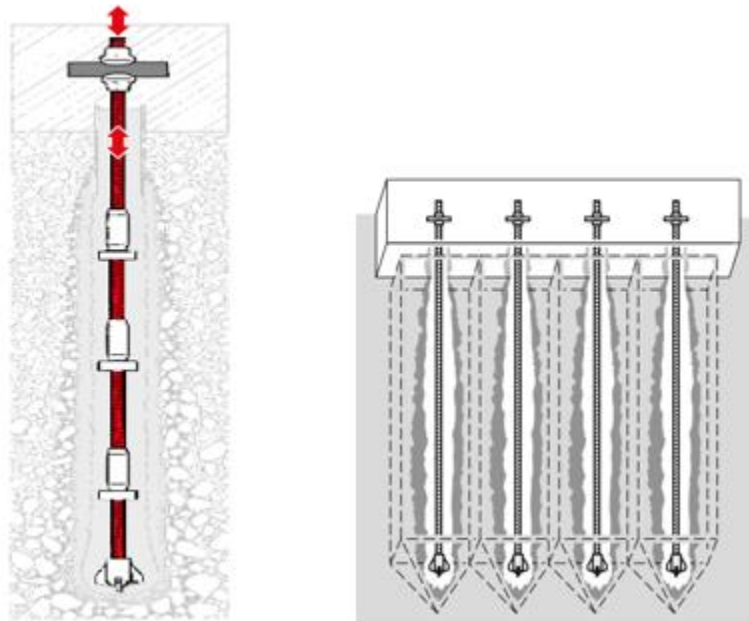


Figura 39. Equipo de Comprobación de Resistencia Interna

Fuente: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/122865/1612_ES_Cimentacion-y-recalce_4811003251_email.pdf

Una vez puestos en su sitio todos los micropilotes, se procede a unificarlos para conformar un solo elemento de la siguiente manera:

- Excavar una zanja en la parte superior de los micropilotes de forma lineal, haciendo que esta una la parte superior de todos los micropilotes.
- Colocar una viga metálica en I a lo largo de toda la zanja.
- Rellenar el espacio restante con concreto de alta resistencia.
- Colocar una plaqueta metálica como recubrimiento final superior a la zona excavada para la zanja donde se coloca la viga, dejándola anclada a la placa por medio de tornillos incrustados en la losa sujetos con tuercas.

La implementación de los micropilotes tiene las mismas ventajas del Jet Grouting; maquinaria de tamaño pequeño, procedimiento con bajos niveles de ruido y vibraciones, y son eficientes en el cumplimiento de labores como la mitigación de asentamientos, permitiendo esto la implementación en zonas residenciales como la del Edificio Av. 100.

Las condiciones esenciales para implementar micropilotes son tener una cimentación existente en buen estado, no buscar posicionarlos a profundidades mayores a los 20 m y contar con un suelo estabilizado. La capacidad de carga que tienen los micropilotes metálicos depende de su longitud, diámetro, inclinación, terreno en el que se introducen y sistema constructivo, por lo que en el caso de la implementación en el Edificio Av. 100 se pretende ubicar los micropilotes en grupos de 3 por columna inyectada por Jet Grouting con un diámetro de 15 cm posicionados de forma vertical, teniendo como dato técnico que cada micropilote es capaz de soportar un peso cercano a las 48 toneladas siendo esto suficiente para que el conjunto del sistema de micropilotaje soporte el peso de la estructura (Schebeck, 2017).

8. Conclusiones y recomendaciones

Para el desarrollo del trabajo fue necesaria la obtención de información específica y detallada, sin embargo, hubo información a la que no se tuvo acceso siendo un gran inconveniente. Parte de la información más relevante que no se pudo obtener fueron los planos estructurales del Edificio Av. 100 dado el problema legal y la orden de sellamiento impuesta a la edificación por parte de la alcaldía de Chapinero en conjunto con el IDIGER como medida de prevención y la imposibilidad de ingresar a la edificación para toma de muestras, medidas y registros fotográficos. Esta información tuvo que ser obtenida por fuentes como métodos constructivos de la época que llevan a la estimación de datos y las conversaciones con personas involucradas en la problemática.

