

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE ASENTAMIENTOS PARA OBRAS DE
INGENIERÍA CIVIL CON LA AYUDA DE LA GEOMÁTICA

ANDRES CAMILO PULIDO CHÁVEZ
OSCAR IVAN RUEDA MELO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERA CIVIL
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ D.C.
2019

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE ASENTAMIENTOS PARA OBRAS DE
INGENIERÍA CIVIL CON LA AYUDA DE LA GEOMÁTICA

ANDRES CAMILO PULIDO CHÁVEZ
OSCAR IVAN RUEDA MELO

Director
Javier Valencia Sierra
Ingeniero Topográfico

Asesor
Javier Valencia Sierra
Ingeniero Topográfico

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERA CIVIL
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ D.C.
2019



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Nota de aceptación

Ing. Javier Valencia Sierra
(Director de Trabajo de Grado)

Firma del Jurado

Firma del Jurado
Bogotá, octubre 28 de 2019

Agradecimientos

A nuestras familias quienes a lo largo de la carrera nos han apoyado moralmente y han servido de incentivo emocional para el desarrollo de la misma; a nuestro Tutor de proyecto quien nos apoyó en la recopilación de información y apporto de manera considerable en el aprendizaje para la implementación del estudio.

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de Contenido.....	6
Lista De Imágenes	9
Lista De Tablas.....	11
Lista De Anexos	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	17
1.1. Edificio de Vivienda - Space.....	17
1.2. Puente Atirantado del Chirajará.....	18
1.3. Puente Peatonal Cantón Norte Bogotá.....	19
1.4. Edificios En Cartagena	20
2. OBJETIVOS.....	21
2.1. General.....	21
2.2. Especifico	21
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
4. MARCO TEÓRICO	24
4.1. Asentamientos En Suelos.....	24
4.2. Asentamiento diferencial.....	26
4.3. Asentamiento diferencial de un edificio.....	27
4.4. Efectos De Los Asentamientos	29
4.5. Sistemas constructivos	30
4.6. Subsidiencias	32
4.7. Consolidación del suelo	34
4.8. Subsidencia Bogotá D.C.....	36
5. MARCO CONCEPTUAL.....	38

6. INFORMACIÓN DEL PROYECTO	40
6.1. Descripción General	40
6.2. Tipo de Construcción	42
6.3. Identificación Materiales Milá	45
6.4. Metodología	46
6.5. Equipos.....	47
6.6. Limitaciones.....	48
7.0 MARCO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO Y SÍSMICO GENERAL	49
7.1. Características sísmicas de Bogotá.....	50
7.2. Mapa Zonas Geotécnicas	51
7.3. Caracterización Geotécnica Milá	51
8. ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DE EDIFICIOS CIRCUNDANTES	53
8.1. Edificio Balcones De Santa Ana	53
8.2. Edificio Cedro Reservado 147	57
8.3. Edificio Piracanta	61
8.4. Edificio El Roble.....	64
8.5. Edificio Portal Arcángel.....	67
8.6. Edificio Portal De Caobos	71
8.7. Edificio Sigma III	74
8.8. Edificio Torres De Rio Frio.....	78
8.9. Edificio Gaia	81
9. VERTICALIDAD EN MILÁ Y EDIFICIOS CIRCUNDANTES	82
9.1. Verticalidad Edificio Cedro Reservado 147	86
9.2. Verticalidad Edificio Sigma III	93
10. Análisis de Asentamientos Milá.....	96
10.1. Tipo de Construcción:.....	96
10.2. Año de Finalización de Construcción:.....	96
10.3. Cantidad de Pisos:.....	96
10.4 Comportamiento Del Suelo Frente A La Aplicación Gradual De Cargas ..	100

10.5 Vinculación de Datos del instituto geográfico Agustín Codazzi	103
10.6 Radar para control de asentamientos por subsidencias en la zona.....	106
11. SUGERENCIA TÉCNICA DE INSTRUMENTACIÓN GEOMÁTICA PARA CONTROL DE ASENTAMIENTOS COMO MÉTODOS DE APRENDIZAJE EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA	109
11.1 Objetivo general de la sugerencia técnica	110
11.2 Objetivos específicos de la sugerencia técnica	110
12. CONCLUSIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	113

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1 - Registro de Asentamientos en Ejes Críticos	17
Imagen 2 - Puente Chirajará	18
Imagen 3 - Puente Peatonal Cantón Norte Bogotá	19
Imagen 4 - Formación de Yacimiento lacustre	36
Imagen 5 - Ubicación Localidad - Milá Apartamentos	40
Imagen 6 - Dirección Milá	41
Imagen 7 - Panorámica Milá Apartamentos	42
Imagen 8 - Fachada Milá - Costado Norte	43
Imagen 9 - Definición de las Características de la estructuración y del material estructural empleado	44
Imagen 10- Fachada Milá - Costado Sur	44
Imagen 11 - Modelo Tridimensional de pendientes del terreno de Bogotá	49
Imagen 12 - Esquema Geotécnico típico de una sección este - oeste entre CI 127 a CI 200 aprox.....	49
Imagen 13 - Edificio - Balcones de Santa Ana.....	53
Imagen 14 - Asentamientos por Niveleta - Balcones de Santa Ana.....	56
Imagen 15 - Comportamiento de niveleta con mayor asentamiento registrado - Edificio Balcones de Santa Ana	56
Imagen 16 - Edificio Cedro Reservado Fachada Norte.....	57
Imagen 17 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Cedro Reservado 147	60
Imagen 18 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Cedro Reservado 147	60
Imagen 19 - Edificio Piracanta	61
Imagen 20 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Edificio Piracanta...	63
Imagen 21 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Piracanta.....	63
Imagen 22 - Edificio El Roble.....	64
Imagen 23 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio El Roble	66
Imagen 24 - Edificio Portal Arcángel.....	67
Imagen 25 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Edificio Portal Arcángel.....	69
Imagen 26 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Portal Arcángel	70
Imagen 27 - Edificio Portal de Caobos.....	71

Imagen 28 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Edificio Portal de Caobos	73
Imagen 29 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento diferencial durante el periodo de investigación Edificio Portal de Caobos	73
Imagen 30 - Edificio Sigma III	74
Imagen 31 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Edificio Sigma III.....	76
Imagen 32 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Sigma III.....	77
Imagen 33 - Edificio Torres de Rio Frio	78
Imagen 34 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Torres de Rio Frio	80
Imagen 35 - Edificio Gaia.....	81
Imagen 36 - Localización Inclinómetros y Piezómetros Obra Milá.....	83
Imagen 37 - Esquema Típico de Inclinómetro en Pantalla de Concreto - Milá	85
Imagen 38 - Identificación de puntos de Control de Verticalidad Ed. Cedro Reservado	86
Imagen 39 - Verticalidad Cedro Reservado Fachada Esq. Sur Oriental T4.....	87
Imagen 40 - Verticalidad Cedro Reservado Fachada Esq. Sur T4	88
Imagen 41 - Verticalidad Cedro Reservado Fachada Esq. Sur Occidental T4	89
Imagen 42 - Verticalidad Cedro Reservado Fachada Oriental T4 – Perpendicular Milá	90
Imagen 43 - Identificación de puntos de Control de Verticalidad Ed. Sigma III.....	93
Imagen 44 - Verticalidad Sigma III - Fachada Esquina Sur Occidental.....	95
Imagen 45 - Verticalidad Sigma III - Fachada Sur	95
Imagen 46 - Fachada Nor Occidental Mila.....	96
Imagen 47 - Plano en Planta - Ubicación Columnas a Realizar Control de Asentamiento - Milá	97
Imagen 48 - Consolidado Asentamiento - Edificio Milá.....	98
Imagen 49 - Niveleta de Máximo Asentamiento - Edificio Milá	99
Imagen 50 - Diagrama de Asentamientos del suelo frente a la aplicación gradual de cargas	101
Imagen 51 – Ubicación Placas IGAC Bogotá	103
Imagen 52 - Ruta de Nivelación Placa IGAC Bogotá 7 a Mila 2 y Milá 1	104
Imagen 53 - Localización BM de Control Edificio Gaia	106
Imagen 54 - Radar De Análisis De Asentamientos En Relación Con Proyectos Circundantes.....	108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Valores Máximos de Asentamientos Diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas, I	30
Tabla 2 - NSR-10 V2 Tabla A.2.5-1 Valores del Coeficiente de Importancia, I	43
Tabla 3 – Consolidado Asentamiento por Niveleta - Edificio Balcones de Santa Ana	54
Tabla 4 - Subsistencia Balcones de Santa Ana - Durante el periodo sin movimiento de tierras.....	55
Tabla 5 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Cedro Reservado 147.....	58
Tabla 6 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Piracanta	62
Tabla 7 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio El Roble	65
Tabla 8 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Portal Arcángel.....	68
Tabla 9 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Portal de Caobos	72
Tabla 10 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Sigma III....	75
Tabla 11 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Torres de Rio Frio.....	79
Tabla 12 - Derivas Máximas como porcentaje de hpi	82
Tabla 13 - Reporte Inclínómetros Milá a 8 abril de 2019.....	84
Tabla 14 - Reporte de Datos Y Análisis de Derivas de Fachada Esquinas Sur Oriental y Fachada Sur - Torre 4 - Conjunto Cedro Reservado	91
Tabla 15 - Reporte de Datos Y Análisis de Derivas de Fachada Esquinas Sur Occidental y Columna Oriental - Torre 4 - Conjunto Cedro Reservado	92
Tabla 16 - Reporte de Datos Y Análisis de Derivas - Edificio Sigma III	94
Tabla 17 - Análisis de Asentamientos frente a cargas aplicadas al suelo.....	100
Tabla 18 - Número Mínimo de Sondeos y Profundidad por cada unidad de Construcción - Categoría de la Construcción.	102
Tabla 19 - Localización BM de control Gaia.	105
Tabla 20 - Velocidad Promedio del Asentamiento Promedio de Cada Edificación Analizada	112

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 – Mapa de Subsistencia Bogotá
- Anexo 2 – Mapa Zonas Geotécnicas Bogotá
- Anexo 3 – Carteras Edificios Analizados.
- Anexo 4 – Plano Ubicación Niveletas - Santa Ana
- Anexo 5 – Plano Ubicación Niveletas - Cedro Reservado
- Anexo 6 – Plano Ubicación Niveletas - Piracanta
- Anexo 7 – Plano Ubicación Niveletas – El Roble
- Anexo 8 – Plano Ubicación Niveletas – Portal Arcángel
- Anexo 9 – Plano Ubicación Niveletas – Portal De Caobos
- Anexo 10 – Plano Ubicación Niveletas – Sigma III
- Anexo 11 – Plano Ubicación Niveletas – Torres de Rio Frio
- Anexo 12 – Localización BM de Control Edificio Gaia
- Anexo 13 – Radar de Análisis de asentamientos en Relación con Proyectos Circundantes
- Anexo 14 – Certificado de Calibración Equipos

RESUMEN

Actualmente en los proyectos de ingeniería civil, en Colombia específicamente, se han generado problemáticas en torno a errores generados durante la etapa de construcción, que según investigaciones, se atribuyen a la incertidumbre generada por los equipos y métodos de recolección de datos utilizados en la actualidad; a pesar de que diferentes especialidades de la ingeniería han venido desarrollando nuevos equipos y aportes tecnológicos para el mejor funcionamiento de los procesos constructivos, cabe destacar que no se ha logrado implementar en un 100% debido a la falta de información al respecto y a la carencia de planes de manejo y sistemas de control en donde estas nuevas herramientas se vean aplicadas. Si bien la ingeniería es una especialidad en donde el factor humano prima, es claro que de la misma forma la incertidumbre en la exactitud de los datos obtenidos es alta, lo que genera errores que pueden ser irreversibles en algunos casos, es por tanto que la responsabilidad del ingeniero es la de buscar nuevos métodos que permitan un producto optimizando de manera efectiva los recursos empleados.

La implementación de la geomática es una constante en cada proyecto de construcción, sin embargo, su efectividad se ve vulnerada. La utilización de las herramientas de medición no solo se debe limitar al uso exclusivo del topógrafo en obra y para tomar datos arbitrarios dentro del proyecto.

Teniendo en cuenta que el comportamiento de una cimentación varía sustancialmente, dependiendo del tipo de cimentación que se utilice, y del área en donde se implemente, es necesario un control específico para cada área de desarrollo en donde no se vea limitada a una revisión periódica sino que se implemente de manera permanente, en donde se permita detectar fallas de manera inmediata y se logre aplicar los correctivos pertinentes, sin que se generen reproceso, que además afecten económicamente un proyecto. (Vila Ortega, Jiménez Cleves y Garzón Barrero 2012)

ABSTRACT

Currently, in civil engineering projects, in Colombia specifically, problematic problems have been generated around errors generated during the construction stage, which according to research, are attributed to the uncertainty generated by the equipment and methods of data collection used in the topicality. In spite of the different engineering specialties, new equipment and technological contributions have arrived for the best functioning of the construction processes, it should be noted that it has not been implemented in 100% due to the lack of information in this regard and the lack of plans of management and control systems where these new tools can be applied. While engineering is a specialty where the human factor is a prime factor, it is clear that in the same way the uncertainty in the accuracy of the data is high, which generates errors that may be irreversible in some cases, it is therefore that the engineer's responsibility is the search for new methods that affect a product, effectively optimizing the resources used.

The implementation of geomatics is a constant in each construction project, however, its implementation is violated. The use of measurement tools should not only limit the exclusive use of the surveyor on site and to take arbitrary data within the project.

Taking into account that the behavior of a specifically modified foundation, specify the type of foundation that is used, and the area where it is implemented, a specific control is necessary for each development area where it is not limited to a periodic review but that is implemented permanently, where failures can be detected immediately and the appropriate corrective measures can be applied, without causing reprocesses, which also affect a project economically.

Source, (Vila Ortega, Jiménez Cleves and Garzón Barrera 2012)

INTRODUCCIÓN

Durante la ejecución de un proyecto de construcción es necesario llevar un control de cada uno de los aspectos relacionados con este, por lo que la aplicación de la ingeniería civil se ha venido haciendo mucho más indispensable y responsable, en reducir tiempos de ejecución e incrementar la efectividad de los procesos, es por ello que la formación de un ingeniero civil debe ser mucho más integral a medida que la tecnología y las investigaciones a nivel mundial avanzan; la ingeniería como aplicación de la ciencia es la encargada de tomar los recursos de un entorno, y direccionarlos en pro del beneficio de cada proceso, uno de estos es todo lo que a medición de factores respecta; en obras anteriores al ser más reducidos los recursos, los tiempos de ejecución de un proyecto, por simple que este fuese, podría ser de hasta décadas, y los factores de seguridad no podrían ser optimizados, dado a la incertidumbre que generaba la imprecisión de los instrumentos que para la época se tenían a la mano, es allí donde se ha creado una necesidad en la ejecución de proyectos relacionados con la construcción de incrementar la eficacia en la toma y procesamiento de datos, y de este modo acompañarlo con otras especialidades de la ingeniería, con las cuales se es posible reducir los factores de falla de un proceso.

Actualmente en Colombia, se han generado catástrofes relacionadas con la aplicación de la ingeniería civil en obras de gran trascendencia, que activaron la alarma en la revisión de procesos que a diario se van implementando en la rama; casos puntuales como el presentado en 2013 en el edificio SPACE en la ciudad de Medellín, u otro más reciente el colapso del puente de la región del Chirajara, o incluso la alerta en la que se encuentra la represa de Hidroituango, hacen que los medios de comunicación y el público en general haya centrado su atención en el trabajo de los ingenieros civiles.

Por lo anteriormente referenciado se requiere una investigación a fondo en la toma de datos como control de las actividades que puedan generar un mayor riesgo y que requieran una mayor control y elaboración de planes de contingencia en el caso de presentarse errores humanos. La aplicación de la geomática y los instrumentos desarrollados a lo largo de la evolución de la ingeniería han logrado facilitar la toma de datos y reducir la incertidumbre de factores, por lo que una mejora en estos procesos es algo fundamental en la ejecución de un proyecto.

Medidas fundamentales como el control de asentamientos en las obras permite que durante la ejecución de una obra de construcción sea evaluado el diseño propuesto de la cimentación analizando la aplicación gradual de cargas sobre el suelo de fundación, y de este modo poder hacer aportes y correcciones para el mejoramiento de la estructura que no generen un daño o impacto sobre la misma o en las áreas circundantes.

En el desarrollo del presente trabajo se diseña un plan de control de las variables que se puedan presentar en el terreno, con la aplicación de la instrumentación y la geomática como factor en crecimiento evolutivo.

Se buscará incluir en los procesos actuales herramientas de precisión, en donde se deberá demostrar su necesidad, presentando resultados en la optimización de los recursos tanto económicos, como de tiempo, y de esta forma ser justificados en tema de factibilidad de una obra pública o privada teniendo en cuenta un principio fundamental de asentamientos que consiste en “it is concluded that the approach to the problem of allowable settlements should be based on assesing the global stiffness of a structure (includes its finishes) and the estimating the relative deflections that will results from its interaccioons with the gorund”

“se concluye que la aproximación al problema de los asentamientos permisibles debe basarse en evaluar la rigidez global de una estructura (incluye sus acabados) y la estimación de las desviaciones relativas que resultarán de sus interacciones con el suelo.” (Burland y Wroth 1974)

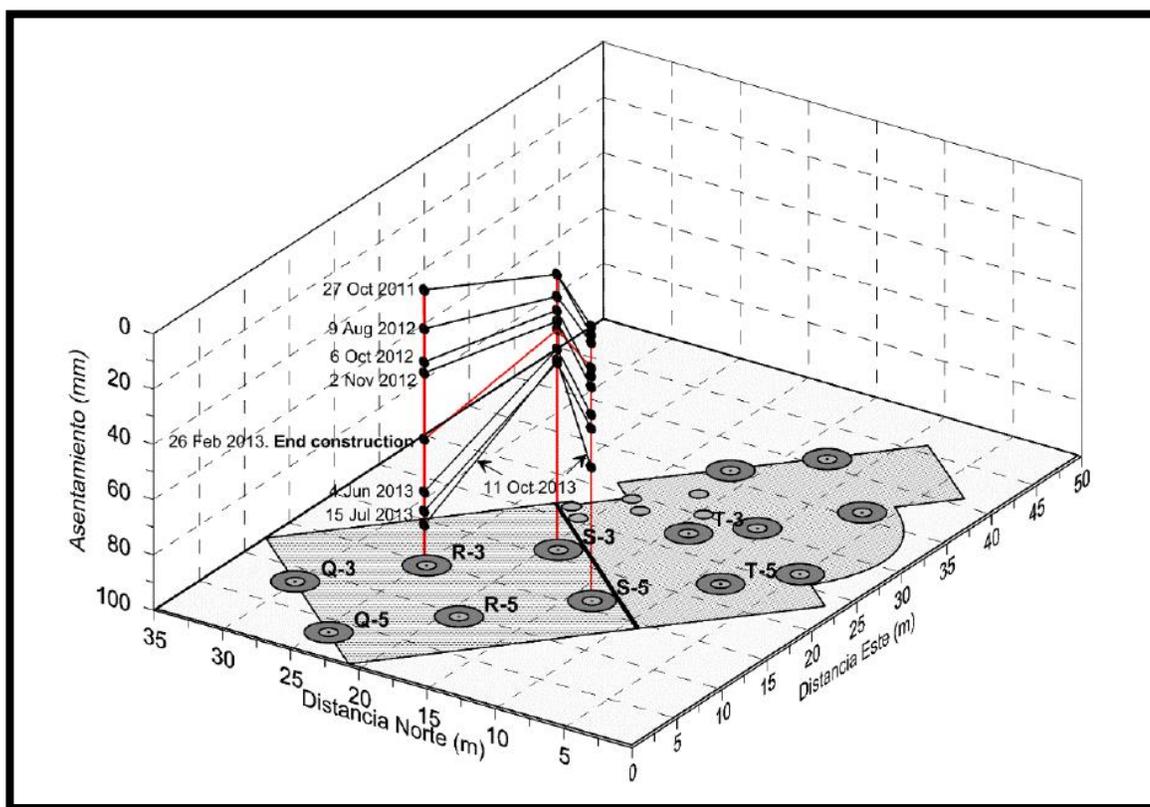
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1. EDIFICIO DE VIVIENDA - SPACE.

El colapso de la estructura asentamiento del pilote E3, sumado a una sobre optimización de los recursos aplicado en la reducción excesiva del área aferente de las vigas y las columnas, ocasiono que los elementos estructurales fallaran por compresión.

Según la investigación realizada entre 2013 y 2014 por la universidad de los Andes, se realizó la medición tradicional de asentamientos, con una comisión topográfica y la implementación de un nivel de topografía convencional. En puntos arbitrarios de la estructura, lo que podría entenderse como falta de precisión en la toma de datos.

Imagen 1 - Registro de Asentamientos en Ejes Críticos



Fuente, (Universidad de los Andes 2014)

1.2. PUENTE ATIRANTADO DEL CHIRAJARÁ

Asentamiento de un pilar colapso de la estructura que aún se encontraba en ejecución; durante la etapa de diseño de un proyecto de estas características puntuales y de esta magnitud, se debe tener en cuenta no solo las resistencias a las cargas aplicadas durante su servicio, sino que además se debe implementar un plan de construcción y control que permitan que la estructura sea funcional, aun cuando sus apoyos no se han terminado de construir.

La optimización y mejoramiento en el desempeño de los equipos de geomática, en la ingeniería civil, sumado a la elaboración de un plan de implementación, podría ser el factor de ignición para que se reduzcan las fallas de un proceso constructivo, de haberse utilizado herramientas de mayor precisión, y que permitiesen al grupo de ingenieros a cargo un mejor acceso a cada una de las partes de mayor importancia, se hubiese podido realizar un mejor control a las fallas que gradualmente se produjeron.

Imagen 2 - Puente Chirajará



Fuente, (Carlos Ortega 2019)

1.3. PUENTE PEATONAL CANTÓN NORTE BOGOTÁ

Colapso del puente peatonal de la calle 103 con carrera 11 al norte de Bogotá.

Según una información obtenida del periódico El Tiempo y por declaraciones de Javier Pava Directo de IDIGER “el puente fallo cando se realizaba una prueba de carga la cual afecto el mástil provocando un desplazamiento que produjo una sobretensión en los cables que sostiene el puente”.(Periodico El Tiempo 2015)

Con la implementación de un plan de control, basado en sistemas de monitoreo permanente durante la ejecución de la obra, en donde se maximice la efectividad y se logre llevar a cabo una medición más precisa, se hubiese podido prevenir el comportamiento irregular de la estructura.

En un control semanal no es posible determinar con exactitud el comportamiento de una estructura, debido a que se logra tomar un dato acerca del desplazamiento en puntos previamente definidos, pero no es posible determinar con exactitud la velocidad en la que se produjo este, ni su relación directa con las cargas y movimientos aplicados.

Imagen 3 - Puente Peatonal Cantón Norte Bogotá



Fuente, (Los Autores)

1.4. EDIFICIOS EN CARTAGENA

Ninguno de los 16 edificios cumple con la norma NSR-10, se tiene incertidumbre en los materiales y procesos constructivos, ninguna de las construcciones conto con supervisor técnico externo, no existen planos estructurales de algunos edificios, la metodología utilizada es la misma que fallo en el Edificio Portales de Blas de Lezo II, el cual colapso y en algunos edificios se aumentó de niveles sin calculo alguno.

El control de asentamientos en las edificaciones ayudo a mitigar las consecuencias y no traducirlas en víctimas mortales, -aunque en el caso de del Edificio de Blas de Leso no se corrió con la misma suerte-, aun las 736 personas que vivían en los apartamentos no saben con certeza el resultado del estudio de patología estructural y vulnerabilidad sísmica de las condiciones actuales de 16 edificaciones en Cartagena.(Marylin Martinez Martinez 2018)

Las grietas evidenciaban que la estructura no estaba cumpliendo con las solicitaciones, dichas grietas eran mayores a 20 mm para lo cual no se necesita ser especialista en construcción ya que se detectaba a simple vista las fallas esta mala práctica de la ingeniería llevo a titulares como el del portal revista Zetta quienes titularon “Licencia “chimba” y mala ingeniería”. (John Zamora 2018)

Current foundation design practice for serviceability limit states involves proportioning the foundation to achieve an acceptably small probability that the foundation settlement excedes some target maximum total settlement. However, it is usually differential settlement that leads to problems in the supported structure. Si se incrementa el asentamiento máximo, el asentamiento diferencial en las fundaciones también tendera a aumentar por tal motivo el control de estos está relacionado y en el proceso de diseño se debe contemplar el límite de solicitaciones que soportara el cimiento.(Fenton, Naghibi y Griffiths 2016)

El control de asentamientos es parte fundamental en la construcción de cualquier obra, aunque en los casos anteriormente analizados no lo fue así, en toda construcción se debe contemplar una cuadrilla de topografía que sistemáticamente y periódicamente revise los niveles del edificio tanto horizontales como verticales.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

2.1.1 Desarrollar un plan efectivo de control de asentamientos en un proyecto de construcción de edificios de apartamento en la ciudad de Bogotá D.C. con el fin de evaluar su viabilidad, su efectividad y las ventajas presentadas frente a los procesos tradicionales utilizados en la actualidad.

2.2. ESPECIFICO

2.2.1. Se desarrollará una metodología en donde se evalúe el desplazamiento de las estructuras debido a las afectaciones del terreno y de la aplicación de cargas, de manera permanente durante la ejecución del proyecto de estudio, con el fin de identificar anomalías e implementar planes correctivos (si es el caso) de manera oportuna

2.2.2. Identificar el desarrollo tecnológico de equipos geomáticos para controlar el desarrollo de un proyecto constructivo con el fin de detectar de manera oportuna posibles problemas, y fallas con mayor precisión en la toma y recolección de datos en el desarrollo del mismo, implementando una metodología mas precisa.

2.2.3. Determinar los tiempos oportunos en la implementación de un control de asentamientos y la correlación de diferentes factores que determinen el desplazamiento de una estructura, con la implementación de un control permanente de estudio del comportamiento del suelo de fundación, evaluando de manera comparativa los métodos utilizados tradicionalmente.

2.2.4. Determinar posibles fallas de o aspectos no tenidos en cuenta en el estudio de suelos entregado por el geotecnista, por medio de una evaluación del comportamiento del suelo de manera progresiva, frente a la aplicación de cargas.

2.2.5 Conocer los materiales con los que se construye la obra para contrarrestar sus propiedades con los asentamientos que se producirán.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los asentamientos se han convertido en un factor determinante en las estructuras que han colapsado en los últimos años en Colombia, es por tanto que para los proyectos de gran trascendencia que se planean ejecutar en los próximos años, es necesario mejorar los métodos tenidos en cuenta en el momento de controlar un proceso constructivo, sin bien como se ha comprobado, las causas de los fallos estructurales no han sido solo un factor constructivo o de diseño, sino que además involucra temas socioeconómicos y de corrupción, es ahora el deber de la ingeniería colombiana implementar nuevos métodos de control en obra que permitan suprimir las consecuencias de las malas prácticas en otros aspectos relacionados; los malos resultados en los proyectos Colombianos, han sembrado la necesidad de implementar métodos de control y trazabilidad a prueba de fallas, que le permitan a la ingeniería colombiana competir en el ámbito económico a nivel mundial en tema de infraestructura.

La ingeniería basa su desarrollo principalmente en la generación de métodos matemáticos que permiten minimizar incertidumbres en el diseño, no obstante, esto no depende únicamente del ingeniero, sino de las herramientas que pueda implementar, es por ello que es de vital importancia optimizar y perfeccionar los recursos utilizados con el fin de suprimir fallas en la ejecución, que puedan incurrir en reprocesos o afectaciones económicas al finalizar el proyecto.

La ingeniería civil es una disciplina que interviene con todas las demás, sus resultados saltan a la vista en cualquier entorno, y si bien un buen resultado puede no tomarse en cuenta por la sociedad, un fallo por mínimo que pueda presentarse causara repercusiones de gran magnitud; además en comparación con las obras ejecutadas durante siglos pasados, ya no solo se debe tener en cuenta la eficiencia del producto final, sin importar el sacrificio de tiempo y economía, sino que se busca mantener la eficiencia de servicio de las estructuras antiguas pero ahora, buscando ser ejecutado en un tiempo récord y minimizando los costos de inversión; es evidente que lo que más desestabiliza la relación tiempo- inversión- ganancia, es la generación de un reproceso dentro del tiempo de ejecución de un proyecto; es por esto que en donde se debe fortalecer la práctica de la ingeniería civil, es en métodos de control, que permitan detectar anomalías constructivas de manera oportuna, por medio de la implementación de nuevos métodos basados en las investigaciones realizadas, de las fallas de gran trascendencia que se hayan presentado anteriormente, en situaciones similares, en donde se debe buscar intensificar los controles para mitigar errores en el proceso constructivo, en palabras más comunes

la ingeniería colombiana debe “aprender de sus errores, para evolucionar.

Es por lo anterior que en el desarrollo del presente proyecto se busca, basados en investigaciones profundas, evolucionar los métodos tradicionales de control de asentamientos, y desplazamientos de las estructuras, con métodos que no generen costos trascendentes que puedan afectar sustancialmente el presupuesto en una obra, pero que generen la tranquilidad de que las fallas hayan sido mitigadas satisfactoriamente, por medio de la reducción de errores humanos, y el incremento en la efectividad constructiva.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ASENTAMIENTOS EN SUELOS

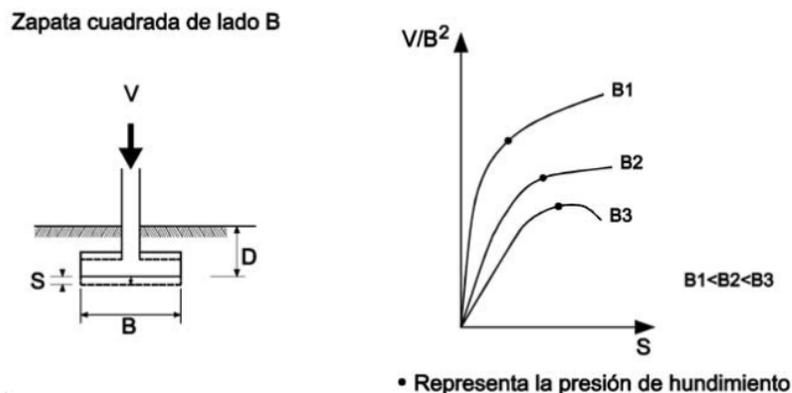
Las tensiones transmitidas por las cimentaciones al suelo dan lugar a deformaciones del terreno que se traducen en asentamientos, desplazamientos horizontales y giros de la estructura que, si resultan excesivos, por encima de los tolerables, podrán originar una pérdida de la funcionalidad, producir fisuras, agrietamientos, u otras patologías. (“Asentamientos en suelos | ingeniero de caminos,”2010)

4.1.1 ASENTAMIENTO DEL TERRENO

Definición de asiento: en Geotecnia, asiento o asentamiento es un movimiento descendente vertical del terreno (subsistencia) debido a la aplicación de cargas que causan cambios en las tensiones dentro del terreno.

En una zapata, el asiento crece al hacerle la carga vertical. Las curvas presión–asiento dependen, en general, de su forma y tamaño, de la naturaleza y resistencia del suelo y de la carga aplicada. (“Asentamientos en suelos | ingeniero de caminos,” 2010)

Imagen 4 – Asentamiento en Zapatas



Fuente (ingeniero de caminos 2010)

La presión vertical admisible de una cimentación tiene en cuenta no sólo la seguridad frente al hundimiento sino también su tolerancia a los asientos. En el caso de suelos arenosos (granulares) la presión vertical admisible de servicio suele encontrarse limitada por condiciones de asiento, más que por hundimiento.

La observación de asientos excesivos puede ser una señal del mal estado de las zapatas (ataques de aguas selenitosas, desmoronamiento por socavación, etc.); de la parte enterrada de pilares y muros o de las redes de agua potable y de saneamiento.

