

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Sótanos en edificios con cimentación compensada para revitalizar  
tránsito urbano complejo y generar renta propia.**

**AUTORES:**

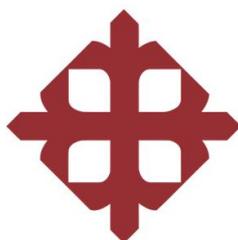
**García Guerra, Gabriel Joao  
Prado Pileggi, José Fernando**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Colón Gilberto, Martínez Rehpani, M.Sc**

**Guayaquil, Ecuador  
08 de septiembre de 2023**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente Trabajo de Titulación fue realizado en su totalidad por **Prado Pileggi, José Fernando y García Guerra, Gabriel Joao** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR**

f. \_\_\_\_\_

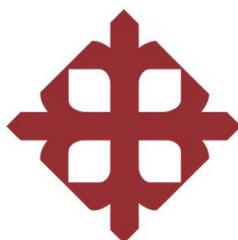
**Ing. Colón Gilberto, Martínez Rehpani, M.Sc**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas MSc**

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2023**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros **Prado Pileggi, José Fernando**

**García Guerra, Gabriel Joao**

**DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación: **Sótanos en edificios con cimentación compensada para revitalizar tránsito urbano complejo y generar renta propia**, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, se ha desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría. En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

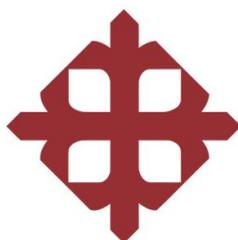
f. \_\_\_\_\_

**Prado Pileggi, José Fernando**

f. \_\_\_\_\_

**García Guerra, Gabriel Joao**

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2023**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Prado Pileggi, José Fernando**

**García Guerra, Gabriel Joao**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: sótanos en edificios con cimentación compensada para revitalizar tránsito urbano complejo y generar renta propia, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

f. \_\_\_\_\_

**Prado Pileggi, José Fernando**

f. \_\_\_\_\_

**García Guerra, Gabriel Joao**

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2023**

# REPORTE COMPILATO

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

Trab. de Titulación. Prado J.; García G.

< 1% Similitudes  
< 1% Texto entre comillas  
< 1% similitudes entre comillas  
2% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Trab. de Titulación. Prado J.; García G..docx	Depositante: Clara Catalina Glas Cevallos	Número de palabras: 24.111
ID del documento: 7c2f12f8b2d1a9a6841902ca03aa3e6011567215	Fecha de depósito: 26/9/2023	Número de caracteres: 160.713
Tamaño del documento original: 22,51 MB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 26/9/2023	

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://www.dspace.espol.edu.ec">www.dspace.espol.edu.ec</a>   Estudio integrado del golfo de Guayaquil del mioceno ... http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10658/3/Thesis_uncompressed_Golfo_de_Gu... 3 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (733 palabras)
2	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a>   TOMO 1.0: ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD D... https://docplayer.es/79454413-Tomo-1-0-actualizacion-del-mapa-geologico-de-la-ciudad-de-guayaq... 12 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (652 palabras)
3	<a href="https://www.emapag-ep.gob.ec">www.emapag-ep.gob.ec</a> https://www.emapag-ep.gob.ec/emapag/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO- GEOLOGIA-MICROZOL... 9 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (531 palabras)
4	Sebastián.Delgado.doc.docx   Áreas verdes urbanas y su influencia en el ... #8671e2 El documento proviene de mi grupo 39 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (252 palabras)
5	localhost   Cenizas de bagazo de caña de azúcar para mejorar resistencia y perme... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/13844/3/T-UCSG-PRE-ING-IC-322.pdf.txt 37 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (254 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #b05864 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
2	<a href="https://www.doi.org">www.doi.org</a>   Pleistocene to Present North Andean "escape" https://www.doi.org/10.1016/j.TECTO.2010.04.021	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	<a href="https://www.doi.org">www.doi.org</a>   Tide-dominated deltas in active margin basins: Insights from the G... https://www.doi.org/10.1016/j.MARGEQ.2018.06.002	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
4	<a href="https://repositorio.espe.edu.ec">repositorio.espe.edu.ec</a> https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/32471/T-ESPE-052490.pdf?sequence=1	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
5	Documento de otro usuario #2b3008 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)

## Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	<a href="https://es-es.topographic-map.com/map-2rstf/Guayaquil/?popup=-2.44015,-79.13835&amp;center=-2.14997,-79.84144&amp;zoom=14">https://es-es.topographic-map.com/map-2rstf/Guayaquil/?popup=-2.44015,-79.13835&amp;center=-2.14997,-79.84144&amp;zoom=14</a>
2	<a href="https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14124/CarrilloNavarroAndresFelipe2018.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14124/CarrilloNavarroAndresFelipe2018.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>
3	<a href="https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/uno-se-estresa-mucho-al-circular-por-el-centro-con-la-reactivacion-de-actividades-en-varias-vias-centricas-de-guay...">https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/uno-se-estresa-mucho-al-circular-por-el-centro-con-la-reactivacion-de-actividades-en-varias-vias-centricas-de-guay...</a>
4	<a href="https://doi.org/10.1144/GPM.34.16">https://doi.org/10.1144/GPM.34.16</a>
5	<a href="https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/varios-sitios-y-calles-de-guayaquil-con-menor-presencia-de-ciudadanos-y-vehiculos-nota/">https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/varios-sitios-y-calles-de-guayaquil-con-menor-presencia-de-ciudadanos-y-vehiculos-nota/</a>

## TUTOR

f. \_\_\_\_\_

Ing. Colón Gilberto Martínez Rehpani

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, a mi mamá por el esfuerzo que ha hecho para siempre sacarnos adelante y demostrándome que con perseverancia se alcanzan las cosas; me enseñó a nunca rendirme y a seguir adelante; a mi papá, que con sus consejos siempre me impulsó y me enseñó que en la vida siempre habrá obstáculos y que depende de nosotros buscar la manera de seguir y siempre intentarlo, así se falle.

Quiero agradecer a mis hermanos, Pocho y Dani, porque a lo largo de mi vida han sido un apoyo fundamental para mí, aunque no lo demuestre. A Bob, porque fue uno de los impulsores de mi carrera, apoyándome y siempre pendiente tanto de mí, como de mis hermanos. A mi novia, Daniella, porque durante este proceso de tesis fue un gran apoyo, siempre incentivándome a seguir adelante y terminarla.

A nuestro tutor, el Ingeniero Gilberto Martínez, que siempre estuvo disponible para ayudarnos con lo que necesitemos en la realización de esta tesis.

**José Fernando Prado Pileggi**

## **Dedicatoria**

Quiero dedicarle este trabajo a mi mamá, Noni Pileggi, porque me inculcó siempre buenos valores para ser la persona que soy el día de hoy, por siempre confiar en mí y darme su apoyo; y a mi papá, Luis Fernando Prado, porque siempre estuvo pendiente de mí, me enseñó que el trabajo duro tiene sus recompensas, nunca bajar los brazos y siempre dándome ánimos para seguir adelante.

**José Fernando Prado Pileggi**

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios y a mi madre por ser el eje de mi vida.

Agradezco a mi padre por su apoyo y entusiasmo por mis logros.

Agradezco al ingeniero Gilberto Martínez, orgullosamente mi tutor de tesis.

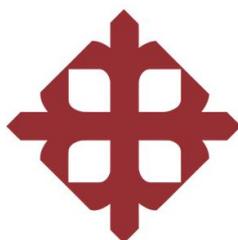
Agradezco a todo el personal de limpieza de la facultad de Ingeniería Civil, la señora Rosita y todos “Los de amarillo” por su invaluable compañía y ayuda en periodos de exámenes.

**Gabriel Joao García Guerra**

## **Dedicatoria**

Dedico este triunfo a mi madre, Cecilia Guerra, por confiar en mí cuando incluso yo no confiaba.

**Gabriel Joao García Guerra**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**f. \_\_\_\_\_**

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas MSc.**

**DIRECTORA DE CARRERA**

**f. \_\_\_\_\_**

**Ing. Carlos Grau Sacoto M.Sc.**

**DELEGADO DEL ÁREA**

**f. \_\_\_\_\_**

**Ing. Francisco Grau Sacoto M.Sc.**

**OPONENTE**

## Índice

Capítulo I. Introducción.....	2
1.1    Antecedentes.....	2
1.2    Situación problemática.....	4
1.3    Objetivos.....	4
1.3.1    Objetivos generales.....	4
1.3.2    Objetivos específicos.....	5
1.4    Hipótesis.....	7
1.5    Justificación.....	7
1.6    Metodología.....	8
Capítulo II. Marco teórico.....	10
2.1    Marco geológico regional.....	10
2.1.1    Antecedentes geológicos de la región de guayaquil.....	10
2.1.2    Estratigrafía.....	12
2.1.3    Estratigrafía de la llanura aluvial.....	12
2.1.4    Estratigrafía del llano estuarino-deltaico.....	13
2.1.5    Formaciones geológicas destacadas en la región.....	15
2.2    Suelos.....	18
2.2.1    Suelos residuales.....	19
2.2.2    Suelos transportados.....	21
2.2.3    Suelos coluviales.....	21
2.2.4    Suelos coluviales-aluviales.....	22
2.2.5    Suelos aluviales.....	23
2.2.6    Suelos deltáicos.....	23
2.3    Suelos cuaternarios en Guayaquil.....	25

2.3.1	Características de los suelos cuaternarios .....	25
2.3.2	Procesos de formación y deposición de los suelos cuaternarios en Guayaquil... ..	27
2.3.3	Importancia y uso de los suelos cuaternarios en Guayaquil .....	28
2.3.4	Composición y propiedades de los suelos cuaternarios .....	28
2.4	Cota sobre el nivel del mar de Guayaquil .....	30
2.4.1	Definición y relevancia de la cota sobre el nivel del mar .....	30
2.4.2	Variaciones de la cota sobre el nivel del mar en Guayaquil .....	30
2.4.3	Factores que influyen en las variaciones de la cota sobre el nivel del mar.....	31
2.5	Formación del golfo y la cuenca baja .....	32
2.5.1	Procesos geológicos implicados en la formación del Golfo de Guayaquil y la cuenca baja .....	32
2.5.2	Interacción entre las corrientes marinas, la tectónica de placas y la sedimentación en la región .....	33
2.5.3	Evolución geológica del Golfo de Guayaquil y la cuenca baja a lo largo del tiempo .....	34
2.6	Geología de Guayaquil por la sismicidad .....	38
2.6.1	Contexto tectónico y sismo tectónico de Guayaquil.....	38
2.6.2	Fuentes sísmicas principales y su relación con la actividad sísmica en la región.....	39
2.6.3	Efectos de la sismicidad en la geología y la infraestructura de Guayaquil.....	40
2.7	Sedimentario deltaico del complejo del Golfo de Guayaquil .....	40

2.7.1	Descripción del complejo del Golfo de Guayaquil y su importancia geológica.....	40
2.7.2	Procesos de sedimentación y formación del sedimento deltaico en el Área.....	41
2.7.3	Características y composición del sedimento deltaico en el complejo del Golfo de Guayaquil.....	41
2.8	Cimentaciones .....	42
2.8.1	Cimentaciones compensadas.....	43
2.8.2	Tipos de cimentaciones compensadas.....	44
2.9	Pilotes.....	45
2.10	Hormigón .....	45
2.10.1	Definición y composición del hormigón.....	45
2.10.2	Propiedades y características del hormigón fresco y endurecido ...	46
2.11	Diseño de hormigón Tremie .....	46
2.11.1	Aplicaciones y ventajas del diseño de hormigón Tremie .....	47
2.11.2	Limitaciones y desafíos asociados con el diseño de hormigón tremie.....	47
2.11.3	Factores que afectan el diseño de hormigón Tremie.....	47
2.12	Muro milán o pantalla .....	49
2.13	Ecuación de la onda .....	50
2.14	Soportales.....	51
Capítulo III. Fundamentación teórica .....		52
3.1	Pilotes de tracción .....	52
3.2	Pilotes pre barrenados .....	53
3.3	Clam shell .....	54

3.4	Cimentaciones compensadas.....	55
3.5	Losas de cimentación .....	56
3.5.1	Ventajas del uso de losas de cimentación en cimentaciones compensadas.....	57
3.6	Diseño de hormigón tremie.....	59
3.6.1	Principios fundamentales de la técnica tremie .....	59
3.6.2	Características deseables del hormigón para el diseño de hormigón tremie.....	59
3.6.3	Proporciones de los materiales y diseño adecuado de la mezcla ....	59
3.6.4	Aditivos y adiciones utilizados para mejorar las propiedades del hormigón.....	60
3.7	Proceso de colocación del hormigón utilizando el diseño de hormigón Tremie.....	60
3.7.1	Secuencia de colado del hormigón mediante la técnica Tremie .....	60
3.7.2	Control y monitoreo durante la colocación.....	61
3.8	Aplicaciones del diseño de hormigón Tremie .....	61
3.8.1	Cimentaciones profundas y pilotes .....	62
3.8.2	Estructuras subacuáticas y marítimas .....	62
3.8.3	Otros usos relevantes en la construcción .....	63
3.9	Principio de Arquímedes.....	63
3.10	Ruptura de fondo.....	65
3.11	Bentonita.....	66
3.12	Sistema Top-Down .....	67
Capítulo IV. Propuesta metodológica.....		69
4.1	Ensayos de laboratorio .....	69

4.1.1	Materiales.....	69
4.1.2	Diseño de hormigón Tremie .....	69
4.1.3	Ensayos de compresión simple de las probetas .....	71
4.1.4	Resultados de los ensayos de compresión simple .....	78
4.2	Propuesta ingenieril.....	83
4.3	Resultados y discusión .....	105
4.3.1	Metodología ejecutiva ascendente - descendente .....	105
4.3.2	Diseño de hormigón tremie para el muro Milán .....	106
4.3.3	Edificación con rentas propias .....	106
4.3.4	Sistema de no ingreso de aguas lluvias al sótano .....	107
	Conclusiones .....	108
	Referencias .....	110

## Índice de figuras

Figura 1. Descripción gráfica de la sobrecarga vehicular en la Avenida Machala. ....	2
Figura 2. Edificio San Francisco 300 .....	3
Figura 3. Edificio Valra. Av. 10 de agosto y Malecón, Guayaquil .....	6
Figura 4. Edificio The Point. Complejo Ciudad del Río, Guayaquil. ....	6
Figura 5. Perfil estratigráfico-geotécnico del proyecto de viaducto en la Av. Machala	14
Figura 6. Mapa geológico de Guayaquil. Proyecto “Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil” .....	17
Figura 7. Simbología del Mapa Geológico de Guayaquil. Proyecto “Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil” .....	17
Figura 8. Perfil típico de suelos residuales de la Formación Cayo. Norte de Guayaquil. ....	19
Figura 9. Mapa de suelos y rocas de Guayaquil N-O.....	25
Figura 10. Mapa de metros sobre el nivel del mar de Guayaquil .....	31
Figura 11. Columna estratigráfica de la Cuenca Progreso, isla Puná y Golfo de Guayaquil .....	33
Figura 12. Mapa geológico de la isla Puná.....	35
Figura 13. Cuchara bivalva .....	49
Figura 14. Proceso de hormigonado bajo arcilla bentonita .....	50
Figura 15. Soportales en la ciudad de Guayaquil .....	51
Figura 16. Pilote Pre Barrenado .....	54
Figura 17. Cuchara bivalva. Fuente .....	55
Figura 18. Principio de Arquímedes en una losa de cimentación .....	65

Figura 19. <i>Ilustración de la ruptura de fondo</i> .....	66
Figura 20. <i>Bentonita estabilizando muro</i> .....	67
Figura 21. <i>Sistema Top-Down</i> .....	68
Figura 22. <i>Proceso de probetas</i> .....	70
Figura 23. <i>Proceso de curado de las probetas en una piscina</i> .....	71
Figura 24. <i>Probetas de la muestra A</i> .....	72
Figura 25. <i>Proceso de pesar probetas</i> .....	72
Figura 26. <i>Proceso de medición de diámetro de las probetas</i> .....	73
Figura 27. <i>Medición de las alturas de las probetas</i> .....	73
Figura 28. <i>Medición de los diámetros de las probetas</i> .....	74
Figura 29. <i>Ensayos a la compresión simple a las probetas de hormigón con diseño Tremie</i> .....	74
Figura 30. <i>Ensayos a la compresión simple a las probetas de hormigón con diseño Tremie</i> .....	75
Figura 31. <i>Trabajos realizados en el Laboratorio CEINVES</i> .....	75
Figura 32. <i>Ensayos realizados en el Laboratorio CEINVES al 7mo día</i> .....	76
Figura 33. <i>Rotura de probeta de hormigón Tremie al 7mo día</i> .....	76
Figura 34. <i>Ensayos de resistencia a la compresión simple realizados en el Laboratorio CEINVES al 7mo día</i> .....	77
Figura 35. <i>Ensayos de resistencia a la compresión simple</i> .....	77
Figura 36. <i>Curva de evolución de la resistencia a la compresión de la muestra A</i> .....	78
Figura 37. <i>Curva de evolución de la resistencia a la compresión de la muestra B</i> .....	79
Figura 38. <i>Curva de evolución de la resistencia a la compresión de la muestra C</i> .....	80
Figura 39. <i>Curva de evolución de la resistencia a la compresión de la muestra C</i> .....	81

Figura 40. <i>Comparación de curvas de resistencia a la compresión de muestras A, B, C y D.</i> .....	81
Figura 41. <i>Comparación de resistencias a compresión de las muestras A, B, C y D a los 7 días.</i> .....	82
Figura 42. <i>Comparación de resistencias a compresión de las muestras A, B, C y D a los 14 días.</i> .....	82
Figura 43. <i>Comparación de resistencias a compresión de las muestras A, B, C y D a los 14 días.</i> .....	83
Figura 44. <i>Ubicación del terreno de estudio, Av. Quito y Pedro Pablo Gómez.</i> .....	84
Figura 45. <i>Ubicación del terreno en la Avenida Quito.</i> .....	84
Figura 46. <i>Dimensiones del terreno escogido.</i> .....	85
Figura 47. <i>Vista esquemática de la ubicación del terreno en la Avenida Quito.</i> .....	85
Figura 48. <i>A medida que avanza la excavación se deposita la bentonita para estabilizar el muro guía.</i> .....	86
Figura 49. <i>Construcción del muro guía para la construcción del muro Milán.</i> .....	87
Figura 50. <i>Muro guía para el inicio de la construcción del muro Milán.</i> .....	87
Figura 51. <i>Vista de la construcción de paños del muro Milán de manera alternada.</i> ...	88
Figura 52. <i>Vista superior del muro Milán concluido.</i> .....	88
Figura 53. <i>Vista del muro Milán concluido.</i> .....	89
Figura 54. <i>Hincado de los pilotes pre barrenados para el soporte de la estructura.</i> ....	90
Figura 55. <i>Hincado de pilotes pre barrenados. Coinciden con los pilares definitivos del sótano.</i> .....	90
Figura 56. <i>Vista superior del hincado de los pilotes pre barrenados</i> .....	91
Figura 57. <i>Vista superior de la excavación.</i> .....	92

Figura 58. Inicio de la excavación del sótano y transporte del material mediante una correa transportadora y volquetas. ....	92
Figura 59. Arcilla de excavación retirada mediante una correa transportadora a un camión para transportarla. ....	93
Figura 60. Sistema de rebajamiento de nivel freático mediante el uso de equipos de bombeo y punteras de extracción de agua. ....	94
Figura 61. Construcción del sistema de vigas para las futuras losas de los entrepisos, a medida que avanza la excavación. ....	95
Figura 62. Empalme de las vigas para las futuras losas de entrepisos, con los pilotes previamente instalados. ....	95
Figura 63. Primer empalme a través de camisa metálica entre las vigas de las losas con los pilotes. ....	96
Figura 64. Empalme entre las vigas de las losas del sótano con los pilotes. ....	96
Figura 65. Excavación del piso -2 y fundición de sus respectivas vigas. Se observa el sistema de rebajamiento de agua del nivel freático. ....	97
Figura 66. Nivel -2 concluido. ....	97
Figura 67. Vista superior de los primeros 2 niveles inferiores excavados. ....	98
Figura 68. Vista del sistema estructural de las vigas de losas y los pilotes, dentro del muro Milán. Fundición de la losa de Cimentación del piso -8. ....	99
Figura 69. Encamisado de los pilotes para la ejecución de los pilares definitivos, donde se soportarán las losas de los entrepisos. ....	100
Figura 70. Encamisado y fundición de los pilotes que se convierten en los pilares definitivos. ....	101
Figura 71. Encamisado y fundición de los pilotes que se convierten en los pilares definitivos. ....	101

Figura 72. <i>Vista de los pilares, losas y rampas de acceso al sótano concluido.</i> .....	102
Figura 73. <i>Vista de la cimentación con el muro Milán</i> .....	102
Figura 74. <i>Planta baja del edificio con rampas de acceso que incluyen el sistema de no ingreso de aguas lluvias al sótano.</i> .....	103
Figura 75. <i>Vista de la rampa de acceso desde la calle. Se incluye el sistema de no ingreso de aguas lluvias al sótano.</i> .....	103
Figura 76. <i>Vista del edificio concluido. 16 pisos hacia arriba y 8 hacia abajo.</i> .....	104

## Índice de tablas

Tabla 1. <i>Volumen de probetas a usar</i> .....	70
Tabla 2. <i>Diseño de hormigón Tremie para 1 m<sup>3</sup></i> .....	70
Tabla 3. <i>Valores de resistencia a la compresión de la muestra A</i> .....	78
Tabla 4. <i>Valores de resistencia a la compresión de la muestra B</i> .....	79
Tabla 5. <i>Valores de resistencia a la compresión de la muestra C</i> . ....	79
Tabla 6. <i>Valores de resistencia a la compresión de la muestra D</i> . ....	80

## Resumen

La investigación se centra en soluciones de estacionamiento para evitar la búsqueda de espacios en superficie en ciudades con suelos blandos, como Guayaquil. También aborda el desafío de prevenir la entrada de agua en sótanos debido a la baja altitud de la ciudad. Se enfoca en el centro de Guayaquil, específicamente en la avenida Quito, un área con alto riesgo sísmico. Para brindar seguridad y resistencia sísmica, se propone el uso del muro Milán en lugar de solo pilotes.