Con el análisis de la información se logra deducir el tipo de cimentación aplicada en el Edificio Av. 100, siendo esta una losa de flotación total sobre la que fueron montadas las columnas que sostienen el resto de la edificación. La cimentación funciono 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 a pesar de que 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 impuestos por las nuevas construcciones vecinas.

La mayoría de proyectos nuevos a construir no incluyen en su etapa de planeación para su posterior proceso constructivo una gestión del riesgo por posibles afectaciones a edificaciones vecinas, más cuando estas nuevas construcciones requieren de excavaciones profundas de gran tamaño. Esto se logra estimar por el gran número de casos encontrados en Bogotá donde nuevas edificaciones afectan las ya construidas de sus alrededores, siendo este un tema a resaltar para evitar al máximo los daños a otras construcciones por medios de métodos constructivos y de

protección de linderos mucho más fundamentados y aplicados acorde a las características de las edificaciones 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.

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 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.

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 si 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.

Bibliografía

AETESS. (2016). *Aplicaciones del Jet Grouting*. Retrieved from: <https://www.aetess.com/publicaciones>

AETESS. (2016). *Tipos de Jet Grouting*. Retrieved from: <https://www.aetess.com/publicaciones>

AETESS. (2014). *Micropilotes y anclajes*. Retrieved from: <https://www.aetess.com/publicaciones>

ALCONPAT. (2022). *Control de calidad, patología y recuperación de la construcción*. Retrieved from: <https://www.alconpat.org/>

Arieta Padilla, J. P., & Rengifo Salazar, C. A. (2019). *Hormigón reforzado con vidrio molido y su relación con la resistencia a la compresión para controlar grietas y fisuras por contracción plástica*.

Asociación colombiana de ingeniería sísmica. (1974). *Acta de constitución 1974*. Retrieved from: <https://asosismica.org.co/acerca-de-ais/historia/>

Atencio Washualdo, W. (2021). *Análisis geotécnico de suelos finos, y diseño de cimentaciones para edificaciones categoría C, en las urbanizaciones Chanu Chanu, San Valentín-Puno 2021*.

Baez, L. y Echeverry, P. (2015). *Trabajo de grado. Diseño de estructuras de contención considerando interacción suelo-estructura*. Retrieved from: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21408/BaezLozadaLuisCarlos2016.pdf?sequence=1>

Basset, L. (2018). *Recalces superficiales*. Retrieved from: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/143914/Basset%20-%20Recalces%20superficiales.pdf?sequence=1%20-%20~:text=Se%20entiende%20por%20recalce%20\(seg%C3%BAnde%20la%20profundidad%20de%20actuaci%C3%B3n](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/143914/Basset%20-%20Recalces%20superficiales.pdf?sequence=1%20-%20~:text=Se%20entiende%20por%20recalce%20(seg%C3%BAnde%20la%20profundidad%20de%20actuaci%C3%B3n)

Bayona Viasus, A. K., Gómez Villamil, M. F., & Thompson, H. *Estudio patológico y propuesta de intervención de la casa ubicada en la transversal 55 con calle 97, en el barrio Rio Negro en la ciudad de Bogotá*.

Benítez, A., Graneros, G., Soto, S., Curria, M., & Polzinetti, M. (2016). *Implementación de un método para determinar la contracción autógena de pastas de cemento a partir de la retracción lineal en tubos sellados*. In VII Congreso Internacional y 21ª Reunión Técnica de AATH.