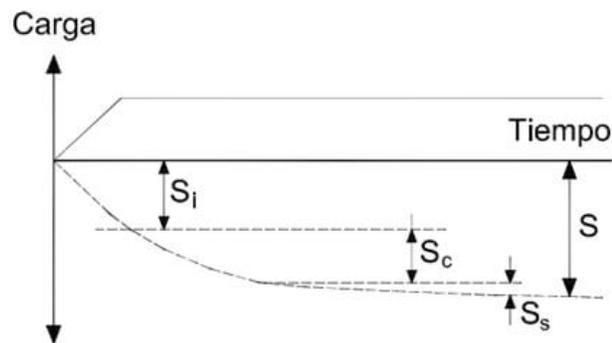
La reducción del nivel freático, la migración de finos, vacíos profundos, excavaciones subterráneas para túneles, vibraciones de suelo inducidas y eventos sísmicos pueden causar asientos significativos en el terreno.

Algunos métodos de cálculo de asientos en arcillas empleados son el método elástico, el edométrico y el método de Skempton-Bierrum. (“Asentamientos en suelos | ingeniero de caminos,” 2010)

4.1.2 TIPO DE ASENTAMIENTOS EN SUELOS

El asiento total debido a la aplicación de una carga es la suma de tres tipos de asiento:

Imagen 5 – Asentamiento en suelos



$$S_t = S_i + S_c + S_s$$

Fuente (ingeniero de caminos 2010)

4.1.2.1 Instantáneo (Si): se produce simultáneamente a la carga por un aumento de las tensiones totales en el suelo. Ocurre por el peso de la estructura, sin que tenga que ver nada con el desplazamiento del agua (sin drenaje). Domina en suelos granulares.

4.1.2.2 Consolidación primaria (Sc): asentamiento diferido en el tiempo causado por el drenaje de la humedad del suelo lo que produce cambios en las tensiones efectivas. La expulsión de humedad del suelo generalmente es un proceso a largo plazo que puede llevar de semanas a años.

4.1.2.3 Fluencia o asiento de compresión secundaria (Ss): asiento elástico que se activa después de que toda el agua drenable haya sido expulsada del suelo. Ocurre con el tiempo a una tensión efectiva constante

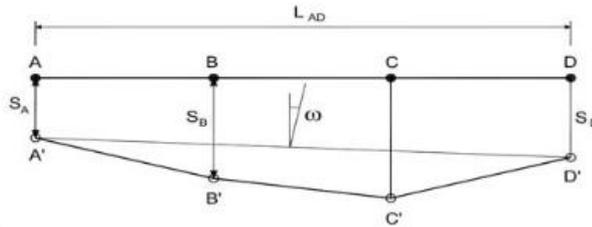
Si el suelo está húmedo o seco es capital para predecir la cantidad de asentamiento que se espera en una cimentación determinada. Los cimientos en suelos húmedos asentarán más que en áreas secas. La idea es que, a medida que el agua escurre, la estructura del suelo cambiará de acuerdo con los espacios vacíos que van quedando.

Los suelos con arcillas expansivas son susceptibles de hinchamiento y hundimiento debidos a los cambios en los estados de humedad del suelo. (“Asentamientos en suelos | ingeniero de caminos,” 2010)

4.2. ASENTAMIENTO DIFERENCIAL

El asiento diferencial se define como la diferencia de asiento entre dos puntos de una cimentación. Los asientos diferenciales en cimentaciones también pueden expresarse en términos de distorsión angular.(ingeniero de caminos 2010)

Imagen 6 – Asentamiento diferencial.



Asiento diferencial (δ)

$$\delta_{S_{AB}} = S_B - S_A$$

Distorsión angular (β)

$$\beta_{AB} = \frac{\delta_{S_{AB}}}{L_{AB}} = \frac{S_B - S_A}{L_{AB}}$$

Fuente (ingeniero de caminos 2010)

4.3. ASENTAMIENTO DIFERENCIAL DE UN EDIFICIO

Un fallo por cizalladura del suelo puede provocar una distorsión excesiva del edificio e incluso su colapso. Los asentamientos de estructuras excesivos pueden ocasionar fisuras en vigas, puertas y ventanas, grietas en losas y yeso e incluso el fallo de las instalaciones debido a la falta de alineación resultante de los asentamientos de las cimentaciones.

En el caso de vigas de atado o vigas centradoras hormigonadas sobre el terreno, deben considerarse los posibles esfuerzos derivados del asiento previsto en las zapatas unidas por ellas.

4.3.1 Asientos admisibles

El máximo asiento admisible, que generalmente incluye un factor de seguridad, depende de varios factores, pero los más importantes son el tipo de construcción y el uso del edificio. Pequeñas grietas que podrían considerarse inaceptables para una vivienda podrían pasar desapercibidas en un edificio industrial.

Los asentamientos permitidos para la mayoría de estructuras, sobre todo los edificios, obedece a requisitos estéticos y de servicio, no a requerimientos estructurales.

Esto es porque mucho antes que la integridad de la estructura esté en peligro se desarrollaran otros problemas como la aparición de grietas, rotura de acabados sensibles (azulejos, p.e.), puertas y ventanas atascadas o que no cierran, etc. . (“Asentamientos en suelos | ingeniero de caminos,” 2010.)

Imagen 7 – asentamientos admisibles.

Tabla 2.2. Valores límite basados en la distorsión angular

Tipo de estructura	Límite
Estructuras isostáticas y muros de contención	1/300
Estructuras reticuladas con tabiquería de separación	1/500
Estructuras de paneles prefabricados	1/700
Muros de carga sin armar con flexión cóncava hacia arriba	1/1000
Muros de carga sin armar con flexión cóncava hacia abajo	1/2000

Tabla 2.3. Valores límite basados en la distorsión horizontal

Tipo de estructura	Límite
Muros de carga	1/2000

Fuente (ingeniero de caminos 2010)

4.3.2 Control de asentamientos en edificios

El estudio geotécnico, en función del tipo de cimentación, debe establecer los valores y especificaciones relativos a asientos totales y asientos diferenciales (tanto esperables como admisibles) para la estructura del edificio y elementos de contención.

Si el módulo de deformación del terreno crece con la profundidad, esto puede contribuir a atenuar los asientos diferenciales entre zapatas asociados a la variación de sus dimensiones.

Si la capacidad portante del terreno fuera insuficiente o los asientos previstos excesivos, se podrá recurrir a una cimentación profunda, una mejora o refuerzo del terreno u otra solución que asegure la estabilidad frente al hundimiento.

En terrenos firmes y competentes, puede cimentarse mediante zapatas aisladas no siendo esperables grandes asientos. En otros casos, para evitar movimientos o asientos diferenciales excesivos entre varios pilares de un edificio, el empleo de zapatas combinadas o corridas puede ser una solución recomendable. (“Asentamientos en suelos | ingeniero de caminos,” 2010.)

4.4. EFECTOS DE LOS ASENTAMIENTOS

4.4.1. Clasificación:

Se deben calcular los distintos tipos de asentamientos que se especifican a continuación:

- 4.4.1.1. *Asentamiento máximo*: Definido como el asentamiento total de mayor valor entre todos los producidos en la cimentación.
- 4.4.1.2. *Asentamiento diferencial*: Definido como la diferencia entre los valores de asentamiento correspondientes a dos partes diferentes de la estructura. (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012)

4.4.2. Límites de asentamientos totales

Los asentamientos totales calculados a 20 años se deben limitar a los siguientes valores:

4.3.2.1. *Para construcciones aisladas* 30 cm, siempre y cuando no se afecten la funcionalidad de conducciones de servicios y accesos a la construcción.

4.3.2.2. *Para construcciones entre medianeros* 15 cm, siempre y cuando no se afecten las construcciones e instalaciones vecinas. (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012)

4.4.3. Límites de asentamientos diferenciales:

Los asentamientos diferenciales calculados se deben limitar a los valores fijados en la Tabla 1, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas de acuerdo con el tipo de construcción.

Tabla 1 - Valores Máximos de Asentamientos Diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas, l

Tipo de construcción	Δ_{max}
(a) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{l}{1000}$
(b) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería	$\frac{l}{500}$
(c) Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{l}{300}$
(d) Edificaciones en estructura metálica, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	$\frac{l}{160}$

Fuente, (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012)

4.5. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Son el conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos que, combinados racionalmente y enmarcados en un método, generan un tipo de edificación en particular. Los sistemas se pueden diferenciar uno del otro, además de lo anterior, por el comportamiento estructural de sus elementos en presencia de determinadas solicitaciones. Suelen estar constituidos por unidades, éstas, por elementos, y éstos, a su vez, se construyen a partir de unos determinados materiales.

Para su implementación requieren un diseño, para lo cual se debe atender, en primer lugar, a las exigencias funcionales de cada uno y a las acciones exteriores que van a sufrir, además de tener en cuenta las posibilidades de los materiales que se utilicen, en función de sus calidades y, por tanto, de su vulnerabilidad.

4.5.1. Sistema Constructivo Aporticado

Este es un sistema que basa su estructura en pórticos que forman un conjunto esquelético de vigas y columnas conectadas rígidamente por medio de nudos, los cuales caracterizan este sistema, y en donde los vanos entre las columnas y las vigas son complementados por mampostería o algún tipo de cerramiento equivalente. (La y Vis 2010).

4.5.2. Mampostería estructural

Este sistema está compuesto básicamente por elementos pétreos (mampuestos de concreto) unidos por mortero de cemento o su equivalente. Es un sistema monolítico gracias a la unión de los mampuestos por el mortero y adicionalmente dovelas reforzadas al interior de algunas de las celdas, según especifique el diseño, del mampuesto con grouting de cemento. (La y Vis 2010)

4.5.3. Muros vaciados

El sistema de muros vaciados es una alternativa de diseño eficiente que permite industrializar la construcción de viviendas con unidades inmobiliarias numerosas, repetitivas y de bajo precio. Es un sistema de muros portantes tanto para solicitaciones de gravedad como sísmicas, generalmente no tienen vigas y las losas se apoyan directamente sobre los muros. (La y Vis 2010)

4.5.4. Sistema constructivo industrializado modular

Son sistemas que aplican determinados principios de técnicas industriales, referidos a repetición de elementos, coordinación de dimensiones y especialización de mano de obra. Se citan como parámetros de industrialización, la rapidez de ejecución, la economía de materiales disponibles, reducción de personal y el aspecto cualitativo del producto. La filosofía del sistema consiste en convertir la construcción de una vivienda en una cadena de montaje. El símil podrían ser las mejoras que introdujo Henry Ford en el mundo del automóvil cuando estos se empezaron a producir en serie. No obstante, la vivienda no se puede pensar aun como un vehículo ni como cualquier producto que se pueda producir en cadena por la variabilidad de los procesos que inherentemente posee, y es entonces donde el sistema constructivo industrializado intenta introducir procesos controlados en algunas de las fases de la construcción y poder reducir o eliminar las tareas

manuales. Este es el concepto que intenta promover la mayor parte de trabajo en obra a una industria; esto significa entre muchos otros un aumento de la productividad, una especialización de la mano de obra, una reducción de los accidentes, un aumento de la calidad debido al mayor control en la producción y lo que es más importante, una reducción de plazos (entendido como tiempo en obra) y reducción de algunos costos. (La y Vis 2010)

4.6. SUBSIDENCIAS

Las subsidencias o hundimientos lentos pueden afectar a todo tipo de terrenos, son debidos a cambios tensionales inducidos en el terreno por el descenso del nivel freático, la minería subterránea, la extracción de petróleo o gas, los procesos lentos de disolución y lavado de materiales, los procesos de consolidación de suelos blandos y orgánicos, etc. Las subsidencias naturales son generalmente procesos muy lentos, aunque a menudo se aceleran por actuaciones antrópicas.

Los sedimentos no consolidados de arcillas, limo, turba y arena, son particularmente susceptibles a los derrumbes (arcillas, limos, turba y arena). El descenso del nivel freático, por periodos de sequía o por extracción de agua de los acuíferos, produce cambios en el estado tensional, reduciendo su volumen como consecuencia de la pérdida del agua, produciendo un descenso de la cota de superficie y pueden afectar a grandes extensiones de territorio. El proceso de urbanización agrava el problema por:

- Incremento del peso y carga de edificios e infraestructuras.
- Reducción del freático por extracción de agua.
- Los embalses reducen el aporte de sedimentos.

La subsidencia supone un riesgo cuando ocurre en zonas urbanas, al dañar y agrietar las edificaciones y afectar a sus cimientos. Actualmente, importantes ciudades costeras situadas en llanuras de inundación o en cuencas sedimentarias sufren graves problemas de subsidencia. La ciudad de México, asentada en un antiguo lago, es un ejemplo; la consolidación de las arcillas lacustres hace que la ciudad en determinadas zonas presente valores superiores a los 8 metros; las principales ciudades costeras del Japón (Tokio, Osaka, Nigata) presentan valores

superiores a los 2 metros, Venecia y Londres son ejemplos claros de problemas de subsidencia urbana en la Europa occidental. (desenvolupament sostenible, 2017)

4.6.1. Tipos de Subsidencias

La subsidencia del terreno es únicamente la manifestación en superficie de una serie de mecanismos subsuperficiales de deformación. Prokopovich (1979) define desde un punto de vista genético dos tipos de subsidencia: endógena y exógena. El primero de estos términos hace referencia a aquellos movimientos de la superficie terrestre asociados a procesos geológicos internos, tales como pliegues, fallas, vulcanismo, etc. El segundo se refiere a los procesos de deformación superficial relacionados con la compactación natural o antrópica de los suelos.

La subsidencia puede también clasificarse en función de los mecanismos que la desencadenan (Scott, 1979). Las actividades extractivas de mineral en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de fluidos (agua, petróleo o gas) acumulados en reservorios subterráneos, el descenso de nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno y lavado de materiales por efecto del agua, los procesos morfo tectónicos y de sedimentación o los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos.(Tomás et al. 2009).

4.6.2. SUELOS COLAPSABLES

Se identifican como suelos colapsables, aquellos depósitos formados por arenas y limos, en algunos casos cementados por arcillas y sales, que, si bien resisten cargas considerables en su estado seco, sufren pérdidas de conformación estructural, acompañadas de severas reducciones en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan. (De La Comisión et al. 1997)

4.6.2.1 Tipos de suelos colapsables.

- Suelos aluviales y coluviales: Depositados en ambientes semidesérticos por flujos más o menos torrenciales tienen con frecuencia una estructura inestable (suelos metaestables).

- Suelos eólicos: Depositados por el viento, son arenas y limos arenosos con escaso cemento arcilloso en una estructura suelta o inestable. Reciben el nombre genérico de "loess" en las zonas templadas.
- Cenizas volcánicas: Provenientes de cenizas arrojadas al aire por eventos recientes de actividad volcánica explosiva, conforman planicies de suelos limosos y limo-arcillosos con manifiesto carácter metaestable
- Suelos residuales: Derivados de la descomposición in-situ de minerales de ciertas rocas, son luego lixiviados por el agua y pierden su cemento y su sustento por lo cual también terminan con una estructura inestable.(De La Comisión et al. 1997).

4.6.2.2. Identificación de colapsabilidad.

Se identifica la culpabilidad de estos depósitos, cuando el volumen de vacíos iguala la cantidad de agua en el punto del límite líquido. (De La Comisión et al. 1997).

4.7. CONSOLIDACIÓN DEL SUELO

La compresión que sufre un suelo se debe a la disminución del volumen de los poros, ya que las partículas se asumen incompresibles o de efecto despreciable. En suelos saturados la compresión ocurre solamente si se presenta drenaje de agua.

Todos los materiales, al ser sujetos a cambios en las condiciones de esfuerzos, experimentan deformaciones, que pueden o no ser dependientes del tiempo. Las relaciones entre los esfuerzos, las deformaciones y el tiempo, varían según el material a analizar. Las relaciones más sencillas se producen en los materiales elásticos lineales, donde el esfuerzo y la deformación son proporcionales e independientes del tiempo.

Las características esfuerzo-deformación-tiempo de un suelo dependerán, no solo del tipo de suelo y su estado de consistencia, sino también de la forma en que es cargado, de su ubicación estratigráfica, etc. Es necesario estudiar estas características del suelo, debido a que en general éstos sufren deformaciones superiores a las de la estructura que le transmite la carga y no siempre se producen instantáneamente ante la aplicación misma de la carga.

Una masa de suelo está compuesta por la fase sólida que forma un esqueleto granular y los vacíos que la misma encierra, los cuales algunos pueden estar llenos de gas/aire y otros de líquido/agua.

Además, se considera que tanto la masa sólida como el agua son incompresibles. Las deformaciones del suelo debidas a la aplicación de una carga externa son producto de una disminución del volumen total de la masa del suelo y particularmente una reducción del volumen de vacíos, ya que el volumen de sólidos es constante, por lo tanto dichas deformaciones son producto de una disminución de la relación de vacíos del suelo. Si estos vacíos están llenos de agua (suelo saturado), como al fluido lo consideramos incompresible, dicha disminución de la relación de vacíos, sólo es posible si el volumen de líquido disminuye por lo tanto se produce un flujo de líquido hacia algún estrato permeable. Si en cambio el suelo en sus vacíos posee aire y agua (suelo parcialmente saturado) o sólo aire, la disminución de la relación de vacíos se produce por una compresión de los gases que posee.

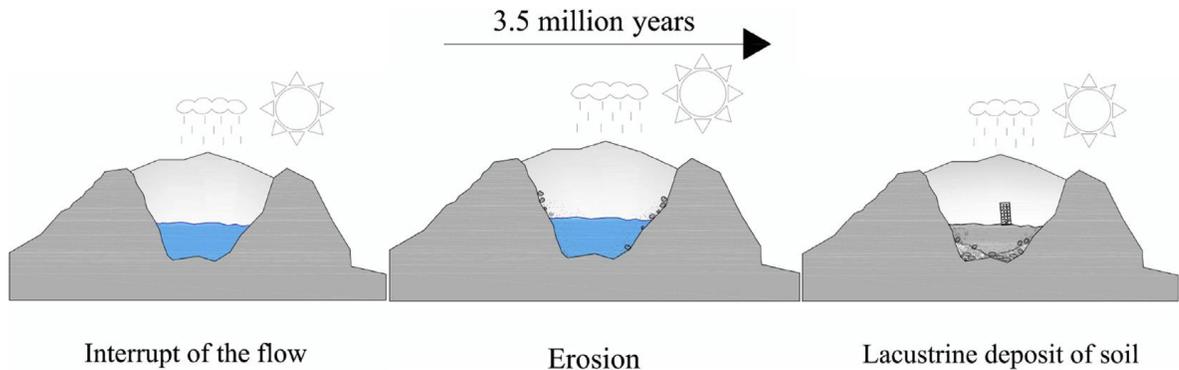
Cuando un depósito saturado se somete a un incremento de esfuerzos totales, como resultado de cargas externas aplicadas, se produce un exceso de presión intersticial (presión neutra). Puesto que el agua no resiste al corte, la presión neutra se disipa mediante un flujo de agua al exterior, cuya velocidad de drenaje depende de la permeabilidad del suelo.

Si en cambio el depósito se encuentra parcialmente saturado, la situación resulta más compleja debido a la presencia del gas que puede permitir cierta compresión, como se mencionó, sin que se produzca un flujo de agua. (Poliotti y Sierra 2007)

La compresión gradual de un suelo por efecto de los esfuerzos originados por la presión que ejercen las estructuras superpuestas recibe el nombre de consolidación. (Duque y Escobar 2016)

4.8. SUBSIDENCIA BOGOTÁ D.C.

Imagen 4 - Formación de Yacimiento lacustre.



Fuente, (Caicedo et al. 2019)

The whole process of soil deposition took place in a lapse covering about 3.5 million years until today.

Todo el proceso de deposición del suelo, tuvo lugar en un lapso de aproximadamente 3.5 millones de años hasta hoy. (Torres, Vandenberghe y Hooghiemstra 2005)

The lacustrine deposit in Bogotá (Colombia) is located on a high plateau of the Andes Mountains at 2550 m above sea level. More than 60% of the city area is located on soft soil deposits. At some sites of the plateau, the depth of the lacustrine deposit can reach 586 m. Shallow soil deposits at depths of 5e 10 m are overconsolidated, but in deeper layers, the soil can reach extremely high values for some geotechnical properties.

El yacimiento Lacustre en Bogotá está ubicado en una meseta alta de la cordillera de los Andes a 2550m sobre el nivel del mar. Mas del 60% del área de la ciudad se encuentra en depósitos de suelo blando. En algunos sitios de la meseta, la profundidad del depósito lacustre puede alcanzar 586 metros. Los depósitos de suelo poco profundos a profundidades de 5 a 10 m están sobre consolidados, pero en capas más profundas, el suelo puede alcanzar valores extremadamente altos para algunas propiedades geotécnicas. (Caicedo et al. 2019)

El tema de la subsidencia no es de ahora; desde hace años los geólogos vienen estudiando sus evidencias y se habían planteado consideraciones y opiniones, pero cuantitativamente no existía una medida confiable y concreta como esta”, asegura Mora, y agrega que prestar atención a este fenómeno debe ser un asunto prioritario, porque puede afectar directamente el desarrollo urbanístico de la capital del país:

“A corto plazo será necesario entrar a investigar el impacto que tiene la subsidencia en la infraestructura, porque como es un proceso que no ocurre de la noche a la mañana, es difícil identificar sus consecuencias inmediatas”. (Nicolás Bustamante Hernández 2018)

(Ver Anexo 1 - Mapa de Subsidencia Bogotá)

5. MARCO CONCEPTUAL

Alabeo: Se denomina Alabeo al efecto que sufren elementos tales como muros, tabiques, acabados cuando son sometidos a cargas verticales excesivas para su esbeltez.

Arcilla: La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el blanco (cuando es pura) hasta el rojo anaranjado.

Altimetría: es la rama de la topografía que se ocupa de estudiar el conjunto de procedimientos y de métodos que existen para poder determinar y representar la altura o cota de cada punto respecto de un plano de referencia.

Asentamiento: Es la deformación vertical en la superficie de un terreno proveniente de la aplicación de cargas o debido al peso propio de las capas.

Carga estructural: se refiere a la fuerza transmitida al suelo por toda la aplicación del peso de la estructura y los pesos de servicio.

Cimentación: Se denominan cimientos o cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados en este al suelo, distribuyéndolas de forma que no superen una serie de valores máximos del terreno de apoyo. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será mucho más grande que los elementos soportados.

Columna: Soporte de sección circular cuyas partes principales de abajo a arriba son basa fuste y capitel.

Consolidación del suelo: Se denomina consolidación de un suelo a un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo. Producen asentamientos, es decir, hundimientos verticales, en las construcciones que pueden llegar a romper si se producen con gran amplitud.

Control de Asentamientos: Un control de Asentamientos, es un procedimiento llevado a cabo con el fin de controlar y evaluar la deformación vertical del terreno o suelo de fundación con respecto a la estructura construida, por medio de toma de

datos periódicos, es posible además contemplar el comportamiento y la resistencia del suelo, así como sus posibles características físicas y mecánicas.

Deriva: Desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación.

Estructura: Una estructura es, cualquier tipo de construcción formada por uno o varios elementos enlazados entre sí que están destinados a soportar la acción de una serie de fuerzas aplicadas sobre ellos.

Estudio de suelos: Es el procedimiento preliminar, en donde se realiza toma de muestras de un terreno específico, con el fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales existentes, con el fin de realizar un diseño de cimentación y estructura adecuadas.

Geomática: La Geomática es una disciplina que engloba las Geociencias con la integración y aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Esta suma de Geociencias + TIC hace posible la captura, procesamiento, análisis, interpretación, almacenamiento, modelización, aplicación y difusión de información digital geoespacial o localizada, aplicable en los ámbitos de la ingeniería, el territorio y la sociedad.

Lacustre: El término lacustre se utiliza como adjetivo calificativo para designar a aquellos espacios, fenómenos o elementos relacionados con los lagos. Lo lacustre es aquello que sucede en el espacio interno del lago, así como también el tipo de ecosistema que se crea alrededor suyo dependiendo de las condiciones climáticas de cada lugar. Lacustre viene del idioma latín en el cual el término lacus significa lago.

Monitoreo: proceso de revisión permanente y toma de datos para verificación y control de un proceso específico. .

Pilote: es una estructura esbelta que permite transmitir las cargas de la estructura hasta un suelo portante.

Subsidencia: Proceso de hundimiento vertical de una cuenca sedimentaria como consecuencia del peso de los sedimentos que se van depositando en ella de una manera progresiva.

Viga: elemento estructural que conforma una estructura, con orientación horizontal que resiste principalmente cargas a esfuerzo cortante y flexionaste.

6. INFORMACIÓN DEL PROYECTO

6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Obra: Milá
Conjunto Residencial de Apartamentos

Director de Obra: Ing. Carlos Campos

Lugar: Bogotá D.C.

Dirección: Calle 146 # 13-70

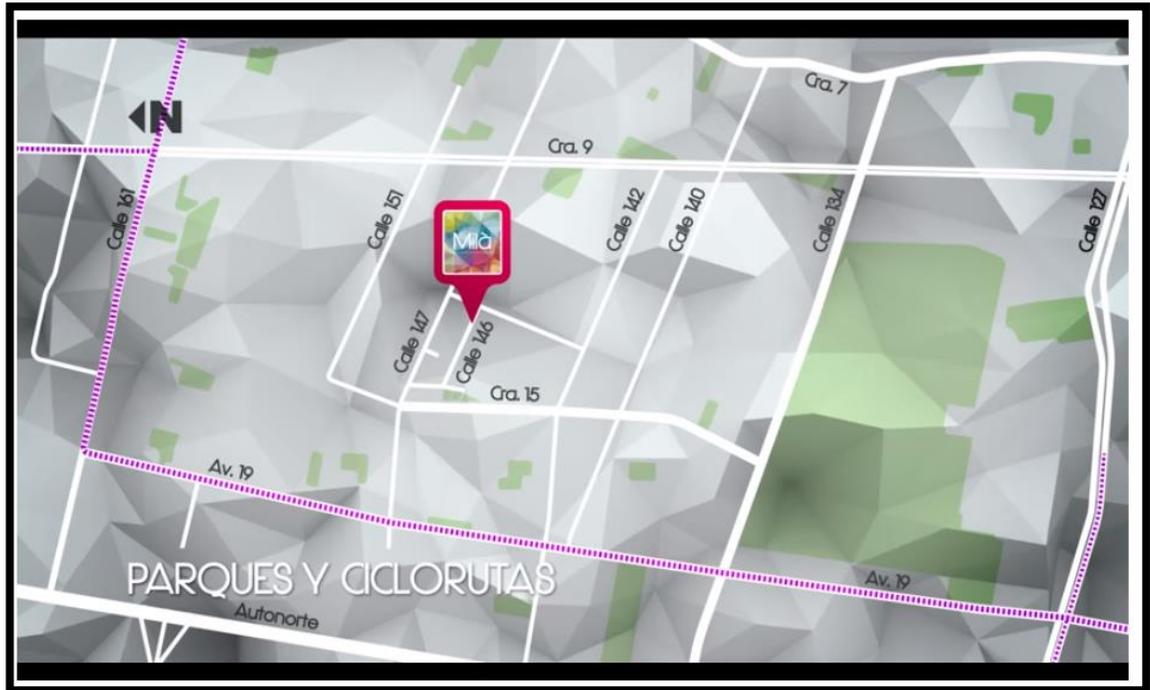
Descripción: Edificio de 13 pisos con 120 apartamentos

Imagen 5 - Ubicación Localidad - Milá Apartamentos



Fuente, (Actual Colombia)

Imagen 6 - Dirección Milá

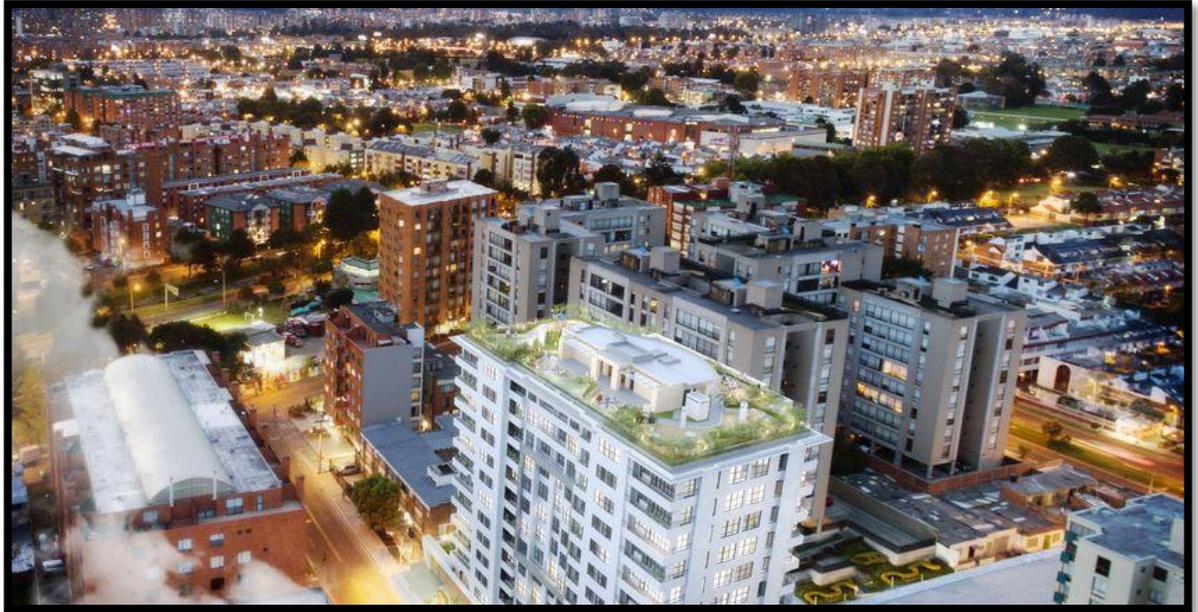


Fuente, (Actual Colombia)

Con el fin de realizar un aporte investigativo profundo dentro del tema de Instrumentación Geomática y Equipos De Medición Para el Control De Asentamientos, se eligió como proyecto, el Edificio Milá, principalmente por los antecedentes recientes de construcciones en áreas colindantes a su estructura, teniendo dentro de sus límites proyectos manejan diferentes tiempos de construcción, ver Imagen 7 por lo que se genera la necesidad de controlar asentamientos durante la consolidación del suelo junto con la aplicación gradual de cargas.

Dentro del plan de investigación del presente proyecto, se requiere una georreferenciación real a cotas de nivel de los puntos de medición para el control de los asentamientos, suministradas por el proyecto, verificadas dentro del alcance de la investigación con el fin de plasmar información real y precisa.

Imagen 7 - Panorámica Milá Apartamentos



Fuente, (Actual Colombia)

6.2. TIPO DE CONSTRUCCIÓN

La necesidad de asegurar el cumplimiento de los objetivos empresariales de coste de producción, la calidad de las obras de acuerdo con lo contratado y el plazo de ejecución obliga a la introducción en el proceso constructivo de técnicas de industrialización en el mayor grado que sea posible. (Penadés Martí 2002)

Como se observa en la Imagen 8 y en la Imagen 10, la constructora Actual Colombia opto por el método de construcción industrializada debido a la reducción significativa de tiempo lo cual implica un menor costo en la construcción del edificio.

Imagen 8 - Fachada Milá - Costado Norte



Fuente, (Autores)

De acuerdo a la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10 Versión 2 y según el diseño estructural de la construcción, Milá se reglamenta como Grupo de Uso I en la capacidad moderada de disipación de energía ver Tabla 2.