Este muro de 40 centímetros de espesor amortiguaría el impacto inicial en caso de un sismo. La investigación también implica pruebas de rotura en probetas de Hormigón Tremie para evaluar su impermeabilidad y calidad estructural. Estas pruebas buscan asegurar que el hormigón cumpla con los estándares requeridos en términos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarios para cimentaciones profundas, como las necesarias en un muro Milán.

En conclusión, este estudio propone soluciones innovadoras para el estacionamiento en ciudades con suelos blandos, considerando los desafíos de inundaciones y actividad sísmica. Propone el uso de muros Milán para mejorar el comportamiento estructural frente a los terremotos y realiza algunas pruebas en el Hormigón Tremie para garantizar su idoneidad en cimentaciones profundas. Esta propuesta podría tener un impacto significativo en la planificación urbana y la construcción de infraestructuras en Guayaquil y áreas similares.

**Palabras clave:** cimentación compensada, Guayaquil, Muro Milán, diseño de hormigón Tremie, sistema de bombeo de agua, sótano.

## **ABSTRACT**

The aim of this research is to propose parking solutions that mitigate the need for vehicles to search for surface parking in cities, particularly on soft soils like those found in Guayaquil. Additionally, it addresses the challenge of preventing water infiltration into basements due to Guayaquil's proximity to sea level, a mere 4 meters above it. The study is focused on downtown Guayaquil, specifically Quito Avenue, an area susceptible to seismic activity. To enhance security and seismic resistance, the utilization of the Milan wall is suggested as an alternative to using only piles. This Milan wall, with its 40-centimeter thickness, would directly absorb the initial impact during seismic events.

The research also encompasses rupture testing of Tremie concrete samples to evaluate impermeability and structural integrity. These tests are conducted to ensure that the concrete meets required standards for strength, durability, and workability necessary for deep foundations, especially those pertinent to the Milan wall.

In conclusion, this study seeks innovative parking solutions for cities with soft soils, while considering challenges like flooding and seismic occurrences. It advocates for implementing Milan walls to bolster earthquake resistance and conducts thorough tests on Tremie concrete to affirm its appropriateness for deep foundations. The findings have the potential to significantly influence urban planning and infrastructure development in Guayaquil and similar regions.

**Keywords:** Compensated Foundation, Guayaquil, Milan Wall, Tremie Concrete Design, Water Pumping System, Basement.

## Capítulo I. Introducción

### 1.1 Antecedentes

La congestión del tránsito en la ciudad de Guayaquil ha ido en aumento, situación que podría seguir complicándose. Como se puede constatar en la investigación de Márquez (2004), el tráfico pesado produce estrés, lo que conlleva a la generación de trastornos en la vida urbana como el trastorno psicossomático, de sueño, de ansiedad. De hecho, esta nueva situación también influye en el estado de ánimo de las personas. En consecuencia, el rápido aumento del parque automotor ejerce gran presión sobre la capacidad de las vías públicas y, en esa medida, los impactos negativos de la congestión vehicular exigen esfuerzos por parte de la academia para contribuir con su control (Cabeza et al., 2018).

Figura 1. Descripción gráfica de la sobrecarga vehicular en la Avenida Machala.



*Nota.* Tomado de 'Uno se estresa mucho al circular por el centro'. Con la reactivación de actividades, en varias vías céntricas de Guayaquil se complica la movilidad vehicular, por Diario El Universo, 2022, <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/uno-se-estresa-mucho-al-circular-por-el-centro-con-la-reactivacion-de-actividades-en-varias-vias-centricas-de-guayaquil-se-complica-la-movilidad-vehicular-nota/>

En ese sentido, las dificultades que se presentan por la presencia de suelos blandos, como el alto nivel freático en la ciudad de Guayaquil, ha llevado a soluciones alternativas para instalar estacionamientos en edificios, tales como la utilización de los primeros 4 o 5 pisos del edificio, con el propósito de convertirlos en estacionamientos, tal como se observa en la Ilustración 2. Esto reduce las áreas vendibles del proyecto, o la adquisición de un solar cercano para construir otro edificio, solo para estacionamientos; sin embargo, dicha solución termina encareciendo el proyecto.

Las investigaciones sobre las complejidades del tránsito en Guayaquil forman parte de una visión estratégica que se relaciona con su desarrollo poblacional y, en esa medida, permitirá compatibilizar la movilización de la población, el crecimiento y la competitividad con la sostenibilidad de la urbe. Teniendo en cuenta esto, esta propuesta de investigación se elaboró para abordar la problemática de los estacionamientos urbanos y contribuir así con la mitigación del caos vial.

Figura 2. *Edificio San Francisco 300*



*Nota.* Tomado de *Home*, por Guayaquil 2020, 2021, <https://www.facebook.com/Guayaquil2020/posts/898862967634015/>

## **1.2 Situación problemática**

La congestión del tránsito en la ciudad de Guayaquil ha ido en aumento y puede seguir complicándose. Como consecuencia, el tráfico pesado produce estrés, lo anterior implicó la generación de trastornos en la vida urbana como el psicósomático, de sueño, de ansiedad. De hecho, esta nueva situación también influye en el estado de ánimo de las personas. Asimismo, el rápido aumento del parque automotor ejerce una gran presión sobre la capacidad de las vías públicas. Por lo tanto, los impactos negativos de la congestión vehicular exigen esfuerzos por parte de la academia con el objeto de contribuir con su control.

Las investigaciones sobre las complejidades del tránsito en Guayaquil forman parte de una visión estratégica que se relaciona con su desarrollo poblacional y, en esa medida, esto permitirá compatibilizar la movilización de la población, el crecimiento y la competitividad con la sostenibilidad de la urbe. En ese sentido, esta propuesta de investigación se centró en abordar la problemática de los estacionamientos urbanos y, finalmente, contribuir con la mitigación del caos visual.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivos generales***

Desarrollar una nueva propuesta de cimentación compensada para edificios sísmo resistentes a construirse sobre suelos blandos en Guayaquil, el cual incluya 8 niveles de sótanos múltiples con el fin de contribuir con la atención de la demanda de parqueos para los propietarios y visitantes del edificio, así como para otros usuarios del sector. Esto generaría una renta propia y ayudaría a revitalizar el tránsito complejo de la urbe.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

**Fase 1.-** Analizar de manera global tres investigaciones relacionadas con la construcción de sótanos múltiples para edificios, construidos sobre suelos blandos en ciudades con alto riesgo sísmico, y en las que se utilizó el muro Milán para: a) el proceso de excavación, b) eliminar cualquier afectación a inmuebles vecinos, c) control de ingreso de agua a la zona excavada, d) refuerzo sismo resistente de cimentación.

**Fase 2.-** Sistematizar esquemáticamente una propuesta innovativa sobre el proceso constructivo para la ejecución de la excavación y 8 sótanos de estacionamiento, mediante la técnica Top-Down o sistema ascendente-descendente. Esta propuesta esquemática deberá incluir el sistema de construcción de una pantalla continua perimetral, a un terreno de 30,0 m x 50,0 m.

**Fase 3.-** Definir con ensayos en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UCSG un diseño de hormigón específico para el muro Milán de la propuesta, de 300 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión simple, la cual permita un proceso de fundición lento a través de un tubo Tremie, específico para inyecciones ascendentes. Este diseño deberá producir un hormigón impermeable y sin alveolos vacíos o ratoneras.

**Fase 4.-** Establecer los criterios, a través de los cuales, el sistema de cimentación compensada con 8 sótanos para estacionamiento propuesto contribuirá con las siguientes funciones: a) generará rentas propias a la administración del edificio, b) contribuirá a disminuir los problemas complejos del tránsito en Guayaquil.

**Fase 5.-** Establecer los criterios, a través de los cuales, el sistema de cimentación compensada propuesto con 8 sótanos para estacionamiento a) resulta en un sistema sismo resistente eficiente, para edificios cimentados sobre los suelos blandos de Guayaquil, y

b) evitará inundaciones por lluvias en los estacionamientos subterráneos a partir de una solución que se incluirá en la propuesta.

Figura 3. *Edificio Valra. Av. 10 de agosto y Malecón, Guayaquil*



En esta imagen se puede apreciar cómo los estacionamientos construidos en los primeros pisos reducen el área vendible.

Figura 4. *Edificio The Point. Complejo Ciudad del Río, Guayaquil.*



En esta foto se ve el edificio de estacionamientos construido en solar vecino a la edificación, lo cual encarece el proyecto y no contribuye con el ornato de la urbe.

#### **1.4 Hipótesis**

La construcción de sótanos en edificios para parqueaderos ayudará a revitalizar el tránsito vehicular y generará una renta propia a los copropietarios del edificio. Además, las cimentaciones compensadas de gran profundidad, al ser innovadoras en el medio, son un método de cimentación en la que se tendrá una mejor respuesta sísmica en la estructura y con un costo más favorable para el constructor en comparación a cimentaciones con pilotes, que obliga a que los primeros pisos se destinen a parqueaderos.

#### **1.5 Justificación**

En vista de las necesidades de estacionamiento y los problemas de tráfico en la ciudad de Guayaquil, es fundamental explorar alternativas sustentables y locales que aborden estos problemas. En ese sentido, una solución específica que puede considerarse sería el diseño de edificios con sótanos de estacionamiento eficientes. Por lo tanto, en lugar de destinar espacios en la superficie para estacionamientos, se aprovecha el potencial del espacio subterráneo.

En esa medida, al diseñar edificios con sótanos de estacionamiento eficientes, se optimiza el uso del espacio urbano. Esto libera las áreas en superficie para otros usos y reduce la congestión vehicular. En efecto, dicha solución no solo aborda los problemas de ausencia de estacionamientos, sino que contribuye a aliviar la complejidad del transporte en la ciudad, de tal modo que mejora la movilidad de los ciudadanos y reduce las emisiones de gases contaminantes.

## 1.6 Metodología

En la primera fase, fue necesario realizar un levantamiento bibliográfico de los estudios ya realizados sobre el tema propuesto y se analizaron de manera global tres investigaciones relacionadas con la construcción de sótanos para edificios construidos sobre suelos blandos en ciudades con alto riesgo sísmico. Para ser más específicos, estos estudios analizaron el uso del muro Milán en el proceso de excavación para el sistema de sótanos subterráneos. De igual modo, se examinaron sus características para eliminar cualquier afectación a los inmuebles vecinos y para minimizar el ingreso de agua a la zona excavada. Adicionalmente, se estudió la participación de este elemento estructural como refuerzo sismo resistente de la cimentación para edificios.

En la segunda fase, se sistematizó de manera esquemática una propuesta innovadora del proceso constructivo para la ejecución de la excavación y la construcción de los sótanos de estacionamiento mediante la técnica Top-Down o sistema ascendente-descendente. Esta propuesta esquemática incluye el sistema de construcción de una pantalla continua perimetral al emplear el muro Milán en un terreno de 30,0 m x 50,0 m en una zona inundable de Guayaquil.

En la tercera fase, se definió, mediante ensayos en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UCSG, un diseño de hormigón específico para el muro Milán de la propuesta. Así, la resistencia a la compresión simple de este diseño es de  $400 \text{ kg/cm}^2$  y se consideró la presencia de suelos agresivos y las condiciones de durabilidad del hormigón. En ese sentido, el diseño permitió un proceso de fundición lento a través de un tubo Tremie específico para inyecciones ascendentes. Igualmente, se aseguró que el hormigón sea impermeable y que no genere alveolos vacíos o ratoneras. Por otro lado, se utilizaron materiales locales.

En las dos fases finales, se establecieron los criterios a través de los cuales el sistema de cimentación, compensada con sótanos para estacionamiento propuesto, contribuirá a la generación de rentas propias para los administradores del edificio, además de disminuir los complejos problemas del tránsito en la ciudad señalada. Asimismo, se determinó la solución que evitará inundaciones por lluvias en los estacionamientos subterráneos.

Al concluir el análisis, se fundamentaron las razones que caracterizan la propuesta como una cimentación sísmo resistente y eficiente para edificios construidos sobre los suelos blandos de Guayaquil.

## **Capítulo II. Marco teórico**

### **2.1 Marco geológico regional**

El marco geológico regional es esencial para comprender la historia, la estructura y la evolución del territorio que se estudia. En el caso de la región de Guayaquil, Ecuador, se han realizado múltiples investigaciones para diferenciar y entender la complejidad geológica de la región. Por tal motivo, este marco teórico se enfocará en tres aspectos específicos de la geología de la región: los antecedentes geológicos, la estratigrafía y las formaciones geológicas destacadas.

#### ***2.1.1 Antecedentes geológicos de la región de Guayaquil***

La región de Guayaquil, ubicada en la provincia de Guayas, Ecuador, cuenta con una rica historia geológica que se remonta a millones de años atrás. Se podría afirmar que el conocimiento de los antecedentes geológicos de esta zona es fundamental para comprender su formación y evolución a lo largo del tiempo. Así, a través de diversas investigaciones geológicas, se han obtenido importantes contribuciones para reconstruir la historia geológica de la región (Quadros y Villagómez, 2017).

Por consiguiente, el estudio de los antecedentes geológicos de Guayaquil revela la presencia de una serie de formaciones y eventos geológicos significativos. Uno de los aspectos más destacados es la presencia de la Formación Balao, compuesta principalmente de sedimentos marinos del Mioceno. Estos sedimentos han sido objeto de estudios para comprender la evolución paleo ambiental y la historia geológica de la región durante el tiempo en que se depositaron (Quadros y Villagómez, 2017).

Además de la Formación Balao, también se ha investigado la presencia de otra formación importante en la región: la Formación Cayo. Esta formación, que data del Cretácico Superior, presenta características geológicas únicas y ha sido objeto de varios estudios para comprender su origen y su importancia en el contexto geodinámico de la provincia costera del Ecuador (Foster y Alvarado, 2012).

Por otro lado, la historia geológica de Guayaquil también está marcada por la actividad volcánica en la región. Por ejemplo, el volcán Chimborazo, ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes ecuatorianos, ha tenido una influencia significativa en la configuración geológica de la zona. En esa medida, estudios geológicos han revelado que las erupciones volcánicas pasadas han dejado importantes depósitos de ceniza y flujos piroclásticos, los cuales han contribuido a la formación de suelos fértiles y a la configuración del paisaje regional (Hall y Mothes, 1995).

Otro factor geológico relevante en la región de Guayaquil es la presencia de la Plataforma Continental del Pacífico. Esta plataforma es una extensión de la corteza terrestre que se extiende bajo el océano y se encuentra frente a la costa de Guayaquil. En efecto, su estudio ha revelado la presencia de importantes depósitos sedimentarios, así como una gran diversidad de especies marinas que dependen de estos ambientes costeros para su supervivencia (Sánchez y Andrade, 2013).

A modo de conclusión, el estudio de los antecedentes geológicos en la región de Guayaquil proporcionó información valiosa sobre su formación y evolución. Por ende, la presencia de formaciones como la Formación Balao y la Formación Cayo, así como la influencia de la actividad volcánica y la presencia de la Plataforma Continental del Pacífico, han contribuido a la configuración geológica y al desarrollo de la región. Estas investigaciones geológicas han sido fundamentales para comprender la historia geológica de Guayaquil y su importancia en el contexto geodinámico de Ecuador.

### **2.1.2 *Estratigrafía***

La estratigrafía es una rama de la geología encargada del estudio de las rocas sedimentarias y su disposición en capas o estratos. En el caso de la zona de Guayaquil, se han realizado diversos estudios para comprender la estructura estratigráfica de esta región. Como resultado, la estratigrafía de la zona de Guayaquil ha revelado la presencia de diferentes formaciones geológicas que datan de diferentes periodos geológicos (Smith, 2010).

### **2.1.3 *Estratigrafía de la llanura aluvial***

Se han realizado escasos estudios sobre la estratigrafía de la llanura aluvial. Sin embargo, los únicos estudios conocidos son los realizados para el diseño de puentes sobre los ríos Daule y Babahoyo. En el diseño del puente Carlos Pérez Perasso sobre el río Daule, realizado por el Ministerio de Obras Públicas (2004), se realizaron 15 perforaciones geotécnicas que atravesaron toda la secuencia aluvial hasta llegar al substrato rocoso. En consecuencia, estas perforaciones revelaron que la profundidad del substrato rocoso varía entre 40 y 65 m y, asimismo, confirmaron la presencia de la Formación Cayo por debajo del aluvial (MOP, 2004).

A pesar de la falta de estudios geológicos mencionados, se puede resumir la columna aluvial de la siguiente manera (Benítez, 1995):

- En la parte inferior se encuentra una superficie ondulada de erosión que corta la Formación Cayo a una profundidad entre 40 y 65 m.
- La edad estimada de esta superficie podría estar entre 8000 y 18000 años antes de la última subida del nivel del mar.
- Sobre esta superficie se encuentra una secuencia aluvial formada por conglomerados en la base, seguidos de areniscas y arcillolitas. Esta secuencia

se encuentra entre 40 y 65 m de profundidad y rellena la superficie antigua de erosión.