Calvo, C. (2017). *Cimientos*. Retrieved from: https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/71_cimientos.html

Caracol radio. (2021). *La historia del edificio inclinado de la calle 100 en Bogotá*. Retrieved from: https://caracol.com.co/emisora/2021/08/04/bogota/1628092657_594175.html

Castaño, A. (2021). *La historia del edificio inclinado de la calle 100 en Bogotá*. Retrieved from: https://caracol.com.co/emisora/2021/08/28/bogota/1630166775_722428.html

Castebianco, Y. (2020). *Trabajo de grado. Estudio de Caso para Patología Estructural Presentada en el Edificio Manglar de la Ciudad de Bogotá*. Retrieved from: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30833/2020yudycastelblanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cavdevila, J & Zanni, E. (2019). *Reparación de natatorio afectado por asentamientos diferenciales*. Retrieved from: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dFf0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA111&dq=asentamientos+diferenciales&ots=NQcI0s3m66&sig=m8japZFsYhR-5f0P1156oQASubw#v=onepage&q=asentamientos%20diferenciales&f=false>

Chavez, P. (2012). *Tipos de estructuras de contención*. Retrieved from: <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2012/07/tipos-de-estructuras-de-contencion.html>

Cocoango, B & Ninagualpa, J. (2020). *Determinación de la probabilidad de daño estructural por asentamientos diferenciales de las viviendas de la ciudadela*

Daza, J, Castro, G y Garcia, C. (2006). *Trabajo de grado. Asentamientos generados por consolidación secundaria del barrio San José de Bavaria perteneciente a la localidad de Suba en Bogotá D.C*. Retrieved from: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1210&context=ing_civil

Dirección general de carreteras. (2005). *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes*. Retrieved from: https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf

Fernandez, A, Guendelman, T & Ortigosa, P. (1974). *Influencia de asentamientos diferenciales en un marco espacial*. Retrieved from: <https://revistas.uchile.cl/index.php/RIDIEM/article/download/38668/40310>

Fernandez, J. (2011). *Jet Grouting*. Retrieved from: https://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf

Gallardo, G. (2021). *Metodología para evaluar la vulnerabilidad estructural de edificaciones aporricadas de hormigón armado debido a asentamientos diferenciales*. Retrieved from: <http://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ventana-cientifica/article/view/467>

Garay, L. (2016). *Trabajo de grado. Estudio de valoración Arq. H. Vargas Rubiano*. Retrieved from: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3771/Estudio_valoraci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garza Vásquez, L. (2004). *Diseño y construcción de cimentaciones*. Retrieved from: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75349>

Gisiberica.com. (2016). Retrieved from: <http://www.gisiberica.com/EQUIPOS%20AN%C3%81LISIS%20DE%20SUELOS/EQUIPOS%20AN%C3%81LISIS%20DE%20SUELOS.htm>

Gomes, A. (2005). *Inclinación de las torres por efecto de asentamientos diferenciales en el Conjunto Residencial "Parque Central"*. Retrieved from: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5633>

Goswami, I. (2020). *Civil Engineering PE All-in-One Exam Guide: Breadth and Depth, 4th Edition*. Retrieved from: <https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9781260457223/chapter/chapter22>

Goyes Vargas, A., & Eraso, C. A. *Estudio patológico edificio calle 47 Bogotá*.

IDEAM. (2016). *Sismos Bogotá*. Retrieved from: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019254/PDF/sismosbogota.pdf>

Keller. (2020). *Jet Grouting Soilcrete*. Retrieved from: <https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/jet-grouting-soilcrete>

Largo, C. (2009). *Trabajo de grado. Balance de asentamientos diferenciales presentes en edificación con cimentaciones sobre pilotes*. Retrieved from: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/1866/TRABAJO%20DE%20GRADO%20CINDY%20LARGO.%20BALANCE%20DE%20ASENTAMIENTOS%20DIFERENCIALES%20EN%20CIMENTACION%20SOBRE%20PILOTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lorente, R. (2013). *Trabajop de grado. Ejecución de micropilotes en recalce de cimentaciones*. Retrieved from: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3690/tfg%20304.pdf;jsessionid=44DDB9DCA10E1BAA074C5FD2557F7788?sequence=1>