Tabla 2 - NSR-10 V2 Tabla A.2.5-1 Valores del Coeficiente de Importancia, I

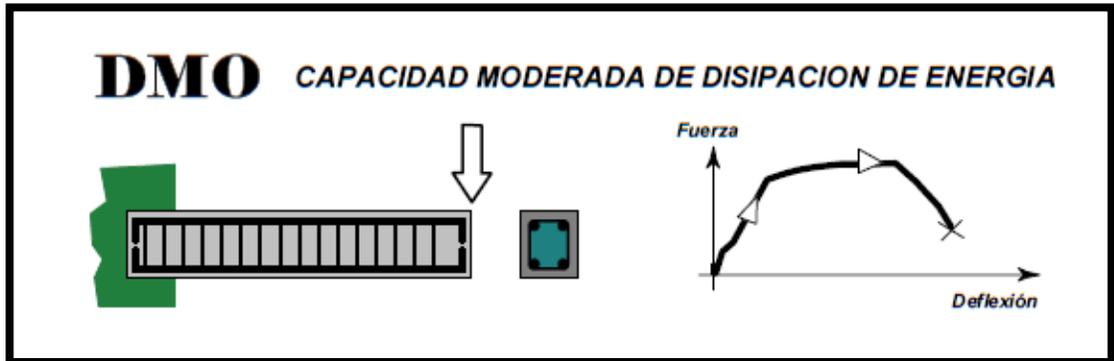
Tabla A,2,5-1 - NSR-10

**Valores del Coeficiente de
Importancia, I**

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1,5
III	1,25
III	1,1
I	1

Fuente, (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012)

Imagen 9 - Definición de las Características de la estructuración y del material estructural empleado



Fuente, (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012)

El coeficiente de importancia I, modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño.

Imagen 10- Fachada Milá - Costado Sur



Fuente, (Autores)

6.3. IDENTIFICACIÓN MATERIALES MILÁ

6.3.1. Resistencia del Concreto

- Placa y Vigas aéreas semisótano a Piso 8:
f'c: 28 MPa 280kgf/cm² 4000psi
- Placa y Vigas aéreas Piso 8 a Cubierta:
f'c: 21 MPa 210kgf/cm² 3000psi
- Cimentación:
f'c: 28 MPa 280kgf/cm² 4000psi
- Placa de Cimentación:
f'c: 28 MPa 280kgf/cm² 4000psi
- Columnas y Muros de Cementación a Piso 8:
f'c: 35 MPa 350kgf/cm² 5000psi
- Columnas y Muros Piso 8 a Cubierta:
f'c: 28 MPa 280kgf/cm² 4000psi

6.3.2. Resistencia del Acero:

- Acero para #3 y mayores: fy: 4200 kg/cm²
- Acero para #2: fy: 4200 kg/cm²
- Malla Electrosoldada: fy: 4200 kg/cm²

6.4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación fue necesario llevar a cabo los procedimientos a continuación descritos:

- investigación de antecedentes similares para formulación de la problemática inicial.
- Análisis de procedimientos utilizados en proyectos similares para determinación de un plan de mejoramiento.
- Planteamiento inicial de métodos de estudio y toma de datos.
- Selección de proyecto para estudio en donde se permitiese el desarrollo de la investigación, teniendo en cuenta los procesos constructivos.
- Análisis de entorno del proyecto, por medio de la determinación y estudio de estructuras vecinas y comportamientos normales del terreno frente a la aplicación de cargas.
- Análisis del estudio de suelos presentado por el especialista geotécnico del proyecto.
- Investigación bibliográfica reciente sobre comportamiento geotécnico en Bogotá
- Investigación de referenciación geográfica de la zona de localización del proyecto de estudio.
- Traslado de punto de referenciación del instituto geográfico Agustín Codazzi, para calibración y determinación de punto cero para toma de datos de asentamiento.
- Determinación de puntos de calibración de instrumentos geomáticos para el análisis y control de asentamientos de la estructura de estudio.
- Identificación de elementos estructurales dentro del proyecto para análisis y control de asentamientos.
- Análisis y estudio de la estructura en desarrollo con el fin de determinar aplicación gradual de cargas sobre el suelo de fundación.
- Estudio de cronograma de ejecución del proyecto para determinar periodos de asentamientos y relacionarlos con la aplicación de esfuerzos.

- Toma de datos y medición de asentamientos en estructuras vecinas del proyecto de estudio, identificando tipo de estructuras y antigüedad de construcción.
- Recopilación de datos registrados en los meses anteriores al periodo de estudio.
- Estudio de subsidencias en la ciudad de Bogotá determinando asentamientos diferenciales por zonas.
- Análisis de subsidencias en la zona, relacionando comportamiento de consolidación del suelo en estructuras colindantes.
- Elaboración de medición de asentamientos en la estructura de estudio.
- Elaboración de análisis gráfico del comportamiento del suelo bajo la aplicación gradual de los esfuerzos en relación a los datos previamente recolectados por la comisión topográfica del proyecto.
- Relación de datos obtenidos con la subsidencia de la zona, en relación a los datos obtenidos en la medición de los asentamientos.
- Análisis de resultados obtenidos en la toma de asentamientos del proyecto de estudio y de los predios colindantes, para elaboración de diagnóstico preliminar del estudio de suelos realizado por el geotecnista del proyecto.
- Presentación final de los resultados obtenidos.

6.5. EQUIPOS

Para el desarrollo de la investigación fue necesario la utilización de los equipos a continuación relacionados:

-Computador Portátil con herramientas Software de ingeniería civil, como AutoCAD y ArcGIS; Microsoft Office.

- Estación total de topografía.
- Nivel topográfico
- Cinta métrica de medición
- Mira topográfica

- GPS Digital
- Trípode
- Cámara Fotográfica.
- Distanciómetro Laser

6.6. LIMITACIONES

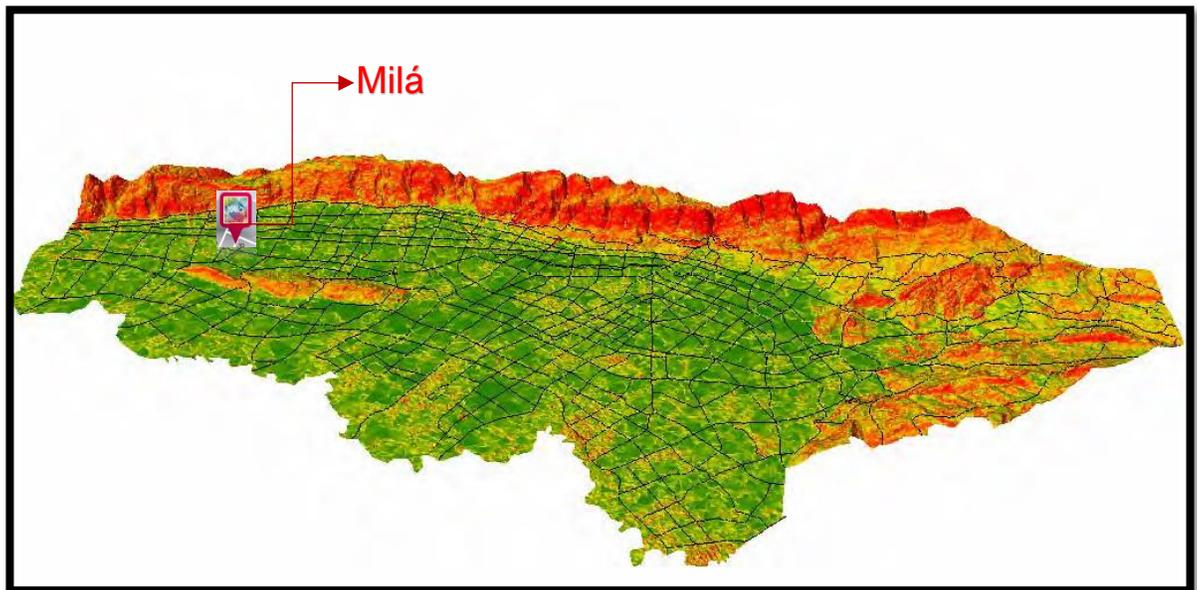
Dentro del alcance propuesto inicialmente y en relación a la investigación de nuevas metodologías para el control de asentamientos de un proyecto de infraestructura, se plantearon métodos diferentes a los expuestos, como la utilización de una estación total ubicada desde un punto externo al proyecto, que controlara de manera permanente los asentamientos en cada uno de los puntos de estudio dentro del proyecto, realizándose una lectura automática de los asentamientos y generándose una alerta inmediata sobre la existencia de un asentamiento irregular, sin embargo no se pudo aplicar dicha metodología de manera física, debido a los altos costos asumibles en relación a la ejecución del proyecto de grado, además del factor del tiempo que no permitía realizar un estudio de relación costo beneficio, debido a que solo se cuenta con un periodo menor de 4 meses para el desarrollo y el planteamiento de este, no obstante en relación a los métodos demostrados en la presente investigación se hace la sugerencia de la implementación de estos equipos de alta precisión, para obtención de datos con menos incertidumbre en la toma de datos.

Por otro lado pese a ser una de las causas de estudio principalmente propuestas, no fue posible realizar control de verticalidad en el proyecto estudiado, esto debido a que el proceso constructivo actual no se encuentra en una etapa conveniente para la toma de datos, la construcción gradual de elementos, y el avance de los acabados no permitieron tener una línea de referencia en la estructura para realizar una medida precisa en los controles semanales; sin embargo con el estudio del asentamiento de las columnas, presentado en este proyecto es posible determinar de manera indirecta el comportamiento de los alabeos del edificio por medio de la determinación de asentamientos diferenciales.

7.0 MARCO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO Y SÍSMICO GENERAL

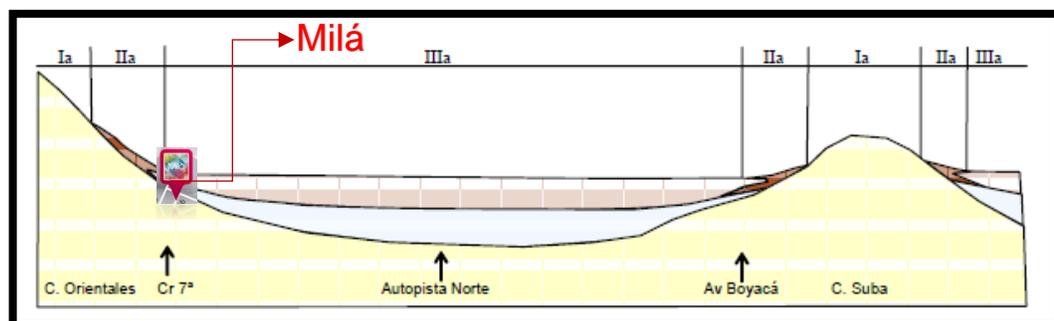
Para determinar el comportamiento del suelo en la zona de estudio y analizar de forma detallada los asentamientos del terreno de fundación del proyecto Milá, es necesario además analizar el comportamiento geológico, geotécnico y sísmico general de Bogotá, esto con el fin de relacionar el estudio de subsidencias, en relación a la toma de datos de asentamientos de la estructura obtenidas.

Imagen 11 - Modelo Tridimensional de pendientes del terreno de Bogotá



Fuente, (Castro et al. 2010)

Imagen 12 - Esquema Geotécnico típico de una sección este - oeste entre CI 127 a CI 200 aprox.



Fuente, (Castro et al. 2010)

En la Imagen 12 se observa la forma que tiene la cuenca de sedimentación en un rango comprendido entre la calle 127 a calle 200, rango en el que se encuentra la obra Milá.

7.1. CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS DE BOGOTÁ

La ciudad de Bogotá cuenta con estudios detallados de respuesta dinámica de los suelos por la actividad sísmica regional, conocidos como microzonificación sísmica. A partir de estos estudios, que están reglamentados en el Decreto Distrital 523 de 2010 por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. , se han definido parámetros de sismo resistencia para el diseño y análisis de edificaciones.

La ciudad de Bogotá está expuesta a la actividad sísmica generada por los diversos sistemas de fallas geológicas activas existentes en el país, en mayor o menor grado en función de la distancia de la capital a éstos sistemas, tales como el sistema de Falla Frontal de la Cordillera Oriental (Falla Guaicáramo, Falla Algeciras), Falla Usme, Honda e Ibagué.

De estos, la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, ubicada a 40 km de la ciudad, representa la mayor contribución a la amenaza sísmica de Bogotá. Dada su localización con respecto a los distintos sistemas, Bogotá está ubicada en una zona de amenaza sísmica intermedia. Fuente (instituto distrital de gestión de riesgos y cambio climático, 2019).

La ciudad de Bogotá está expuesta a la actividad sísmica generada por los diversos sistemas de fallas geológicas activas existentes en el país, en mayor o menor grado en función de la distancia de la capital a estos sistemas, tales como el sistema de Falla Frontal de la Cordillera Oriental (Falla Guaicáramo, Falla Algeciras), Falla Usme, Honda e Ibagué.

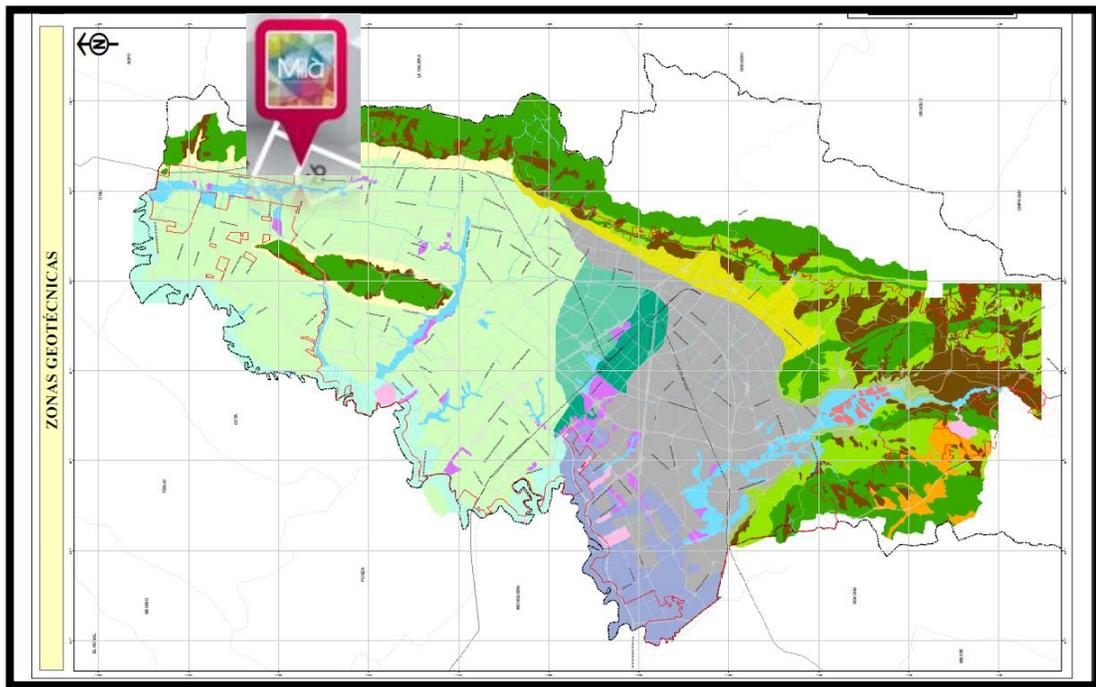
De estos, la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, ubicada a 40 km de la ciudad, representa la mayor contribución a la amenaza sísmica de Bogotá. Dada su localización con respecto a los distintos sistemas, Bogotá está ubicada en una zona de amenaza sísmica intermedia.

La amenaza sísmica dicta en gran medida la intensidad de movimiento esperada a nivel de roca para un sitio, sin embargo, el movimiento que se puede llegar a sentir en diferentes puntos de la ciudad también está influenciado por el tipo de suelo en cada uno de ellos.

Los efectos locales, es decir la respuesta del suelo en superficie producto de la propagación de las ondas sísmicas a través de los materiales de los cuales está constituido, dependen del tipo de suelo y la topografía del terreno. (instituto distrital de gestión de riesgos y cambio climático, 2019).

7.2. MAPA ZONAS GEOTÉCNICAS

Anexo 2 - Mapa Zonas Geotécnicas Bogotá -Ubicación Milá



Fuente, (Mayor Bogotá Dc Secretaría Distrital De y Distrital Planeación 2010)

7.3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA MILÁ

Lacustre A

Conformada principalmente por depósitos de arcillas limosas muy blandas con profundidades entre 20 a 500 metros, pueden parecer depósitos ocasionales de turbas y o arenas de espesor intermedio a bajo. Presentan una capa superficial preconsolidada de espesor variable y no mayor a 10 metros. (INGEOMINAS 1997)

El suelo donde se desarrolla el proyecto de apartamentos Milá es de muy baja capacidad portante y muy compresibles, por tal motivo para la cimentación del proyecto se utilizaron pilotes de diámetros entre 0.50m y 0.70m a profundidades entre 24 y 52 metros.

De acuerdo al estudio de suelos realizado por la obra, el perfil estratigráfico se puede describir así:

- Se encuentra en la superficie la placa en concreto, rellenos en tierra varias y la capa vegetal con espesores en conjunto que varían entre 0.6 y 1.2 metros.
- Luego hay limos arcillosos orgánicos de color gris oscuro, café y negro, con una consistencia media a muy blanda, que llegan a profundidades que varían entre 2.1 y 3.6 metros bajo la superficie.
- Por último, aparecen arcillas de color gris oscuro, gris verdosos y café, con una consistencia blanda muy blanda, intercaladas con lentes orgánicos y los cuales alcanzaron la profundidad de exploración.

8. ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DE EDIFICIOS CIRCUNDANTES

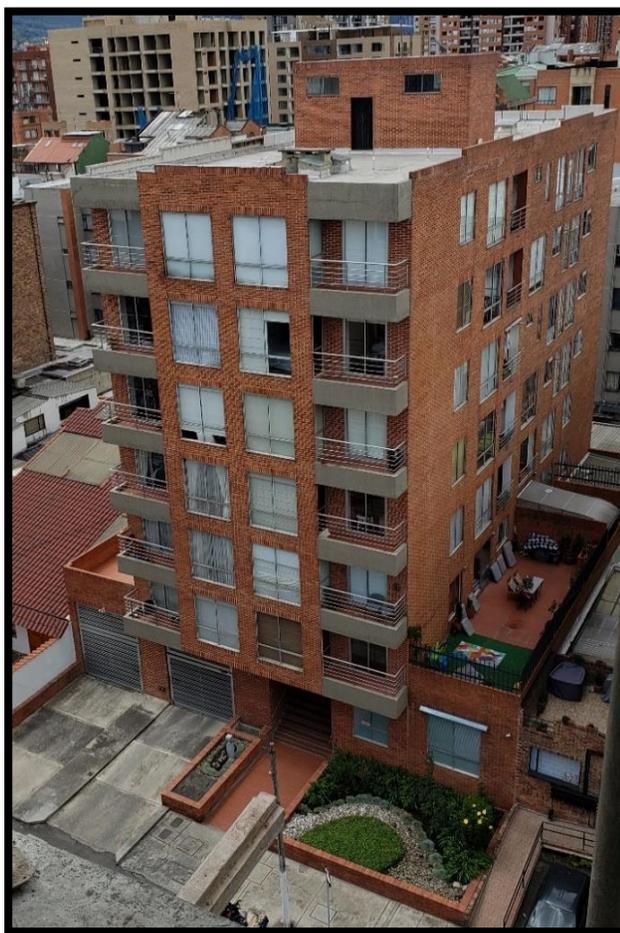
8.1. EDIFICIO BALCONES DE SANTA ANA

8.1.1. Tipo de Construcción: (B) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería.

8.1.2. Año de Finalización de Construcción: Finales 2014.

8.1.3. Cantidad de Pisos: 7 Pisos

Imagen 13 - Edificio - Balcones de Santa Ana



Fuente. (Los Autores)

8.1.4. Consolidado Asentamiento Balcones de Santa Ana

Tabla 3 – Consolidado Asentamiento por Niveleta - Edificio Balcones de Santa Ana

CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO BALCONES DE SANTA ANA								
L - Distancia Entre Columnas [m]:				4,120	Δ Max [m]		-0,008	
NIVELETA	Julio 14 de 2017	Sep. 17 de 2018	Sep. 09 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] <small>[respecto al < Δ]</small>	Δ Total Proc. Construc. + σ Levant. [m]	Analisis Δ [L/500]
1	2554,300	2554,295	2554,292	-0,008	±0,002	-0,004	-0,005	Asentamiento Normal
2	2553,827	2553,821	2553,821	-0,006	±0,002	-0,001	-0,002	Asentamiento Normal
3	2553,856	2553,850	2553,850	-0,006	±0,002	0,000	-0,002	Asentamiento Normal
4	2553,821	2553,815	2553,815	-0,006	±0,002	-0,001	-0,002	Asentamiento Normal
5	2553,841	2553,834	2553,835	-0,006	±0,002	0,000	-0,001	Asentamiento Normal
6	2553,819	2553,813	2553,813	-0,006	±0,001	0,000	-0,001	Asentamiento Normal
7	2553,840	2553,834	2553,834	-0,006	±0,002	0,000	-0,002	Asentamiento Normal
8	2553,820	2553,814	2553,815	-0,005	±0,002	0,001	-0,001	Asentamiento Normal
9	2553,819	2553,814	2553,814	-0,005	±0,002	-0,001	-0,002	Asentamiento Normal
10	2553,822	2553,817	2553,818	-0,004	±0,002	0,000	-0,001	Asentamiento Normal
11	2553,834	2553,829	2553,831	-0,003	±0,002	0,001	0,000	Asentamiento Normal
12	2553,812	2553,808	2553,809	-0,003	±0,002	0,001	-0,001	Asentamiento Normal
13	2553,811	2553,807	2553,807	-0,004	±0,002	-0,001	-0,002	Asentamiento Normal
14	2553,841	2553,835	2553,837	-0,004	±0,002	0,002	0,000	Asentamiento Normal
15	2553,863	2553,858	2553,861	-0,002	±0,002	0,002	0,001	Asentamiento Normal
16	2553,833	2553,830	2553,832	-0,001	±0,002	0,001	0,000	Asentamiento Normal
17	2553,817	2553,814	2553,816	-0,001	±0,002	0,001	0,000	Asentamiento Normal
18	2553,810	2553,806	2553,807	-0,003	±0,002	0,000	-0,001	Asentamiento Normal
19	2553,820	2553,813	2553,814	-0,006	±0,002	0,001	-0,001	Asentamiento Normal
20	2553,825	2553,820	2553,820	-0,005	±0,002	-0,001	-0,002	Asentamiento Normal
21	2553,827	2553,823	2553,825	-0,002	±0,002	0,002	0,000	Asentamiento Normal
22	2553,804	2553,800	2553,803	-0,001	±0,002	0,002	0,001	Asentamiento Normal
23	2553,837	2553,834	2553,836	-0,001	±0,002	0,001	0,000	Asentamiento Normal
24	2553,844	2553,839	2553,840	-0,004	±0,002	0,001	-0,001	Asentamiento Normal
25	2553,857	2553,852	2553,852	-0,005	±0,002	0,000	-0,002	Asentamiento Normal
26	2553,828	2553,823	2553,823	-0,005	±0,002	0,000	-0,002	Asentamiento Normal
27	2553,819	2553,812	2553,815	-0,004	±0,002	0,003	0,001	Asentamiento Normal
28	2553,826	2553,822	2553,821	-0,005	±0,002	-0,001	-0,003	Asentamiento Normal

Fuente. (Los Autores)

El edificio Balcones de Santa Ana es una unidad residencial de apartamentos ubicada en el costado Suroriental de acuerdo a la ubicación del proyecto Milá, altura a cubierta 21 metros. Como se registra en la Tabla 3 se ubicaron 28 niveletas en las columnas del sótano las cuales se referencian en el plano de planta de Balcones de Santa Ana – Anexo 4 – el espaciamiento promedio de columnas es de 4.12 metros. De julio 14 de 2017 a septiembre 17 de 2018 no se realizó movimiento de tierras en el predio de Milá por lo que el asentamiento registrado fue de promedio -0.005m y corresponde a la subsidencia de la zona.

(Ver Anexo 4 Plano Ubicación Niveletas - Santa Ana)

Tabla 4 - Subsistencia Balcones de Santa Ana - Durante el periodo sin movimiento de tierras

NIVELETA	Julio 14 de 2017	Sep. 17 de 2018	Subsistencia Edificio Balcones de Santa Ana
1	2554,300	2554,295	-0,005
2	2553,827	2553,821	-0,006
3	2553,856	2553,850	-0,006
4	2553,821	2553,815	-0,006
5	2553,841	2553,834	-0,007
6	2553,819	2553,813	-0,006
7	2553,840	2553,834	-0,006
8	2553,820	2553,814	-0,006
9	2553,819	2553,814	-0,005
10	2553,822	2553,817	-0,005
11	2553,834	2553,829	-0,005
12	2553,812	2553,808	-0,004
13	2553,811	2553,807	-0,004
14	2553,841	2553,835	-0,006
15	2553,863	2553,858	-0,005
16	2553,833	2553,830	-0,003
17	2553,817	2553,814	-0,003
18	2553,810	2553,806	-0,004
19	2553,820	2553,813	-0,007
20	2553,825	2553,820	-0,005
21	2553,827	2553,823	-0,004
22	2553,804	2553,800	-0,004
23	2553,837	2553,834	-0,003
24	2553,844	2553,839	-0,005
25	2553,857	2553,852	-0,005
26	2553,828	2553,823	-0,005
27	2553,819	2553,812	-0,007
28	2553,826	2553,822	-0,004

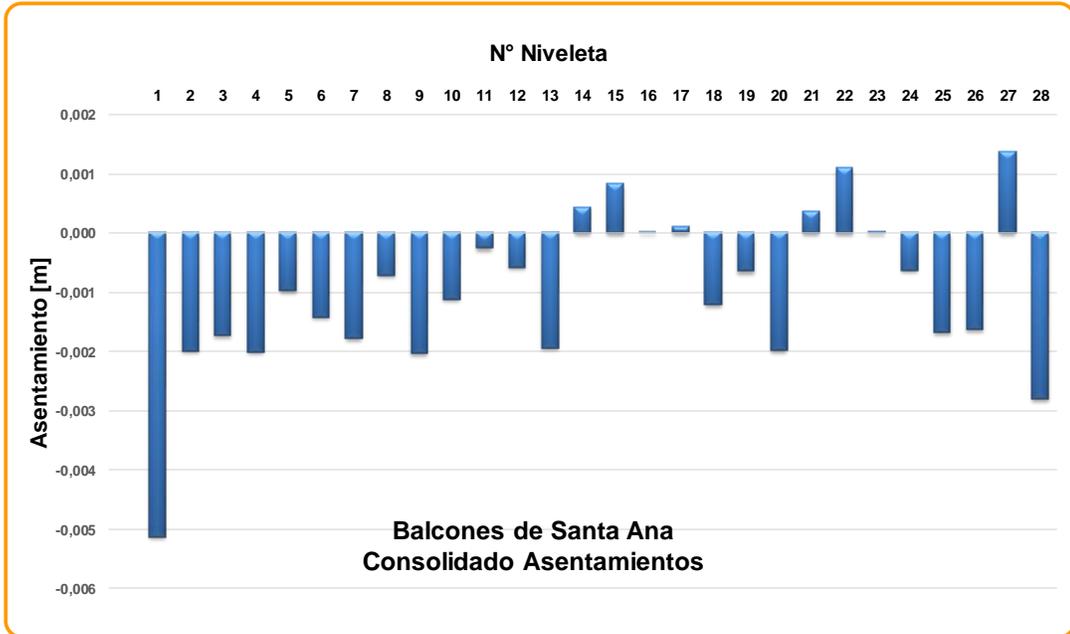
De acuerdo a la Tabla 4 se observa:

- Las niveletas 5-19 y 27 son las que mayor subsidencia registraron siendo este de -0.007m.
- Las niveletas con menor subsidencia fueron la 16 y 17 con -0.003m.
- Promedio subsidencia de -0.005m en un periodo de tiempo 14 meses.
- El máximo asentamiento se obtuvo en la niveleta N°1 y su valor es de -0.005m como se observa en la Imagen 14

Fuente. (Los Autores)

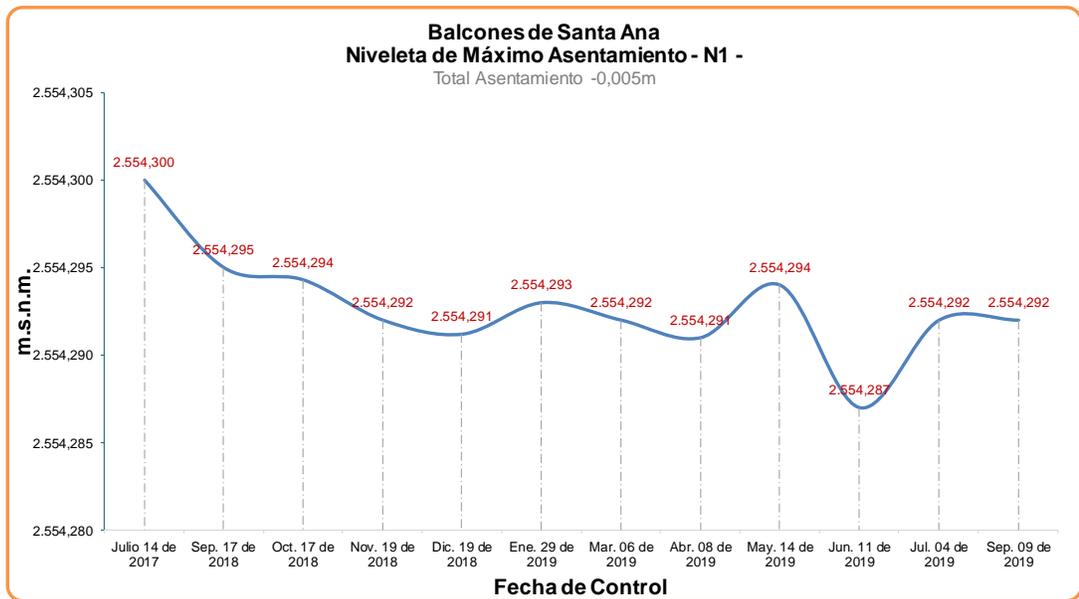
- El menor asentamiento fue de -0.001m, en algunas niveletas se presentó un rebote siendo el mayor valor de +0.001m, lo cual arroja un asentamiento diferencial de -0.006m en el edificio Balcones de Santa Ana.
- Los mayores asentamientos se presentaron en el costado oriental del edificio siendo esta la parte más alejada en relación con el proyecto de Milá.