- Por encima de la secuencia aluvial se encuentra una secuencia estuarino-deltaica compuesta principalmente por arcillolitas verdosas con características geotécnicas de CH y localmente OH, con algunos lentes escasos de arena fina limosa.
- Finalmente, en la parte más superficial se encuentra una capa casi continua de arenas aluviales actuales, con intercalaciones arcillosas, las cuales corresponden a los depósitos de la llanura aluvial actual en estado de senilidad.

#### ***2.1.4 Estratigrafía del llano estuarino-deltaico***

Se ha realizado tradicionalmente el estudio de los sedimentos en la zona deltaico-estuarina de Guayaquil a través de perforaciones geotécnicas destinadas al diseño de grandes obras en la ciudad. Por lo tanto, estas perforaciones revelan que el espesor de la cobertura sedimentaria es de aproximadamente 50-60 m antes de alcanzar los estratos de rocas antiguas (Benítez, 1990).

Por otro lado, en las perforaciones realizadas para el puente del Estero Salado, en la prolongación de la calle Gómez Rendón, se encontraron sedimentos de la formación Ancón, que consisten en arcillolitas tobáceas y areniscas tobáceas, con una antigüedad del Eoceno, a una profundidad de 30 m (Benítez, 1990).

En la base de la secuencia cuaternaria, dentro de la cobertura, se encontraron materiales coluviales rojizos conchert provenientes de la cordillera Chongón-Colonche, ubicada por debajo de los suelos típicamente estuarinos. En efecto, estos suelos presentan principalmente arcillas limosas de tonalidad gris verdosa, con capas de arena limosa y ocasionalmente bancos de arena con restos de conchas.



Al igual que en las perforaciones geotécnicas realizadas en la llanura aluvial, en esta zona no se han llevado a cabo estudios geológicos exhaustivos que comprendan la génesis de la cobertura sedimentaria estuarina. Por lo tanto, se puede afirmar que en esta columna estratigráfica se aprecia una influencia aluvial muy limitada, incluso en la parte inferior del perfil (Benítez, 1995).

De igual modo, en el extremo sureste del área de estudio, se espera que la cobertura estuarina sea menos espesa, dado que se acerca a un sector situado al sur donde emergen rocas de la Formación Piñón en pequeñas islas al sur de Puerto Marítimo (Benítez, 1995). De hecho, al sur de Las Esclusas, en Punta Piedra, se pueden observar afloramientos de rocas del basamento metamórfico. Así, esta situación indica que la presencia de la cobertura estuarina disminuye gradualmente hacia el sureste, conforme se acerca a áreas donde las rocas subyacentes se hacen más prominentes (Benítez, 1995).

#### ***2.1.5 Formaciones geológicas destacadas en la región***

La región de Guayaquil, en Ecuador, alberga formaciones geológicas destacadas que proporcionan valiosa información sobre su historia geológica, así como los procesos que han dado forma a su paisaje a lo largo del tiempo.

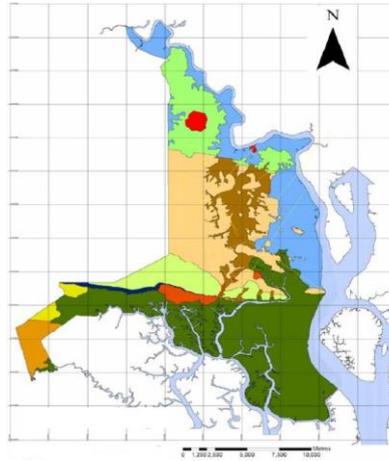
Asimismo, un estudio relevante se centra en la Formación Balao, dado que esta constituye una parte importante de la historia geológica de la región de Guayaquil. Balao se formó durante el periodo del Mioceno, aproximadamente entre 12 y 23 millones de años. Se conoce que esta formación está compuesta principalmente por rocas sedimentarias marinas, como areniscas, lutitas y calizas. Dichos sedimentos indican la presencia de ambientes costeros poco profundos en el pasado (Quadros y Villagómez, 2017).

En esa medida, el análisis de la Formación Balao ha revelado información valiosa sobre los cambios paleo ambientales a lo largo del tiempo y cómo ha evolucionado la región. Así, los estudios realizados por Quadros y Villagómez (2017) se han centrado en el análisis de esta formación y han proporcionado una comprensión más profunda de su composición y estructura.

Otra formación geológica importante en la región de Guayaquil consiste en la Formación Cayo, esta data del Cretácico Superior hace aproximadamente entre 100 y 66 millones de años. Los datos encontrados señalan que esta formación geológica presenta una secuencia de rocas que incluyen arcillas, areniscas, conglomerados y calizas (Foster y Alvarado, 2012). En efecto, tales sedimentos indican la presencia de ambientes fluviales, deltaicos y marinos poco profundos en el pasado. Por su parte, Foster y Alvarado (2012) realizaron un estudio detallado sobre la sedimentación y la tectónica en la Formación Cayo, lo cual aportó información importante sobre la evolución tectónica de la provincia costera ecuatoriana durante este periodo.

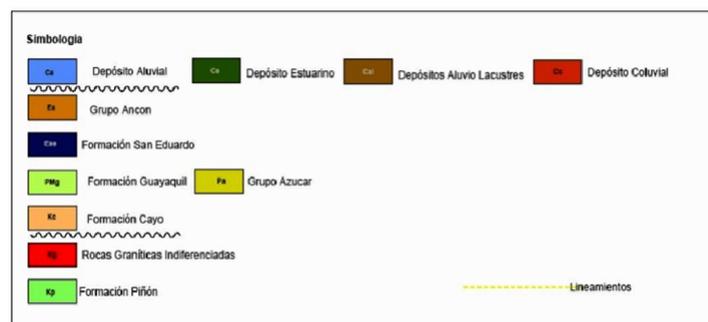
Además, se encuentra la influencia volcánica en la región de Guayaquil, evidenciada por depósitos sedimentarios relacionados con el volcán Chimborazo. Estos depósitos contienen evidencia de diversos procesos volcánicos, incluyendo flujos de lodo generados por la mezcla de ceniza volcánica y agua (Hall y Mothes, 1995). En esa medida, los trabajos de Hall y Mothes (1995) han analizado las erupciones volcánicas pasadas en la región y su impacto en la geología local. Estudios como estos han proporcionado información crucial sobre la actividad volcánica y sus efectos en la región de Guayaquil.

Figura 6. Mapa Geológico de Guayaquil. Proyecto “Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil”.



Nota. Tomado de *Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil*, por X. Vera et al., 2005, <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38271?mode=full>

Figura 7. Simbología del mapa Geológico de Guayaquil. Proyecto “Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil”



Nota. Tomado de *Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil*, por X. Vera et al., 2005, <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38271?mode=full>

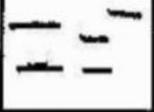
En resumen, el estudio de las formaciones geológicas destacadas en la región de Guayaquil ha proporcionado una comprensión más profunda de la historia geológica y la evolución de la región.

## **2.2 Suelos**

La variabilidad de los suelos en la zona de estudio corresponde a la combinación de diversos ambientes geológicos y a la presencia de distintos materiales originales presentes en el lugar, así como a la acción de procesos geodinámicos externos. Desde una perspectiva geológica, existen diferentes tipos de suelos como los residuales, los transportados, los coluviales, los coluviales-aluviales, los aluviales y los deltaicos (Goyes, 1987).

En las zonas de menor altitud, es decir, en colinas con altitudes inferiores a 100 m sobre el nivel del mar, donde se encuentra la Formación Cayo y Guayaquil, los estratos son poco potentes y los suelos residuales son los más predominantes. En consecuencia, a raíz del proceso erosivo, se originan residuos que se depositan en zonas como los pies de las colinas, cauces o valles incipientes, lo que genera los suelos transportados (Geoestudios S.A., 2015). Por tal motivo, hay que tener en cuenta que estas características son propias de la zona específica de estudio.

Figura 8. Perfil típico de suelos residuales de la Formación Cayo. Norte de Guayaquil.

Horizonte	Potencia		Descripción
A	20 - 100 cm		suelo arcilloso-orgánico negro
B	50 - 100 cm		suelo arcillo-limo-arenoso café rojizo
C	10 - 15 m		roca meteorizada color café amarillosa

Nota. Tomado de *Elaboración del documento de microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011*, por Geoestudios S.A., 2015, <https://n9.cl/o0i4o>

### 2.2.1 Suelos residuales

Se puede observar claramente un control litológico y de formación en la zona. Los suelos que se desarrollan en las rocas de la formación Guayaquil suelen tener un característico color rojo ladrillo y varían en espesor entre 1 y 3 m. En áreas como los cerros de Durán y la parte oeste de Guayaquil (en el sector de la Avenida del Bombero), se pueden encontrar perfiles de roca meteorizada con una potencia de hasta 30 m (Geoestudios S.A., 2015).

En cambio, los suelos provenientes de las areniscas y las brechas de la Formación Cayo suelen ser menos potentes que los de la Formación Guayaquil. En esa medida, en el horizonte A de estos suelos se puede observar una capa de suelo arcilloso-orgánico negro con un espesor que varía entre 20 cm y 1 m. Por su parte, el horizonte B suele ser

una capa de arcilla limo-arenosa de color café rojizo con un espesor de varios metros. Finalmente, el horizonte C puede alcanzar potencias de 10 a 15 m.

Por otro lado, los suelos desarrollados en las lutitas de la Formación Cayo también suelen ser de color rojo o amarillo-rojizo, y son de mayor espesor que los suelos de las areniscas. Un ejemplo prominente de esto se puede encontrar en el cerro Jordán y sus alrededores, donde se han desarrollado suelos de gran espesor y color rojo ladrillo (Deniaud et al., 1999).

Según un estudio realizado por Geoestudios S.A. (2015), estas características litológicas y de formación influyen significativamente en la composición y propiedades de los suelos en la zona de estudio. Así, en el documento de la microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil, de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011, se identificó que esta zona coincide con una zona de falla de dirección NE-SO. Por consiguiente, la presencia de esta falla ha favorecido el gran desarrollo de los suelos en la zona, además del control litológico mencionado.

Un estudio más reciente realizado en el sector del relleno sanitario de Las Iguanas, también conocido como "botadero" de basura, ha revelado un buen desarrollo de arcillas rojas y verdes en el horizonte B del miembro basal calcáreo Calentura. Como resultado, estas arcillas presentan un espesor métrico (Deniaud et al., 1999).

Por otro lado, los suelos desarrollados en rocas de la Formación Piñón, específicamente en diabasas, son arcillosos y de color café en el horizonte B. Sin embargo, cuando las rocas de la Formación Piñón son brechas volcánicas, como ocurre en el relleno sanitario de Las Iguanas, el horizonte B se vuelve muy profundo y presenta arcillas verdosas cloríticas y bentónicas (Vera et al., 2005).

En ese orden de ideas, estos datos son importantes para el estudio de la microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil, puesto que ayudan a comprender la composición y el comportamiento de los suelos en la zona.

### **2.2.2 Suelos transportados**

El proceso erosivo en la zona genera detritos que se depositan en los pies de las colinas, en los cauces o valles incipientes, de tal modo que se forma así los suelos transportados. Estos suelos se forman lejos de la roca madre y se caracterizan por tener una textura más gruesa (Geoestudios S.A., 2015).

Según un estudio realizado por Vera et al. (2005), en la zona de Mapasingue y Ave. Las Aguas, se ha identificado un afloramiento de este tipo de suelos transportados. Así, en esta zona, se han transportado suelos de material grueso, específicamente arenisca de grano grueso deleznable mezcladas con lutitas, para rellenar el sector. Por tal motivo, es importante tener en cuenta estas características de los suelos en la zona a la hora de realizar proyectos de construcción o infraestructura, debido a que estos suelos pueden tener un comportamiento diferente al de los suelos desarrollados directamente a partir de la roca madre (Vera et al., 2005).

### **2.2.3 Suelos coluviales**

Los suelos coluviales se encuentran al pie de las colinas más altas, las cuales han sido previamente clasificadas como dominio estructural. En las laderas meridionales de estas colinas, se observa que los suelos coluviales alcanzan varios metros de espesor (Geoestudios S.A., 2015).

Estos suelos coluviales están compuestos principalmente por arcillas de color rojo, que son duras al tacto en condiciones secas pero muy plásticas en condiciones

húmedas. Adicionalmente, se pueden encontrar bloques de lutitas silíceas (conocidas como "chert") en cantidades variables en estos suelos coluviales (Vera et al., 2005).

Por otro lado, en las laderas meridionales de estas colinas, es común encontrar varios conos de deyección, los cuales son acumulaciones de material transportado por la gravedad desde las laderas superiores. Por ende, estos conos de deyección son un aspecto característico de la geomorfología de la zona (Deniaud et al., 1999).

Hay que tener en cuenta que estas características de los suelos coluviales y los conos de deyección son importantes en la planificación y diseño de proyectos de construcción en la zona, puesto que estos suelos pueden presentar diferentes propiedades y comportamientos en comparación con los suelos ubicados en otras áreas.

#### **2.2.4 Suelos coluviales-aluviales**

En los cauces o al pie de las colinas del dominio erosivo, como en Colinas de los Ceibos o en el Campus de la ESPOL, se encuentran suelos de grano heterogéneo. Por lo tanto, estos suelos incluyen una variedad de tamaño de partículas, desde arcillas y limos hasta arenas y restos de conglomerado anguloso (Geoestudios S.A., 2015).

Asimismo, una característica importante de estos suelos es que alternan con capas arcillosas negras expansivas de origen lacustre, lo que significa que estos suelos tienen la capacidad de expandirse cuando se encuentran en condiciones húmedas. Estas capas arcillosas negras son producto de la sedimentación en antiguos cuerpos de agua, como lagos o lagunas (Deniaud et al., 1999).

De igual modo, la potencia de estos suelos puede variar y alcanzar varios metros de espesor. Por tal motivo, es importante considerar estas características al realizar proyectos de construcción o infraestructura en las áreas donde se encuentran estos suelos,

debido a que pueden tener propiedades y comportamientos particulares debido a su composición y origen (Deniaud et al., 1999).

### **2.2.5 Suelos aluviales**

Los suelos aluviales en la cuenca de drenaje del río Guayas han sido transportados y depositados en toda la zona plana y amplia que conforma la plataforma Daule y Babahoyo. De tal modo que esta área es de gran importancia en términos de agricultura y desarrollo urbano en la región (Goyes, 1987).

Los límites nororientales del área de estudio, que se pueden observar con mayor claridad en lugares como la ciudadela Saucés VI, ya muestran la influencia del macro dominio de la llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo. Por tal razón, los suelos aluviales en esta área son muy fértiles y contienen una gran cantidad de materia orgánica, lo que los hace aptos para la agricultura y la actividad agropecuaria (Geoestudios S.A., 2015).

En ese orden de ideas, es importante tener en cuenta estas características al momento de planificar y diseñar proyectos de construcción en la zona. En consecuencia, estos suelos pueden tener propiedades particulares debido a su origen y composición, lo que puede afectar a la estabilidad de las estructuras construidas sobre ellos. De igual modo, la explotación inadecuada de los recursos naturales en estos suelos puede tener un impacto negativo en el medioambiente y en la calidad de vida de las personas que habitan en la zona (Goyes, 1987).

### **2.2.6 Suelos deltaicos**

Los suelos deltaicos en la zona se formaron a partir del transporte y el depósito de sedimentos debido a el conjunto de canales que conectan la ría o estuario del Guayas con

el Golfo de Guayaquil. Así, estos suelos son parte importante del sistema costero y tienen características distintivas (Geoestudios S.A., 2015).

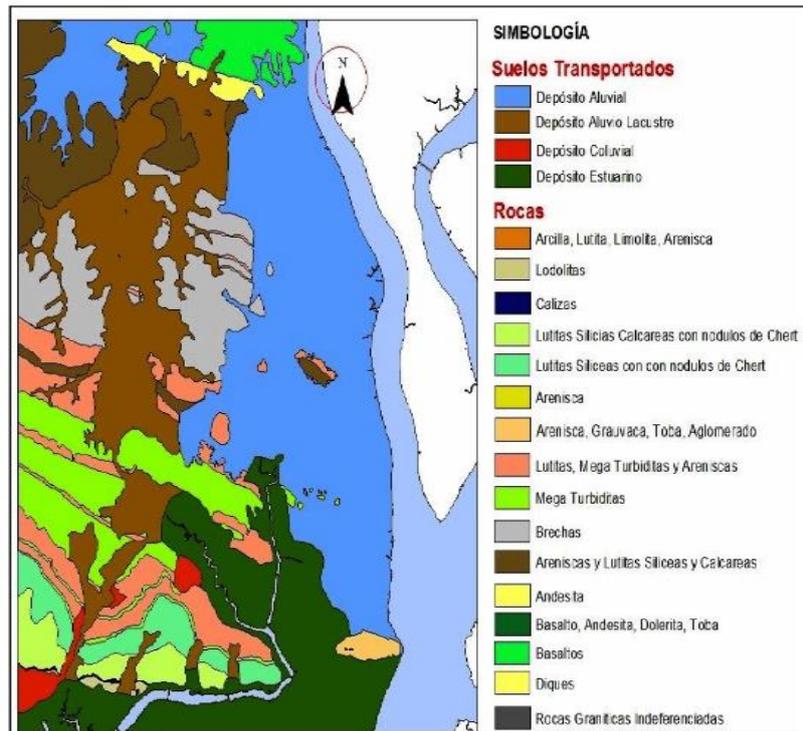
Los depósitos fluvio-lacustres son el resultado de la acumulación de sedimentos en áreas lacustres y son principalmente de origen fluvial. En efecto, estos suelos se forman como consecuencia de la acción de los ríos y las interacciones con los cuerpos de agua cercanos (Deniaud et al., 1999).

Por otro lado, los depósitos aluviales son también suelos transportados y depositados por la acción del agua; sin embargo, en este caso, se refiere específicamente a la acumulación de sedimentos en áreas aluviales, como lechos de ríos y llanuras de inundación (Deniaud et al., 1999).

Estos tipos de suelos son importantes tanto desde el punto de vista geológico, como para el desarrollo de diversas actividades humanas, como la agricultura y la urbanización. Por tal motivo, es esencial tener en cuenta las características y las propiedades de estos suelos al planificar proyectos de construcción y manejo de los recursos naturales en la zona (Goyes, 1987).

En la Figura 9 se muestra el mapa de suelos y rocas de Guayaquil con el fin de señalar los tipos de suelos presentes en la parte N-O que son depósitos fluvio-lacustre y depósitos aluviales.

Figura 9. Mapa de suelos y rocas de Guayaquil N-O



*Nota.* Tomado de Elaboración del documento de microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011, por Geoestudios S.A., 2015, <https://n9.cl/o0i4o>

## 2.3 Suelos cuaternarios en Guayaquil

Los suelos cuaternarios en Guayaquil son aquellos que se han depositado y desarrollado durante el periodo Cuaternario, que abarca desde hace aproximadamente 2.6 millones de años hasta la actualidad (Caran, 2003). En esa medida, estos suelos son de gran importancia geológica y agrícola, dado que se forman en diferentes ambientes y contienen una amplia variedad de materiales sedimentarios.