- Lotero, D. (2016). *Modelo para monitorear el asentamiento diferencial de fundaciones*. Retrieved from: <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2061>
- Madarriaga, P. (1975). *Recuperación de la verticalidad de un edificio*. Retrieved from: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2844>
- Martinez Espejo, Y., Melo Quiroga, L. P., & Perez Cervera, A. (2019). *Estudio patológico edificio de oficinas Corporación Minuto de Dios, calle 81a no. 73a-22 Bogotá*.
- Medrano, J. (2019). *Relación entre el tipo de suelo (SUCS y AASHTO) y el asentamiento de suelos para determinar asentamientos diferenciales en cimientos de concreto armado*. Retrieved from: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2072>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. NSR-10. Retrieved from: <https://www.idrd.gov.co/sites/default/files/documentos/Construcciones/8titulo-h-nsr-100.pdf>
- Ministerio de desarrollo urbano y de vivienda. (2014). *Geotecnia y cimentaciones*. Retrieved from: <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec6.pdf>
- Monteverde, P. R., Gamallo, A. M. G., Mañas, L. S., & Arenas, R. P. (2012). *Criterios para evaluar la inspección técnica de la cimentación*. In *Patorreb 2012: 4. ° Congreso de patología y rehabilitación de edificios*. 12-14 de abril de 2012, Santiago de Compostela (p. 95). Colexio Oficial de Arquitectos de Galicia.
- Morales, E. (2012). *Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa*. Retrieved from: https://scholar.google.com.co/scholar?q=morales+investigacion+descriptiva&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar
- Morales, F. (2018). *Alternativas de cimentaciones superficiales para edificaciones cimentadas en un terreno con asentamiento diferencial*. Retrieved from: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4839>
- Nuevo periódico. (2020). *Micropilotes para hundimientos*. Retrieved from: <https://nuevoperiodico.com/micropilotes-para-hundimientos/>
- Núñez, J. (2019). *Trabajo de grado. 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*. Retrieved from: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36925/Nu%c3%b1ezObandoJairoAlberto2020_Formato.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Orozco, F. (2013). *Asentamientos totales y diferenciales en Bogotá – Recuperación de la verticalidad de edificios*. Retrieved from: https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/asentamientos_totales_diferenciales_bogota.pdf

Padilla, D. (2016). *Cimentación mixta compuesta por pilotes y sótanos*. Retrieved from: <https://library.co/document/qvx087gy-cimentacion-mixta-compuesta-por-pilotes-y-sotanos.html>

Periodico el espectador. (2021). *Así luce el edificio que está en riesgo de colapso en Bogotá*. Retrieved from: <https://www.elespectador.com/bogota/asi-luce-el-edificio-que-esta-en-riesgo-de-colapso-en-bogota/>

Periodico El Tiempo. (2021). *Miami, el Space y trágicos derrumbes de edificios alrededor del mundo*. Retrieved from: <https://www.eltiempo.com/mundo/mas-regiones/tragicos-derrumbes-de-edificios-alrededor-del-mundo-599248>

Periódico El Tiempo. (2008). *Las 'Torres de Pisa' bogotanas están en el Polo Club, El Lago, Chapinero Alto y en Ciudad Salitre*. Retrieved from: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3934372>

Pezantes, A. (2018). *Diagnóstico y propuesta de solución ante efectos de asentamientos diferenciales para una vivienda de dos pisos*. Retrieved from: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19366>

Pimentel, J. (2020). *Cálculo de asentamientos diferenciales del pabellón de La facultad de Ingeniería Civil de la UNAS*. Retrieved from: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11227>

Potes, C y Escobar, D. (2016). *Geotecnia para el trópico andino*. Retrieved from: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57334>

Pulido, A y Rueda, O. (2019). *Trabajo de grado. Instrumentacion y control de asentamientos para obras de ingeniería civil con la ayuda de la geomática*. Retrieved from: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23954/1/Instrumentaci%C3%B3n%20y%20Control%20de%20Asentamientos%20Para%20Obras%20de%20Ingenieria%20Civil%20Con%20La%20Ayuda%20De%20La%20Geom%C3%A1tica.pdf>

Pulido-Chavez, A. C., & Rueda-Melo, O. I. (2019). *Instrumentación y control de asentamientos para obras de ingeniería civil con la ayuda de la geomática*.