Imagen 14 - Asentamientos por Niveleta - Balcones de Santa Ana



Fuente. (Los Autores)

Imagen 15 - Comportamiento de niveleta con mayor asentamiento registrado - Edificio Balcones de Santa Ana



Fuente. (Los Autores)

Tabla 5 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Cedro Reservado 147

CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO CEDRO RESERVADO 147								
L - Distancia Entre Columnas [m]:				3,22	Δ Max [m]		-0,006	
Niveleta	Julio 11 de 2017	Oct. 05 de 2018	Sep. 30 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] [respecto al < valor]	Δ Total Proc. Construc. + σ Levant. [m]	Análisis Δ [L/500]
T1-2	2554,296	2554,282	2554,275	-0,021	±0,003	-0,013	-0,010	Asentamiento Alto
T1-3	2554,379	2554,375	2554,372	-0,007	±0,002	-0,009	-0,005	Asentamiento Normal
T1-C	2554,335	2554,328	2554,320	-0,015	±0,003	-0,015	-0,011	Asentamiento Alto
N-2	2554,946	2554,941	2554,939	-0,007	±0,002	-0,007	-0,004	Asentamiento Normal
T2-7	2554,446	2554,429	2554,421	-0,025	±0,004	-0,015	-0,012	Asentamiento Alto
T2-10	2554,449	2554,433	2554,425	-0,024	±0,004	-0,015	-0,012	Asentamiento Alto
T2-17	2554,452	2554,436	2554,429	-0,023	±0,004	-0,014	-0,011	Asentamiento Alto
T2-19	2554,452	2554,427	2554,419	-0,033	±0,003	-0,015	-0,011	Asentamiento Alto
T3-1	2554,381	2554,354	2554,343	-0,038	±0,004	-0,019	-0,015	Asentamiento Alto
T3-3	2554,400	2554,371	2554,360	-0,040	±0,004	-0,018	-0,015	Asentamiento Alto
T3-4	2554,393	2554,363	2554,354	-0,039	±0,004	-0,016	-0,013	Asentamiento Alto
T3-C-5	2554,396	2554,367	2554,356	-0,040	±0,003	-0,018	-0,014	Asentamiento Alto
T3-8	2554,450	2554,425	2554,413	-0,037	±0,004	-0,020	-0,016	Asentamiento Alto
T3-13	2554,438	2554,409	2554,398	-0,040	±0,004	-0,018	-0,015	Asentamiento Alto
T3-14	2554,432	2554,402	2554,392	-0,040	±0,004	-0,017	-0,014	Asentamiento Alto
T3-15	2554,430	2554,399	2554,390	-0,040	±0,004	-0,016	-0,013	Asentamiento Alto
T3-16	2554,431	2554,400	2554,390	-0,041	±0,004	-0,017	-0,014	Asentamiento Alto
T3-17	2554,434	2554,405	2554,394	-0,040	±0,004	-0,019	-0,015	Asentamiento Alto
T3-18	2554,447	2554,418	2554,407	-0,040	±0,004	-0,018	-0,015	Asentamiento Alto
T3-20	2554,447	2554,417	2554,406	-0,041	±0,004	-0,018	-0,015	Asentamiento Alto
T4-1	2554,313	2554,281	2554,257	-0,056	±0,009	-0,036	-0,033	Asentamiento Alto
T4-3	2554,347	2554,316	2554,266	-0,081	±0,017	-0,071	-0,067	Asentamiento Alto
T4-4	2554,357	2554,328	2554,298	-0,059	±0,011	-0,045	-0,041	Asentamiento Alto
T4-6	2554,423	2554,390	2554,346	-0,077	±0,016	-0,064	-0,060	Asentamiento Alto
T4-7	2554,426	2554,393	2554,346	-0,080	±0,017	-0,068	-0,064	Asentamiento Alto
T4-8	2554,439	2554,403	2554,369	-0,070	±0,013	-0,051	-0,047	Asentamiento Alto
T4-9	2554,432	2554,399	2554,360	-0,072	±0,015	-0,058	-0,054	Asentamiento Alto
T4-10	2554,432	2554,401	2554,358	-0,074	±0,016	-0,063	-0,059	Asentamiento Alto
T4-11	2554,437	2554,407	2554,361	-0,076	±0,017	-0,067	-0,063	Asentamiento Alto
T4-12	2554,441	2554,412	2554,369	-0,072	±0,015	-0,062	-0,058	Asentamiento Alto
T4-13	2554,439	2554,408	2554,373	-0,066	±0,013	-0,052	-0,048	Asentamiento Alto
T4-14	2554,439	2554,408	2554,374	-0,065	±0,013	-0,050	-0,047	Asentamiento Alto
T4-15	2554,443	2554,412	2554,382	-0,061	±0,011	-0,045	-0,041	Asentamiento Alto
T4-16	2554,442	2554,413	2554,380	-0,062	±0,012	-0,049	-0,045	Asentamiento Alto
T4-18	2554,446	2554,414	2554,377	-0,069	±0,014	-0,054	-0,051	Asentamiento Alto
T4-19	2554,449	2554,418	2554,391	-0,058	±0,010	-0,041	-0,037	Asentamiento Alto
T4-20	2554,446	2554,416	2554,391	-0,055	±0,010	-0,038	-0,035	Asentamiento Alto
T5-1	2554,292	2554,263	2554,239	-0,053	±0,009	-0,037	-0,033	Asentamiento Alto
T5-2	2554,314	2554,286	2554,257	-0,057	±0,011	-0,044	-0,040	Asentamiento Alto
T5-6	2554,447	2554,417	2554,391	-0,056	±0,010	-0,039	-0,036	Asentamiento Alto
T5-7	2554,450	2554,420	2554,393	-0,057	±0,010	-0,041	-0,037	Asentamiento Alto
T5-8	2554,459	2554,427	2554,403	-0,056	±0,009	-0,037	-0,033	Asentamiento Alto
T5-9	2554,455	2554,426	2554,402	-0,053	±0,009	-0,036	-0,033	Asentamiento Alto
T5-11	2554,452	2554,423	2554,403	-0,049	±0,008	-0,031	-0,028	Asentamiento Alto
T7-1	2554,420	2554,416	2554,414	-0,006	±0,002	-0,008	-0,004	Asentamiento Normal
T7-2	2554,378	2554,370	2554,365	-0,013	±0,002	-0,011	-0,007	Asentamiento Alto
F-1	2554,305	2554,301	2554,298	-0,007	±0,002	-0,009	-0,005	Asentamiento Normal
F-2	2554,305	2554,303	2554,298	-0,007	±0,002	-0,011	-0,007	Asentamiento Alto
F-3	2554,187	2554,177	2554,172	-0,015	±0,003	-0,011	-0,008	Asentamiento Alto
F-4	2554,241	2554,230	2554,221	-0,020	±0,003	-0,016	-0,012	Asentamiento Alto
F-5	2554,183	2554,173	2554,163	-0,020	±0,004	-0,017	-0,014	Asentamiento Alto
F-7	2554,222	2554,209	2554,202	-0,020	±0,003	-0,014	-0,010	Asentamiento Alto
F-8	2554,446	2554,431	2554,422	-0,024	±0,004	-0,016	-0,013	Asentamiento Alto
F-9	2554,447	2554,430	2554,423	-0,024	±0,004	-0,014	-0,011	Asentamiento Alto
F-10	2554,455	2554,425	2554,415	-0,040	±0,004	-0,018	-0,014	Asentamiento Alto

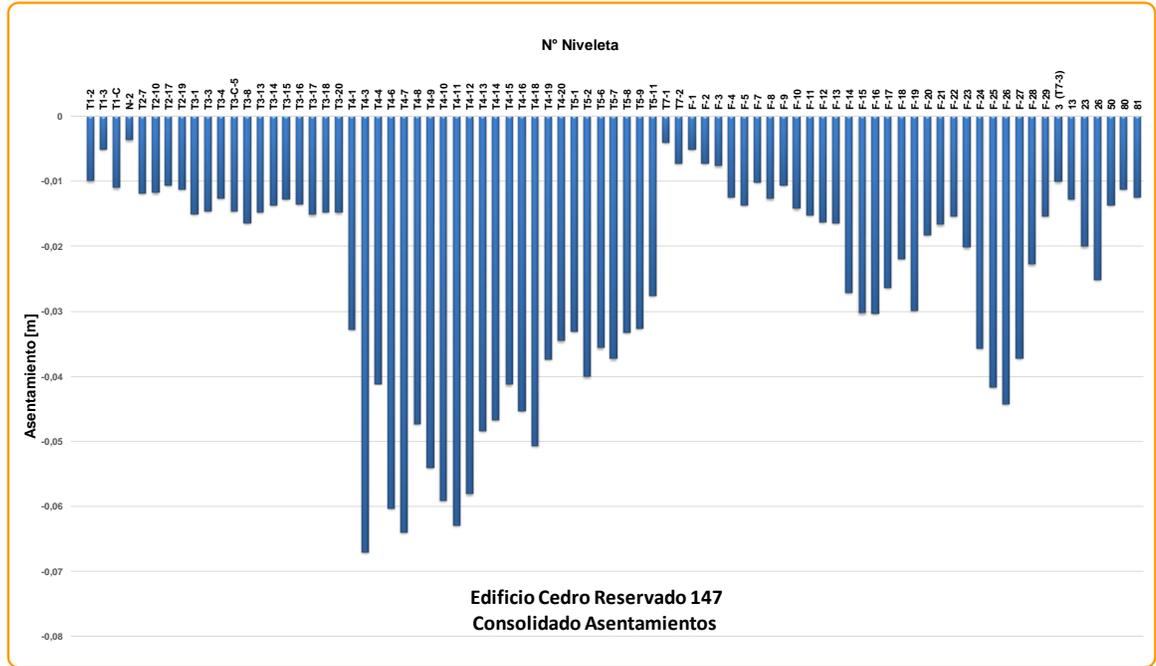
Continuación Tabla 5

CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO CEDRO RESERVADO 147								
L - Distancia Entre Columnas [m]:			3,22	Δ Max [m]		-0,006		
Niveleta	Julio 11 de 2017	Oct. 05 de 2018	Sep. 30 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] [respecto al < valor]	Δ Total Proc. Construc. + σ Levant. [m]	Análisis Δ [L/500]
F-11	2554,457	2554,426	2554,415	-0,042	±0,004	-0,019	-0,015	Asentamiento Alto
F-12	2554,457	2554,426	2554,414	-0,043	±0,004	-0,020	-0,016	Asentamiento Alto
F-13	2554,453	2554,423	2554,411	-0,042	±0,004	-0,020	-0,016	Asentamiento Alto
F-14	2554,450	2554,420	2554,400	-0,050	±0,007	-0,031	-0,027	Asentamiento Alto
F-15	2554,462	2554,435	2554,413	-0,049	±0,008	-0,034	-0,030	Asentamiento Alto
F-16	2554,462	2554,434	2554,412	-0,050	±0,008	-0,034	-0,030	Asentamiento Alto
F-17	2554,468	2554,440	2554,421	-0,047	±0,007	-0,030	-0,026	Asentamiento Alto
F-18	2554,471	2554,443	2554,427	-0,044	±0,006	-0,026	-0,022	Asentamiento Alto
F-19	2554,190	2554,160	2554,138	-0,052	±0,008	-0,034	-0,030	Asentamiento Alto
F-20	2554,474	2554,449	2554,436	-0,038	±0,005	-0,022	-0,018	Asentamiento Alto
F-21	2554,473	2554,450	2554,438	-0,035	±0,005	-0,020	-0,017	Asentamiento Alto
F-22	2554,476	2554,449	2554,438	-0,038	±0,004	-0,019	-0,015	Asentamiento Alto
F-23	2554,212	2554,186	2554,171	-0,041	±0,005	-0,024	-0,020	Asentamiento Alto
F-24	2554,457	2554,426	2554,400	-0,057	±0,010	-0,039	-0,036	Asentamiento Alto
F-25	2554,255	2554,225	2554,194	-0,061	±0,011	-0,045	-0,042	Asentamiento Alto
F-26	2554,267	2554,236	2554,203	-0,064	±0,011	-0,048	-0,044	Asentamiento Alto
F-27	2554,172	2554,140	2554,113	-0,059	±0,010	-0,041	-0,037	Asentamiento Alto
F-28	2554,213	2554,183	2554,166	-0,047	±0,006	-0,026	-0,023	Asentamiento Alto
F-29	2554,233	2554,202	2554,191	-0,042	±0,004	-0,019	-0,015	Asentamiento Alto
3 (T7-3)	2554,315	2554,305	2554,298	-0,017	±0,003	-0,014	-0,010	Asentamiento Alto
13	2554,449	2554,435	2554,426	-0,023	±0,004	-0,016	-0,013	Asentamiento Alto
23	2554,021	2553,997	2553,982	-0,039	±0,005	-0,024	-0,020	Asentamiento Alto
26	2553,978	2553,950	2553,931	-0,047	±0,006	-0,029	-0,025	Asentamiento Alto
50	2553,979	2553,962	2553,952	-0,027	±0,004	-0,017	-0,014	Asentamiento Alto
80	2554,016	2554,008	2554,000	-0,016	±0,003	-0,015	-0,011	Asentamiento Alto
81	2554,057	2554,043	2554,034	-0,023	±0,003	-0,016	-0,012	Asentamiento Alto

Fuente. (Los Autores)

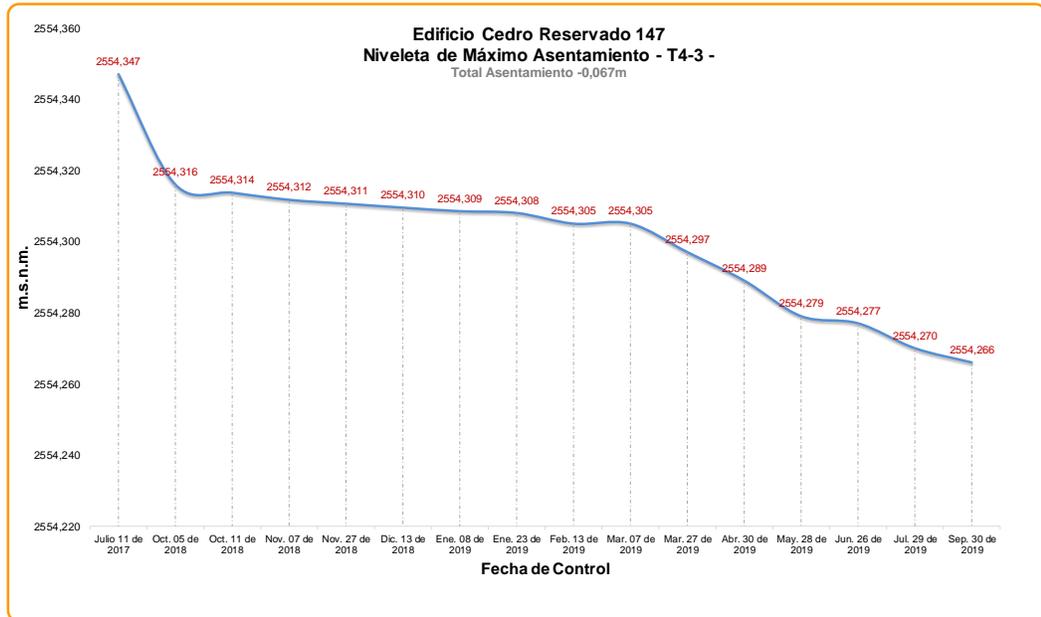
- La niveleta T4-8 es la que mayor subsidencia registra siendo esta de -0.036m.
- La niveleta F-2 registro la menor subsidencia siendo esta de -0.002m.
- Promedio de subsidencia de -0.024m en un periodo de tiempo 16 meses.
- El máximo asentamiento se obtuvo en la niveleta T4-3 y su valor es de -0.067m como se observa en la Imagen 17 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Cedro Reservado 147.
- El menor asentamiento fue de -0.004m se obtuvo en la niveleta N2, lo cual arroja un asentamiento diferencial de -0.063m en el edificio Cedro Reservado 147.
- Los mayores asentamientos se presentaron en el costado suroriental del edificio siendo esta la parte más cercana con el proyecto de Milá.

Imagen 17 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Cedro Reservado 147



Fuente. (Los Autores)

Imagen 18 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Cedro Reservado 147



Fuente. (Los Autores)

8.3. EDIFICIO PIRACANTA

8.3.1. Tipo de Construcción: (A) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores

8.3.2. Año de Finalización de Construcción: Finales 1994

8.3.3. Cantidad de Pisos: 3 Pisos

Imagen 19 - Edificio Piracanta



Fuente. (Los Autores)

El edificio Piracanta es una unidad residencial de apartamentos ubicada en el costado noroccidental de acuerdo a la ubicación del proyecto Milá, altura a cubierta 12 metros. Como se registra en la Tabla 6 se ubicaron 30 niveletas en las columnas del sótano las cuales se referencian en el plano de asentamientos de Edificio Piracanta – Anexo 6 – el espaciamiento promedio de columnas es de 3.20 metros.

De julio 14 de 2017 a septiembre 17 de 2018 no se realizó movimiento de tierras en el predio de Milá por lo que el asentamiento registrado fue de promedio -0.010m y corresponde a la subsidencia de la zona.

(Ver Anexo 6 Plano Ubicación Niveletas – Piracanta)

8.3.4. Consolidado Asentamiento Edificio Piracanta

Tabla 6 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Piracanta

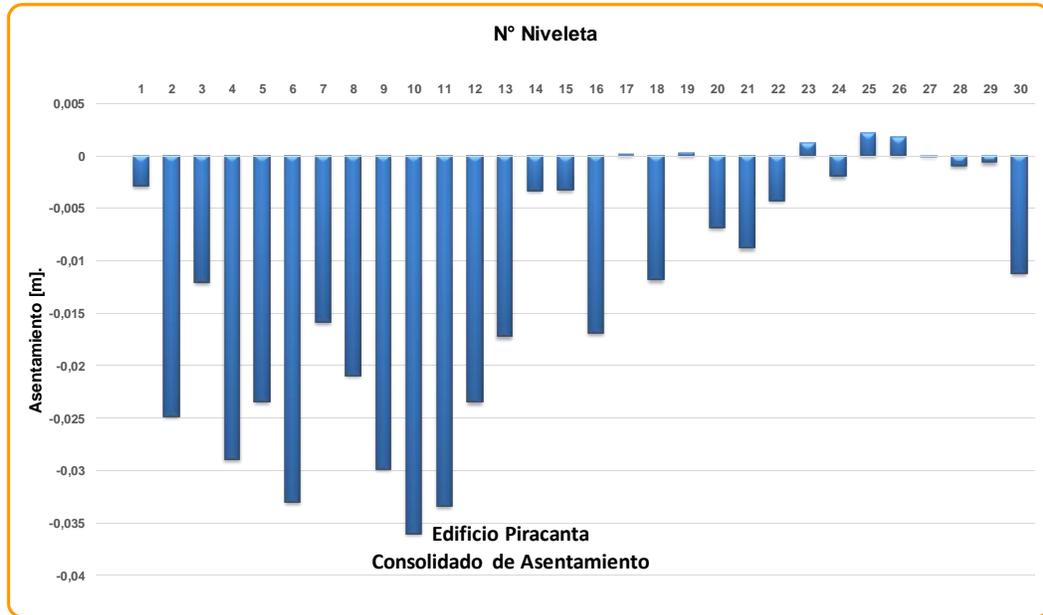
CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO PIRACANTA								
L - Distancia Entre Columnas [m]:			3,20	Δ Max [m]		-0,003		
NIVELETA	Julio 14 de 2017	Sep. 17 de 2018	Sep. 23 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] <small>[respecto al < valor]</small>	Δ Total Proc. Construc. + σ Levant. [m]	Analisis Δ [L/1000]
1	2554,150	2554,150	2554,151	0,001	±0,004	-0,001	-0,003	Asentamiento Normal
2	2555,292	2555,284	2555,266	-0,026	±0,007	-0,023	-0,025	Asentamiento Alto
3	2554,122	2554,122	2554,116	-0,006	±0,006	-0,010	-0,012	Asentamiento Alto
4	2555,292	2555,283	2555,262	-0,030	±0,008	-0,027	-0,029	Asentamiento Alto
5	2555,291	2555,283	2555,266	-0,025	±0,006	-0,021	-0,023	Asentamiento Alto
6	2555,292	2555,282	2555,258	-0,034	±0,009	-0,031	-0,033	Asentamiento Alto
7	2554,142	2554,142	2554,133	-0,009	±0,007	-0,014	-0,016	Asentamiento Alto
8	2554,175	2554,175	2554,162	-0,013	±0,008	-0,019	-0,021	Asentamiento Alto
9	2555,292	2555,281	2555,260	-0,032	±0,009	-0,028	-0,030	Asentamiento Alto
10	2555,292	2555,280	2555,253	-0,039	±0,009	-0,034	-0,036	Asentamiento Alto
11	2555,294	2555,281	2555,256	-0,038	±0,008	-0,031	-0,033	Asentamiento Alto
12	2555,291	2555,281	2555,264	-0,027	±0,006	-0,021	-0,023	Asentamiento Alto
13	2555,291	2555,281	2555,270	-0,021	±0,006	-0,015	-0,017	Asentamiento Alto
14	2555,290	2555,282	2555,281	-0,009	±0,002	-0,001	-0,003	Asentamiento Alto
15	2555,292	2555,283	2555,282	-0,010	±0,002	-0,001	-0,003	Asentamiento Alto
16	2555,290	2555,272	2555,260	-0,030	±0,005	-0,015	-0,017	Asentamiento Alto
17	2555,293	2555,282	2555,284	-0,009	±0,002	0,002	0,000	Asentamiento Normal
18	2555,290	2555,273	2555,265	-0,025	±0,004	-0,010	-0,012	Asentamiento Alto
19	2555,293	2555,283	2555,285	-0,008	±0,002	0,002	0,000	Asentamiento Normal
20	2555,292	2555,273	2555,269	-0,023	±0,003	-0,005	-0,007	Asentamiento Alto
21	2555,292	2555,273	2555,267	-0,025	±0,003	-0,007	-0,009	Asentamiento Alto
22	2555,293	2555,272	2555,270	-0,023	±0,002	-0,002	-0,004	Asentamiento Alto
23	2555,294	2555,284	2555,287	-0,007	±0,002	0,003	0,001	Asentamiento Normal
24	2555,294	2555,284	2555,284	-0,010	±0,002	0,000	-0,002	Asentamiento Normal
25	2555,261	2555,254	2555,258	-0,003	±0,002	0,004	0,002	Asentamiento Normal
26	2555,334	2555,322	2555,326	-0,008	±0,002	0,004	0,002	Asentamiento Normal
27	2555,291	2555,281	2555,283	-0,008	±0,002	0,002	0,000	Asentamiento Normal
28	2555,291	2555,282	2555,283	-0,008	±0,002	0,001	-0,001	Asentamiento Normal
29	2555,292	2555,283	2555,284	-0,008	±0,002	0,002	-0,001	Asentamiento Normal
30	2555,293	2555,283	2555,275	-0,018	±0,003	-0,009	-0,011	Asentamiento Alto

Fuente. (Los Autores)

- La niveleta 22 es la que mayor subsidencia registra siendo esta de -0.021m.
- La niveleta 1 no registra subsidencia siendo este el menor valor reportado, 0.000m
- Promedio de subsidencia de -0.010m en un periodo de tiempo 15 meses.
- El máximo asentamiento se obtuvo en la niveleta 10 y su valor es de -0.036m como se observa en la Imagen 20.
- En algunas niveletas se registraron rebotes de hasta +0.002m lo cual arroja un asentamiento diferencial de -0.038m en el edificio Piracanta.

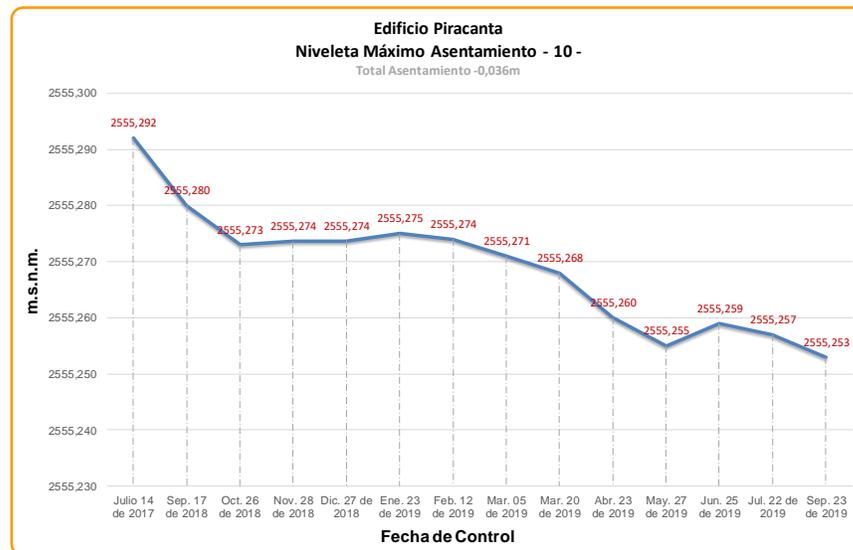
- Los mayores asentamientos se presentaron en el costado nororiental del edificio que se encuentra adyacente a Milá por el costado occidental.

Imagen 20 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Edificio Piracanta



Fuente. (Los Autores)

Imagen 21 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Piracanta



Fuente. (Los Autores)

8.4. EDIFICIO EL ROBLE

8.4.1. Tipo de Construcción: (A) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores

8.4.2. Año de Finalización de Construcción: Finales 1994

8.4.3. Cantidad de Pisos: 4 Pisos

Imagen 22 - Edificio El Roble



Fuente. (Los Autores)

8.4.4. Consolidado Asentamiento Edificio El Roble

Tabla 7 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio El Roble

CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO EL ROBLE								
L - Distancia Entre Columnas [m]:			4,50	Δ Max [m]	-0,005			
NIVELETA	Julio 11 de 2017	Sep. 17 de 2018	Oct. 07 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] [respecto al < valor]	Δ Total Proc. Construc. + σ Levant. [m]	Análisis Δ [L/500]
1	2553,832	2553,820	2553,819	-0,013	±0,002	-0,003	-0,003	Asentamiento Normal
2	2553,827	2553,816	2553,814	-0,013	±0,002	-0,004	-0,004	Asentamiento Normal
3	2553,818	2553,805	2553,806	-0,012	±0,002	-0,001	-0,001	Asentamiento Normal
4	2553,816	2553,805	2553,804	-0,012	±0,002	-0,003	-0,003	Asentamiento Normal
5	2553,827	2553,815	2553,814	-0,013	±0,002	-0,003	-0,003	Asentamiento Normal
6	2553,834	2553,822	2553,824	-0,010	±0,002	0,001	0,000	Asentamiento Normal
7	2553,846	2553,833	2553,834	-0,012	±0,002	-0,001	-0,001	Asentamiento Normal
8	2553,844	2553,833	2553,833	-0,011	±0,002	-0,002	-0,002	Asentamiento Normal
9	2553,837	2553,832	2553,813	-0,024	±0,006	-0,025	-0,025	Asentamiento Alto
10	2553,848	2553,837	2553,837	-0,011	±0,002	-0,002	-0,002	Asentamiento Normal
11	2553,856	2553,843	2553,844	-0,012	±0,002	-0,001	-0,001	Asentamiento Normal
12	2553,887	2553,880	2553,877	-0,010	±0,002	-0,005	-0,005	Asentamiento Alto
13	2553,899	2553,894	2553,890	-0,009	±0,002	-0,006	-0,006	Asentamiento Alto
14	2553,869	2553,863	2553,858	-0,011	±0,002	-0,007	-0,007	Asentamiento Alto
15	2553,847	2553,838	2553,835	-0,012	±0,002	-0,005	-0,005	Asentamiento Alto
16	2553,845	2553,839	2553,836	-0,009	±0,002	-0,005	-0,005	Asentamiento Alto
17	2553,832	2553,826	2553,822	-0,010	±0,002	-0,006	-0,006	Asentamiento Alto
18	2553,847	2553,839	2553,839	-0,008	±0,002	-0,002	-0,002	Asentamiento Normal
19	2553,844	2553,835	2553,835	-0,009	±0,002	-0,002	-0,002	Asentamiento Normal
20	2553,862	2553,854	2553,852	-0,010	±0,002	-0,004	-0,004	Asentamiento Normal
21	2553,880	2553,871	2553,870	-0,010	±0,002	-0,003	-0,003	Asentamiento Normal
22	2553,923	2553,915	2553,915	-0,008	±0,002	-0,002	-0,002	Asentamiento Normal
23	2553,925	2553,917	2553,917	-0,008	±0,002	-0,002	-0,002	Asentamiento Normal
24	2553,909	2553,900	2553,901	-0,008	±0,002	-0,001	-0,001	Asentamiento Normal
25	2553,893	2553,885	2553,885	-0,008	±0,002	-0,002	-0,002	Asentamiento Normal
26	2553,885	2553,877	2553,878	-0,007	±0,002	-0,001	-0,001	Asentamiento Normal
27	2553,866	2553,858	2553,858	-0,008	±0,002	-0,002	-0,002	Asentamiento Normal
28	2553,869	2553,864	2553,859	-0,010	±0,003	-0,008	-0,008	Asentamiento Alto

Fuente. (Los Autores)

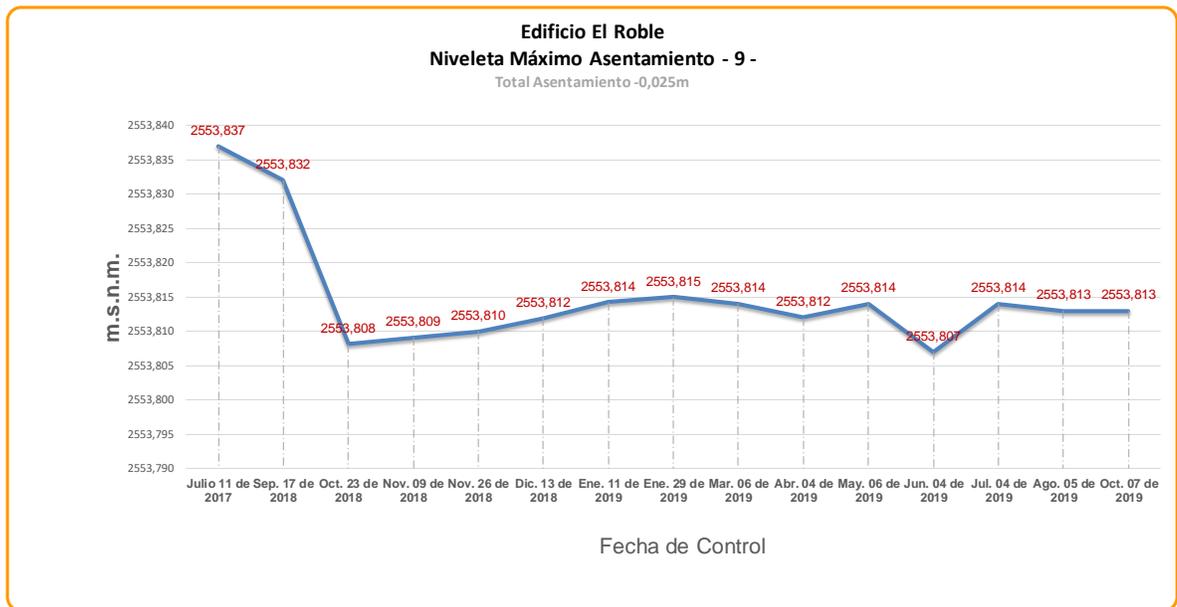
El edificio El Roble es una unidad residencial de apartamentos ubicada en el costado sur de acuerdo a la ubicación del proyecto Milá, altura a cubierta 15 metros. Como se registra en la Tabla 7 se ubicaron 28 niveletas en las columnas del sótano las cuales se referencian en el plano de asentamientos de Edificio El Roble – Anexo 7 – el espaciamiento promedio de columnas es de 4.50 metros.

De julio 11 de 2017 a septiembre 17 de 2018 no se realizó movimiento de tierras en el predio de Milá por lo que el asentamiento registrado fue de promedio -0.009m y corresponde a la subsidencia de la zona.

(Ver Anexo 7 Plano Ubicación Niveletas – El Roble)

- El menor valor registrado de asentamiento se obtuvo en la niveleta 6 y su valor es de 0.000m lo cual arroja un asentamiento diferencial de -0.025m en el edificio El Roble.
- Los mayores asentamientos se presentaron en la columna marcada con la niveleta 9 la cual soporta una rampa vehicular.

Imagen 23 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio El Roble



Fuente. (Los Autores)

8.5. EDIFICIO PORTAL ARCÁNGEL

8.5.1. Tipo de Construcción: (B) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería.

8.5.2. Año de Finalización de Construcción: Primer Semestre de 2005

8.5.3. Cantidad de Pisos: 7 Pisos

Imagen 24 - Edificio Portal Arcángel



Fuente. (Los Autores)

El edificio Portal Arcángel es una unidad residencial de apartamentos ubicada en el costado sur occidental de acuerdo a la ubicación del proyecto Milá, altura a cubierta 25 metros. Como se registra en la (Ver Anexo 8 Plano Ubicación Niveletas – Portal Arcángel)

Tabla 8 se ubicaron 39 niveletas en las columnas del sótano las cuales se referencian en el plano de asentamientos de Edificio Portal Arcángel – Anexo 8 – el espaciamiento promedio de columnas es de 5.00 metros.

De julio 10 de 2017 a octubre 01 de 2018 no se realizó movimiento de tierras en el predio de Milá por lo que el asentamiento registrado fue de promedio -0.007m y corresponde a la subsidencia de la zona. (ver Anexo 9 asentamientos edificio arcángel.