### 2.3.1 Características de los suelos cuaternarios

Los suelos cuaternarios en Guayaquil presentan diversas características que los hacen únicos. Algunas de estas características son las siguientes:

- **Edad:** los suelos cuaternarios son relativamente jóvenes, puesto que se han desarrollado durante los últimos millones de años. Así, su formación está relacionada con la erosión y el transporte de sedimentos de las montañas hacia las áreas bajas (Reyes, 2012).
- **Composición:** los suelos cuaternarios en Guayaquil están compuestos por distintas fracciones de sedimentos, como arena, limo, arcilla y materia orgánica. La proporción de estas fracciones puede variar dependiendo de la fuente de los sedimentos y los procesos geológicos involucrados (Bove, 2018).
- **Permeabilidad:** la permeabilidad de los suelos cuaternarios es variable y depende de la composición textural y la estructura interna de los sedimentos. Algunos suelos cuaternarios pueden tener una buena permeabilidad, permitiendo un buen drenaje, mientras que otros pueden ser más compactos y tener una permeabilidad limitada (Lahr, 1989).
- **Fertilidad:** por lo general, los suelos cuaternarios en Guayaquil son fértiles debido a la reciente deposición de sedimentos ricos en nutrientes. Sin embargo, la fertilidad puede variar según la composición química de los sedimentos, la presencia de materia orgánica y otros factores (Navarrete, 2018).
- **Erosión:** los suelos cuaternarios en Guayaquil son susceptibles a la erosión debido a su edad y a la presencia de materiales no consolidados. En efecto, la erosión hídrica y eólica puede afectar la capa superficial de los suelos y disminuir su calidad y productividad (Sifferman, 2005).

### ***2.3.2 Procesos de formación y deposición de los suelos cuaternarios en Guayaquil***

Los suelos cuaternarios en Guayaquil se forman debido a una combinación de diferentes procesos geológicos y geomorfológicos. Algunos de los procesos clave incluyen lo siguiente:

- **Acción fluvial:** los ríos desempeñan un papel importante en la formación de los suelos cuaternarios en Guayaquil. A medida que los ríos transportan sedimentos desde las montañas hacia las zonas bajas, estos sedimentos se depositan y contribuyen a la formación de nuevos suelos (Caran, 2003).
- **Deposición eólica:** la acción del viento también es un factor importante en la formación de los suelos cuaternarios. Por lo tanto, el viento puede transportar y depositar partículas finas de arena y limo, formando capas de sedimentos que se mezclan con los suelos existentes (Reyes, 2012).
- **Procesos glaciares:** durante los periodos glaciares, las áreas más altas de Guayaquil pueden haber estado cubiertas de hielo. El movimiento de los glaciares puede producir la erosión y el transporte de sedimentos que luego se depositan en las zonas circundantes; esto contribuye a la formación de los suelos cuaternarios (Lahr, 1989).
- **Procesos volcánicos:** La actividad volcánica en Guayaquil también puede influir en la formación de los suelos cuaternarios. Así, las erupciones volcánicas pueden emitir cenizas y otros materiales que se depositan en el suelo, lo que enriquece los sedimentos y contribuye a la fertilidad de los suelos cuaternarios (Lahr, 1989).

### **2.3.3 Importancia y uso de los suelos cuaternarios en Guayaquil**

Los suelos cuaternarios en Guayaquil son de gran importancia para diversos aspectos:

- **Agricultura:** debido a su fertilidad y capacidad de retención de nutrientes, los suelos cuaternarios en Guayaquil son utilizados para la agricultura. Estos suelos son adecuados para diferentes cultivos, como banano, cacao, arroz y caña de azúcar (Fuentes, 2015).
- **Construcción:** los suelos cuaternarios también tienen importancia en el sector de la construcción. Por lo tanto, la comprensibilidad de estos suelos, así como su capacidad para soportar cargas, es un factor clave a considerar al seleccionar sitios para la construcción de edificios y obras de infraestructura (Foster y Alvarado, 2012).
- **Recursos naturales:** los suelos cuaternarios en Guayaquil contienen importantes recursos naturales, como agua subterránea y minerales. En esa medida, el estudio de estos suelos es esencial para determinar la disponibilidad y la sostenibilidad de estos recursos (Mantilla, 2014).

### **2.3.4 Composición y propiedades de los suelos cuaternarios**

En primer lugar, es importante entender que el suelo en Guayaquil está influenciado por varios factores, como el clima, la topografía y la geología de la región. En términos generales, los suelos cuaternarios de Guayaquil son jóvenes y se formaron durante el periodo geológico conocido como Cuaternario (Sornoza y Ureña, 2019).

De acuerdo con el informe "Caracterización de los suelos del Parque Histórico de Guayaquil" de la Universidad de Guayaquil, los suelos de Guayaquil pueden clasificarse en tres tipos principales: hidromórfico, no hidromórfico y antropizados. Los suelos

hidromórficos se caracterizan por tener un alto contenido de agua y bajos niveles de oxígeno, mientras que los suelos no hidromórficos se caracterizan por tener un drenaje adecuado y un mayor contenido de oxígeno. Por su parte, los suelos antropizados han sido alterados significativamente por la actividad humana (Sornoza y Ureña, 2019).

En términos de composición, los suelos cuaternarios de Guayaquil contienen una mezcla de minerales, materia orgánica, agua y aire. En esa medida, la porosidad es una característica importante de los suelos cuaternarios, puesto que influye en la retención de agua y la disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas (Valverde et al., 2013).

Los suelos de Guayaquil también pueden contener niveles variables de nutrientes y metales pesados. Según un estudio publicado en la revista *Chemosphere*, se encontraron niveles significativos de plomo, cadmio y otros metales pesados en los suelos de Guayaquil, especialmente en áreas urbanas. Así, el estudio postuló que esto se debe en gran medida a la actividad industrial y al tráfico vehicular en la región (Tinoco et al., 2017).

Por otro lado, un estudio realizado en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador encontró que los suelos de Guayaquil tienen un pH ligeramente ácido a neutro y un alto contenido de fósforo. Asimismo, los autores del estudio también señalan que los suelos pueden ser pobres en nitrógeno y potasio, lo que implica que se necesitan prácticas adecuadas de fertilización para mantener la fertilidad del suelo (Valverde et al., 2013).

A modo de conclusión, los suelos cuaternarios de Guayaquil se caracterizan por ser jóvenes y estar influenciados por varios factores, incluyendo el clima, la topografía, la geología y la actividad humana en la región. En ese sentido, la composición y las propiedades específicas del suelo varían según el tipo de suelo y la ubicación geográfica. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los suelos de Guayaquil también pueden

contener niveles variables de nutrientes y metales pesados, lo que puede tener impactos en la salud humana y el medioambiente.

## **2.4 Cota sobre el nivel del mar de Guayaquil**

### ***2.4.1 Definición y relevancia de la cota sobre el nivel del mar***

La cota sobre el nivel del mar es una medida de la altura de un punto de la superficie terrestre con respecto al nivel medio del mar. En efecto, es una medida importante en Guayaquil, Ecuador, dado que se trata de una ciudad costera que está a apenas a unos metros sobre el nivel del mar (García et al., 2016).

La importancia de la cota sobre el nivel del mar radica en que afecta directamente a la capacidad de las ciudades costeras para resistir inundaciones y otros eventos climáticos extremos, como ciclones tropicales y tsunamis (Smith, 2010). En el caso de Guayaquil, cualquier aumento significativo en la cota del nivel del mar podría tener graves consecuencias para la ciudad y sus habitantes (Mantilla, 2014).

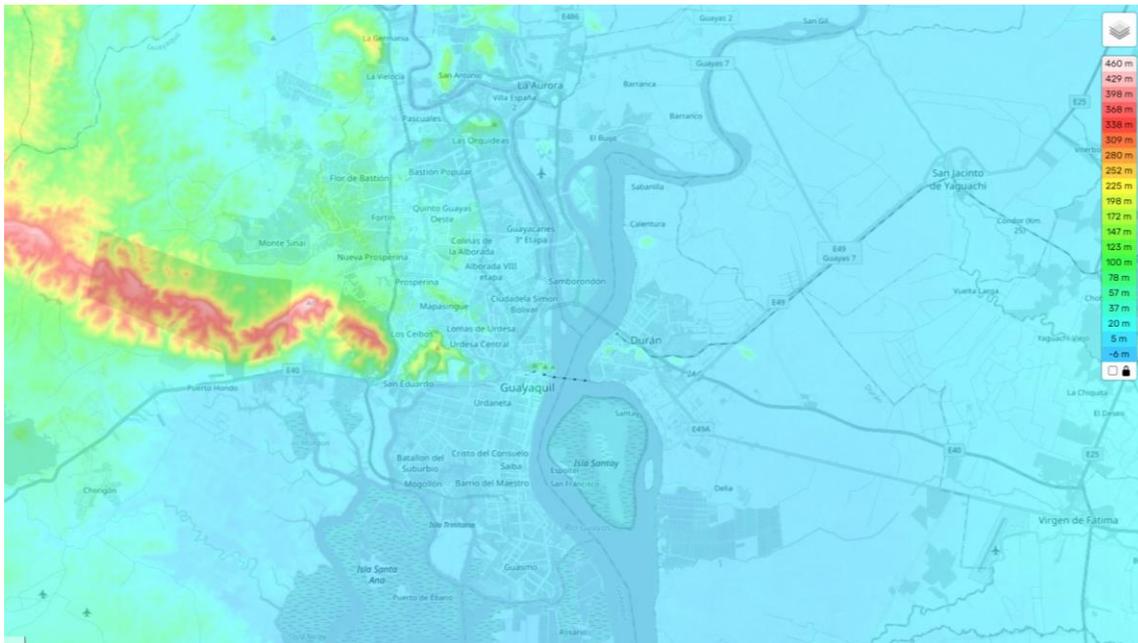
### ***2.4.2 Variaciones de la cota sobre el nivel del mar en Guayaquil***

Existen varias mediciones de la cota sobre el nivel del mar en Guayaquil que varían ligeramente dependiendo de la fuente que se consulte. Según la Dirección Nacional de Hidrografía y Navegación de Ecuador, la cota de referencia para Guayaquil es de 5,51 m s. n. m. (Reyes, 2012). Otras fuentes indican valores ligeramente diferentes, como el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, que establece que la cota en Guayaquil es de 4,6 m sobre el nivel del mar (Caran, 2003).

En cualquier caso, la cota sobre el nivel del mar en Guayaquil está sujeta a variaciones a lo largo del tiempo. Se afirma que estas variaciones son de gran importancia debido a su impacto potencial en la ciudad y sus habitantes. De hecho, según un estudio

publicado en la revista científica *Regional Environmental Change* en 2016, la cota sobre el nivel del mar en Guayaquil se ha elevado en promedio 2,77 mm por año desde 1993 (Carrillo y Salazar, 2018).

Figura 10. *Mapa de metros sobre el nivel del mar de Guayaquil*



*Nota.* Tomado de *Mapa topográfico Guayaquil* por Topographic, s.f., <https://es-es.topographic-map.com/map-2rstf/Guayaquil/?popup=-2.44015%2C-79.13835&center=-2.14997%2C-79.84144&zoom=14>

### **2.4.3 Factores que influyen en las variaciones de la cota sobre el nivel del mar**

Entre los posibles factores que influyen en las variaciones de la cota sobre el nivel del mar en Guayaquil, se encuentran los siguientes:

- Cambio climático: la principal causa de la elevación del nivel del mar a nivel mundial es el cambio climático, dado que el aumento de las temperaturas produce la liberación de gases de efecto invernadero que, a su vez, generan un aumento del nivel del mar. En el caso de Guayaquil, la elevación de la cota

del nivel de la mar observada en los últimos años podría deberse en gran medida al cambio climático (García et al., 2016).

- Subsistencia: se trata de un hundimiento de la superficie terrestre, que puede estar causado por factores naturales como los movimientos sísmicos o por la explotación excesiva de los acuíferos subterráneos. Por lo tanto, la subsistencia contribuye a la elevación del nivel del mar en ciudades costeras como Guayaquil (Navarrete, 2018).
- Erosión costera: la erosión costera es el proceso por el que la costa pierde material, ya sea por acción de las mareas o por otros factores como la construcción de infraestructuras en las zonas costeras. La erosión costera puede afectar a la elevación de la cota del nivel del mar en Guayaquil (Quadros y Villagómez, 2017).

## **2.5 Formación del Golfo y la Cuenca Baja**

### ***2.5.1 Procesos geológicos implicados en la Formación del Golfo de Guayaquil y la Cuenca Baja***

Cuando se trata del análisis de la sedimentación del golfo de Guayaquil, como se menciona en Cobos y Montengro (2010), puede ser realizada desde el Mioceno Temprano hasta el reciente, siendo separada en series sedimentarias correlacionables con la estratigrafía costa-adentro de la Cuenca Progreso e Isla Puná, exceptuando la serie sedimentaria más joven que no tiene equivalencia en tierra.

Figura 11. *Columna estratigráfica de la Cuenca Progreso, Isla Puná y Golfo de Guayaquil*

PERIODO	EPOCA	FORMACION	SIMBOLOGIA	AMBIENTE		
CUATERNARIO	HOLOCENO	TABLAZO		MARINO SOMERO		
	PLEISTOCENO	ZONA N23				
	NEOGENO	PLIOCENO	PUNA		MARINO DE PLATAFORMA	
		MIOCENO	PROGRESO		ESTUARINO	
			SUBIBAJA		MARINO SOMERO	
			VILLINGOTA DOS BOCAS		ESTUARINO	
		OLIGOCENO	ZAPOTAL		MARINO SOMERO	
					PLATAFORMA EXT. A TALUD CONT.	
		PALEOGENO	EOCENO	PUNTA ANCON SECA		FLUVIAL A MARINO SOMERO
	SOCORRO					
	CLAY PEBBLE BED				PLATAFORMA EXTERNA	
	PALEOCENO					
		G. AZLICAR		ABISAL		

*Nota.* Tomado de *Síntesis Geológica de la Isla Puná*, por W. Vilema y M. García, 1986, Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas y Petroleos.

Dentro de cada uno de estos periodos se destacan los procesos y comportamientos de los suelos que los vuelven diferentes entre sí y dado a esto la diferenciación entre cada proceso.

### 2.5.2 *Interacción entre las corrientes marinas, la tectónica de placas y la sedimentación en la región*

Gracias a la experiencia en perforaciones petroleras y a tres importantes estudios de los proyectos Daule Peripa, Catarama y Baba realizados por CEDEGE, se descubrió que en la Cuenca del Guayas existe un espeso relleno de casi 2 km de espesor. Este relleno

está compuesto por sedimentos generados por la erosión de las rocas originales y las erupciones volcánicas recientes que aún ocurren en la actualidad, provenientes de volcanes como Cuicocha, Pululahua, Guagua Pichincha, el Ninahuilca, Tungurahua y el inactivo Quilotoa. Esta secuencia de sedimentos incluye aluviones gruesos y finos, restos volcánicos, antiguos manglares y la meteorización propia del clima ecuatoriano.

Estos procesos han dado lugar a formaciones conocidas como Balzar y Pichilingue en el centro y extremo oeste de la cuenca, y San Mateo, ubicada en las estribaciones de la Cordillera Occidental. En ese sentido, los procesos morfológicos recientes han creado un sistema de drenaje detrítico-trenzado, el cual depende, en gran medida, de la debilidad o dureza de estos sedimentos, que, por lo general, se depositan de forma horizontal, formando una llanura aluvial inundable. Esta llanura está bordeada al norte por el gran abanico aluvial de Santo Domingo, al sur por el nivel base o control hidráulico del Golfo de Guayaquil, y al este por las estribaciones occidentales de Los Andes según (Nieto, 2011).

### ***2.5.3 Evolución geológica del Golfo de Guayaquil y la Cuenca Baja a lo largo del tiempo***

El registro data de varias épocas y cada una con diferente periodo, los cuales vienen con una determinada simbología, la cual representa un tipo de formación.

- Paleógeno

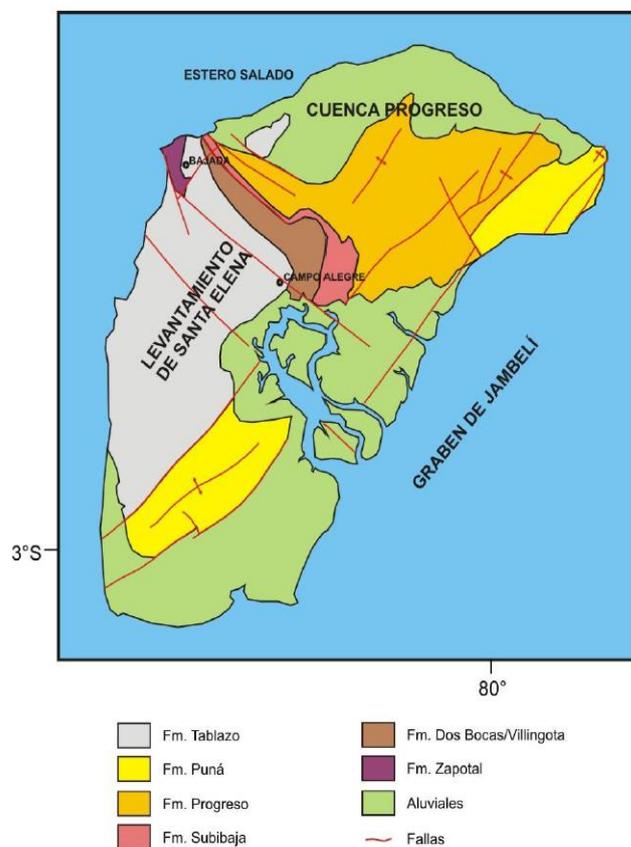
A través del tiempo el Paleógeno se fue convirtiendo en un tipo de rocas que se encuentran en las zonas subsidentes del Golfo de Guayaquil, a profundidades que no han sido alcanzadas mediante perforaciones.

- Formaciones Dos bocas/ Villingota

Según Vilema y Garca (1986), las rocas de las Formaciones Dos Bocas/Villingota forman una franja alargada con un ancho de 2 km en sentido paralelo a la falla de La Cruz desde Bajada hasta Campo Alegre, en la isla Puná. En efecto, son depósitos correspondientes a un máximo transgresivo con un ambiente nerítico externo a batial superior según (Ordonez et al., 2006).

Por otro lado, las arcillolitas semiduras gris oscuras que meteorizan a café chocolate y que presentan vetillas de yeso, son el material por el que está conformada la Formación Dos Bocas. A diferencia de la Formación Villingota, la cual está constituida mediante arcillolitas de color gris a gris verdosas muy ricas en microfauna, limolitas gris amarillentas, limolitas arenosas y esporádicos estratos de arenisca fina gris amarillenta a gris oscura según Vilema y García (1986).

Figura 12. Mapa geológico de la isla Puná



*Nota.* Tomado de *Síntesis Geológica de la Isla Puná*, por W. Vilema y M. García, 1986, Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas y Petróleos.

- Formación subibaja

En la parte continental aflora extensamente sobre la cuenca Progreso e isla Puná. Se diferencian dos miembros:

**Miembro Saiba:** constituido por limolitas macizas color gris-oscuro, duras, con cemento calcáreo y abundantes foraminíferos, que lateralmente pasan en forma gradual a facies arcillosas y arenosas. Son intercaladas con lutitas macizas, con foraminíferos y capas de calizas concrecionarias en la parte inferior según Vilema y García (1986). Es un miembro el cual es poseedor de una edad de Mioceno Temprano tardío y corresponde a un ambiente marino de plataforma central a interna (Ordóñez et al., 2006).

**Miembro Sacachum:** básicamente compuesto por limolitas color gris-verdoso, friables a moderadamente compactas, intercaladas con lutitas grises, usualmente estériles, dispuestas en capas delgadas o lentes, y areniscas finas, friables con mega fósiles y estratificación cruzada frecuente. Por lo tanto, los minerales accesorios comúnmente son pirita, glauconita, mica y carbón (Vilema y García, 1986). Así, es un miembro al cual su edad corresponde al Mioceno temprano tardío a Mioceno Medio temprano con un ambiente por depositación estuarino transicional a continental palustre o lacustre según (Ordóñez et al., 2006).

**Formación Progreso:** en la zona costa adentro se extiende ampliamente por toda la parte central de la Cuenca Progreso, llegando a un espesor estimado de 2700 m según (Berrones, 1994). Por interestratificaciones de areniscas blandas, arcillolitas verdes y lutitas oscuras, es que se conforma litológicamente, entre las cuales se depositan ocasionales capas de lumaquelas, arcillas bentónicas, tobas, areniscas guijarrosas,

areniscas calcáreas con ostras y micro conglomerados. La materia carbonosa está presente en trazas según (Vilema y García, 1986).