Ramirez, L. (2017). *Cálculo de asentamientos diferenciales en la interfase suelo-roca, del edificio de ingeniería petrolera de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Linares, Nuevo León*. Retrieved from: <http://eprints.uanl.mx/17839/>

Reinert, H, Duarte, J & Lugo, A. (2013). *Evaluación de esfuerzos y asentamientos diferenciales en platea de cimentación de viviendas sociales - importancia del modelo de análisis empleado*. Retrieved from: <http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/4572>

Revista Memoria. (2005). *La historia no contada del primer código de construcción en Colombia*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n40/n40a12.pdf>

Revista Semana. (2021). *En riesgo de colapso varios edificios de la calle 100, en el norte de Bogotá*. Retrieved from: <https://www.semana.com/nacion/articulo/en-riesgo-de-colapso-varios-edificios-de-la-calle-100-en-el-norte-de-bogota/202119/>

Revista semana. (2021). *Los edificios huecos de la calle 100 en Bogotá desatan una batalla campal entre los vecinos*. Retrieved from: <https://www.semana.com/nacion/articulo/los-edificios-huecos-de-la-calle-100-en-bogota-desatan-una-batalla-campal-entre-los-vecinos/202145/>

Ríos, J y Flores, J. (2021). *Trabajo de grado. Reforzamiento de muro colindante con calzada no convencional en la remodelación-ampliación del ex hotel de turistas de la ciudad de Iquitos-perú*. Retrieved from: <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1542/JUAN%20DIEGO%20R%20%20%20%20GARC%20%20%20JORGE%20RAFAEL%20FLORES%20DOMINGUEZ%20%20TSP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rivas, R. (2012). *Tipos de estructuras de contención*. Retrieved from: <https://xdocs.pl/doc/tipos-de-estructuras-de-contension-jn6kv3evxg8r>

Rodriguez, C. (2014). *Balance de asentamientos diferenciales presentes en edificación con cimentaciones sobre pilotes*. Retrieved from: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/1866>

Schebeck. (2017). *Cimentaciones y recalces con micropilotes titan*. Retrieved from: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/122865/1612_ES_Cimentacion-y-recalce_4811003251_email.pdf

Solanda en Quito usando métodos estocásticos. Retrieved from: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20738>

Sosa, M. E. (2018). *Estudio de la contracción por secado en morteros y hormigones con agregados finos reciclados (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata)*.

Suvakugan, N. (2021). *Soil Mechanics and Foundation Engineering: Fundamentals and Applications*. Retrieved from: <https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9781260468489/chapter/chapter12>

Tovar, M & Calvopiña, A. (2018). Diseño del reforzamiento estructural sismo resistente con enchapado de mampostería de una vivienda con asentamientos diferenciales. Retrieved from: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19227>

Universidad Europea de Madrid. (2010). Retrived from: <https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/17.%20Tema%205%20-Muros%20y%20Pantallas%20Bloque%20I.pdf>

Velandia, A y Veloz, P. (2016). Trabajo de grado. Análisis del comportamiento del suelo de cimentación de edificaciones pequeñas, sometidas a incrementos de esfuerzos generados por construcciones vecinas de mayor tamaño. Retrieved from: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2565/2016andresvelandia.pdf?sequence=2>

Viviescas Restrepo, J. C. (2010). Grietas en construcciones ocasionadas por problemas geotécnicos (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).

Wade, R. (2001). Practical Foundation Engineering Handbook, 2nd Edition. Retrived from: <https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9780071351393/chapter/chapter4?implicit-login=true>

Yepes, V. (2019). La excavación por bataches. Retrieved from: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/estructuras-de-contencion/>