(Ver Anexo 8 Plano Ubicación Niveletas – Portal Arcángel)

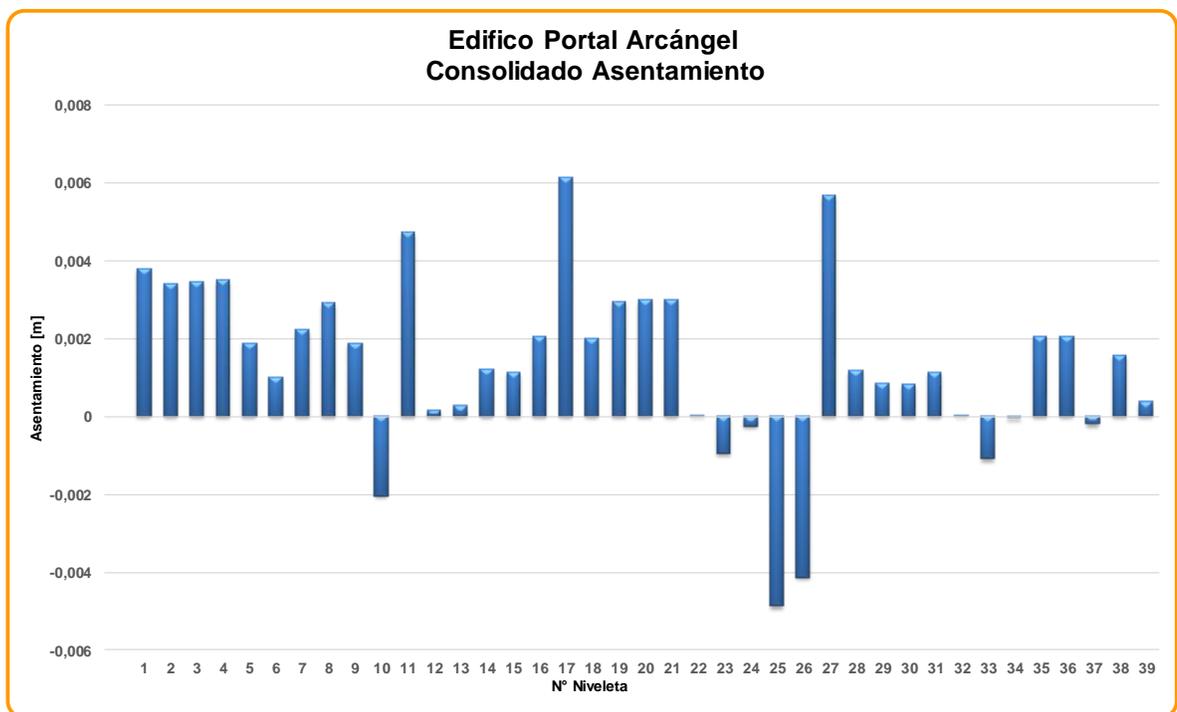
Tabla 8 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Portal Arcángel

CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO PORTAL ARCÁNGEL								
L - Distancia Entre Columnas [m]:				5,00		Δ Max [m]		-0,010
NIVELETA	Julio 10 de 2017	Oct. 01 de 2018	Oct. 07 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] <small>[respecto al < valor]</small>	Δ Total Proc. Construc. + σ Levant. [m]	Análisis Δ [L/500]
1	2554.336	2554.335	2554.341	0.005	±0.002	0.010	0.004	Rebote
2	2554.306	2554.304	2554.310	0.004	±0.003	0.009	0.003	Rebote
3	2554.320	2554.317	2554.323	0.003	±0.003	0.010	0.003	Rebote
4	2554.298	2554.295	2554.301	0.003	±0.002	0.010	0.004	Rebote
5	2554.316	2554.313	2554.317	0.001	±0.002	0.008	0.002	Rebote
6	2554.306	2554.303	2554.306	0.000	±0.002	0.007	0.001	Rebote
7	2554.274	2554.269	2554.273	-0.001	±0.002	0.008	0.002	Rebote
8	2554.273	2554.267	2554.272	-0.001	±0.002	0.009	0.003	Rebote
9	2554.280	2554.276	2554.280	0.000	±0.002	0.008	0.002	Rebote
10	2554.242	2554.240	2554.240	-0.002	±0.002	0.004	-0.002	Asentamiento Normal
11	2554.192	2554.182	2554.189	-0.003	±0.002	0.011	0.005	Rebote
12	2554.217	2554.207	2554.209	-0.008	±0.002	0.006	0.000	Rebote
13	2554.235	2554.229	2554.231	-0.004	±0.002	0.006	0.000	Rebote
14	2554.237	2554.231	2554.234	-0.003	±0.002	0.007	0.001	Rebote
15	2554.250	2554.245	2554.248	-0.002	±0.002	0.007	0.001	Rebote
16	2554.258	2554.253	2554.257	-0.001	±0.002	0.008	0.002	Rebote
17	2554.257	2554.249	2554.258	0.001	±0.003	0.012	0.006	Rebote
18	2554.281	2554.277	2554.281	0.000	±0.002	0.008	0.002	Rebote
19	2554.263	2554.258	2554.263	0.000	±0.002	0.009	0.003	Rebote
20	2554.317	2554.312	2554.317	0.000	±0.002	0.009	0.003	Rebote
21	2554.123	2554.112	2554.117	-0.006	±0.002	0.009	0.003	Rebote
22	2554.100	2554.093	2554.095	-0.005	±0.002	0.006	0.000	Rebote
23	2554.061	2554.050	2554.051	-0.010	±0.002	0.005	-0.001	Asentamiento Normal
24	2554.050	2554.044	2554.046	-0.004	±0.002	0.006	0.000	Asentamiento Normal
25	2554.073	2554.063	2554.060	-0.013	±0.002	0.001	-0.005	Asentamiento Normal
26	2554.091	2554.080	2554.078	-0.013	±0.002	0.002	-0.004	Asentamiento Normal
27	2554.143	2554.129	2554.137	-0.006	±0.002	0.012	0.006	Rebote
28	2554.173	2554.164	2554.167	-0.006	±0.002	0.007	0.001	Rebote
29	2554.133	2554.123	2554.126	-0.007	±0.002	0.007	0.001	Rebote
30	2554.124	2554.114	2554.117	-0.007	±0.002	0.007	0.001	Rebote
31	2554.203	2554.188	2554.191	-0.012	±0.002	0.007	0.001	Rebote
32	2554.202	2554.197	2554.199	-0.003	±0.002	0.006	0.000	Rebote
33	2554.139	2554.129	2554.130	-0.009	±0.002	0.005	-0.001	Asentamiento Normal
34	2554.148	2554.138	2554.140	-0.008	±0.002	0.006	0.000	Asentamiento Normal
35	2554.218	2554.209	2554.213	-0.005	±0.002	0.008	0.002	Rebote
36	2554.210	2554.198	2554.202	-0.008	±0.002	0.008	0.002	Rebote
37	2554.190	2554.178	2554.180	-0.010	±0.002	0.006	0.000	Asentamiento Normal
38	2554.242	2554.231	2554.235	-0.007	±0.002	0.008	0.002	Rebote
39	2554.240	2554.228	2554.230	-0.010	±0.002	0.006	0.000	Rebote

Fuente. (Los Autores).

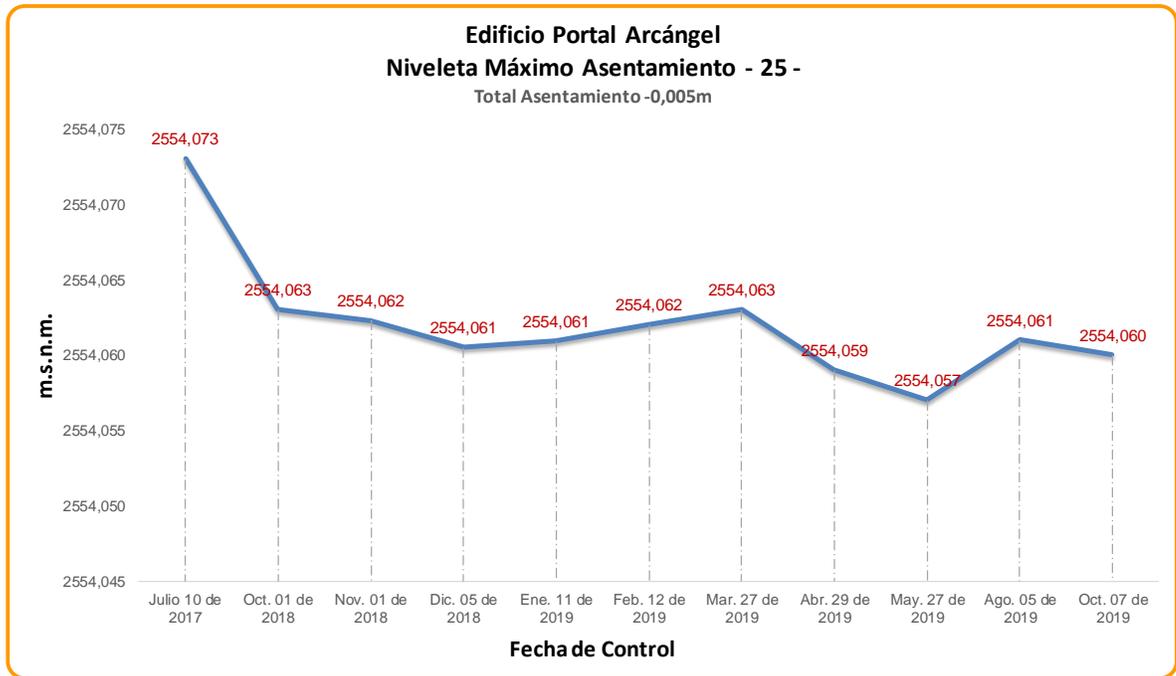
- La niveleta 31 es la que mayor subsidencia registra siendo esta de -0.015m.
- Promedio de subsidencia de -0.007m en un periodo de tiempo 16 meses.
- El máximo asentamiento se obtuvo en la niveleta 25 y su valor es de -0.005m como se observa en la Imagen 25
- En el edificio Portal Arcángel se presentó rebote en gran parte de las columnas marcadas con las niveletas su mayor valor fue de +0.006m lo cual arroja un asentamiento diferencial de -0.001m en el edificio Portal Arcángel.

Imagen 25 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Edificio Portal Arcángel



Fuente. (Los Autores)

Imagen 26 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Portal Arcángel



Fuente. (Los Autores)

8.6. EDIFICIO PORTAL DE CAOPOS

8.6.1. Tipo de Construcción: (B) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería.

8.6.2. Año de Finalización de Construcción: Primer Semestre de 2014

8.6.3. Cantidad de Pisos: 7 Pisos

Imagen 27 - Edificio Portal de Caobos



Fuente. (Los Autores)

El edificio Portal de Caobos es una unidad residencial de apartamentos ubicada en el costado Nororiental de acuerdo a la ubicación del proyecto Milá, altura a cubierta 25 metros. Como se registra en la (Ver Anexo 9 Plano Ubicación Niveletas – Portal De Caobos)

Tabla 9 se ubicaron 50 niveletas en las columnas del sótano las cuales se referencian en el plano de asentamientos de Edificio Portal de Caobos – Anexo 9 – el espaciamiento promedio de columnas es de 3.90 metros.

Los levantamientos realizados en este edificio empezaron en noviembre del año 2018 por tal motivo no se tiene datos de subsidencia.

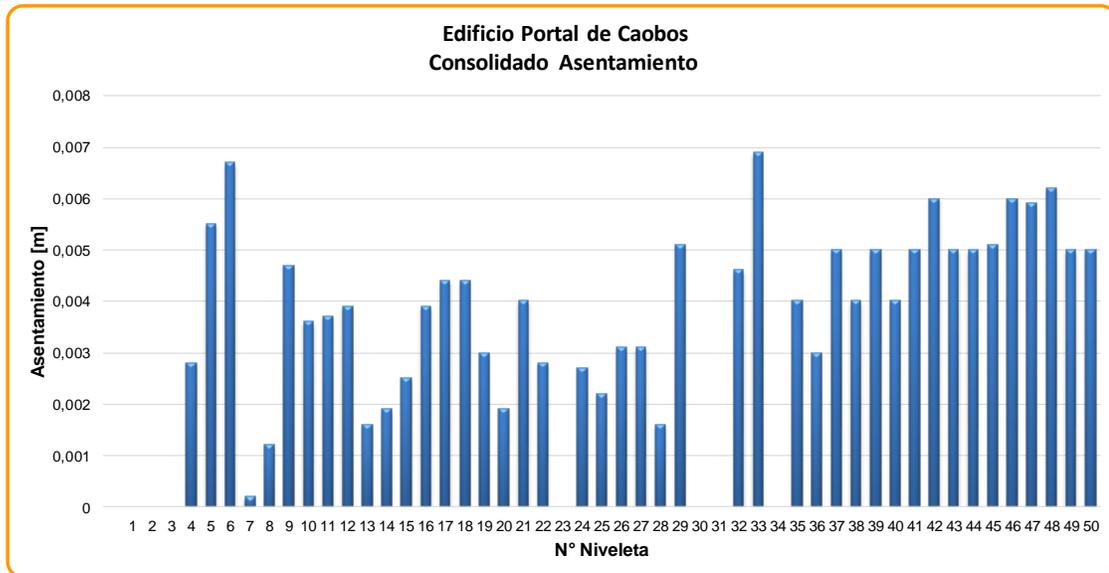
(Ver Anexo 9 Plano Ubicación Niveletas – Portal De Caobos)

Tabla 9 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Portal de Caobos

CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO PORTAL DE CAOBOS							
L - Distancia Entre Columnas [m]:		3,9		Δ Max [m]		-0,008	
NIVELETA	Nov. 16 de 2018	Sep. 09 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] <small>[respecto al < valor]</small>	Δ Total Proc. Constr. + σ Levant. [m]	Análisis Δ [L/500]
1	2554,800	Tapada por Pintura					
2	2554,800	Tapada por Pintura					
3	2554,800	Tapada por Pintura					
4	2554,800	2554,806	0,006	±0,002	-0,004	0,003	Rebote
5	2554,800	2554,806	0,006		-0,001	0,006	Rebote
6	2554,800	2554,807	0,007	±0,003	0,000	0,007	Rebote
7	2554,800	2554,802	0,002	±0,002	-0,007	0,000	Rebote
8	2554,800	2554,802	0,002	±0,002	-0,006	0,001	Rebote
9	2554,800	2554,805	0,005		-0,002	0,005	Rebote
10	2554,800	2554,804	0,004	±0,002	-0,003	0,004	Rebote
11	2554,800	2554,804	0,004	±0,002	-0,003	0,004	Rebote
12	2554,800	2554,804	0,004	±0,002	-0,003	0,004	Rebote
13	2554,800	2554,802	0,002	±0,002	-0,005	0,002	Rebote
14	2554,800	2554,802	0,002	±0,002	-0,005	0,002	Rebote
15	2554,800	2554,802	0,002	±0,002	-0,004	0,003	Rebote
16	2554,800	2554,804	0,004	±0,002	-0,003	0,004	Rebote
17	2554,800	2554,804	0,004	±0,002	-0,002	0,004	Rebote
18	2554,800	2554,804	0,004		-0,002	0,004	Rebote
19	2554,800	2554,803	0,003		-0,004	0,003	Rebote
20	2554,800	2554,802	0,002	±0,002	-0,005	0,002	Rebote
21	2554,800	2554,804	0,004	±0,002	-0,003	0,004	Rebote
22	2554,800	2554,803	0,003	±0,002	-0,004	0,003	Rebote
23	2554,800	Tapada por Pintura					
24	2554,800	2554,803	0,003	±0,002	-0,004	0,003	Rebote
25	2554,800	2554,803	0,003	±0,002	-0,005	0,002	Rebote
26	2554,800	2554,803	0,003	±0,002	-0,004	0,003	Rebote
27	2554,800	2554,803	0,003	±0,002	-0,004	0,003	Rebote
28	2554,800	2554,803	0,003		-0,005	0,002	Rebote
29	2554,800	2554,806	0,006	±0,003	-0,002	0,005	Rebote
30	2554,800	Tapada por Pintura					
31	2554,800	Tapada por Pintura					
32	2554,800	2554,806	0,006	±0,002	-0,002	0,005	Rebote
33	2554,800	2554,808	0,008		0,000	0,007	Rebote
34	2554,800	Tapada por Pintura					
35	2554,800	2554,806	0,006	±0,002	-0,003	0,004	Rebote
36	2554,800	2554,805	0,005	±0,002	-0,004	0,003	Rebote
37	2554,800	2554,807	0,007	±0,003	-0,002	0,005	Rebote
38	2554,800	2554,806	0,006	±0,003	-0,003	0,004	Rebote
39	2554,800	2554,807	0,007	±0,003	-0,002	0,005	Rebote
40	2554,800	2554,806	0,006	±0,002	-0,003	0,004	Rebote
41	2554,800	2554,807	0,007	±0,003	-0,002	0,005	Rebote
42	2554,800	2554,808	0,008	±0,003	-0,001	0,006	Rebote
43	2554,800	2554,807	0,007	±0,003	-0,002	0,005	Rebote
44	2554,800	2554,807	0,007	±0,003	-0,002	0,005	Rebote
45	2554,800	2554,808	0,008	±0,003	-0,002	0,005	Rebote
46	2554,800	2554,808	0,008	±0,003	-0,001	0,006	Rebote
47	2554,800	2554,809	0,009	±0,003	-0,001	0,006	Rebote
48	2554,800	2554,809	0,009	±0,003	-0,001	0,006	Rebote
49	2554,800	2554,808	0,008	±0,003	-0,002	0,005	Rebote
50	2554,800	2554,809	0,009	±0,003	-0,002	0,005	Rebote

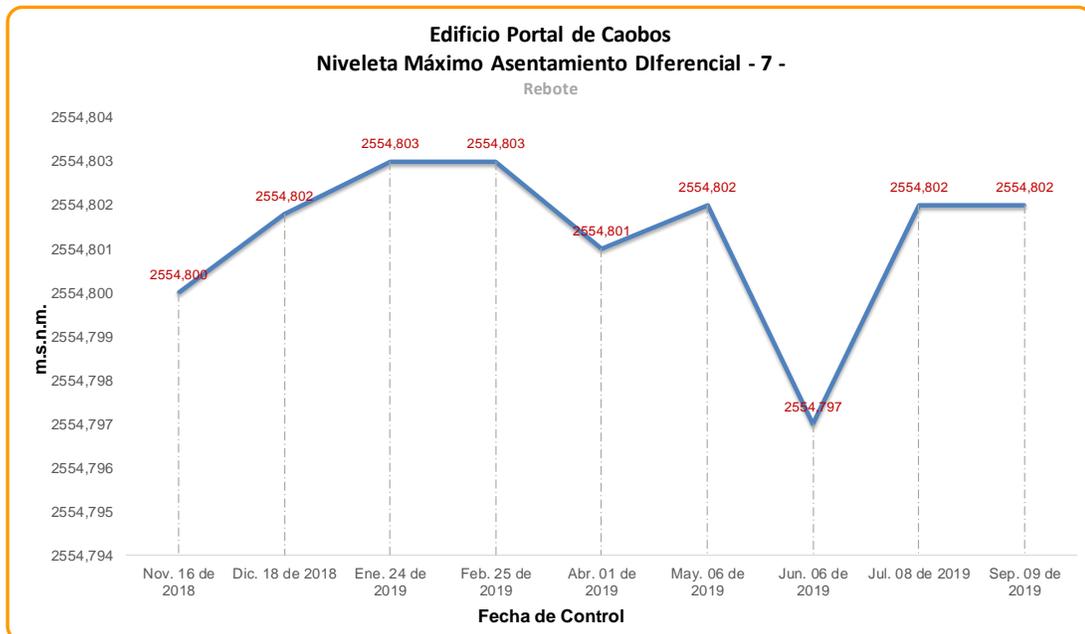
Fuente. (Los Autores)

Imagen 28 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Edificio Portal de Caobos



Fuente. (Los Autores)

Imagen 29 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento diferencial durante el periodo de investigación Edificio Portal de Caobos



Fuente. (Los Autores)

- El máximo rebote se obtuvo en la niveleta 33 y su valor es de +0.007m como se observa en Caobos Imagen.
- La columna con menor rebote registrado fue de 0.000m, lo cual indica que el asentamiento diferencial del Edificio Portal de Caobos es de -0.007m.

8.7. EDIFICIO SIGMA III

8.8.1. Tipo de Construcción: (B) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería.

8.8.2. Año de Finalización de Construcción: Primer Semestre de 2014

8.8.3. Cantidad de Pisos: 7 Pisos

Imagen 30 - Edificio Sigma III



Fuente. (Los Autores)

Tabla 10 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Sigma III

CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO SIGMA III									
L - Distancia Entre Columnas [m]:		2,80		Δ Max [m]		-0,006			
NIVELETA	Julio 14 de 2017	Sep. 17 de 2018	Jul. 22 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] <small>[respecto al < valor]</small>	Δ Total Construc. σ Levant. [m]	Proc. +	Análisis Δ [L/500]
1	2554,020	2554,004	2553,999	-0,021	±0,003	-0,008	-0,008		Asentamiento Alto
2	2553,942	2553,925	2553,909	-0,033	±0,007	-0,023	-0,023		Asentamiento Alto
3	2553,960	2553,945	2553,923	-0,037	±0,008	-0,030	-0,030		Asentamiento Alto
4	2553,965	2553,952	2553,929	-0,036	±0,009	-0,032	-0,032		Asentamiento Alto
5	2554,287	2554,273	2554,246	-0,041	±0,010	-0,037	-0,037		Asentamiento Alto
6	2553,996	2553,985	2553,954	-0,042	±0,011	-0,042	-0,042		Asentamiento Alto
7	2554,009	2553,995	2553,963	-0,046	±0,012	-0,044	-0,044		Asentamiento Alto
8	2554,072	2554,061	2554,031	-0,041	±0,011	-0,041	-0,041		Asentamiento Alto
9	2554,334	2554,323	2554,291	-0,043	±0,012	-0,044	-0,044		Asentamiento Alto
10	2554,369	2554,362	2554,332	-0,037	±0,011	-0,041	-0,041		Asentamiento Alto
11	2554,043	2554,033	2554,005	-0,038	±0,011	-0,038	-0,039		Asentamiento Alto
12	2554,000	2553,987	2553,966	-0,034	±0,009	-0,030	-0,030		Asentamiento Alto
13	2553,963	2553,950	2553,932	-0,031	±0,007	-0,025	-0,025		Asentamiento Alto
14	2554,004	2553,991	2553,986	-0,018	±0,004	-0,008	-0,009		Asentamiento Alto
15	2554,014	2554,001	2553,998	-0,016	±0,004	-0,006	-0,007		Asentamiento Alto
16	2553,976	2553,963	2553,948	-0,028	±0,006	-0,021	-0,021		Asentamiento Alto
17	2554,020	2554,009	2554,008	-0,012	±0,003	-0,004	-0,004		Asentamiento Normal
18	2554,071	2554,062	2554,051	-0,020	±0,006	-0,016	-0,017		Asentamiento Alto
19	2554,047	2554,041	2554,042	-0,005	±0,002	-0,001	-0,001		Asentamiento Normal
20	2554,044	2554,040	2554,042	-0,002	±0,002	0,000	0,000		Asentamiento Normal
21	2554,049	2554,047	2554,045	-0,004	±0,003	-0,005	-0,005		Asentamiento Normal
22	2554,024	2554,016	2554,009	-0,015	±0,004	-0,011	-0,011		Asentamiento Alto
23	2554,064	2554,056	2554,043	-0,021	±0,006	-0,019	-0,019		Asentamiento Alto
24	2554,069	2554,064	2554,058	-0,011	±0,004	-0,010	-0,010		Asentamiento Alto
25	2554,080	2554,073	2554,054	-0,026	±0,008	-0,027	-0,027		Asentamiento Alto
26	2554,077	2554,075	2554,067	-0,010	±0,005	-0,013	-0,013		Asentamiento Alto
27	2554,098	2554,095	2554,076	-0,022	±0,007	-0,026	-0,026		Asentamiento Alto
28	2554,095	2554,088	2554,065	-0,030	±0,009	-0,031	-0,032		Asentamiento Alto
29	2554,068	2554,059	2554,034	-0,034	±0,009	-0,034	-0,034		Asentamiento Alto

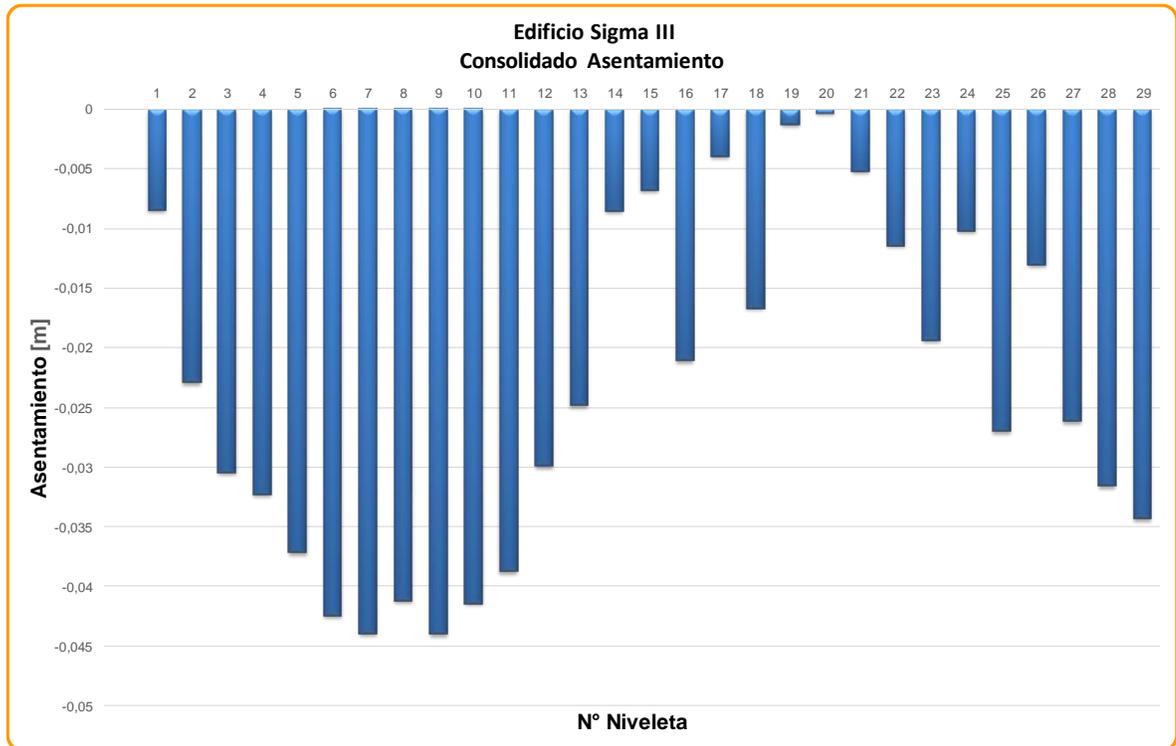
Fuente. (Los Autores)

El edificio Sigma III es una unidad residencial de apartamentos ubicada en el costado nororiental de acuerdo a la ubicación del proyecto Milá, altura a cubierta 25 metros. Como se registra en la Tabla 10 se ubicaron 29 niveletas en las columnas del sótano las cuales se referencian en el plano de asentamientos de Edificio Sigma III – Anexo 10 – el espaciamiento promedio de columnas es de 2.80 metros.

De julio 14 de 2017 a septiembre 17 de 2018 no se realizó movimiento de tierras en el predio de Milá por lo que el asentamiento registrado fue de promedio -0.010m y corresponde a la subsidencia de la zona.

(Ver Anexo 10 Plano Ubicación Niveletas – Sigma III)

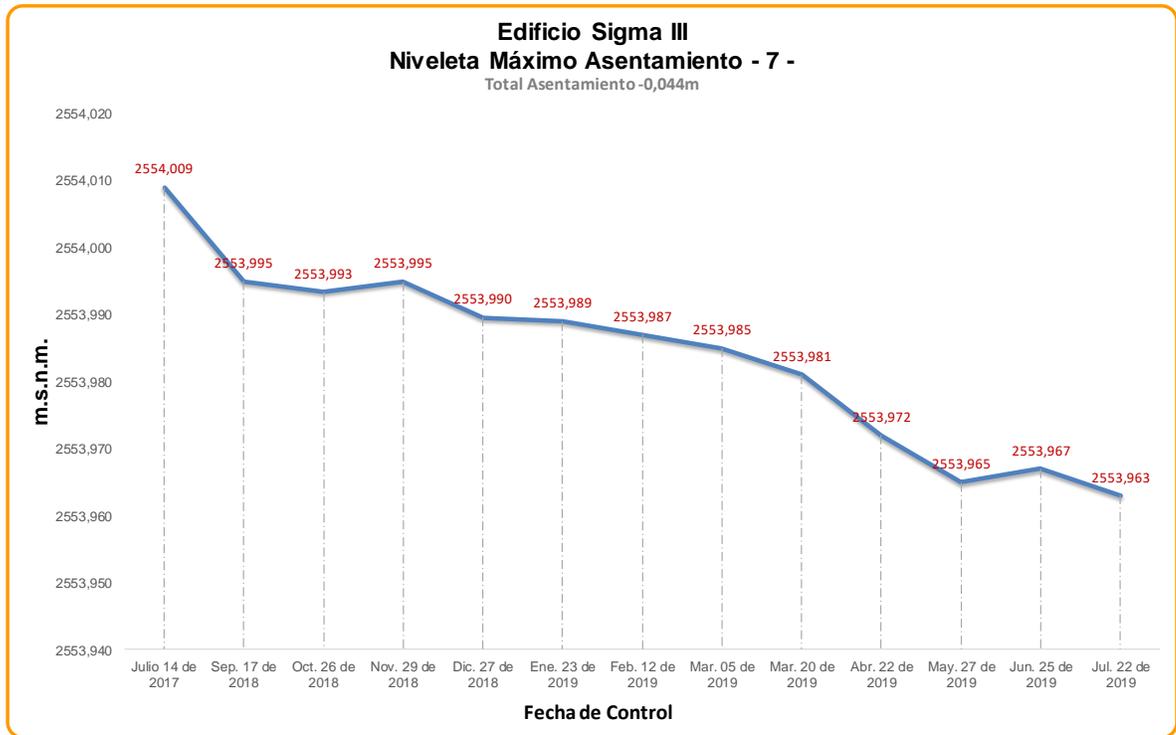
Imagen 31 - Consolidado Asentamientos por cada Niveleta - Edificio Sigma III



Fuente. (Los Autores)

- La niveleta 2 es la que mayor subsidencia registra siendo esta de -0.017m.
- Promedio de subsidencia de -0.010m en un periodo de tiempo 15 meses.
- El máximo asentamiento se obtuvo en la niveleta 7 y su valor es de -0.044m como se observa en la imagen 33.
- El menor valor registrado de asentamiento se obtuvo en la niveleta 20 y su valor es de 0.000m lo cual arroja un asentamiento diferencial de -0.044m en el edificio Sigma III.