Se podría describir el Golfo en general como interestratificaciones de areniscas gris-claras a marrón claro-grisáceas, de tamaño variable con mayor frecuencia entre muy fino y mediano, de regular selección y pobre consolidación, con abundante matriz arcillosa hacia el S y más limpias hacia el N, con frecuencia cementadas por calcita. En efecto, son estratos que están intercalados con lutitas marrón a marrón-grisáceas, suaves, micáceas, generalmente calcáreas y carbonosas, con contenido variable de bioclastos. Por otro lado, los minerales accesorios que son más comunes son micas, glauconita, pirita masiva y carbón, tal como señalan Vilema y García (1986). Así, esta es una formación con edad Mioceno Medio a Mioceno Tardío y corresponde a un ambiente marino somero de plataforma interna en la base a estuarino-deltaico de agua salobre al tope según (Ordóñez et al., 2006).

- Formación Puná

#### **Puná Inferior (miembro placer)**

Al NE de la Isla Puná está compuesto de lutitas grises, amarillas y chocolates, con numerosas capas de limolitas y areniscas. Mientras en los pozos los intervalos son anunciados como una interestratificación de areniscas de tamaño variable entre muy fino y medio, con marcado predominio del tamaño fino, de colores claro entre blanquecino y grisáceo, con ocasionales tonalidades verdosas o gris-oscuros, compuestas mayormente de cuarzo hialino y en menor proporción cuarzo lechoso, con cantidades variables de matriz arcillosa, generalmente baja porosidad, cemento calcáreo y como minerales accesorios glauconita y carbón; con fragmentos líticos hacia la zona S. Las areniscas se intercalan con capas de arcillolitas limosas gris claras a gris oscuras o verdosas,

usualmente calcáreas, solubles, plásticas y carbonosas, con abundante contenido de bioclastos, micas y pirita; así como con variable contenido de microfósiles. De igual modo, hay otros componentes litológicos de la formación, estos son las limolitas gris-verdosas, deleznales, carbonosas, piritosas, micáceas, generalmente arenosas y bioclásticas; así como calizas crema o ligeramente verdosas o marrón claro, masivas, compactas, dolomíticas y con glauconita, las cuales, según Vilema y García (1986), son más comunes hacia el N.

### **Puná Superior (miembro lechuza)**

En términos litológicos, Puná Superior está conformado por interstratificaciones de areniscas limolitas y lutitas, y hacia el N se intercalan con calizas. Por lo general, son de grano fino a medio las areniscas, y en menor proporción grueso a micro conglomerático, usualmente de colores gris-blanquecinos a gris-oscuro o verdoso, calcáreas, friables, compuestas de cuarzo hialino y lechoso, de regular a mala selección, con forma angular y subredondeados, con fragmentos líticos, bioclastos y ocasionalmente glauconita, de matriz arcillosa o carbonosa y baja porosidad. Las calizas reportadas son únicamente de color crema-verdosa, masivas, dolomíticas y duras, con glauconita, bioclastos y microfósiles piritizados según Vilema y García (1986).

## **2.6 Geología de Guayaquil por la sismicidad**

### **2.6.1 Contexto tectónico y sismo tectónico de Guayaquil**

La actividad magmática del Plio-Cuaternario en el margen occidental del continente sudamericano es causada por la subducción de las placas de Nazca y Antártica. En efecto, esta subducción ha resultado en la formación de cuatro provincias volcánicas distintas, separadas por brechas volcánicas. En esa medida, estas provincias incluyen la Zona Volcánica del Norte en Colombia y Ecuador, la Zona Volcánica Central en Perú y

el norte de Chile, la Zona Volcánica Sur en el centro de Chile y la Zona Volcánica Austral en el sur de Chile. Sin embargo, hay una excepción en el sur de Chile, donde la brecha volcánica es causada por la subducción de una dorsal oceánica activa. Por lo tanto, las brechas volcánicas son generadas por la subducción de placas planas (Bourdon et al., 2003). Algunos otros la denominan “Mega Falla Guayaquil-Caracas” (Dumont et al., 2005).

Existe un margen de subducción donde la placa de Nazca colisiona y seduce a los segmentos continentales de la placa sudamericana y del bloque norandino, justamente en ese margen se encuentra localizado el Golfo de Guayaquil (Egüez y Robinson, 2000). Por otro lado, la velocidad estimada de la placa de Nazca es de 6 a 8 cm/año (Bourdon et al., 2003).

### ***2.6.2 Fuentes sísmicas principales y su relación con la actividad sísmica en la región***

Los esfuerzos principales de deformación tectónica son direccionados desde la zona de subducción limitante hacia el este con el Golfo de Guayaquil. En ese sentido, la complejidad estructural y la tectónica del Golfo de Guayaquil son caracterizadas por el desplazamiento oblicuo de tendencia N-NE del Bloque continental Norandino, el cual es considerado como el límite convergente de una colisión de deformación continental contra la placa Sudamericana que se desplaza a lo largo del Sistema Mayor Dextral. De tal modo que se direcciona hacia el NE a través de la isla Puná y posteriormente delineado al interior del continente (Dumont et al., 2005). Por consiguiente, el estudio de las fuentes sísmicas permite conocer los ambientes tectónicos dominantes, e identificar los fenómenos geológicos que podrían reactivarse durante y después del evento sísmico, como pueden ser: deslizamientos de masas rocosas, subsidencia y/o levantamiento tectónico por fallamiento superficial.

### ***2.6.3 Efectos de la sismicidad en la geología y la infraestructura de Guayaquil***

Por lo general, si se consideran los temblores de pequeña magnitud y aquellos que no son percibidos por las personas, pero que son detectados por los sismógrafos, el número de sismos registrados en el territorio ecuatoriano puede llegar a varios miles por año. Desde 1541 hasta la actualidad, se han producido en el país un total de 37 terremotos con una intensidad igual o superior a VIII en la escala de intensidad MSK. En esa medida, resulta imposible calcular las pérdidas materiales ocasionadas por estos terremotos; en cuanto a las pérdidas de vidas humanas, estas superan las 80,000 muertes (Rivadeneira et al., 2007).

## **2.7 Complejo estuarino sedimentario deltaico del Golfo de Guayaquil**

### ***2.7.1 Descripción del complejo del Golfo de Guayaquil y su importancia geológica***

Se menciona en Consulsua Geoestudios (2012) que el Golfo de Guayaquil es el accidente costero más destacado en la costa ecuatoriana; en este desembocan las aguas de la cuenca del río Guayas, que es la cuenca hidrográfica más extensa de la Zona Litoral del Ecuador y la más importante de la costa occidental de América. Por lo tanto, la importancia del Golfo de Guayaquil, desde una perspectiva geográfica, solo brinda una idea general de su verdadero valor. Por otro lado, sus características morfológicas e hidrológicas particulares han propiciado el florecimiento de diversas comunidades biológicas cuya explotación, ya sea actual o potencial, constituye un pilar fundamental de la economía de la región.

De igual modo, las aguas del Golfo y del río Guayas representan la vía de navegación más antigua y aún la más importante del país para buques, incluyendo aquellos de gran calado. Actualmente, estos buques llegan al Puerto Marítimo ubicado al

sur de Guayaquil a través del Estero Salado, ingresando por Posorja. Asimismo, la actividad humana en el Golfo de Guayaquil representa el principal motor del comercio de Ecuador con otros países del mundo. Por esta razón, es de suma importancia llevar a cabo estudios ambientales, incluyendo aspectos climáticos, hidrográficos, morfológicos y sedimentológicos. En consecuencia, estos estudios son necesarios para determinar con precisión las condiciones ecológicas de la zona, lo cual, según Consulsua Geoestudios (2012), permitirá establecer regulaciones que garanticen la explotación óptima de los recursos físicos y biológicos presentes en ella.

### ***2.7.2 Procesos de Sedimentación y formación del sedimento Deltaico en el área***

Es importante destacar lo que Goosens (1970) señaló: “desde el punto de vista sedimentológico, el Delta del Golfo de Guayaquil es una fuente de conocimientos inagotable” (p.). Por ende, el delta o llanura deltaica consiste en islas en formación rodeadas de manglares y rodeadas por numerosos esteros de agua salobre. En efecto, este delta se extiende desde la ciudad de Guayaquil hasta el Estero Puná Norte en dirección este-oeste. Por otro lado, la forma rectilínea del Estero Salado probablemente se debe a su alineación con una falla que lleva el mismo nombre y tiene la misma orientación. Así, se considera que esta falla es activa, dado que se han encontrado varios hipocentros de sismos alineados con ella (Consulsua Geoestudios, 2012).

### ***2.7.3 Características y composición del sedimento deltaico en el complejo del Golfo de Guayaquil***

Según Benítez (1975), un delta, *grosso modo*, es un sistema de sedimentación alimentado por un río que produce una progradación irregular de la línea de costa. En esa

medida, este presenta una gran variedad de facies sedimentarias con expresiones topográficas propias. Por ende, la llanura deltaica propiamente dicha del río Guayas forma un triángulo con su vértice superior en Guayaquil y su base conformada por una línea arqueada que une los extremos meridionales de las islas Escalante, Verde, Mondragón, Malabrigo y los ingleses. Los otros lados del triángulo lo constituyen el estero Salado al Oeste (su ramal principal) y una línea que une los cerros de Durán, Taura y Masvale al Este. Finalmente, su extensión total es de aproximadamente 900 km<sup>2</sup>, según Consulsua Geoestudios (2012).

## **2.8 Cimentaciones**

Las cimentaciones son elementos fundamentales en la ingeniería civil, puesto que proporcionan una base sólida y resistente para la construcción de estructuras. De acuerdo con Terzaghi y Peck (1967), las cimentaciones se definen como estructuras diseñadas para transmitir las cargas de la estructura al suelo de manera segura y eficiente. Asimismo, Bowles (1996) señaló que las cimentaciones son esenciales para garantizar la estabilidad y durabilidad de las construcciones, al distribuir y soportar las cargas de manera adecuada.

En su diseño y construcción, las cimentaciones se rigen por principios básicos que aseguran su funcionalidad. Por su parte, Coduto (2001) destacó la importancia de la capacidad de carga como uno de estos principios. Así, las cimentaciones deben ser capaces de soportar de forma segura las cargas impuestas por la estructura, transmitiéndolas al suelo sin generar asentamientos excesivos o fallas estructurales.

La estabilidad es otro aspecto esencial en el diseño de cimentaciones. En esa medida, Bowles (1996) planteó que las cimentaciones deben resistir las fuerzas laterales y los momentos generados por cargas externas, como los sismos o el viento, sin experimentar desplazamientos inaceptables.

Igualmente, hay que considerar la durabilidad de las cimentaciones. Según Budhu (2013), la durabilidad se refiere a la capacidad de las cimentaciones para resistir las condiciones ambientales y los cambios climáticos a lo largo de la vida útil de la estructura. En consecuencia, esto implica la selección de materiales adecuados y la correcta protección de la cimentación contra la corrosión u otras formas de deterioro.

En ciertos casos, es necesario aplicar el concepto de cimentaciones compensadas. Así, Terzaghi y Peck (1967) explicaron que este término se refiere a la distribución adecuada de cargas para compensar las heterogeneidades del suelo; de este modo, se evitan asentamientos diferenciales y se garantiza la estabilidad de la estructura. Esto es especialmente relevante cuando existen capas de suelo con propiedades mecánicas distintas, o cuando el terreno está sujeto a erosión o cambios en la humedad (Coduto, 2001).

### **2.8.1 Cimentaciones compensadas**

Las cimentaciones compensadas son un tipo de cimentación que, por lo general, se utiliza en la construcción de estructuras en suelos blandos o inestables. De acuerdo con Terzaghi (1943), una cimentación compensada es "un tipo de cimentación profunda que se utiliza para transferir cargas a una capa de suelo más resistente a través de una columna de suelo reforzado". Por tal motivo, la columna de suelo reforzado se crea mediante la excavación de un agujero en el suelo y luego se llena con un material de relleno, como grava o arena. Después, se inserta una columna de concreto o acero en el centro del agujero.

### 2.8.2 *Tipos de cimentaciones compensadas*

Las cimentaciones compensadas son una solución para suelos de baja capacidad de carga o condiciones geotécnicas desfavorables. En ese sentido, existen diferentes técnicas para compensar estas condiciones, entre las que se encuentran las cimentaciones con pilotes, las losas flotantes y otras técnicas de cimentación compensada.

- a) Cimentación con pilotes: los pilotes son elementos estructurales alargados que se utilizan para transmitir las cargas de la estructura al terreno. Según Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC (2021), los pilotes de fricción son una técnica de cimentación compensada que se utiliza para disminuir el asentamiento en edificios altos. Estos pilotes se hunden en el suelo hasta una profundidad donde se alcanza una capa de suelo resistente. Así, la fricción entre el pilote y el suelo circundante proporciona la capacidad de carga necesaria para soportar la estructura.
- b) Cimentación con losa flotante: las losas flotantes son una opción para compensar los suelos expansivos o de baja capacidad de carga. De acuerdo con el Organismo Oficial de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C. (2020), las losas de cimentación se utilizan preferentemente para reducir los asentamientos diferenciales en terrenos heterogéneos, o cuando exista una variabilidad en la capacidad portante del suelo. Por lo tanto, las losas flotantes se apoyan en una capa de suelo estable y se diseñan para flotar sobre el suelo expansivo. De esta manera, se evita que este material se agriete o se deforme debido a los cambios en el suelo.
- c) Otras técnicas de cimentación compensada: además de las cimentaciones con pilotes y las losas flotantes, existen otras técnicas de cimentación compensada. Según Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC (2021), las cimentaciones se clasifican en diferentes tipos, como zapatas, losas compensadas totalmente, superficiales, cajones compensados parcialmente y sobre compensados. Igualmente, se pueden

utilizar geo sintéticos o la combinación de diferentes sistemas de cimentación para compensar suelos de baja capacidad de carga o condiciones geotécnicas desfavorables.

## **2.9 Pilotes**

Los pilotes son elementos estructurales alargados que se utilizan para transmitir las cargas de la estructura al terreno. En esa medida, Urbina (2004) señaló que existen dos tipos de cimentación según vayan a soportar esfuerzos de compresión pura o que soporten, además, esfuerzos de tracción o flexión. Por ello, los pilotes son una solución constructiva que se utiliza en cimentaciones profundas cuando el suelo donde se apoya la estructura no es lo suficientemente resistente.

## **2.10 Hormigón**

### ***2.10.1 Definición y composición del hormigón***

El hormigón es un material compuesto que es utilizado en la construcción debido a sus propiedades mecánicas y durabilidad. En un estudio de García (2015), el hormigón se define como una mezcla de agregados finos, agregados gruesos, cemento y agua, que cuando se endurece adquiere resistencia y adhesión suficientes para soportar cargas y trabajar como un material estructural.

En relación con la composición, normalmente el hormigón está compuesto por un 70-80 % de agregados (arena y grava), un 10-15 % de cemento, un 8-10 % de agua y aditivos en menor medida. De tal modo que estos componentes interactúan entre sí para crear una matriz sólida y resistente, lo que proporciona cohesión y estabilidad al material (Smith, 2018).

### ***2.10.2 Propiedades y características del hormigón fresco y endurecido***

El hormigón presenta distintas propiedades y características tanto en estado fresco, como endurecido. En estado fresco es el hormigón recién mezclado y antes de su fraguado (endurecimiento) (Brown, 2014).

Adicionalmente, algunas propiedades del hormigón fresco incluyen la trabajabilidad, la cual se refiere a la facilidad con la que puede ser mezclado, colocado y compactado. Sin embargo, se debe mencionar que la trabajabilidad es influenciada por diversos factores, como la dosificación de los materiales y el contenido de agua en la mezcla (Johnson M. , 2012). Aunado a esto, el hormigón fresco puede exhibir propiedades reológicas, tales como la viscosidad y fluidez, que también afectan su capacidad para ser manejado y moldeado durante el proceso de construcción (López, 2016).

Por otro lado, el hormigón en estado endurecido adquiere propiedades específicas que lo hacen apto para resistir cargas estructurales y cumplir con los requisitos de durabilidad. Algunas de las principales características del hormigón endurecido incluyen la resistencia a la compresión simple, la resistencia a la tracción, la permeabilidad y la durabilidad (Brown, 2014). En consecuencia, estas características se logran gracias a los procesos de hidratación y gelificación del cemento, así como a la formación de enlaces químicos entre las partículas de agregado, cemento y agua (Smith, 2018).

### **2.11 Diseño de hormigón Tremie**

El hormigón Tremie es un tipo especial de hormigón que se utiliza comúnmente en trabajos de cimentación profunda, como la construcción de pilotes y muros pantalla. En ese sentido, el método Tremie consiste en colocar el hormigón a través de un tubo vertical, o Tremie, que se extiende hasta el fondo de la excavación, el cual emplea la

presión hidrostática del hormigón para desplazar cualquier agua o suelo en la excavación (Sánchez, 2010).

### ***2.11.1 Aplicaciones y ventajas del diseño de hormigón Tremie***

De acuerdo con Kimayong y Jacinto (2015), el diseño de hormigón Tremie se aplica en la construcción de pilotes, muros de retención y cimientos profundos, entre otros usos. Por lo tanto, este método ofrece ventajas como la posibilidad de verter grandes volúmenes de hormigón de manera eficiente y rápida, lo que evita la segregación y la pérdida de resistencia.

### ***2.11.2 Limitaciones y desafíos asociados con el diseño de hormigón Tremie***

Según Martínez (2013), el diseño de hormigón Tremie también tiene limitaciones y desafíos a considerar. En esa medida, un reto importante consiste en controlar la caída libre del hormigón durante la colocación, debido a que podría resultar en burbujas o segregación. Además, el uso de equipos especiales puede ser costoso y requerir espacio adicional en la obra.

### ***2.11.3 Factores que afectan el diseño de hormigón Tremie***

- Diseño de la mezcla: según la American Concrete Institute (ACI), el diseño de la mezcla debe tener en cuenta las propiedades del agregado, el cemento y el agua, así como cualquier aditivo que se pueda utilizar para mejorar la trabajabilidad o reducir la sangría (ACI Committee 336, 2001). Dicho esto, este tipo de hormigón garantiza la resistencia y la trabajabilidad necesarias para ser colocado a través de un tubo Tremie y llenar la excavación sin segregación. Como resultado, el uso de hormigón de alta resistencia en aplicaciones Tremie ha demostrado mejorar la calidad y la durabilidad de la cimentación,

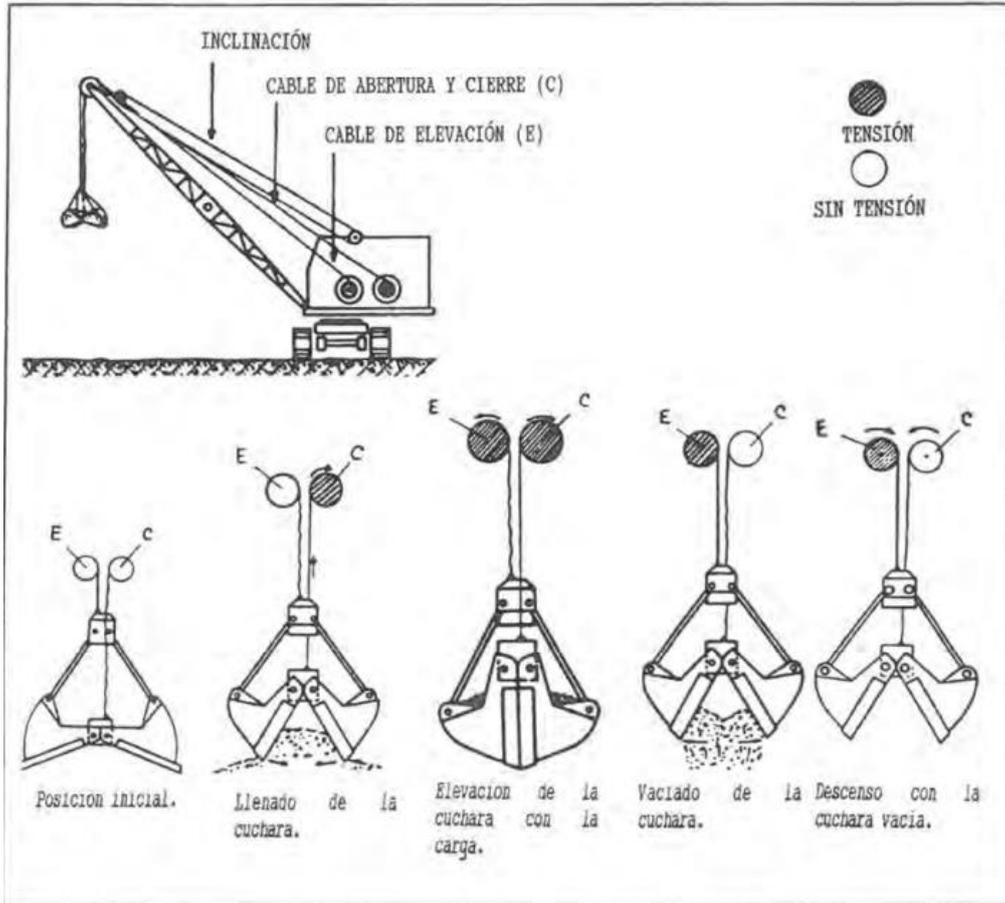
especialmente en ambientes corrosivos o donde se esperan cargas elevadas (Zhang, 2018).

- Técnica de colocación: la técnica de colocación del hormigón Tremie también es fundamental para garantizar que el hormigón se coloque uniformemente y sin segregación. Así, el tubo Tremie debe tener el tamaño y la posición adecuados para garantizar que el hormigón fluya libremente hasta el fondo de la excavación; de igual modo, la tasa de colocación debe controlarse cuidadosamente para evitar bloqueos o sobre presurización del tubo (European Federation of Foundation Contractors and Deep Foundations Institute., 2016). En efecto, el uso de un tapón Tremie, o “pig”, ayudaría a separar el primer hormigón colocado del agua para evitar la pérdida del concreto; en consecuencia, esto también aportaría a que se coloque uniformemente y sin segregación (Cement Concrete & Aggregates, 2020).
- Control de calidad: el control de calidad es esencial para garantizar que el hormigón Tremie cumpla con las especificaciones necesarias de resistencia, durabilidad y trabajabilidad. En ese sentido, las medidas de control de calidad pueden incluir la prueba del hormigón fresco y endurecido, así como el monitoreo de la técnica de colocación y el equipo (ASTM International, 2018). Los métodos de prueba no destructivos, como la prueba ultrasónica o radiográfica, también se pueden utilizar para evaluar la calidad e integridad de la cimentación después de la colocación (ACI Committee 228, 2018).

Como explica Tiktin (1997), las cucharas bivalvas tienen una gran utilidad para excavar y recoger materiales de manera vertical, las cuales son muy útiles para espacios reducidos como pozos, zanjas de cimentación, pantallas continuas o profundidades que otro tipo de excavadoras no pueden alcanzar. Esto se debe a que pueden ser accionadas

mediante cables de manera hidráulica, con una cuchara formada por dos mandíbulas insertándose de manera vertical y así lograr grandes profundidades.

Figura 13. Cuchara bivalva



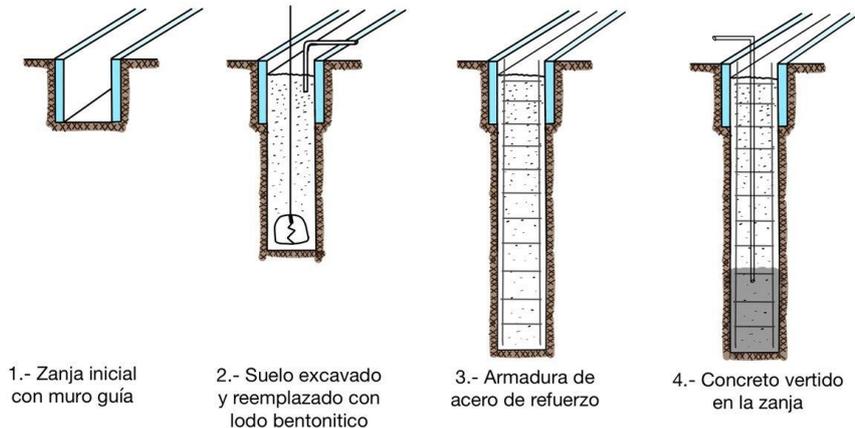
*Nota.* Tomado de Procedimientos generales de construcción: movimiento de tierras: utilización de la maquinaria, producciones y casos prácticos, compactación de materiales, utilización de compactadores, por J. Tiktin, 1997, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

## 2.12 Muro Milán o pantalla

Muro pantalla o muro Berlín se refiere a muros de contención que permite excavaciones profundas. Como se indica en Schmitt y Heene (2002), se pueden

dimensionar su armadura y grosor (no menores a 50 cm); de manera que permita asegurar excavaciones prácticamente de cualquier profundidad.

Figura 14. *Proceso de hormigonado bajo arcilla bentonita*



Por otro lado, Páez y Martínez (2019) observaron que en este fenómeno el suelo se comporta como un material elástico confinado, donde la reducción de presión vertical total sobre el plano de fondo a retirar la tierra excavada ocasiona en el suelo cambios de volumen.

### 2.13 Ecuación de la Onda

El comportamiento dinámico de los pilotes en la ingeniería civil es un tema crucial y la ecuación de la onda desempeña un papel fundamental en ello. En efecto, esta ecuación permite comprender cómo reaccionan los pilotes ante cargas dinámicas, como las generadas por sismos o vientos intensos. Al utilizarla, se puede calcular la velocidad de propagación de las ondas en el pilote y, asimismo, analizar su respuesta dinámica ante cargas dinámicas específicas (Gazetas, 1998).

Por otro lado, se puede resolver de manera analítica la ecuación de la onda para pilotes de cimentación con secciones transversales simples y bajo ciertas condiciones de

carga (Roesset, 1978). Sin embargo, es necesario utilizar métodos numéricos, en la mayoría de los casos, para resolver dicha ecuación (Olson, 1981).

De acuerdo con Carrillo y Salazar (2018), es un método constructivo que consiste en elaborar las paredes perimetrales y las columnas de soporte de la estructura; luego se procede a excavar hasta llegar a la primera cota inferior del piso -1, vaciando de esta manera las vigas y losas sobre el terreno; se repite el procedimiento a medida que se va excavando.

## 2.14 Soportales

Como se menciona en el muy ilustre Consejo Cantonal de Guayaquil (2020), Los soportales son un área situada en la planta baja, siendo propiedad privada y de uso público. Es un espacio concebido para el tránsito de peatones, razón por la cual dichos espacios no pueden ser cerrados ni obstaculizados y deben contar con material antideslizante. Se permiten pilares o columnas para su elaboración.

Figura 15. *Soportales en la ciudad de Guayaquil*



*Nota.* Tomado de ‘Uno se estresa mucho al circular por el centro’. Con la reactivación de actividades, en varias vías céntricas de Guayaquil se complica la movilidad vehicular, por Diario El Universo, 2022, <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/uno-se-estresa-mucho-al-circular-por-el-centro-con-la-reactivacion-de-actividades-en-varias-vias-centricas-de-guayaquil-se-complica-la-movilidad-vehicular-nota/>

## Capítulo III. **Fundamentación teórica**

### **3.1 Pilotes de tracción**

Los pilotes de tracción, también conocidos como pilotes de elevación, son un tipo de sistema de cimentación utilizado para resistir las fuerzas de elevación en las estructuras. Estos pilotes son particularmente útiles en áreas con suelos expansivos o donde las estructuras están sujetas a cargas de viento o actividad sísmica (Shahin et al., 2019).

El diseño de los pilotes de tracción implica la consideración de varios factores, incluyendo las propiedades del suelo, el espaciamiento de los pilotes, la magnitud y la dirección de las fuerzas de elevación (Ghosh y Das, 2010). Por ello, los pilotes de tracción se diseñan típicamente para resistir las fuerzas de elevación mediante el uso de un tendón de acero u otro material de alta resistencia que se ancla a una losa de pilote de concreto o acero.

Para la construcción de este tipo de pilotes se trabaja con la perforación de un eje en el suelo, la colocación de una jaula de refuerzo y el vertido de concreto. Acto seguido, se coloca el tendón de acero en el concreto y se ancla a la losa del pilote (Goh y Tan, 2016).

Para este tipo de pilotes se realizan pruebas de carga, las cuales son esenciales en el diseño y construcción de dichos pilotes, dado que estas ayudan a verificar la capacidad y el comportamiento de los pilotes bajo diferentes condiciones de carga. En esa medida, estas pruebas se pueden realizar mediante varios métodos, de los cuales se pueden mencionar las pruebas de carga dinámica, las pruebas de carga estática y las pruebas de integridad (Kandil y El Naggar, 2011).

Por otro lado, se ha demostrado que los pilotes de tracción funcionan bien en una variedad de aplicaciones, incluyendo edificios altos, torres de transmisión y puentes. Sin embargo, el rendimiento de los pilotes de tracción puede verse afectado por factores como las condiciones del suelo, la corrosión del tendón de acero y la deformación a largo plazo del pilote (Liu y Wang, 2018). Por lo tanto, es importante considerar cuidadosamente estos factores al diseñar y construir los pilotes de tracción.

Asimismo, cuando se trata de sistemas de cimentación, los pilotes de tracción ofrecen ciertas ventajas importantes. Estos pilotes son capaces de resistir las fuerzas de elevación y son especialmente adecuados para terrenos con suelos expansivos. No obstante, hay que considerar que su instalación puede requerir más tiempo y tener un costo mayor en comparación con otros tipos de cimentación. Además, es crucial tener en cuenta que, a lo largo del tiempo, su rendimiento puede verse afectado por factores como la corrosión y la deformación del suelo (Goh y Tan, 2017). Por lo tanto, es fundamental evaluar cuidadosamente las ventajas y las desventajas antes de tomar la decisión de utilizar pilotes de tracción en un proyecto de construcción.

### **3.2 Pilotes pre barrenados**

Sobre esto, Yopez (2016) expresó que, en estratos de arcilla compacta o roca blanda, una opción viable es la perforación vertical previa mediante el uso de una barrena helicoidal. Este paso se vuelve fundamental en caso de estar en una situación con estratos de este tipo, dado que facilita el hincado al pilote.

Figura 16. *Pilote pre barrenado*

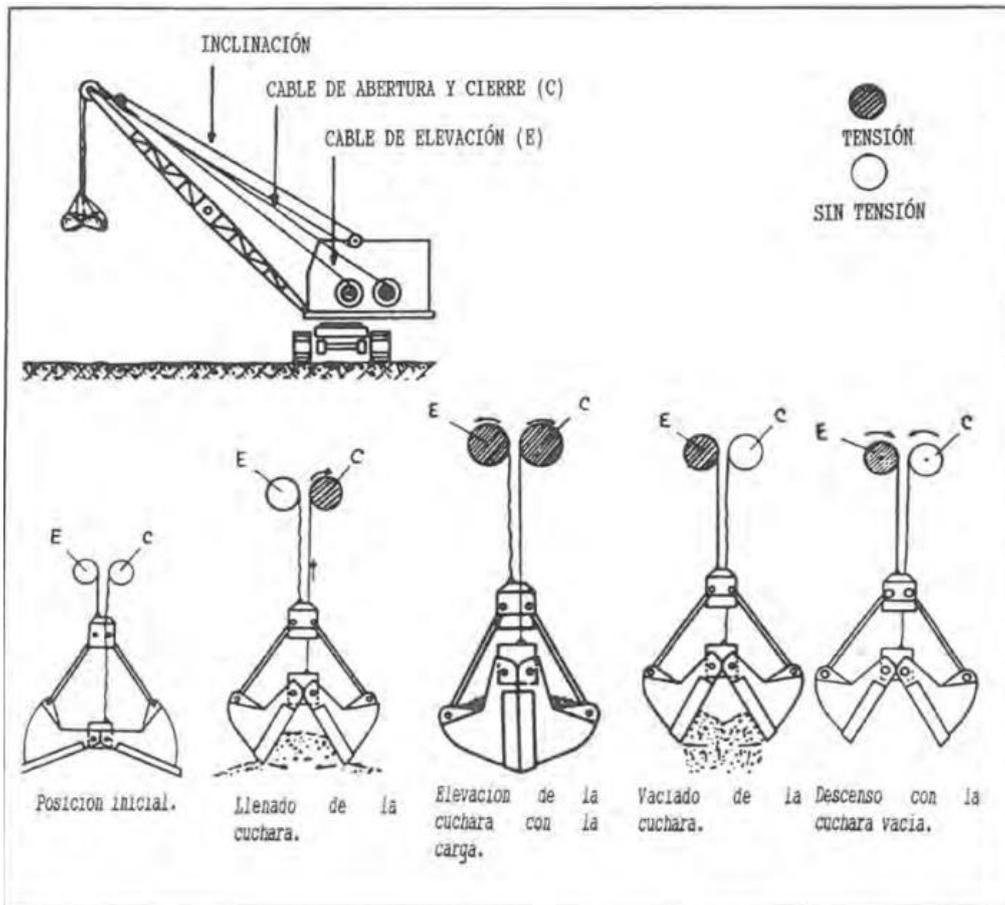


*Nota.* Tomado de *Ingeniería Geotécnica*, por Salomon, 2018, <https://www.salomon.ec/pilotes/>

### **3.3 Clam Shell**

Como explica Tiktin (1997), las cucharas bivalvas tienen una gran utilidad para excavar y recoger materiales de manera vertical. Estas son muy útiles para espacios reducidos como pozos, zanjas de cimentación, pantallas continuas o profundidades que otro tipo de excavadoras no pueden alcanzar. Lo anterior corresponde a que pueden ser accionadas mediante cables de manera hidráulica, con una cuchara formada por dos mandíbulas insertándose de manera vertical, tal modo se logran grandes profundidades.

Figura 17. Cuchara bivalva. Fuente



Nota. Tomado de *Procedimientos generales de construcción: movimiento de tierras: utilización de la maquinaria, producciones y casos prácticos, compactación de materiales, utilización de compactadores*, por J. Tiktin, 1997, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

### 3.4 Cimentaciones compensadas

Por su parte, Hanna et al. (2018) señalaron que las cimentaciones de tipo compensadas son una solución efectiva y económica para construir y estructurar en suelos blandos e inestables. Este tipo de cimentación ha sido utilizada en todo tipo de proyectos de construcción, como edificios, puentes, perforaciones en alta mar, etc. De igual modo,

estas cimentaciones suelen ser más rápidas y económicas de instalar a diferencia de otras formas de cimentación profunda, como las pilas y los pilotes.

Según Rahimi y Soroush (2013), la cimentación compensada es una solución eficaz para la construcción sobre suelos complicados, debido a que el uso de vigas o pilotes reduce el riesgo de asentamiento diferenciales y mejora la estabilidad general del edificio al distribuir las cargas de manera más uniforme.

Así, las investigaciones realizadas por Das y Sobhan (2007) destacaron la importancia de considerar las características del suelo al diseñar una cimentación compensada. En esa medida, el análisis geotécnico adecuado y la selección de los elementos de cimentación adecuados pueden garantizar la distribución de cargas ideal, la seguridad y la durabilidad de la estructura.

### **3.5 Losas de cimentación**

Asimismo, Terzaghi y Peck (1967) plantearon que las cimentaciones compensadas tienen como objetivo principal equilibrar las diferencias en las propiedades mecánicas del suelo; esto evita así los asentamientos diferenciales y preserva la integridad de la estructura. En este sentido, el diseño y la construcción de losas de cimentación desempeñan un papel fundamental al conseguir una distribución adecuada de las cargas y manteniendo la estabilidad de la estructura.

Uno de los principales beneficios del uso de losas de cimentación consiste en su capacidad para ofrecer una mayor superficie de apoyo. En esa medida, Bowles (1996) mencionó que las losas tienen la ventaja de distribuir de manera más uniforme las cargas, lo que reduce la presión sobre el suelo y minimiza la posibilidad de asentamientos no deseado. Igualmente, al proporcionar una base más extendida, las losas de cimentación

pueden redistribuir las cargas de manera más eficiente y resistir los momentos laterales generados por cargas externas, como los sismos o el viento.

Por otro lado, Coduto (2001) destacó que el diseño de losas de cimentación debe tener en cuenta aspectos como la geometría de la losa, la resistencia del concreto y el refuerzo a utilizar. Por ello, resulta crucial garantizar que la losa sea lo suficientemente rígida para distribuir las cargas a través de su superficie de manera uniforme y evitar la concentración de tensiones. Asimismo, las losas de cimentación deben ser diseñadas para soportar las cargas máximas previstas en el proyecto y cumplir con los requisitos de durabilidad, ya sea mediante la selección adecuada de materiales o mediante la aplicación de medidas de protección contra la corrosión.

### ***3.5.1 Ventajas del uso de losas de cimentación en cimentaciones compensadas***

- Distribución uniforme de las cargas: las losas de cimentación en cimentaciones compensadas permiten distribuir de manera uniforme las cargas de la estructura sobre el suelo, evitando asentamientos desiguales y minimizando posibles daños en la estructura (Bowles, 1966).
- Mejora de la capacidad de carga: al utilizar materiales de alta resistencia en la cimentación compensada, se puede aumentar la capacidad de carga del suelo subyacente. Esto permite soportar cargas más pesadas y proporciona una base más estable para la construcción (Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC, 2021).
- Solución para suelos blandos: las losas de cimentación en cimentaciones compensadas son especialmente útiles en terrenos con suelos blandos o de baja capacidad de carga. El relleno de este tipo de cimentación ayuda a distribuir

de manera más eficiente las cargas y reduce la posibilidad de hundimientos o deformaciones en la estructura (Jardine et al., 2014).

- Ahorro de costos: en comparación con otros métodos de cimentación más complejos, como pilotes o pilas, las losas de cimentación en cimentaciones compensadas pueden ser más económicas. Por lo tanto, no se requiere la instalación de elementos adicionales, lo que puede reducir los costos de construcción (Jardine et al., 2014).
- Mayor durabilidad: al distribuir las cargas de manera uniforme y mejorar la capacidad de carga del suelo, las losas de cimentación en cimentaciones compensadas contribuyen a una mayor durabilidad de la construcción. Esto puede reducir los problemas de asentamiento a largo plazo y prolongar la vida útil de la estructura (Organo Oficial de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C., 2020).

A modo de conclusión, el uso de losas de cimentación en cimentaciones compensadas ofrece numerosas ventajas para garantizar la estabilidad y la distribución adecuada de las cargas en la estructura.

De igual manera, los pilotes de tracción, también conocidos como pilotes de elevación, son un tipo de sistema de cimentación utilizado para resistir las fuerzas de elevación en las estructuras. En efecto, estos pilotes son particularmente útiles en áreas con suelos expansivos, o donde las estructuras están sujetas a cargas de viento o actividad sísmica (Shahin et al., 2019).