Imagen 32 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Sigma III



Fuente. (Los Autores)

8.8. EDIFICIO TORRES DE RIO FRIO

8.8.1. Tipo de Construcción: (B) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería.

8.8.2. Año de Finalización de Construcción: Primer Semestre de 2005

8.8.3. Cantidad de Pisos: 7 Pisos

Imagen 33 - Edificio Torres de Rio Frio



Fuente. (Los Autores)

Tabla 11 - Consolidado de Asentamiento por cada Niveleta - Edificio Torres de Rio Frio

CONSOLIDADO ASENTAMIENTO EDIFICIO TORRES DE RIO FRIO								
L - Distancia Entre Columnas [m]:			5,00	Δ Max [m]		-0,005		
NIVELETA	Julio 11 de 2017	Sep. 17 de 2018	Sep. 09 de 2019	Δ Total [m]	σ Levant.	Δ Diferencial [m] [respecto al < valor]	Δ Total Proc. Construc. + σ Levant. [m]	Análisis Δ [L/500]
1	2553,809	2553,805	2553,806	-0,003	±0,002	-0,005	-0,001	Asentamiento Normal
2	2553,793	2553,789	2553,791	-0,002	±0,002	-0,005	0,000	Asentamiento Normal
3	2553,777	2553,772	2553,775	-0,002	±0,002	-0,004	0,001	Rebote
4	2553,773	2553,769	2553,771	-0,002	±0,002	-0,005	0,000	Asentamiento Normal
5	2553,783	2553,780	2553,784	0,001	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
6	2553,785	2553,781	2553,784	-0,001	±0,002	-0,003	0,001	Rebote
7	2553,098	2553,093	2553,096	-0,002	±0,002	-0,003	0,001	Rebote
8	2553,115	2553,111	2553,115	0,000	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
9	2553,122	2553,119	2553,123	0,001	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
10	2553,125	2553,121	2553,125	0,000	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
11	2553,201	2553,195	2553,201	0,000	±0,002	0,000	0,004	Rebote
12	2553,184	2553,181	2553,185	0,001	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
13	2553,284	2553,281	2553,285	0,001	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
14	2553,296	2553,294	2553,297	0,001	±0,002	-0,003	0,001	Rebote
15	2553,226	2553,222	2553,228	0,002	±0,002	0,000	0,004	Rebote
16	2553,202	2553,199	2553,205	0,003	±0,002	0,000	0,004	Rebote
17	2553,127	2553,123	2553,126	-0,001	±0,001	-0,003	0,002	Rebote
18	2553,116	2553,112	2553,116	0,000	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
19	2553,117	2553,111	2553,115	-0,002	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
20	2553,128	2553,122	2553,126	-0,002	±0,002	-0,002	0,002	Rebote
21	2553,803	2553,800	2553,803	0,000	±0,002	-0,004	0,001	Rebote
22	2553,799	2553,797	2553,799	0,000	±0,003	-0,005	-0,001	Asentamiento Normal
23	2553,783	2553,780	2553,783	0,000	±0,002	-0,003	0,001	Rebote
24	2553,787	2553,783	2553,785	-0,002	±0,002	-0,004	0,000	Asentamiento Normal
25	2554,226	2554,222	2554,224	-0,002	±0,003	-0,005	-0,001	Asentamiento Normal

Fuente. (Los Autores)

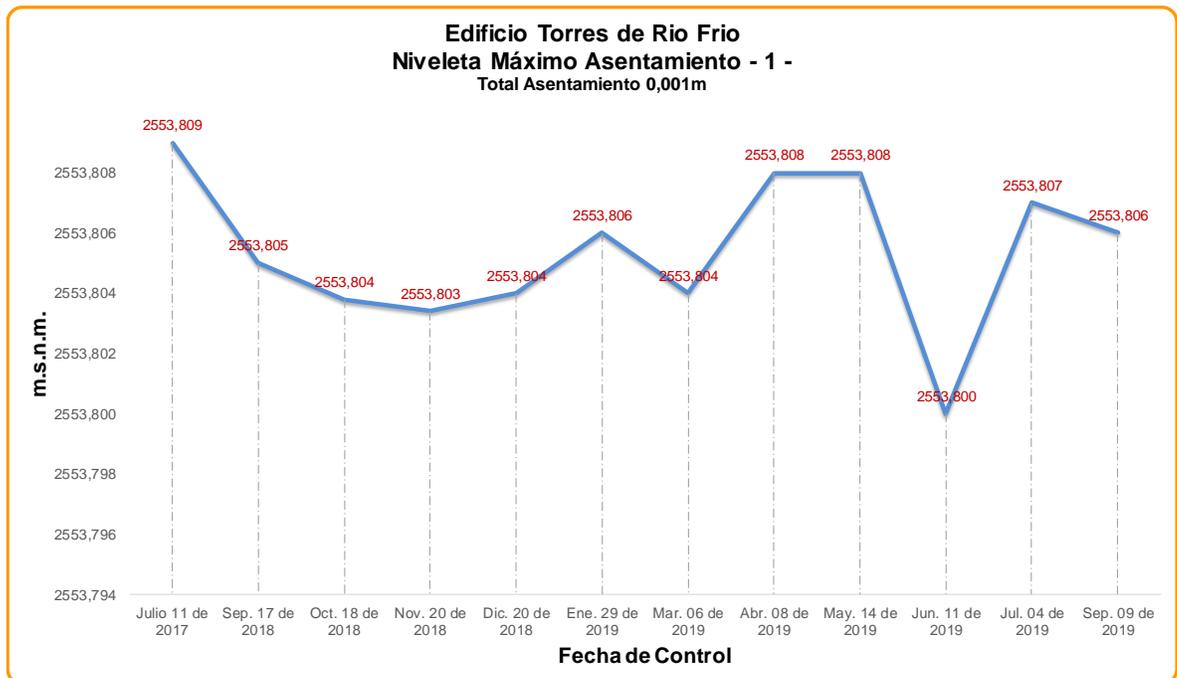
El edificio Torres de Rio Frio es una unidad residencial de apartamentos ubicada en el costado sur de acuerdo a la ubicación del proyecto Milá, altura a cubierta 18 metros. Como se registra en la Tabla 11 se ubicaron 25 niveletas en las columnas del sótano las cuales se referencian en el plano de asentamientos de Edificio Torres de Rio Frio – Anexo B – el espaciamiento promedio de columnas es de 5.00 metros.

De julio 11 de 2017 a septiembre 17 de 2018 no se realizó movimiento de tierras en el predio de Milá por lo que el asentamiento registrado fue de promedio -0.004m y corresponde a la subsidencia de la zona.

(Ver Anexo 10 Plano Ubicación Niveletas – Torres de Rio Frio)

- En el edificio Torres de Rio Frio se presentó rebote en algunas columnas siendo su mayor valor +0.004m, lo cual arroja un asentamiento diferencial de -0.003m en el edificio Sigma III.

Imagen 34 - Comportamiento de la niveleta con mayor asentamiento durante el periodo de investigación Edificio Torres de Rio Frio



Fuente. (Los Autores)

8.9. EDIFICIO GAIA

8.9.1. Tipo de Construcción: (B) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería.

8.9.2. Año de Finalización de Construcción: Segundo Semestre 2017

8.9.3. Cantidad de Pisos: 20 Pisos

Imagen 35 - Edificio Gaia



Fuente. (Los Autores)

El edificio Gaia es una unidad residencial de apartamentos ubicada en el costado nororiental de Milá (proyecto de estudio), que se tomó como referencia principal de estudio para el control de asentamientos basado en subsidencias y características geotécnicas generales de la zona, dado a su proximidad con el proyecto y por ser el edificio de mayor altura en el sector y por lo tanto con mayor transferencia de cargas al suelo, debido a la antigüedad de su construcción, se podría determinar cómo completa la consolidación de su suelo de fundación, por lo tanto se puede tomar como referencia para el estudio se las subsidencias de la zona, además de determinarse por parte del geotecnista como punto de comparación para el estudio del comportamiento del suelo al tener.

9. VERTICALIDAD EN MILÁ Y EDIFICIOS CIRCUNDANTES

De acuerdo a la NSR -10 V2, se debe observar el comportamiento de edificaciones vecinas, en cuanto a señales de asentamientos diferenciales, pérdida de verticalidad, fisuras, etc., como resultado de procesos de expansión y contracción volumétrica del subsuelo. Si el reconocimiento se realiza en verano, se debe verificar la existencia de grietas en la superficie del terreno, tanto en la dirección vertical como horizontal. (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012)

Tabla 12 - Derivas Máximas como porcentaje de h_{pi}

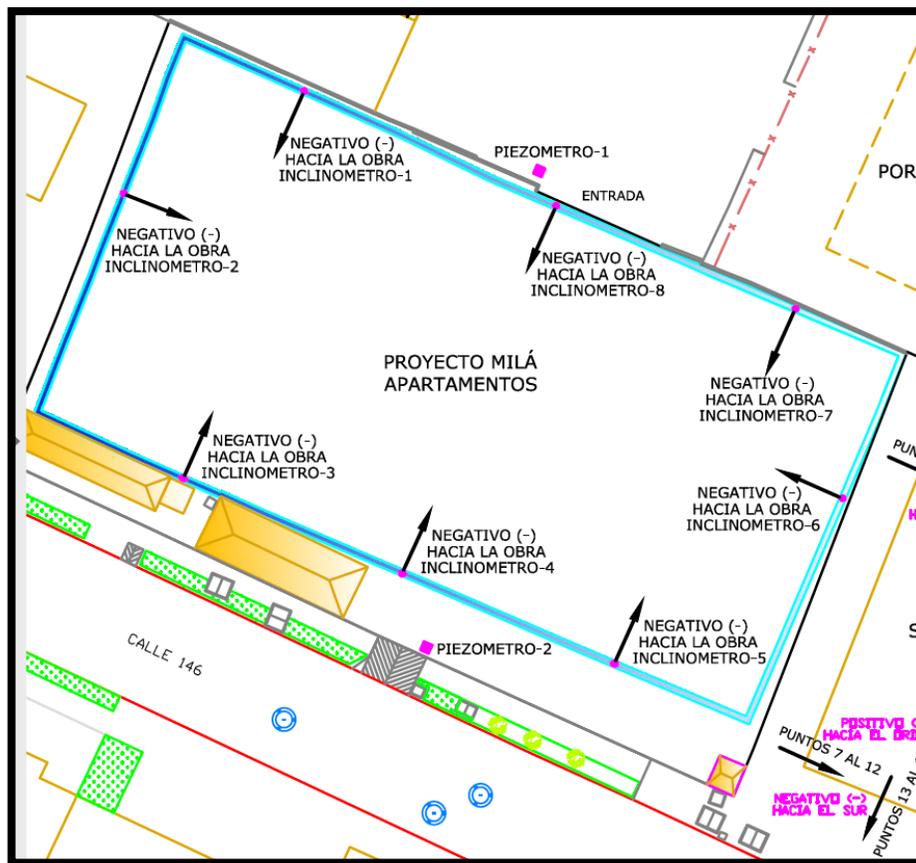
Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.1.3	1.0% ($\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi}$)
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.1.4	0.5% ($\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi}$)

Fuente. (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012)

Para la presente investigación se realizó control de verticalidad de dos edificios colindantes a la Obra Milá los cuales son:

- Conjunto Residencial Cedro Reservado 147 se monitorearon cuatro puntos, tres de ellos paralelos a Mila y que se encuentran sobre la fachada sur oriente y uno más ubicado perpendicularmente a Mila en la fachada oriental del edificio.
- Conjunto Residencial Sigma III se monitoreó la fachada occidental la cual está directamente sobre la construcción de Mila.

Imagen 36 - Localización Inclínómetros y Piezómetros Obra Milá



Fuente, (Topoproyectos)

En Milá se instalaron ocho inclinómetros de la longitud de los muros pantalla y dos piezómetros tipo Casagrande a doce metros de profundidad como se observa en la Imagen 36, para monitorear el comportamiento de la obra en el proceso de

excavación. De acuerdo al estudio de suelos realizado se obtuvo que la inclinación negativa de los inclinómetros siempre es hacia la parte interna de la construcción.

Tabla 13 - Reporte Inclinómetros Milá a 8 abril de 2019

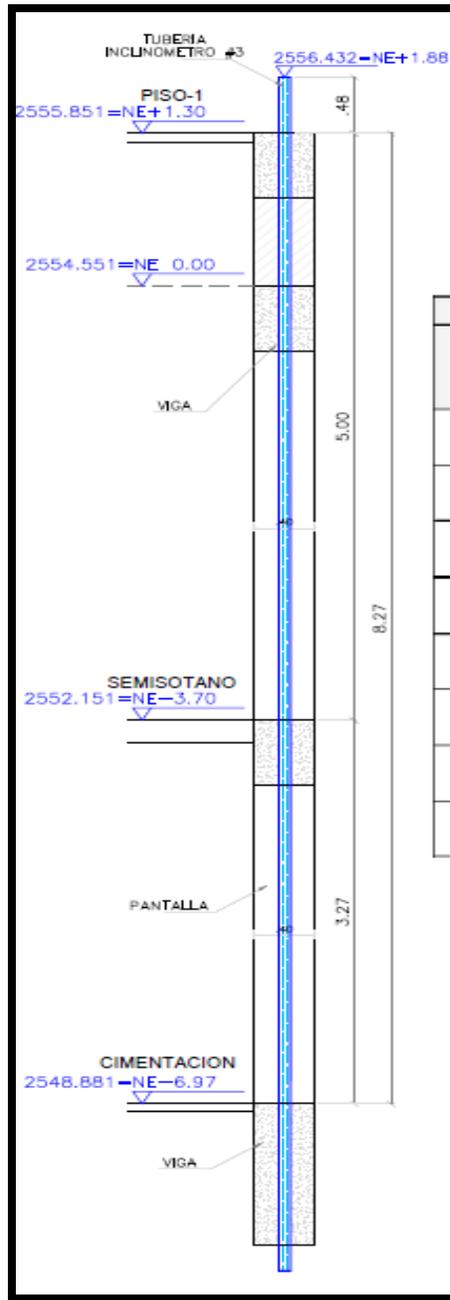
REPORTE INCLINÓMETROS				
Fecha:		lunes, 8 de abril de 2019		
N° Inclinómetro	Cota Superior Inclinómetro	Altura Tubo a Placa Piso 1	Condición Estructura	
			Semisótano N.E. + 1,30 a -3,70	Sótano N.E. -3,70 a -6,97
1	2556,322 N + 1,771	0,48	Excavado, Apuntalado + Placa	Excavado, Apuntalado + Placa
2	2556,359 N + 1,808	0,52	Excavado, Apuntalado + Placa	Excavado, Apuntalado + Placa
3	2556,432 N + 1,881	0,57	Excavado, Apuntalado + Placa	Excavado, Apuntalado + Placa
4	2556,478 N + 1,927	0,63	Excavado, Apuntalado + Placa	Excavado, Apuntalado + Placa
5	2556,388 N + 1,837	0,56	Excavado, Apuntalado + Placa	Excavado, Apuntalado + Placa
6	2556,17 N + 1,619	0,31	Excavado, Apuntalado + Placa	Sin Excavar
7	2556,092 N + 1,541	0,25	Excavado, Apuntalado + Placa	Sin Excavar
8	2556,402 N + 1,851	0,55	Excavado, Apuntalado + Placa	Excavado, Apuntalado + Placa

Fuente, (Topoproyectos)

Los piezómetros son instrumentos utilizados para medir presiones de agua durante la construcción, también se utiliza para medir el nivel de la superficie freática producida por la infiltración del agua.

Piezómetro de tubo abierto tipo Casagrande: sirven para medir el nivel piezométrico del agua subterránea o nivel freático y se basan en el principio de diferencia de presiones del agua dentro de un terreno. Estos piezómetros consisten en perforaciones o sondeos que atraviesan el nivel freático seguido por la inserción de un revestimiento de PVC hidráulico de 2" de diámetro, ranuradas en el fondo para que pueda ingresar el agua subterránea que se requiere medir y se coloca un filtro de arena alrededor de la tubería piezométrico. El nivel de agua se mide con un detector de nivel de agua, las medidas son tomadas directamente desde la superficie lo cual permite determinar el nivel piezométrico del agua subterránea. (GCE y Geotecnia)

Imagen 37 - Esquema Típico de Inclínómetro en Pantalla de Concreto - Milá

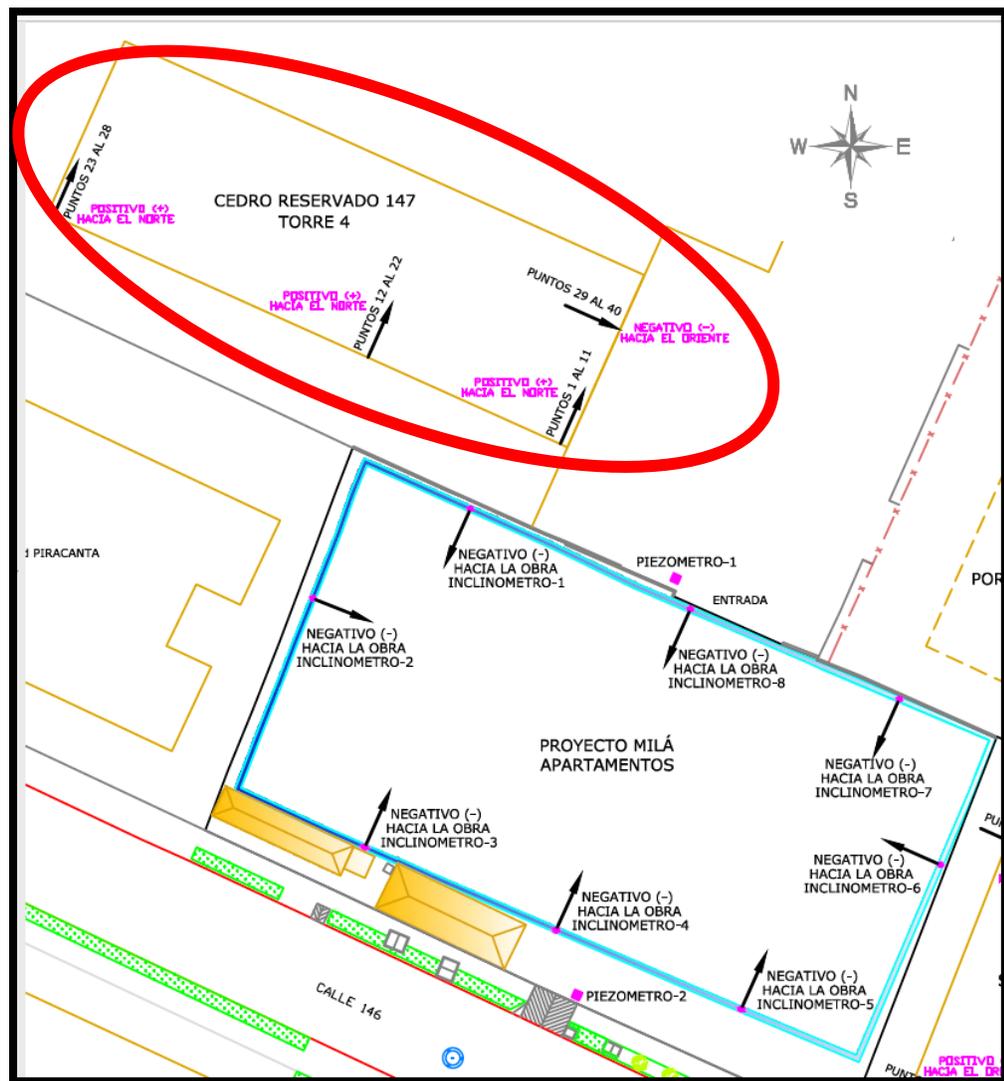


Fuente, (Topoproyectos)

9.1. VERTICALIDAD EDIFICIO CEDRO RESERVADO 147

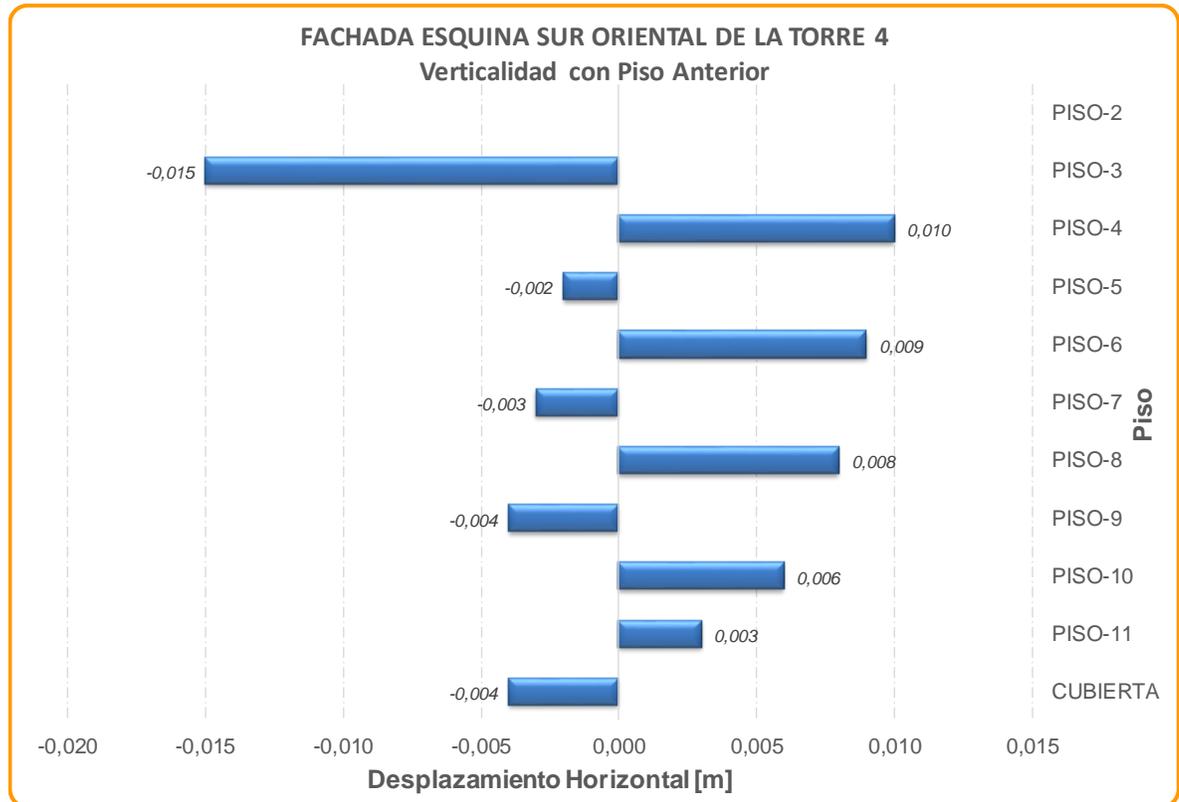
Para el edificio Cedro Reservado se realizaron 2 controles de verticalidad el primero en diciembre 28 del año 2018 y el segundo el 15 de abril de 2019 se establecieron como comportamientos positivos de la estructura su inclinación hacia la parte interna del edificio y como negativo las derivas hacia la parte externa del edificio.

Imagen 38 - Identificación de puntos de Control de Verticalidad Ed. Cedro Reservado



Fuente, (Topoproyectos)

Imagen 39 - Verticalidad Cedro Reservado Fachada Esq. Sur Oriental T4



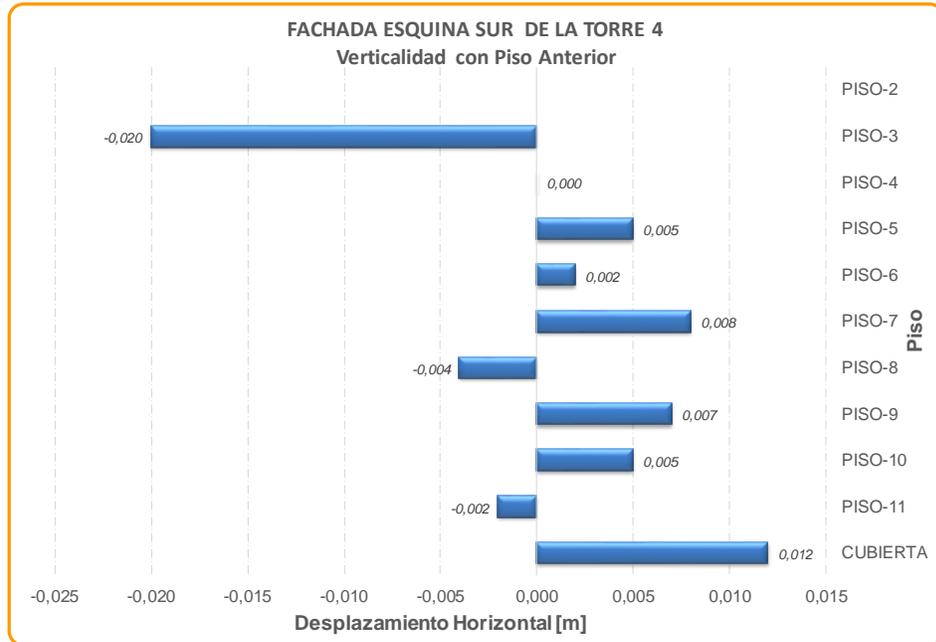
Fuente. (Los Autores)

La altura entre pisos desde la planta dos a once es de 2.94m lo cual limita el valor de la deriva entre estos a 0.029m y en la Imagen 39 se observa que el máximo desplazamiento de la edificación en la fachada esquina sur oriental de la Torre cuatro fue -0.016m ubicada en el piso tres, lo cual corresponde a una inclinación hacia el costado exterior del edificio pero que no sobrepasa el máximo permitido.

En la Imagen 40 correspondiente al análisis de la fachada esquina sur de la Torre cuatro del edificio Cedro Reservado nos indica que el mayor desplazamiento se concentra en los pisos tres y cuatro registrando un valor fue de -0.020m, lo cual

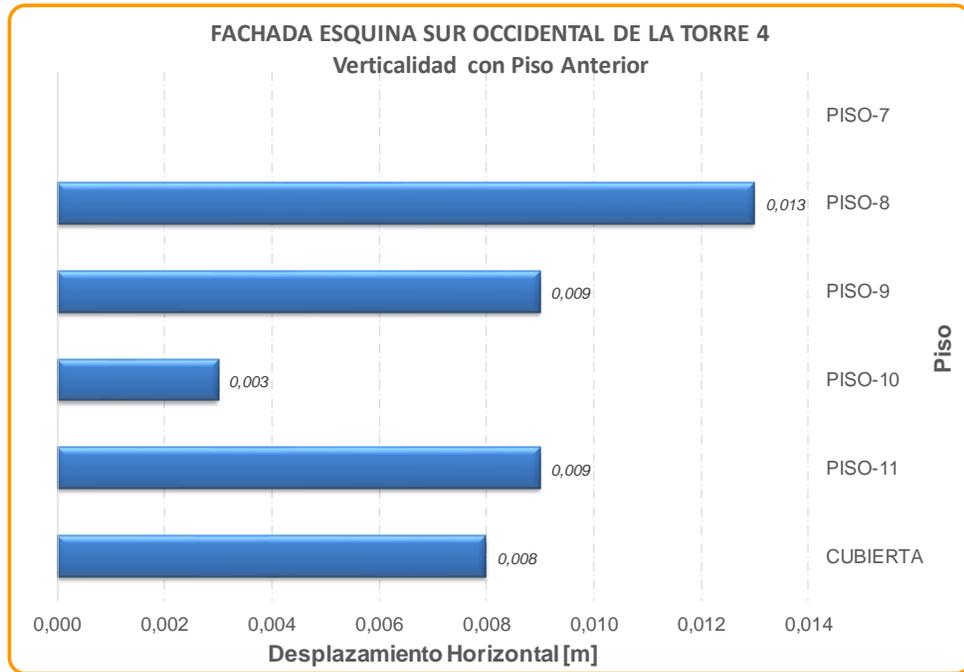
corresponde a una inclinación hacia el costado exterior del edificio pero que no sobrepasa el máximo permitido.

Imagen 40 - Verticalidad Cedro Reservado Fachada Esq. Sur T4



Fuente. (Los Autores)

Imagen 41 - Verticalidad Cedro Reservado Fachada Esq. Sur Occidental T4

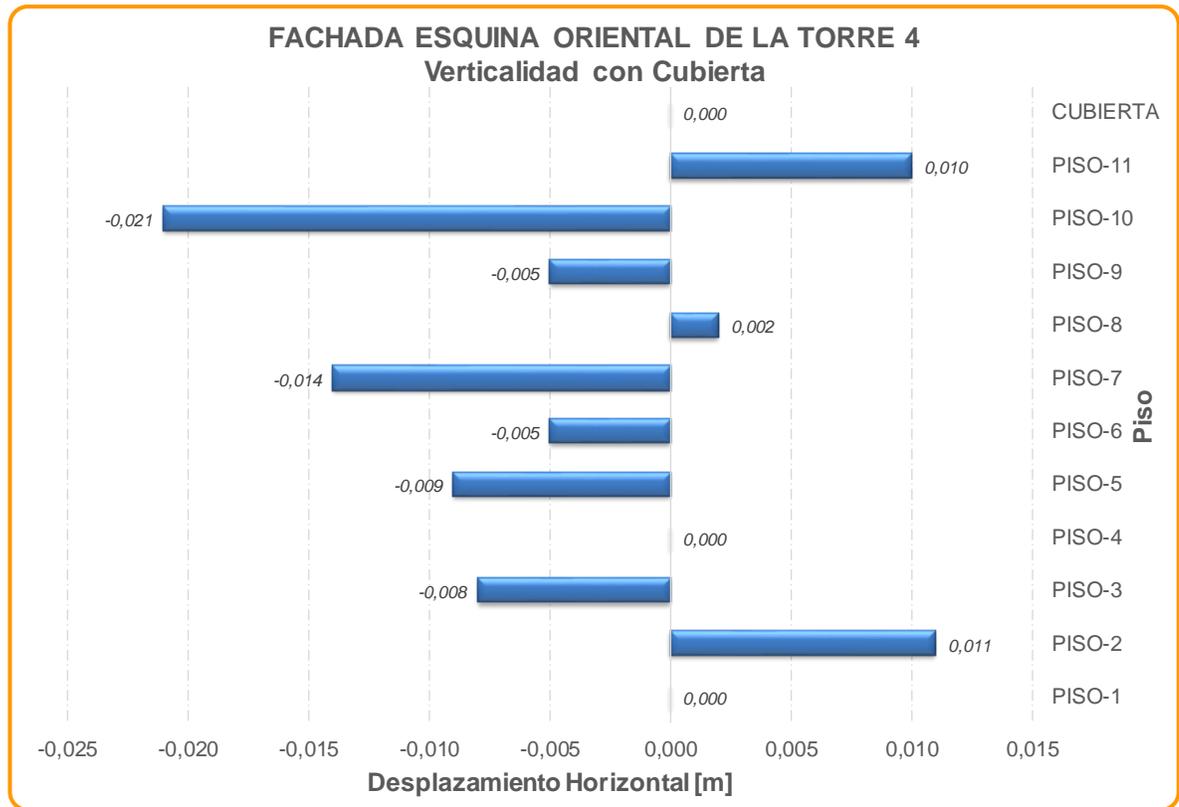


Fuente. (Los Autores)

En la esquina sur occidental del edificio Cedro Reservado se realizó un control de verticalidad desde el piso siete hasta cubierta esto debido a la imposibilidad física por la construcción de tomar desde pisos inferiores.

De acuerdo a la Imagen 41 Fachada esquina sur occidental de Cedro Reservado torre 4 registra una inclinación positiva de 0.013m lo cual se encuentra en el límite del rango establecido.

Imagen 42 - Verticalidad Cedro Reservado Fachada Oriental T4 – Perpendicular Milá



En el piso 10 de la fachada oriental de la torre 4 que se encuentra perpendicular a la construcción de Mila en el edificio Cedro Reservado se presentó el mayor desplazamiento horizontal registrado el cual fue de -0.021m como se observa en la Imagen 42 y corresponde a una inclinación negativa pero que no supera el límite establecido que es de 0.029m.