## **3.6 Diseño de hormigón Tremie**

### ***3.6.1 Principios fundamentales de la técnica Tremie***

El diseño de hormigón Tremie es una técnica de construcción utilizada para estructuras subterráneas, como cimientos profundos, muros de contención y pilotes. Por ello, esta técnica se basa en verter el hormigón a través de un conducto vertical denominado Tremie, con el objetivo de evitar la segregación de los componentes. Según Whittle (2010), en *Construction Management: Principles and Practice*, los principios fundamentales de esta técnica consiste en la colocación continua del hormigón, su compactación y la segregación cero de los componentes.

### ***3.6.2 Características deseables del hormigón para el diseño de hormigón Tremie***

El hormigón utilizado en el diseño Tremie debe cumplir con ciertos requisitos. De acuerdo con ACI Committee 304, en su informe *Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete* (2012), las características deseables del hormigón para este diseño son su capacidad de fluir a través del tubo Tremie y su capacidad de mantener la homogeneidad de la mezcla durante el proceso de vertido. Por ello, el hormigón debe tener la fluidez necesaria para permitir una colocación continua en el conducto; al mismo tiempo, debe tener la cohesión y la viscosidad suficientes para evitar la segregación.

### ***3.6.3 Proporciones de los materiales y diseño adecuado de la mezcla***

El diseño adecuado de la mezcla es esencial para el éxito del diseño de Hormigón Tremie. Según ACI Committee 211, en su informe "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete" (2011), el conocimiento y la experiencia en las propiedades de los materiales son fundamentales para lograr una

mezcla adecuada. En consecuencia, se debe seleccionar cuidadosamente el tipo y la cantidad de materiales a utilizar (cemento, agregados, agua); asimismo, diseñar una mezcla adecuada para las condiciones particulares de la obra.

#### **3.6.4 *Aditivos y adiciones utilizados para mejorar las propiedades del hormigón***

Además de las proporciones de los materiales y el diseño adecuado de la mezcla, también se pueden emplear aditivos y adiciones para mejorar las propiedades del hormigón. En esa medida, Neville (2011), en su *Properties of Concrete*, planteó que los aditivos y las adiciones tienen la capacidad de mejorar aspectos como la trabajabilidad, la resistencia, la durabilidad, entre otros. Esto es crucial en el diseño de hormigón Tremie. Algunos ejemplos de aditivos y adiciones son los plastificantes para mejorar la trabajabilidad, la ceniza volante para aumentar la durabilidad y los agregados ligeros para reducir el peso.

### **3.7 *Proceso de colocación del hormigón utilizando el diseño de hormigón Tremie***

#### **3.7.1 *Secuencia de colado del hormigón mediante la técnica Tremie***

De acuerdo con investigaciones previas, se han establecido pautas claras para la secuencia de colado del hormigón al emplear la técnica Tremie (Kimayong y Jacinto, 2015). En ese sentido, el proceso comienza con la inserción del extremo inferior del tubo de colado, conocido como "Tremie", en la masa de hormigón fresco. A medida que se llena el Tremie, se eleva gradualmente. Durante este proceso, se debe evitar la entrada de agua y aire al sistema, dado que esto podría afectar negativamente la calidad del hormigón y comprometer la integridad de la estructura (Poulos y Davis, 2012).

Una vez que el Tremie ha alcanzado la posición deseada, se inicia el colado del hormigón de manera continua y constante. Cabe anotar que es esencial que el extremo

inferior del Tremie se mantenga sumergido en el hormigón fresco en todo momento para prevenir la segregación y asegurar una distribución uniforme (O'Reilly y New, 2015). De igual modo, es importante garantizar la estabilidad del Tremie durante el proceso de colado, al evitar movimientos laterales que puedan generar segregación o bloqueos en el sistema (Hird y Thom, 2017).

### **3.7.2 Control y monitoreo durante la colocación**

El control y monitoreo durante la colocación del hormigón al utilizar la técnica Tremie son aspectos cruciales para asegurar la calidad y la uniformidad del resultado final. Por su parte, Neville (2011) destacó la importancia de realizar pruebas y mediciones en tiempo real para evaluar la resistencia, el asentamiento y la consistencia del hormigón durante el proceso de colado. Por tal motivo, se recomienda utilizar la instrumentación especializada, como sensores de presión y equipos de registro de datos, que permiten monitorear el comportamiento del hormigón durante la colocación (Neville, 2011).

Igualmente, se aconseja realizar muestreos periódicos del hormigón fresco para verificar su contenido de aire y la uniformidad de la mezcla. Estas pruebas son fundamentales para detectar posibles desviaciones en las propiedades del hormigón y tomar medidas correctivas de manera oportuna (Mehta y Monteiro, 2014). Así, es esencial tener un seguimiento riguroso del proceso de colocación para evitar cualquier anomalía o desviación que pueda comprometer la calidad y la durabilidad de la estructura de hormigón (Mehta y Monteiro, 2014).

### **3.8 Aplicaciones del diseño de hormigón Tremie**

El diseño de Hormigón Tremie es una técnica ampliamente utilizada en diversas aplicaciones en la industria de la construcción. Por ello, investigaciones y estudios

realizados por expertos en el campo han demostrado su eficacia y su versatilidad en una variedad de contextos.

### **3.8.1 *Cimentaciones profundas y pilotes***

En el ámbito de las cimentaciones profundas y los pilotes, el diseño de hormigón Tremie ofrece una solución efectiva y segura. Sobre esto, Smith (2018) señaló que este método es particularmente adecuado para terrenos heterogéneos y posee la capacidad de alcanzar grandes profundidades con una alta resistencia a la compresión. Además, el diseño de hormigón Tremie permite una colocación precisa y uniforme del material, lo que evita la formación de vacíos y garantiza la estabilidad estructural de los pilotes y las cimentaciones. Por ende, este tipo de aplicación será la utilizada en este proyecto de tesis debido a las ventajas que ofrece con respecto a otros tipos de diseño de hormigón.

### **3.8.2 *Estructuras subacuáticas y marítimas***

La técnica Tremie también encuentra aplicaciones relevantes en la construcción de estructuras subacuáticas y marítimas. Según las investigaciones de Hird y Thom (2017), el diseño de Hormigón Tremie es particularmente útil en entornos donde el colado de hormigón se realiza bajo el agua. En esa medida, los tubos de Tremie permiten un colado controlado y sin interrupciones, lo que es esencial para lograr una adecuada compactación y resistencia en condiciones subacuáticas. Tales aplicaciones incluyen la construcción de muelles, diques, rompeolas y cimentaciones en zonas costeras. En suma, la eficacia y la confiabilidad del diseño de hormigón Tremie han sido ampliamente documentadas en este ámbito (Hird y Thom, 2017).

### **3.8.3 Otros usos relevantes en la construcción**

Además de las aplicaciones mencionadas, el diseño de Hormigón Tremie tiene diversos usos relevantes en la construcción. Estos incluyen la construcción de pilas, columnas, muros de contención y estructuras en el subsuelo. Según Mehta y Monteiro (2014), el diseño de Hormigón Tremie permite una colocación precisa del hormigón en espacios reducidos y condiciones desafiantes. Esto es especialmente importante en proyectos de construcción donde se requiere una alta calidad y durabilidad de las estructuras. Así, los avances tecnológicos y las técnicas de control y monitoreo han mejorado con mayor alcance la eficiencia y la seguridad del diseño de hormigón Tremie en estos usos (Chen, 2020).

### **3.9 Principio de Arquímedes**

El principio de Arquímedes es un fenómeno físico de mucha importancia a considerar, utilizado para diseñar estructuras de cimentación, así como también en la ingeniería naval. Este se basa en el concepto de que cuando un objeto está sumergido en un fluido en reposo experimenta una fuerza ascendente desde abajo. Esta fuerza es igual al peso del volumen del fluido desalojado (Melo et al., 2016). En el ámbito naval, dicho fenómeno es esencial para garantizar que las embarcaciones floten sin hundirse en el agua.

La aplicación del principio de Arquímedes también es importante en la construcción de cimentaciones profundas. En este contexto, se utiliza para determinar la capacidad de carga de una estructura (Roesset, 1978). Por lo tanto, cuando se construye una losa de cimentación sobre el terreno, esta se encuentra en contacto directo con el suelo y se aplica una carga vertical. Si el suelo es completamente impermeable y no hay

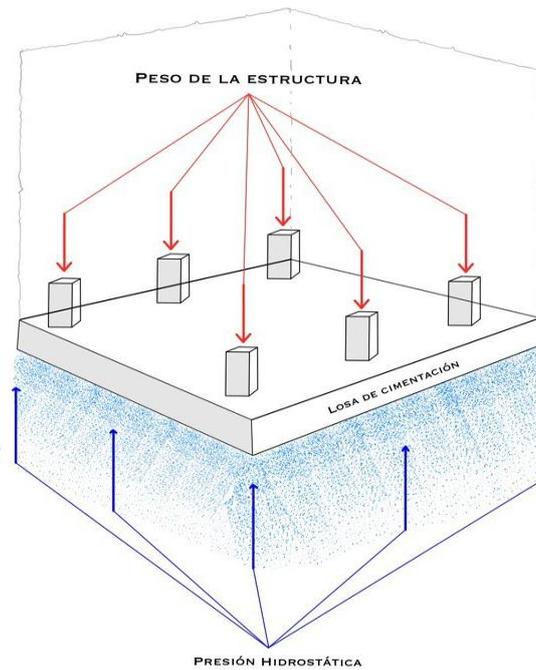
agua subterránea presente, el principio de Arquímedes no tiene un efecto significativo en el comportamiento de la losa (Gómez et al., 2019).

Sin embargo, en muchos casos, como el de Guayaquil, el suelo contiene agua subterránea o está saturado de agua. En tales situaciones, el principio de Arquímedes se vuelve relevante. Así, el agua subterránea o el agua presente en el suelo generan una presión hidrostática ascendente en la losa de cimentación. Esta presión hidrostática compensa parte del peso de la losa y reduce la carga neta que se transmite al suelo (Melo et al., 2016).

En esa medida, la consideración del principio de Arquímedes en el diseño de las losas de cimentación es importante para garantizar la estabilidad y prevenir el levantamiento o flotación de la estructura. Si la losa no tiene suficiente peso propio o no está adecuadamente anclada al suelo, el empuje hidrostático puede superar la carga vertical y causar un levantamiento no deseado (Gómez et al., 2019).

Por lo tanto, en el diseño de las losas de cimentación se deben tener en cuenta factores como la presión hidrostática, la densidad del suelo y el nivel freático para determinar el peso adecuado de la losa y, por consiguiente, garantizar la estabilidad y el asentamiento controlado.

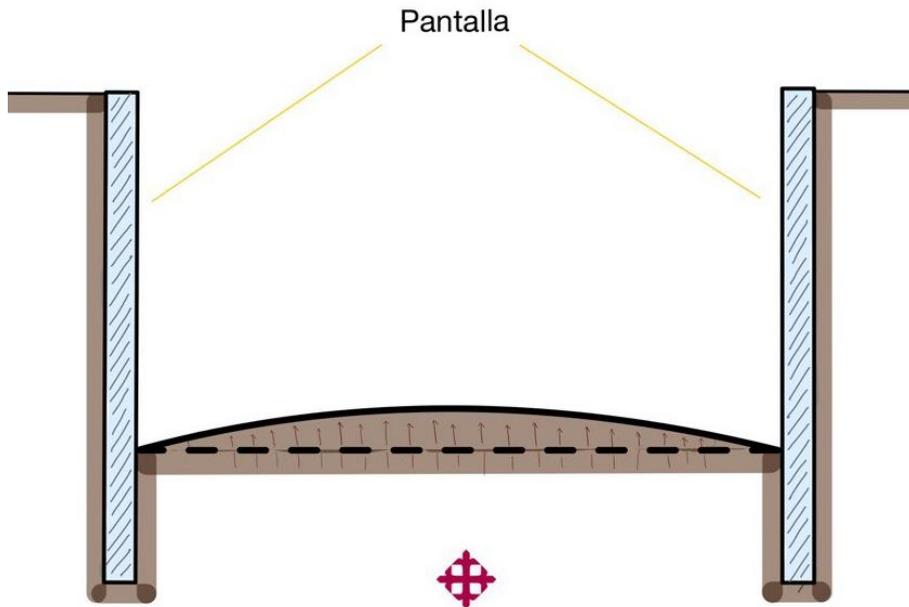
Figura 18. *Principio de Arquímedes en una losa de cimentación*



### 3.10 Ruptura de Fondo

Como se menciona en Páez y Martínez (2019), en este fenómeno se considera que el suelo se comporta como un material elástico confinado; por ello, la reducción de presión vertical total sobre el plano de fondo a retirar la tierra excavada ocasiona en el suelo cambios de volumen.

Figura 19. *Ilustración de la ruptura de fondo*



### 3.11 Bentonita

Es un tipo de arcilla jabonosa con amplia aplicación en áreas de distintas industrias gracias a sus propiedades (Pinzon, 2006). Entre sus propiedades se destaca la tixotropía, la cual consiste en un cambio de su viscosidad en relación con la presión aplicada (Zhang et al., 2016). Para garantizar la seguridad y el éxito de excavaciones, como las de un muro Milán, la bentonita y su propiedad expansiva o tixotrópica sirve para estabilizar las paredes donde será colocado el muro, lo que evitaría desmoronamientos.

Figura 20. *Bentonita estabilizando muro*

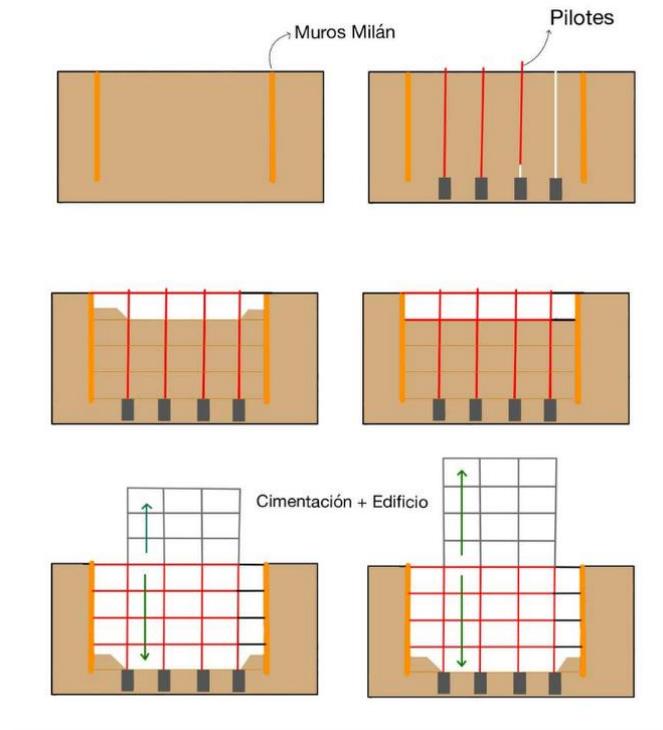


*Nota.* Tomado de *SILSOIL muro pantalla Kobelco BME 750-HD*, por SILSOIL, 2010, [https://www.youtube.com/watch?v=lrR\\_WIGrLxA&t=114s](https://www.youtube.com/watch?v=lrR_WIGrLxA&t=114s)

### **3.12 Sistema Top-Down**

Sobre esto, Carrillo y Salazar (2018) plantearon que este es un método constructivo que consiste en elaborar las paredes perimetrales y las columnas de soporte de la estructura; luego se procede a excavar hasta llegar a la primera cota inferior del piso -1, vaciando de esta manera las vigas y las losas sobre el terreno; esto se repite a medida que se va excavando.

Figura 21. Sistema Top Down



Esto permite que la construcción por encima y por debajo de la cota 0.00 se puedan desarrollar simultáneamente, de este modo se genera un ahorro de tiempo que se traduce en dinero.

## **Capítulo IV. Propuesta de cimentación compensada para Guayaquil**

### **4.1 Ensayos de laboratorio**

Luego de crear el hormigón Tremie de alta resistencia para cimentaciones profundas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería, se procedió a realizar los ensayos en el Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural Sismo Resistente (CEINVES)– Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. En efecto, allí se realizaron ensayos sobre la compresión simple a las probetas del hormigón Tremie con la finalidad de adaptar la metodología de dosificación experimental al diseño de hormigón Tremie de esta investigación para cimentaciones profundas.

#### **4.1.1 Materiales**

- Cemento GU tipo 1, de uso corriente local.
- Arena fina pasante del tamiz  $\frac{3}{4}$  y retenido del tamiz 8.
- Agua potable.
- Aditivo super fluidificante reductor de agua de amplio rango.
- Piedra de basalto

#### **4.1.2 Diseño de hormigón Tremie**

El diseño de mezcla experimental de hormigón Tremie para una cimentación compensada, que será usada en muros Milán, se define con parámetros aplicables al diseño de hormigón de alta resistencia y que sea autonivelante al momento de la fundición. Por lo tanto, estos ensayos se realizaron con el fin de adaptar el esquema de cimentaciones profundas a un hormigón de  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ .

De igual modo, para este trabajo se realizaron en total 4 muestras, la muestra A, B, C y D. De estas 4 muestras se extrajeron 6 probetas para realizar los ensayos a la compresión simple en el Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural Sismo Resistente.

Tabla 1. *Volumen de probetas a usar*

Diámetro	5 cm
Altura	10 cm
Volumen	196,36 cm <sup>3</sup>
Volumen total	5890,49

Tabla 2. *Diseño de Hormigón Tremie para 1 metro cúbico*

Cemento	373,70 gr
Agua	191,33 lt
Piedra	747,40 gr
Arena	747,40 gr
Aditivo	5,90 lt
A/C	0,51

Figura 22. *Proceso de probetas*



Figura 23. *Proceso de curado de las probetas en una piscina*



#### **4.1.3 *Ensayos de compresión simple de las probetas***

Una vez fundidos las probetas y pasadas las 24 horas, se procedió a realizar el desencofrado de estos para dejarlos hidratando en una piscina con agua potable hasta el día en que se realicen los ensayos a cada probeta.

Para los ensayos de compresión simple se dio uso al laboratorio CEINVES a los 7, 14 y 28 días, haciendo 8 ensayos, 2 por cada muestra, por día para tener así 24 ensayos de Resistencia a la Compresión Simple.

Figura 24. *Probetas de la muestra A*



Figura 25. *Proceso de pesar probetas*



Figura 26. *Proceso de medición de diámetro de las probetas*



Figura 27. *Medición de las alturas de las probetas*



Figura 28. *Medición de los diámetros de las probetas*



Figura 29. *Ensayos a la Compresión Simple a las probetas de hormigón con diseño Tremie.*



Figura 30. *Ensayos a la Compresión Simple a las probetas de hormigón con diseño Tremie*



Figura 31. *Trabajos realizados en el Laboratorio CEINVES*

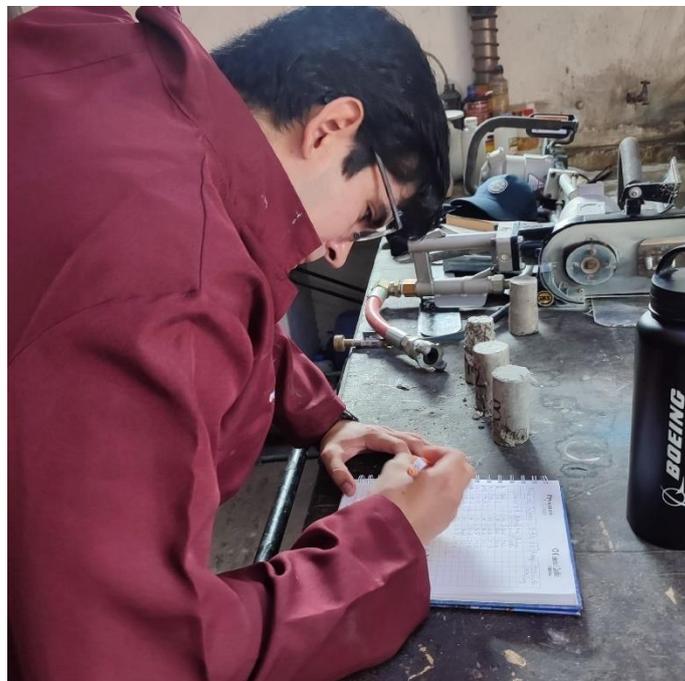


Figura 32. Ensayos realizados en el Laboratorio CEINVES al 7mo día



Figura 33. Rotura de probeta de Hormigón Tremie al 7mo día.