Tabla 14 - Reporte de Datos Y Análisis de Derivas de Fachada Esquinas Sur Oriental y Fachada Sur - Torre 4 - Conjunto Cedro Reservado

PUNTO	Datos Tomados por Estacion Total South N6			PISO	DISTANCIA HORIZONTAL	VERTICALIDAD CON PISO 2	VERTICALIDAD CON PISO ANTERIOR	Maxima Deriva Admisible [m] 1% de la altura del piso	Análisis Deriva	INCLINACIÓN
	NORTE	ESTE	COTA							
DATOS FACHADA ESQUINA SUR ORIENTAL DE LA TORRE 4										
1	114560,122	104231,160	2590,026	CUBIERTA	56,245	0,008	-0,004			Positivo hacia el Norte
2	114560,123	104231,165	2585,864	PISO-11	56,249	0,012	0,003	0,042	Normal	Positivo hacia el Norte
3	114560,118	104231,169	2582,959	PISO-10	56,246	0,009	0,006	0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
4	114560,116	104231,160	2580,054	PISO-9	56,240	0,003	-0,004	0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
5	114560,117	104231,162	2577,136	PISO-8	56,244	0,007	0,008	0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
6	114560,115	104231,152	2574,212	PISO-7	56,236	-0,001	-0,003	0,029	Normal	Negativo hacia el Sur
7	114560,112	104231,147	2571,266	PISO-6	56,239	0,002	0,009	0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
8	114560,105	104231,141	2568,368	PISO-5	56,230	-0,007	-0,002	0,029	Normal	Negativo hacia el Sur
9	114560,109	104231,143	2565,444	PISO-4	56,232	-0,005	0,010	0,029	Normal	Negativo hacia el Sur
10	114560,101	104231,132	2562,512	PISO-3	56,222	-0,015	-0,015	0,029	Normal	Negativo hacia el Sur
11	114560,109	104231,125	2559,627	PISO-2	56,237	0,000		0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
DATOS FACHADA SUR DE LA TORRE 4										
12	114567,757	104214,257	2590,061	CUBIERTA	54,831	0,013	0,012			Negativo hacia el Sur
13	114567,746	104214,251	2585,898	PISO-11	54,819	0,001	-0,002	0,042	Normal	Negativo hacia el Sur
14	114567,744	104214,250	2582,974	PISO-10	54,821	0,003	0,005	0,029	Normal	Negativo hacia el Sur
15	114567,740	104214,248	2580,782	PISO-9	54,816	-0,002	0,007	0,022	Normal	Negativo hacia el Sur
16	114567,729	104214,247	2577,119	PISO-8	54,809	-0,009	-0,004	0,037	Normal	Negativo hacia el Sur
17	114567,731	104214,248	2574,982	PISO-7	54,813	-0,005	0,008	0,021	Normal	Negativo hacia el Sur
18	114567,725	104214,245	2571,273	PISO-6	54,805	-0,013	0,002	0,037	Normal	Negativo hacia el Sur
19	114567,721	104214,243	2568,450	PISO-5	54,803	-0,015	0,005	0,028	Normal	Negativo hacia el Sur
20	114567,714	104214,239	2565,436	PISO-4	54,798	-0,020	0,000	0,030	Normal	Negativo hacia el Sur
21	114567,715	104214,240	2562,521	PISO-3	54,798	-0,020	-0,020	0,029	Normal	Negativo hacia el Sur
22	114567,725	104214,245	2559,609	PISO-2	54,818	0,000		0,029	Normal	Positivo hacia el Norte

Fuente. (Los Autores)

Tabla 15 - Reporte de Datos Y Análisis de Derivas de Fachada Esquinas Sur Occidental y Columna Oriental - Torre 4 - Conjunto Cedro Reservado

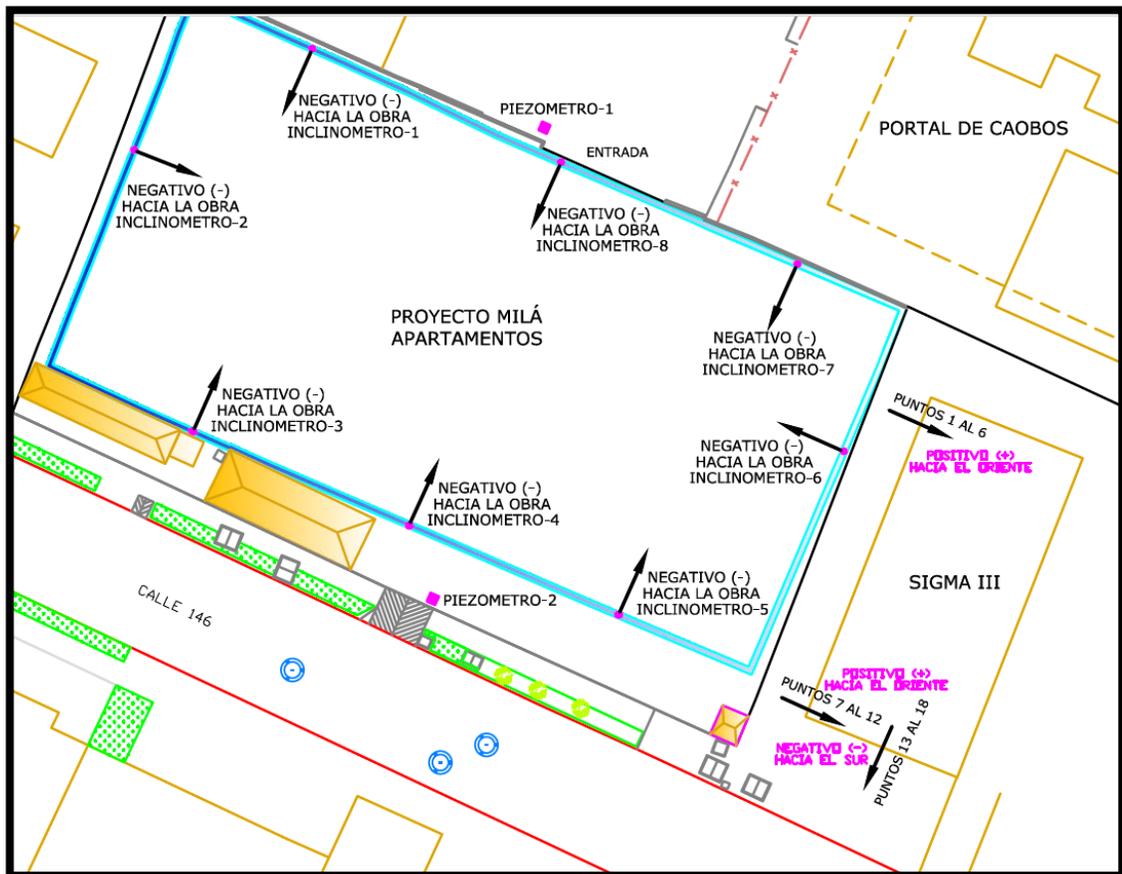
PUNTO	Datos Tomados por Estacion Total South N6			PISO	DISTANCIA HORIZONTAL	VERTICALIDAD CON PISO 2	VERTICALIDAD CON PISO ANTERIOR	Maxima Deriva Admisible [m] 1% de la altura del piso	Análisis Deriva	INCLINACIÓN
	NORTE	ESTE	COTA							
DATOS FACHADA ESQUINA SUR OCCIDENTAL DE LA TORRE 4										
23	114580,006	104187,055	2590,009	CUBIERTA	55,140	0,042	0,008			Positivo hacia el Norte
24	114579,994	104187,049	2585,813	PISO-11	55,132	0,034	0,009	0,042	Normal	Positivo hacia el Norte
25	114579,990	104187,047	2582,894	PISO-10	55,123	0,025	0,003	0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
26	114579,987	104187,046	2579,952	PISO-9	55,120	0,022	0,009	0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
27	114579,978	104187,041	2577,059	PISO-8	55,111	0,013	0,013	0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
28	114579,962	104187,034	2574,172	PISO-7	55,098	0,000		0,029	Normal	Positivo hacia el Norte
DATOS COLUMNA ORIENTAL DE LA TORRE 4										
29	114570,101	104235,661	2557,317	PISO-1	27,103	0,000	0,000			Positivo hacia el Oriente
30	114570,099	104235,665	2559,695	PISO-2	27,114	-0,011	0,011	-0,024	Normal	Negativo hacia el Occidente
31	114570,095	104235,675	2562,581	PISO-3	27,106	-0,003	-0,008	-0,029	Normal	Negativo hacia el Occidente
32	114570,100	104235,664	2565,492	PISO-4	27,106	-0,003	0,000	-0,029	Normal	Negativo hacia el Occidente
33	114570,096	104235,672	2568,413	PISO-5	27,097	0,006	-0,009	-0,029	Normal	Positivo hacia el Oriente
34	114570,094	104235,677	2571,343	PISO-6	27,092	0,011	-0,005	-0,029	Normal	Positivo hacia el Oriente
35	114570,091	104235,683	2574,242	PISO-7	27,078	0,025	-0,014	-0,029	Normal	Positivo hacia el Oriente
36	114570,090	104235,686	2577,173	PISO-8	27,080	0,023	0,002	-0,029	Normal	Positivo hacia el Oriente
37	114570,086	104235,694	2580,109	PISO-9	27,075	0,028	-0,005	-0,029	Normal	Positivo hacia el Oriente
38	114570,079	104235,708	2583,045	PISO-10	27,054	0,049	-0,021	-0,029	Normal	Positivo hacia el Oriente
39	114570,082	104235,703	2585,945	PISO-11	27,064	0,039	0,010	-0,029	Normal	Positivo hacia el Oriente
40	114570,086	104235,694	2588,900	CUBIERTA	27,064	0,039	0,000	-0,029	Normal	Positivo hacia el Oriente

Fuente. (Los Autores)

9.2. VERTICALIDAD EDIFICIO SIGMA III

En el edificio Sigma III se realizó 1 control de verticalidad el 15 de abril de 2019, se establecieron como comportamientos positivos de la estructura su inclinación hacia la parte interna del edificio y como negativo las derivas hacia la parte externa del edificio.

Imagen 43 - Identificación de puntos de Control de Verticalidad Ed. Sigma III



Fuente, (Topoproyectos)

Se establecieron tres puntos de control para este edificio, en la fachada nor occidental donde se registró el comportamiento desde el piso dos a Piso siete, fachada sur occidental donde se registran los datos desde el piso siete hasta piso dos y en la fachada sur se registran los datos de piso dos a piso siete, estos datos se pueden observar en la Tabla 16 .

Tabla 16 - Reporte de Datos Y Análisis de Derivas - Edificio Sigma III

PUNTO	Datos Tomados por Estación Total South N6			PISO	DISTANCIA HORIZONTAL	VERTICALIDAD CON PISO 2	VERTICALIDAD CON PISO ANTERIOR	Máxima Deriva Admisible [m] 1% de la altura del piso	Análisis Deriva	INCLINACIÓN
	NORTE	ESTE	COTA							
DATOS FACHADA NOR OCCIDENTAL DEL EDIFICIO SIGMA III										
1	114504,756	104259,945	2558,763	PISO-2	63,376	0,000	0,000			Positivo hacia el Oriente
2	114504,753	104259,957	2561,526	PISO-3	63,387	0,011	0,011	-0,028	Normal	Positivo hacia el Oriente
3	114504,748	104259,968	2564,289	PISO-4	63,402	0,026	0,015	-0,028	Normal	Positivo hacia el Oriente
4	114504,741	104259,982	2567,076	PISO-5	63,417	0,041	0,015	-0,028	Normal	Positivo hacia el Oriente
5	114504,735	104259,995	2569,833	PISO-6	63,431	0,055	0,014	-0,028	Normal	Positivo hacia el Oriente
6	114504,729	104260,007	2572,214	PISO-7	63,443	0,067	0,012	-0,024	Normal	Positivo hacia el Oriente
DATOS FACHADA SUR OCCIDENTAL DEL EDIFICIO SIGMA III										
7	114526,687	104268,632	2572,378	PISO-7	60,361	0,063	0,012			Positivo hacia el Oriente
8	114526,692	104268,620	2569,992	PISO-6	60,349	0,051	0,013	0,024	Normal	Positivo hacia el Oriente
9	114526,697	104268,607	2567,190	PISO-5	60,336	0,038	0,014	0,028	Normal	Positivo hacia el Oriente
10	114526,702	104268,596	2564,448	PISO-4	60,322	0,024	0,010	0,027	Normal	Positivo hacia el Oriente
11	114526,706	104268,587	2561,679	PISO-3	60,312	0,014	0,014	0,028	Normal	Positivo hacia el Oriente
12	114526,712	104268,573	2558,906	PISO-2	60,298	0,000	0,000	0,028	Normal	Positivo hacia el Oriente
DATOS FACHADA SUR DEL EDIFICIO SIGMA III										
13	114501,659	104265,485	2558,696	PISO-2	21,628	0,000	0,000			Negativo hacia el Sur
14	114501,643	104265,478	2561,466	PISO-3	21,610	-0,018	-0,018	-0,028	Normal	Negativo hacia el Sur
15	114501,630	104265,473	2564,235	PISO-4	21,596	-0,032	-0,014	-0,028	Normal	Negativo hacia el Sur
16	114501,618	104265,468	2567,013	PISO-5	21,584	-0,044	-0,012	-0,028	Normal	Negativo hacia el Sur
17	114501,608	104265,464	2569,791	PISO-6	21,573	-0,055	-0,011	-0,028	Normal	Negativo hacia el Sur
18	114501,596	104265,459	2572,156	PISO-7	21,559	-0,069	-0,014	-0,024	Normal	Negativo hacia el Sur

Fuente. (Los Autores)

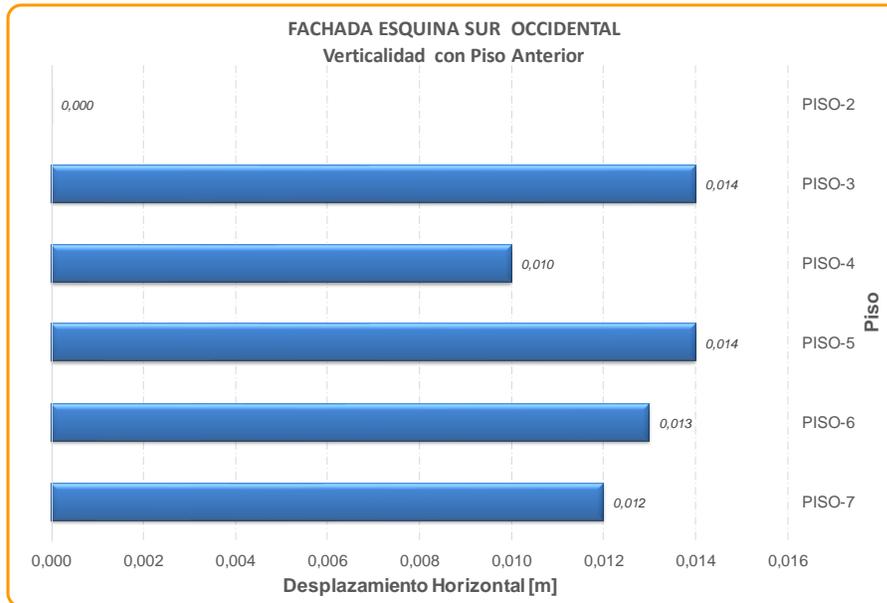
Se observa que el mayor valor alcanzado se registró en el piso cuatro y cinco y es de 0.015 metros lo cual no excede el máximo permitido.

En la Imagen 44 que corresponde al análisis de la fachada sur indica que los mayores desplazamientos se obtuvieron el piso tres y piso cinco, el valor de este fue de 0.014 metros y no excede el máximo permitido.

La inclinación de estas dos fachadas se presenta hacia la parte interna de la edificación lo cual es un comportamiento positivo según las indicaciones del Ingeniero de Suelos.

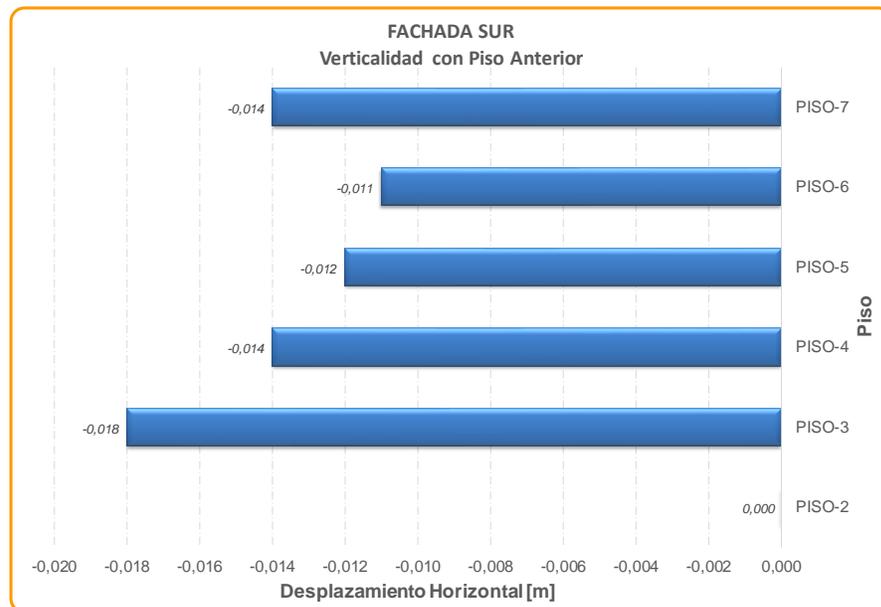
En el piso 3 de la fachada sur del Edificio Sigma III se presentó el mayor desplazamiento horizontal registrado, el cual fue de -0.018 metros como lo indica la Imagen 45 y corresponde a una inclinación negativa porque la inclinación se está dando hacia la parte exterior de la edificación.

Imagen 44 - Verticalidad Sigma III - Fachada Esquina Sur Occidental



Fuente. (Los Autores)

Imagen 45 - Verticalidad Sigma III - Fachada Sur



Fuente. (Los Autores)

10. ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS MILÁ

10.1. TIPO DE CONSTRUCCIÓN: (B) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería.

10.2. AÑO DE FINALIZACIÓN DE CONSTRUCCIÓN: En construcción

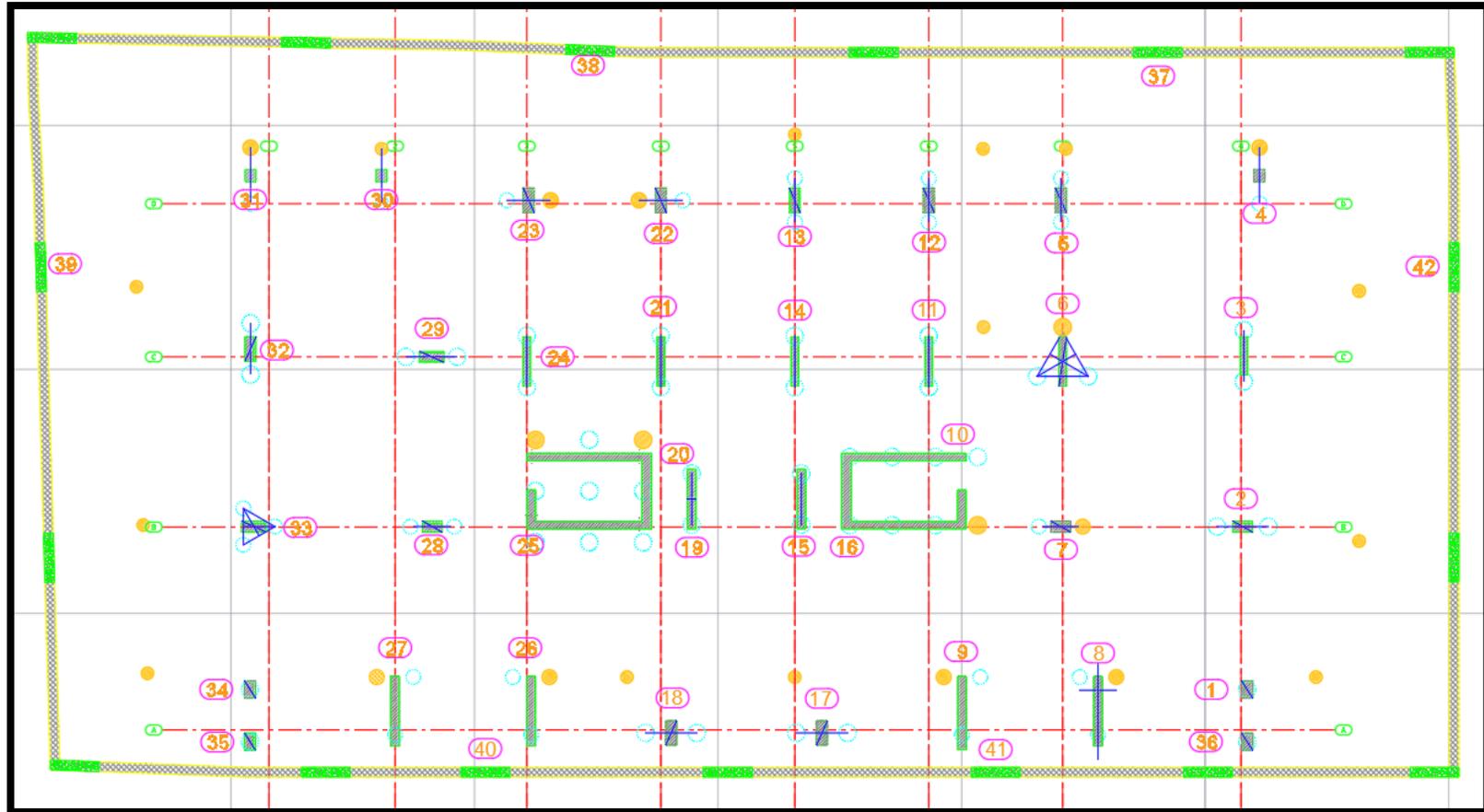
10.3. CANTIDAD DE PISOS: 13 Pisos

Imagen 46 - Fachada Nor Occidental Mila



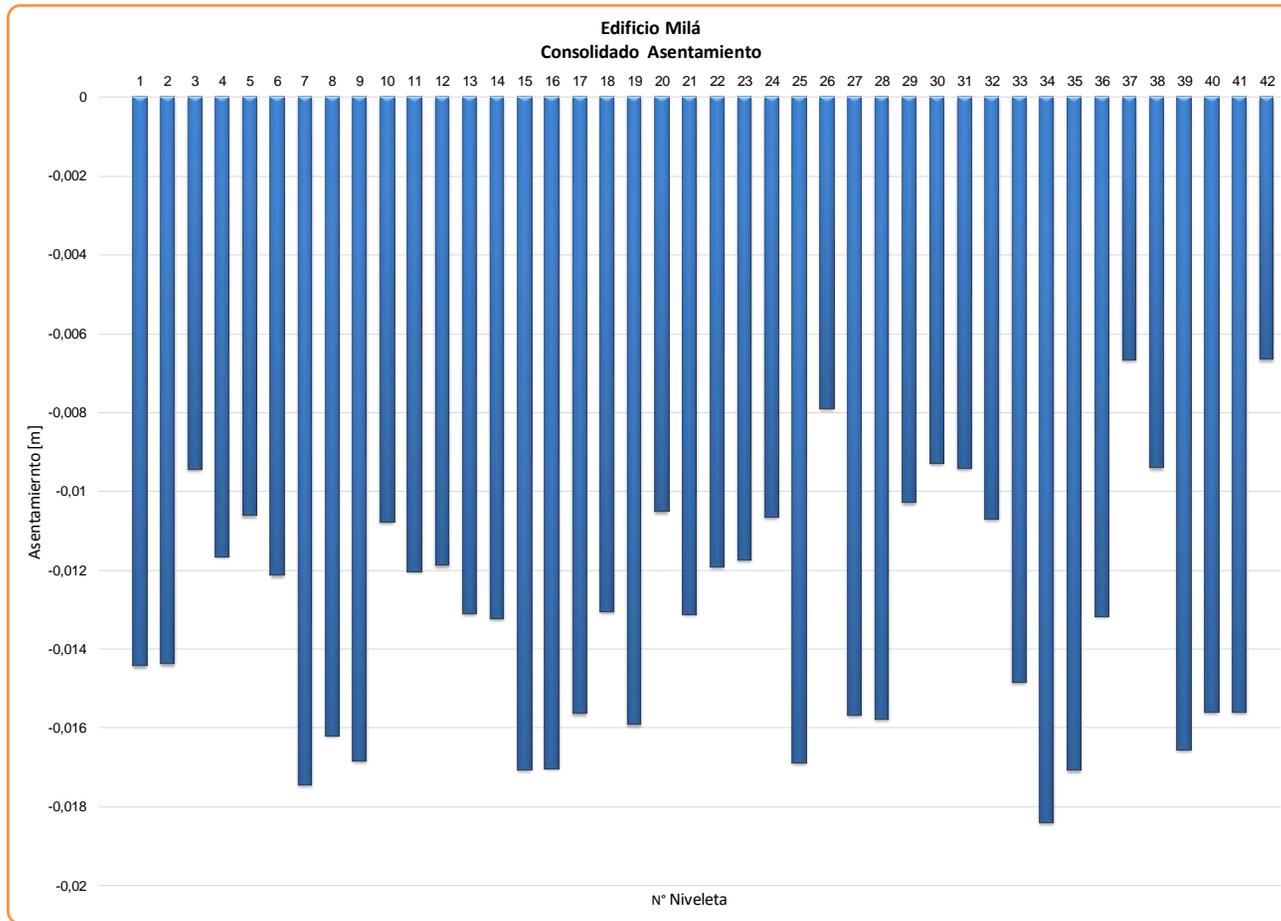
Fuentes, (autores)

Imagen 47 - Plano en Planta - Ubicación Columnas a Realizar Control de Asentamiento - Milá



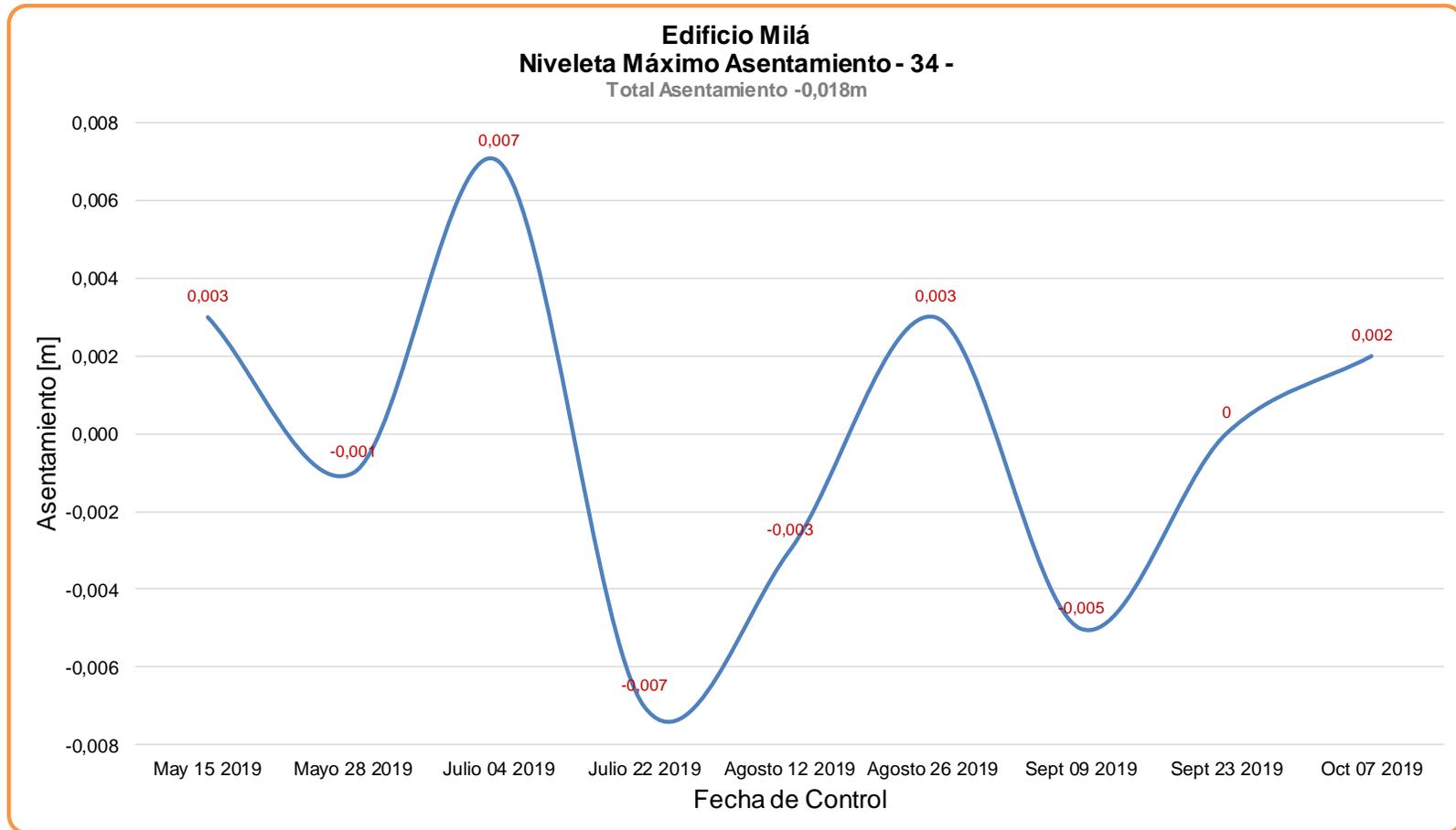
Fuente, (Autores)

Imagen 48 - Consolidado Asentamiento - Edificio Milá



Fuente, (autores)

Imagen 49 - Niveleta de Máximo Asentamiento - Edificio Milá



Fuente, (autores)

10.4 COMPORTAMIENTO DEL SUELO FRENTE A LA APLICACIÓN GRADUAL DE CARGAS

Para determinar un comportamiento típico del suelo y su respuesta frente a la aplicación gradual de cargas referente al avance de construcción de la estructura, es necesario realizar un análisis del peso aplicado en cada etapa de construcción, durante el periodo de investigación para tal fin se realizó un cálculo aproximado basado en el diseño estructural en general, en donde se realizó un cálculo volumétrico de los elementos, enfrentado de manera técnica con el avance del proyecto en relación a los controles de asentamientos realizados periódicamente. Y a cada piso terminado en su etapa de estructura como se muestra en la siguiente tabla:

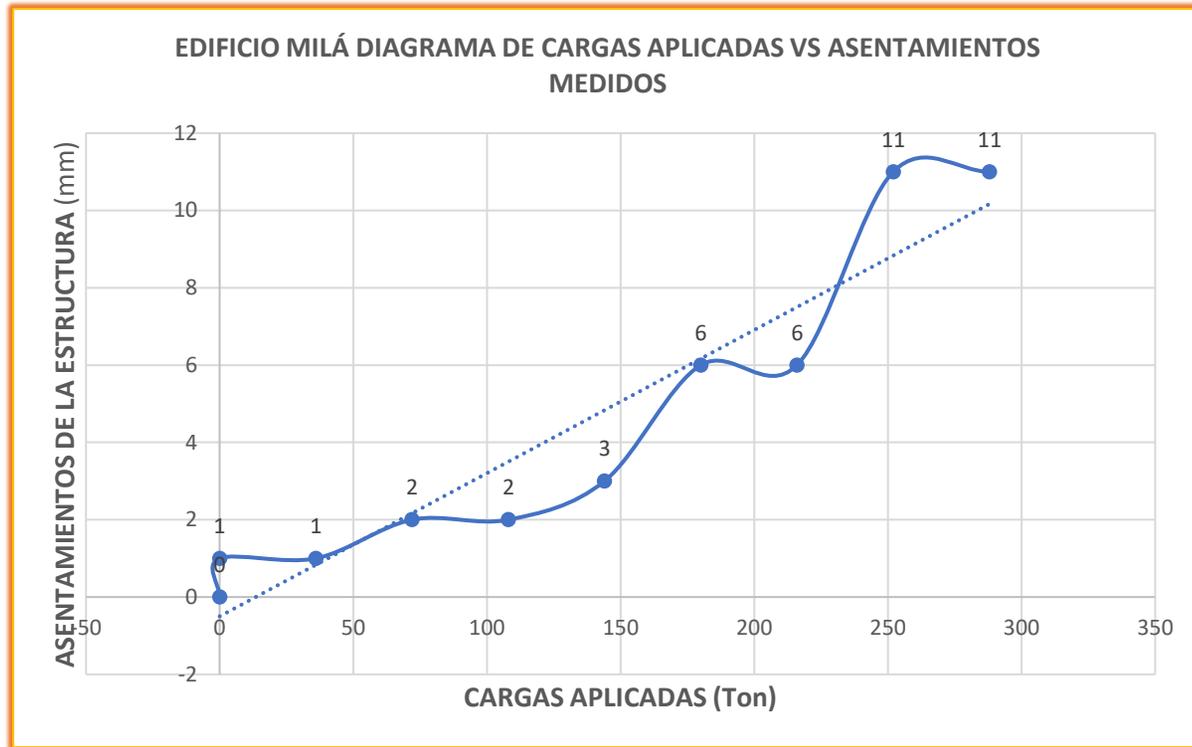
Tabla 17 - Análisis de Asentamientos frente a cargas aplicadas al suelo

Piso	Carga [Ton]	Asentameinto Maximo Acumulado [mm]
Sotano	0	0
Semisotano	0	1
Piso 1	36	1
Piso 2	72	2
Piso 3	108	2
Piso 4	144	3
Piso 5	180	6
Piso 6	216	6
Piso 7	252	11
Piso 8	288	11

Fuente (Autores)

Es necesario realizar este análisis, con el fin de detectar un asentamiento anormal del suelo y de este modo realizar un diagnóstico de las capacidades portantes del mismo

Imagen 50 - Diagrama de Asentamientos del suelo frente a la aplicación gradual de cargas



Fuente (Autores)

- Teniendo en cuenta la Tabla 1818 de la NSR 2010 V2 la edificación de este proyecto se clasifico en Categoría Especial por lo tanto por cada unidad de construcción se requiere mínimo cuatro perforaciones a treinta metros de profundidad, la obra realizo 6 perforaciones que alcanzaron profundidades comprendidas entre 10 y 55 metros bajo la superficie.

De estas perforaciones el 50% debe alcanzar la profundidad mínima, sin embargo, en el numeral H.3.2.5 literal (d) (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012), se estipula que la profundidad De los sondeos debe ser igual a la longitud de los pilotes más cuatro veces su diámetro, por lo tanto, las perforaciones que se realizaron alcanzaron los 55 metros de profundidad.

Tabla 18 - Número Mínimo de Sondeos y Profundidad por cada unidad de Construcción - Categoría de la Construcción.

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Fuente, (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismoresistentes. 2012)

- En el momento de realizar las perforaciones se detectó agua libre a profundidades comprendidas entre 0.8 y 4.2 metros bajo la superficie, por lo tanto, se estima que le nivel freático se estabilizara a largo plazo a una profundidad de 2.5 metros bajo el nivel del andén de la calle 146.
- La cimentación realizada en Milá es combinada la cual estará conformada por una placa con pilotes de concreto, de acuerdo al análisis de asentamientos y compatibilidad de deformaciones entre pilotes y placa, se limita el peso total del edificio a 17.0 T/m². De este peso total a la placa se le asignara el 30% correspondiente a 4.1 T/m² y los pilotes tomaran el 70% restante que equivale a 11.9 T/m².
- Instrumentación geomática, es necesario implementar el sistema radar en la obra e ir actualizando su comportamiento de acuerdo a los datos obtenidos en cada levantamiento, así se tendrá conocimiento de los muros pantalla, niveles de agua y edificaciones vecinas, de una manera

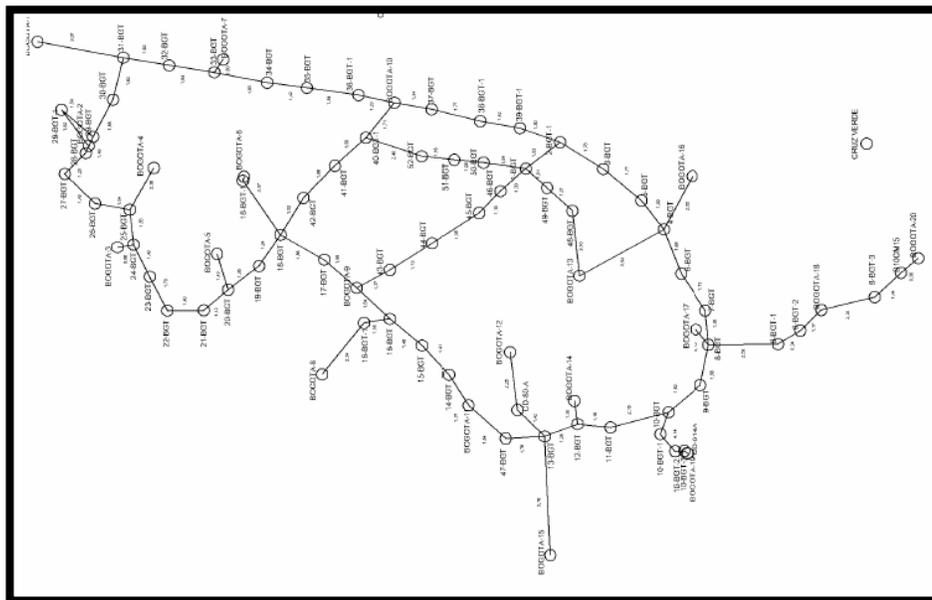
- En la obra se instalaron ocho inclinómetros en los muros pantalla sobre los cuales se realizarán lecturas cada quince días, que representaban los desplazamientos, si estos eran superiores a 2 centímetros durante un periodo de tiempo igual o menor a una semana, se deben detener las excavaciones y se analizara el comportamiento en general de la obra.
Fuente, (Alfonso Uribe S,2019)

- En la Imagen 15 - Comportamiento de niveleta con mayor asentamiento registrado - Edificio Balcones de Santa Ana se evidencia como la niveleta de mayor asentamiento produjo un rebote de +0.003m cuando se empezó con la fundición del semisótano, condición que continua en el mes de junio para hasta la fecha del último levantamiento nivelarse.

10.5 VINCULACIÓN DE DATOS DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

Se realizo investigación de información geográfica y topográfica de la zona con objeto de tener cotas reales referenciadas y registradas por el instituto geográfico Agustín Codazzi.

Imagen 51 – Ubicación Placas IGAC Bogotá



Fuente, (Herrera y De 2008)

Como referencia topográfica para realizar de manera más exacta el control de asentamientos del proyecto en estudio, fue necesario realizar un traslado de niveles desde la placa georreferenciada por el instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), más cercana, ubicada en la carrera 19 con calle 136 a una distancia de 1.06 km hasta la placa de nivelación de Milá (BM-1) con un recorrido total de 1.42 km, y un total de 11 puntos de cambio.

El procedimiento fue realizado con la utilización de una estación total, un prisma y una cartera digital, para registro de los datos tomados, se realizó un trazado preliminar en dirección sur-Norte, (desde Milá hacia la placa IGAC), y posteriormente una verificación de la nivelación del trazado en un segundo recorrido de manera inversa a la inicial (de la placa IGAC al Proyecto Milá). el trabajo tuvo una duración de 3 días en jornadas de 8 horas diarias, y su valor se especifica en el ítem de presupuesto (ver tabla No.4 Presupuesto ejecutado)

Imagen 52 - Ruta de Nivelación Placa IGAC Bogotá 7 a Mila 2 y Milá 1



Fuente, (Topoproyectos,2019)

De igual manera y como se especifica anteriormente, se realizó un amarre de coordenadas y niveles también con el proyecto Gaia, que es el referente de nivelación más cercano a Milá. al ser el proyecto de la zona que más transferencia de cargas realiza al suelo, y de mayor antigüedad desde su etapa de construcción por lo que se estima que su periodo de consolidación este completo. Por lo tanto, se toman referencias de asentamiento en cada control realizado al proyecto de estudio desde la placa de Nivelación GAIA 1.

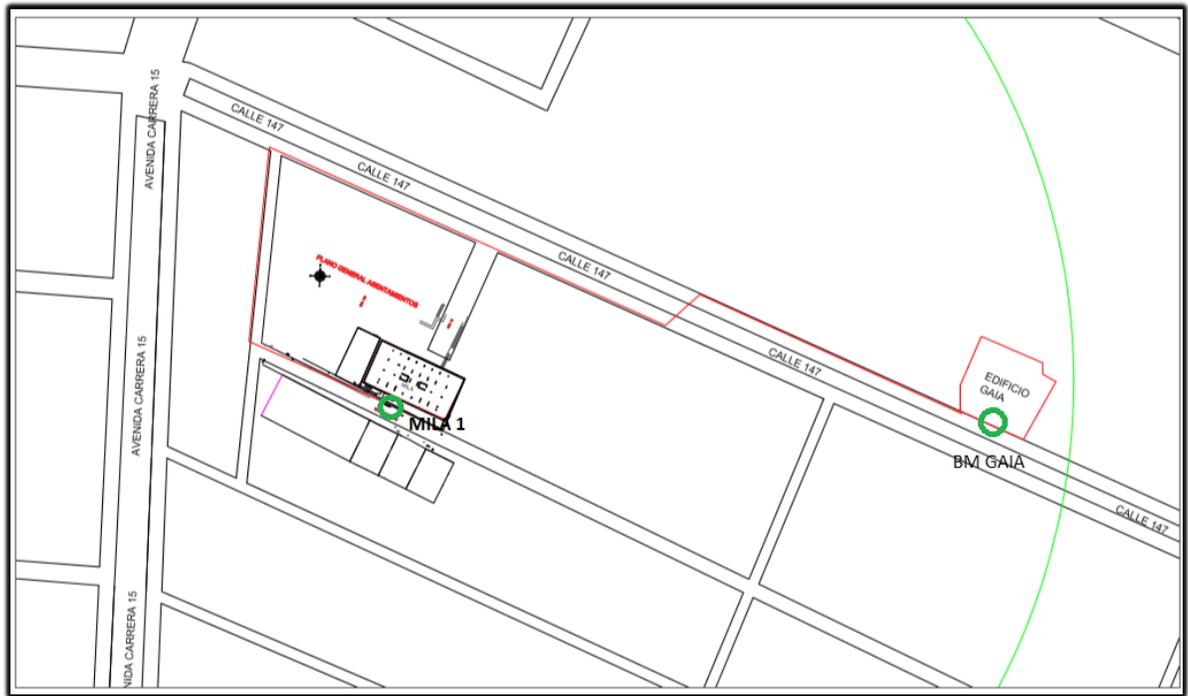
Para realizar el traslado de los puntos y vinculación de datos geográficos de la placa de control de Gaia con la placa de control de Milá fue necesario de igual manera la utilización de equipos como estación total, para realizar control de distancias y cotas de nivel, prisma, y cartera digital para el registro de los datos levantados; la actividad se ejecutó en un periodo de 1 día en jornada de 8 horas y se realizó de igual manera en 2 etapas, ruta de nivelación y vinculación de datos desde Mila-1 hasta BM GAIA, y ruta de verificación de niveles y distancias en sentido contrario a la primera etapa (BM GAIA a Milá 1). El recorrido cuenta con una longitud de 713 m, con 11 puntos de cambio en el recorrido.

Tabla 19 - Localización BM de control Gaia.

LOCALIZACIÓN BM DE CONTROL					
Edificio Gaia - Calle 147 Carrera 12					
Constructora:	ACTUAL COLOMBIA	Realizado por:	Topoproyectos	Fecha Control:	12-feb.-2019
Proyecto:	MILÁ	Cantidad de Piso:	20 Pisos	Tipo Edificación:	Ocupación Residencial
Frecuencia:	MENSUAL	Topógrafo:	Alonso Cabrera		
PUNTO	V +	A.L	V.L	V -	COTA
BM-GAIA	-0.324	2557.303			2557.627
C-19	1.497	2557.153		1.647	2555.656
C-18	1.014	2556.866		1.302	2555.852
C-17	1.075	2556.447		1.494	2555.372
C-16	1.422	2556.578		1.291	2555.156
C-15	1.241	2556.229		1.590	2554.988
C-14	1.587	2556.424		1.392	2554.837
C-13	1.619	2556.701		1.342	2555.083
C-12	1.337	2556.738		1.300	2555.401
C-11	1.246	2556.802		1.183	2555.556
C-10	1.268	2556.482		1.587	2555.215
C-1	1.132	2555.934		1.680	2554.802
GPS-1	1.470	2555.911		1.493	2554.441
C-1	1.657	2556.458		1.110	2554.801
C-10	1.598	2556.811		1.245	2555.214
C-11	1.194	2556.749		1.256	2555.555
C-12	1.313	2556.713		1.349	2555.401
C-13	1.354	2556.436		1.631	2555.082
C-14	1.411	2556.248		1.599	2554.837
C-15	1.600	2556.589		1.259	2554.989
C-16	1.301	2556.458		1.433	2555.157
C-17	1.507	2556.880		1.085	2555.373
C-18	1.319	2557.170		1.029	2555.851
C-19	1.659	2557.314		1.515	2555.655
BM-GAIA				-0.312	2557.626
				DIFERENCIA	0.002

Fuente (Los Autores)

Imagen 53 - Localización BM de Control Edificio Gaia



Fuente (Los Autores)

(Ver Anexo 12 Localización BM Control Edificio Gaia)

10.6 RADAR PARA CONTROL DE ASENTAMIENTOS POR SUBSIDENCIAS EN LA ZONA

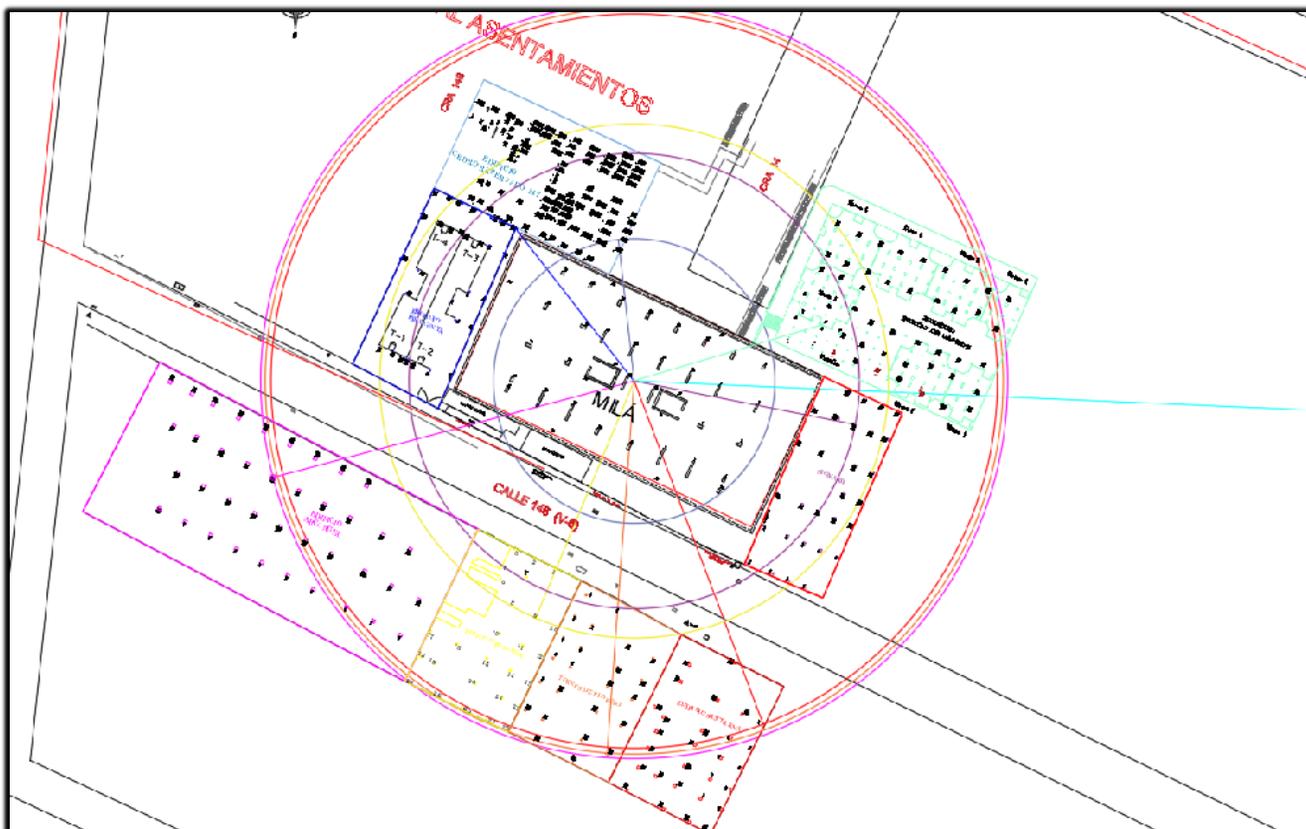
Teniendo en cuenta el análisis de la información anteriormente suministrada referente al estudio del comportamiento del suelo en los edificios ubicados en el área perimetral al proyecto Milá, se realizó una vinculación de datos de asentamientos con el efecto de las subsidencias en los datos tomados en cada control, para ello fue necesario realizar un análisis de comportamiento frente la influencia en la aplicación de cargas y desplazamientos verticales diferenciales en los predios vecinos, en donde se identificó la niveleta o columna que más asentamiento tuvo, en los predios circundantes y se vinculó con la de mayor asentamiento en el proyecto de estudio (MILÁ), en forma de Radar, con el fin de vincular de manera razonable los asentamientos puntuales en cada estructura independiente y relacionarla con el comportamiento de las subsidencias en la zona.

Dado que los estudios de suelos del proyecto se realizaron basados, además, en el perfil general del suelo en la zona, en un radio aproximado de 1 Kilometro, es necesario evaluar si los datos recolectados y afirmados por el diseñador son acertados en términos generales, teniendo en cuenta que se estimó a groso modo más allá de realizarse perfiles estratigráficos en el lote del proyecto. Una capacidad portante promedio basada en el comportamiento de la estructura de control (GAIA). Debido a que, según antecedentes y estudios permanentes, este se determinó como una cimentación con una consolidación total del suelo.

Con el estudio grafico del radar se quiere evaluar los comportamientos del suelo de la zona, siendo estos evaluados por un factor de asentamientos común, permitiendo de este modo realizar un diagnóstico del estudio de suelos en relación también con las subsidencias de la zona según las características geológicas de la ciudad de Bogotá, evaluando de manera detallada la consolidación y la tendencia de asentamientos máximos en los suelos de estudio.

En el radar, a continuación detallado, se establece unas líneas de tendencia de asentamientos, individuales para cada proyecto de estudio, con el fin de evaluar de manera comparativa los asentamientos de la estructura de estudio, frente a las de los predios circundantes, permitiendo establecer el comportamiento puntual del suelo, de cada edificio, y además definir un patrón normal de asentamientos en el sector de estudio a causa de las subsidencias de la zona geológica, según los estudios del perfil geotécnico de Bogotá. Con esto es posible identificar de manera más precisa el comportamiento real del suelo, y de esta manera y en relación con los datos suministrados por el geotecnista del proyecto, realizar un diagnóstico del estudio entregado, realizando un seguimiento continuo, de la consolidación del suelo. (ver anexo 13. radar de estudio de asentamientos).

Imagen 54 - Radar De Análisis De Asentamientos En Relación Con Proyectos Circundantes



(Ver Anexo 13 Radar de análisis de asentamientos en relación con proyectos circundantes)

Fuente (autores)

11. SUGERENCIA TÉCNICA DE INSTRUMENTACIÓN GEOMÁTICA PARA CONTROL DE ASENTAMIENTOS COMO MÉTODOS DE APRENDIZAJE EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

Teniendo en cuenta lo planteado En el presente trabajo de estudio cabe resaltar la importancia que tiene la geomática y sus métodos innovadores aplicados a la solución de problemas técnicos presentados en la actualidad en Colombia, es por esto que es preciso plantear como método de estudio un punto de calibración geomática dentro de las instalaciones de la universidad, que permita a los estudiantes evaluar los asentamientos y el modelo de comportamiento del suelo planteado en el presente estudio con el fin de que las técnicas planteadas se desarrollen más acorde con la evolución de la tecnología actual, principalmente a lo que refiere a la implementación de nuevos equipos de medición.

La universidad católica, al tener una infraestructura de edades variables en sus cuatro sedes permite que se realice un control de asentamientos permanente y un estudio del suelo frente a las construcciones nuevas en las áreas circundantes, especialmente en la sede 4 que al ser una estructura no convencional, y poco usada en la actualidad, se puede evaluar de forma precisa no solo en relación a la topografía sino implementando además con los estudios geotécnicos que se pueden realizar como método de aprendizaje.

Para la implementación del modelo físico planteado en el presente trabajo de estudio es necesario realizar una investigación preliminar de la geología y geotecnia característica de la zona y luego identificar las placas de georreferenciación del instituto geográfico Agustín Codazzi más cercano para poder implementar una propia en la universidad que sirva como método evolutivo de estudio de la geomática en el programa de ingeniería civil, además de complementarse con otras áreas de estudio como la geotecnia, la geología y la ingeniería de pavimentos.

11.1 OBJETIVO GENERAL DE LA SUGERENCIA TÉCNICA

Implementar un punto de estudio de la geomática, en relación con el comportamiento del suelo en la zona, en las sedes de la universidad católica de Colombia con el fin de que los futuros ingenieros puedan relacionar otras disciplinas concernientes con el comportamiento del suelo y de esta forma desarrollar técnicas para la prevención de colapsos en estructuras.

11.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA SUGERENCIA TÉCNICA

- Implementar un punto de referenciación geográfica en complementación con la información actual geotécnica de la zona como punto de estudio de información relevante para desarrollo de nuevas técnicas de control de asentamientos en estructuras.
- Implementar nuevas técnicas para la prevención de colapsos y fallos estructurales.
- Enfatizar en la importancia de la geotecnia en el desarrollo de la ingeniería civil en Colombia, haciendo frente a las malas prácticas y falta de controles presentados actualmente.

12. CONCLUSIONES

- Como sustento del estudio de suelos preliminar y el diseño de la cimentación del edificio, basado en las capacidades portantes del suelo, el análisis del comportamiento típico del suelo en la zona se ve reflejado de manera efectiva al realizar una descripción grafica en la vinculación de los máximos asentamientos en los edificios de estudio, además de incluirse el estudio de las subsidencias según la geología típica del sector.
- En relación a los factores tomados en cuenta por el geotecnista, para realizar el estudio de suelos, basado en parte por la experiencia en diseños similares en la zona, estableciendo un comportamiento típico de consolidación y velocidad promedio de los asentamientos, es necesario realizar un diagnóstico técnico, frente a la evolución del proceso constructivo, que en relación al problema inicialmente planteado sugiere un control exhaustivo y permanente para poder identificar de manera inmediata sobre asentamientos y poder tomar medidas correctivas o preventivas con el fin de evitar colapsos como los presentados en los casos de estudio.
- Es claro que para realizar un estudio de suelos preliminar es necesario realizar estudios a profundidad de la caracterización geológica de la zona de desarrollo del proyecto, no obstante dicha geología puede ser inmensamente variable, si bien es posible por experiencia determinar de manera inmediata con los estudios realizados, la capacidad portante real del suelo de fundación, también es determinadamente necesario hacer un control permanente para diagnosticar de manera continua la evolución y reacción del suelo frente a la aplicación gradual de las cargas de la estructura, de allí la importancia que tiene la geomática en el desarrollo de la ingeniería actual, en complementación de técnicas de estudio eficientes que permitan prevenir incidentes negativos en el desarrollo del proceso constructivo.

Tabla 20 - Velocidad Promedio del Asentamiento Promedio de Cada Edificación Analizada

VELOCIDAD PROMEDIO DEL ASENTAMIENTO PROMEDIO DE CADA EDIFICACIÓN ANALIZADA [m/mes]								
Edificación	Proceso Constructivo Milá	Obra	Fecha Sn	Fecha Sm	Sn prom [m]	Sm prom [m]	Tiempo [meses]	Vm [m/mes]
Balcones de Santa Ana	Excavación + Procesos Constructivo hasta Placa Piso 1		17/10/2018	8/04/2019	-0,006	-0,006	5,77	-0,002
	Fundición Estructura desde Piso 2 a Piso 6		9/04/2019	9/09/2019	-0,006	-0,006	5,10	-0,002
Cedro Reservado 147	Excavación + Procesos Constructivo hasta Placa Piso 1		11/10/2018	27/03/2019	-0,026	-0,029	5,57	-0,010
	Fundición Estructura desde Piso 2 a Piso 7		27/03/2019	30/09/2019	-0,029	-0,041	6,23	-0,011
Edificio Piracanta	Excavación + Procesos Constructivo hasta Placa Piso 1		27/10/2018	20/03/2019	-0,026	-0,010	4,80	-0,008
	Fundición Estructura desde Piso 2 a Piso 7		20/03/2019	30/09/2019	-0,010	-0,017	6,47	-0,004
Edificio El Roble	Excavación + Procesos Constructivo hasta Placa Piso 1		23/10/2018	6/03/2019	-0,026	-0,011	4,47	-0,008
	Fundición Estructura en Concreto desde Piso 2 a Piso 8		6/03/2019	7/10/2019	-0,011	-0,011	7,17	-0,003
Mila	Fundición Estructura en Concreto desde Piso 2 a Piso 8		15/05/2019	7/10/2019	-0,001	-0,013	4,83	-0,003
Portal Arcángel	Excavación + Procesos Constructivo hasta Placa Piso 1		1/11/2018	27/03/2019	-0,007	-0,007	4,87	-0,003
	Fundición Estructura en Concreto desde Piso 2 a Piso 8		27/03/2019	7/10/2019	-0,007	-0,011	6,47	-0,003
Portal de Caobos	Excavación + Procesos Constructivo hasta Placa Piso 1		16/11/2018	25/02/2019	-0,001	0,001	3,37	0,000
	Fundición Estructura en Concreto desde Piso 2 a Piso 6		25/02/2019	9/09/2019	0,001	0,003	6,53	0,001
Sigma III	Excavación + Procesos Constructivo hasta Placa Piso 1		26/10/2018	20/03/2019	-0,01	-0,012	4,83	-0,004
	Fundición Estructura en Concreto desde Piso 2 a Piso 6		20/03/2019	9/09/2019	-0,012	-0,024	5,77	-0,006
Torres de Rio Frio	Excavación + Procesos Constructivo hasta Placa Piso 1		18/10/2018	6/03/2019	-0,005	-0,004	4,63	-0,002
	Fundición Estructura en Concreto desde Piso 2 a Piso 6		6/03/2019	9/09/2019	-0,004	-0,003	6,23	-0,001

Fuente, (Autores)

BIBLIOGRAFÍA

- ▷ Asentamientos en suelos | ingeniero de caminos. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://ingeniero-de-caminos.com/asentamientos-en-suelos/>.
- BURLAND, J.B. y WROTH, C.P., 1974. Settlement of buildings and associated damage. *Settlement of Structures, Proceedings of the Conference of the British Geotechnical Society*, no. April, pp. 611–764.
- CAICEDO, B., MENDOZA, C., LIZCANO, A. y LOPEZ-CABALLERO, F., 2019. Some contributions to mechanical behaviors of lacustrine deposit in Bogotá, Colombia. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [en línea], vol. 11, no. 4, pp. 837–849. ISSN 16747755. DOI 10.1016/j.jrmge.2018.12.016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.12.016>.
- CARLOS ORTEGA, 2019. Fiscalía dice que hubo errores en los diseños del puente Chirajará - Investigación - Justicia - ELTIEMPO.COM. [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/justicia/investigacion/fiscalia-dice-que-hubo-errores-en-los-disenos-del-puente-chirajara-314508>.
- CASTRO, G.E., JAVIER, F., PARRA, D., DE GRUPO, R., DE, E., GRUPO, D., FERNANDO, T., DÍAZ, J., MAURICIO, I., GERARDO, O., RODRÍGUEZ, A. y BELTRÁN, A.L., 2010. Clasificado Fondo De Prevención Y Atención De Emergencia. [en línea], pp. 49. Disponible en: http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Suelo_Bogota/Zonificacion_Respuesta_Sismica-FOPAE-2010.pdf.
- COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMORESISTENTES., 2012. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. , vol. V2 Con Com.
- DE LA COMISIÓN, S., COLOMBIANO, R., CONSTRUCCIÓN, D. y RESISTENTE, S., 1997. NSR-10 TÍTULO H — ESTUDIOS GEOTÉCNICOS. , pp. 72.
- DUQUE, G. y ESCOBAR, C., 2016. Capítulo 9. Consolidación de suelos. *Universidad Nacional de Colombia*, pp. 122–135.
- FENTON, G. a, NAGHIBI, F. y GRIFFITHS, D. V, 2016. Probabilistic considerations for the design of deep foundations against excessive differential settlement. *Canadian Geotechnical Journal* [en línea], vol. 53, no. 7, pp. 1167–1175. ISSN 0008-3674. DOI 10.1139/cgj-2015-0194. Disponible en:

http://cqu.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwtV1Nb9QwELUWTIQI8d20BfmAkFCVksT58oFDWdFFoqCKIh64RLbjbBeJbNlkJcSvZ8Z2sklVifbAJVrZInez82LPOG_eEMKig8C_sialkkVZIUlwX2G_kamMVCRFqMtICZWZJLX359nJ9_jTcXY8mXRlxDZt_9Xw0Aamx0TaWxi_nxQa4DNAAK4AArjeCAYnK3h.

GCE, I. y GEOTECNÍA, C. y E., [sin fecha]. Tipos de pizómetros | Ingeniería GCE. [en línea]. [Consulta: 25 octubre 2019]. Disponible en: <https://ingenieriagce.wordpress.com/2018/07/12/tipos-de-piezometros/>.

HERRERA, L. y DE, S.M.M., 2008. Estimación de la Subsistencia en Bogotá a partir de mediciones GNSS y nivelación geométrica Generalidades sobre Bogotá. ,

INGEOMINAS, 1997. *Microzonificación de Bogotá 1993.pdf*. Bogotá: s.n.

JOHN ZAMORA, 2018. Documentos falsos y mala ingeniería, detonantes de tragedia en Blas de Lezo - RevistaZetta.com. [en línea]. Disponible en: <http://www.revistazetta.com/?p=20210>.

LA, P. y VIS, C.D.E., 2010. Descripción de los sistemas constructivos más utilizados en Colombia. , pp. 27–44.

MARYLIN MARTINEZ MARTINEZ, 2018. UdeC defiende sus estudios a edificios en riesgo | EL UNIVERSAL - Cartagena. [en línea]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/udec-defiende-sus-estudios-edificios-en-riesgo-270414>.

MAYOR BOGOTÁ DC SECRETARÍA DISTRITAL DE, A. DE y DISTRITAL PLANEACIÓN, S. DE, 2010. REPÚBLICA DE COLOMBIA PLANEACIÓN CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CONVENCIONES ESCALA 1:40.000 LEYENDA MARÍA CAMILA URIBE SÁNCHEZ. [en línea]. S.l.: [Consulta: 2 septiembre 2019]. Disponible en: <http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/MCZSB-Geotecnico-2010.pdf>.

NICOLÁS BUSTAMANTE HERNÁNDEZ, 2018. Informe sobre cómo se hunde el terreno en Bogotá - Ciencia - Vida - EL TIEMPO.COM. [en línea]. [Consulta: 19 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/informe-sobre-como-se-hunde-el-terreno-en-bogota-189448>.

PENADÉS MARTÍ, J., 2002. Construcción industrializada de edificios. *Industrialized construction of buildings*. [en línea], vol. 53, no. 478, pp. 15–31. ISSN 0020-0883. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/625/707>.

PERIODICO EL TIEMPO, 2015. Siete heridos dejó caída de puente peatonal de la

carrera 11 con 103. *El Tiempo* [en línea], vol. 01/02/2015. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15179976>.

POLIOTTI, M. y SIERRA, P., 2007. Consolidación unidimensional de suelos. *Universidad nacional de rosario*, pp. 1–41.

TOMÁS, R., HERRERA, G., DELGADO, J. y PEÑA, F., 2009. Subsistencia del terreno. *Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 17, no. 3, pp. 295–302. ISSN 1132-9157.

TORRES, V., VANDENBERGHE, J. y HOOGHIEMSTRA, H., 2005. An environmental reconstruction of the sediment infill of the Bogotá basin (Colombia) during the last 3 million years from abiotic and biotic proxies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* [en línea], vol. 226, no. 1, pp. 127–148. ISSN 0031-0182. DOI <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.05.005>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018205002592>.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2014. Informe Final Fase III. CONCEPTO TÉCNICO EN RELACIÓN A LAS CAUSAS MÁS PROBABLES DEL COLAPSO DEL EDIFICIO SPACE. [en línea], no. 4600051633, pp. 44. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportalDelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_15/Noticias/SharedContent/Documentos/2014/Uniandes_Informe-Final-Fase3-SPACE-Resumen.pdf.

VILA ORTEGA, J.J., JIMÉNEZ CLEVES, G. y GARZÓN BARRERO, J., 2012. Monitoreo y Control Topográfico de Obras. ,