Figura 34. Ensayos de Resistencia a la Compresión Simple realizados en el Laboratorio CEINVES al 7mo día.



Figura 35. Ensayos de Resistencia a la Compresión Simple



#### 4.1.4 Resultados de los ensayos de compresión simple

Tabla 3. Valores de resistencia a la compresión de la muestra A

Muestra A			
# de Probeta	Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 1	200,57	-	-
# 2	-	248,55	-
# 3	-	-	272,74

Figura 36. Curva de evolución de la resistencia a la compresión de la muestra A.

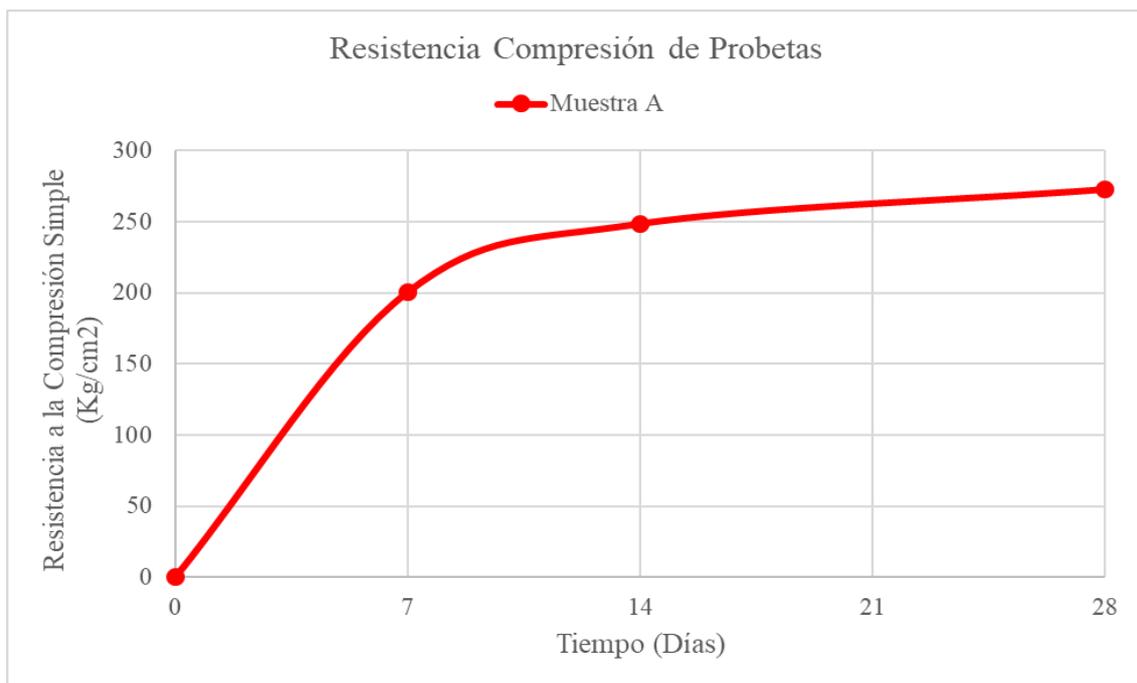


Tabla 4. Valores de resistencia a la compresión de la muestra B

<b>Muestra B</b>			
# de Probeta	<i>Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 4	191,37	-	-
# 5	-	240,61	-
# 6	-	-	262,23

Figura 37. Curva de evolución de la Resistencia a la Compresión de la muestra B

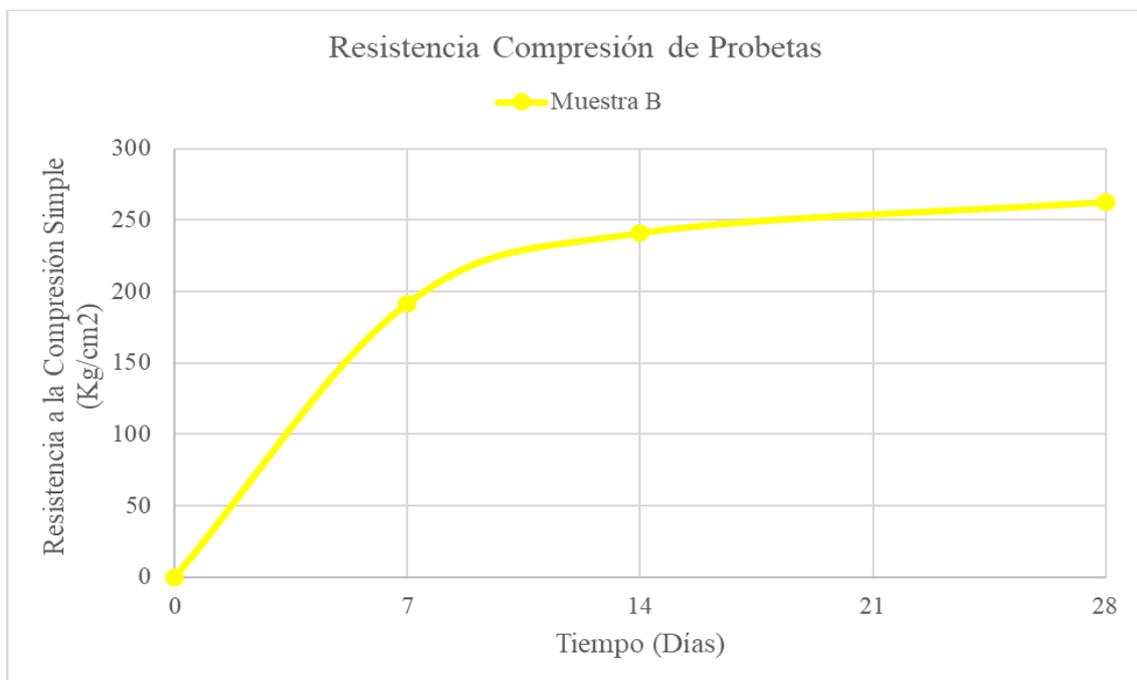


Tabla 5. Valores de resistencia a la compresión de la muestra C

<b>Muestra C</b>			
# de Probeta	<i>Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 7	188,92	-	-
# 8	-	220,77	-
# 9	-	-	242,12

Figura 38. Curva de evolución de la resistencia a la compresión de la muestra C

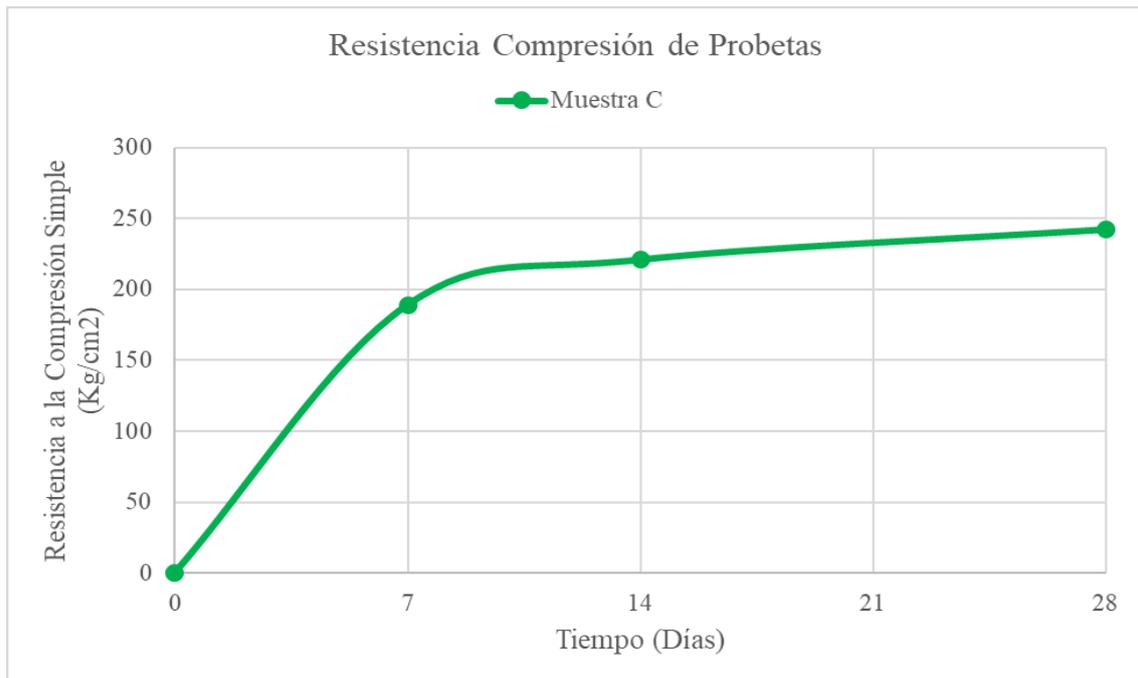


Tabla 6. Valores de resistencia a la compresión de la muestra D

<b>Muestra D</b>			
<i># de Probeta</i>	<i>Resistencia a la compresión Simple (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>		
	7 Días	14 Días	28 Días
# 10	223,27	-	-
# 11	-	268,48	-
# 12	-	-	295,09

Figura 39. Curva de evolución de la resistencia a la compresión de la muestra C

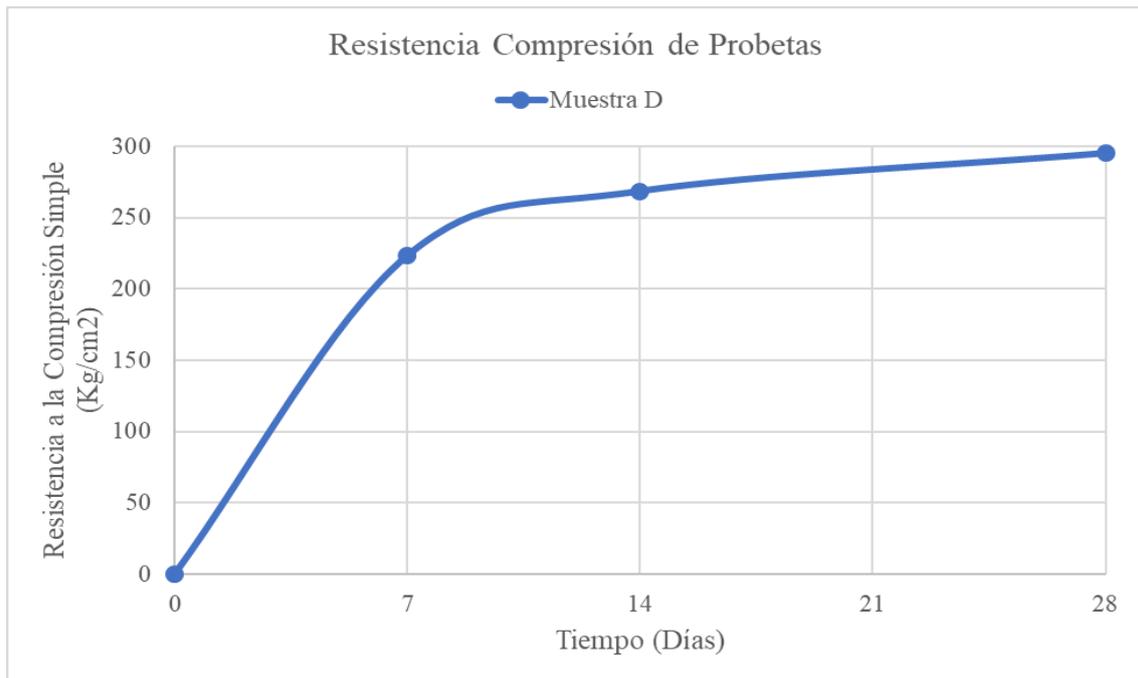


Figura 40. Comparación de curvas de resistencia a compresión de muestras A, B, C y D

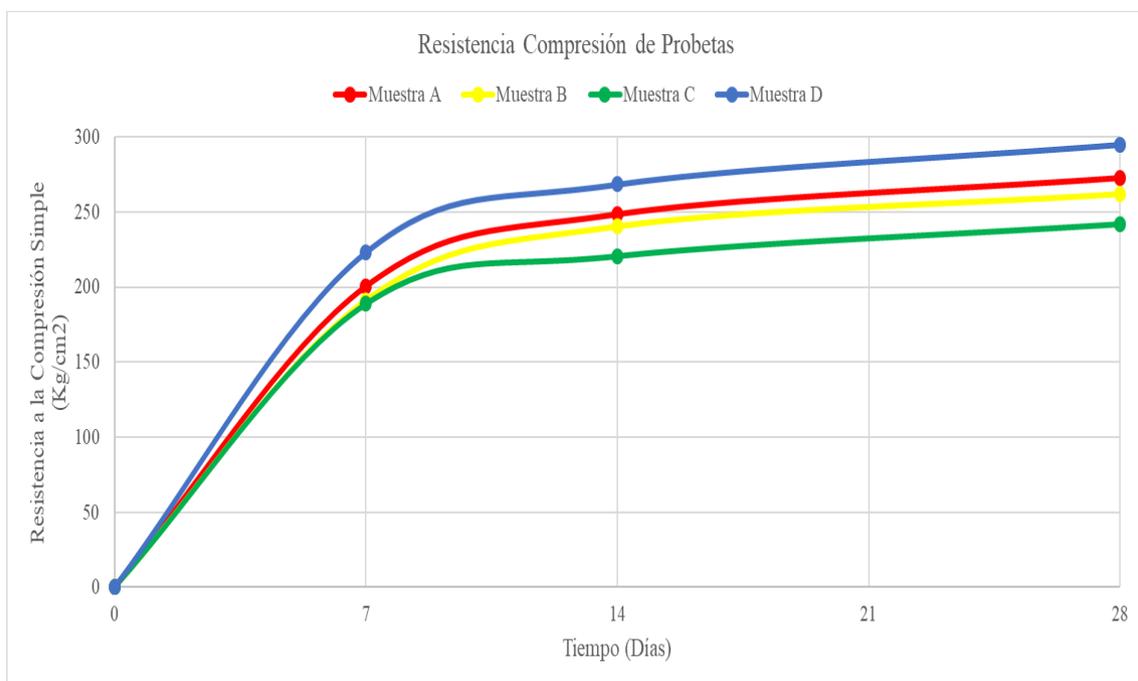


Figura 41. Comparación de resistencias a compresión de las muestras A, B, C y D a los 7 días.

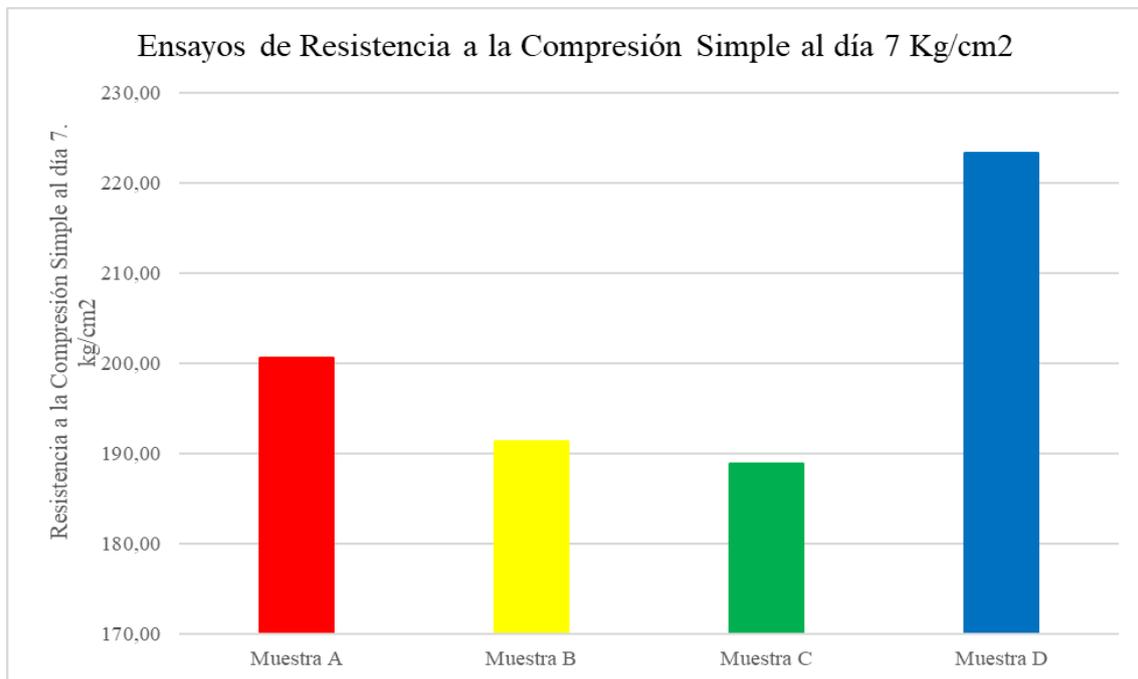


Figura 42. Comparación de resistencias a la compresión simple de las muestras A, B, C y D a los 14 días.

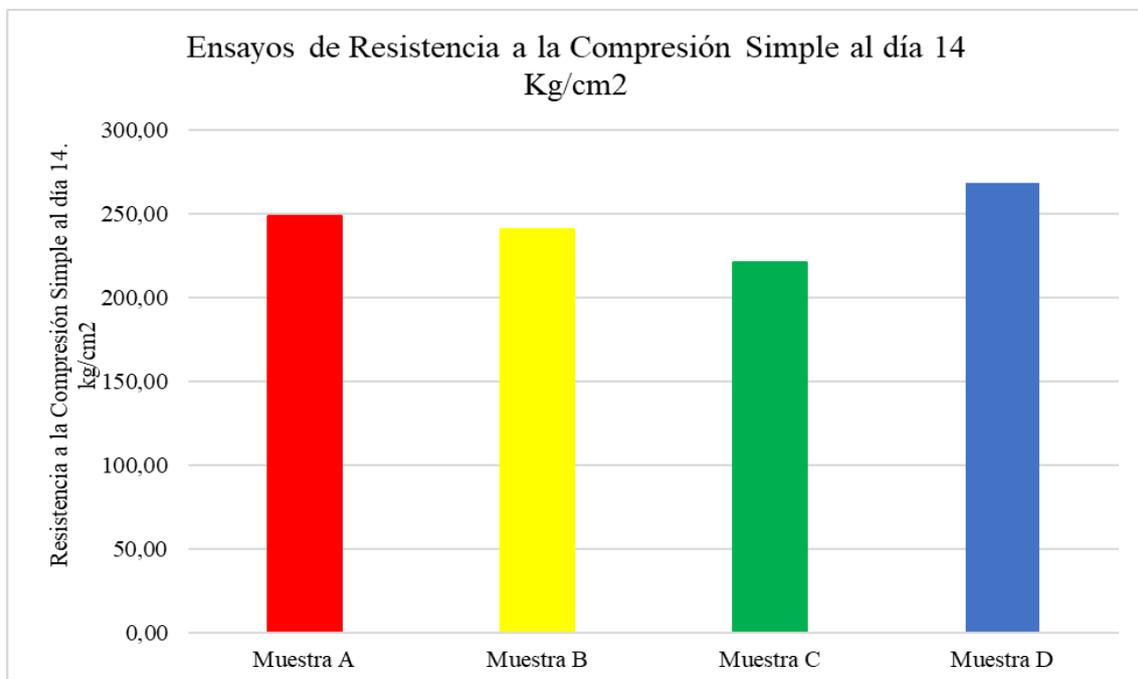
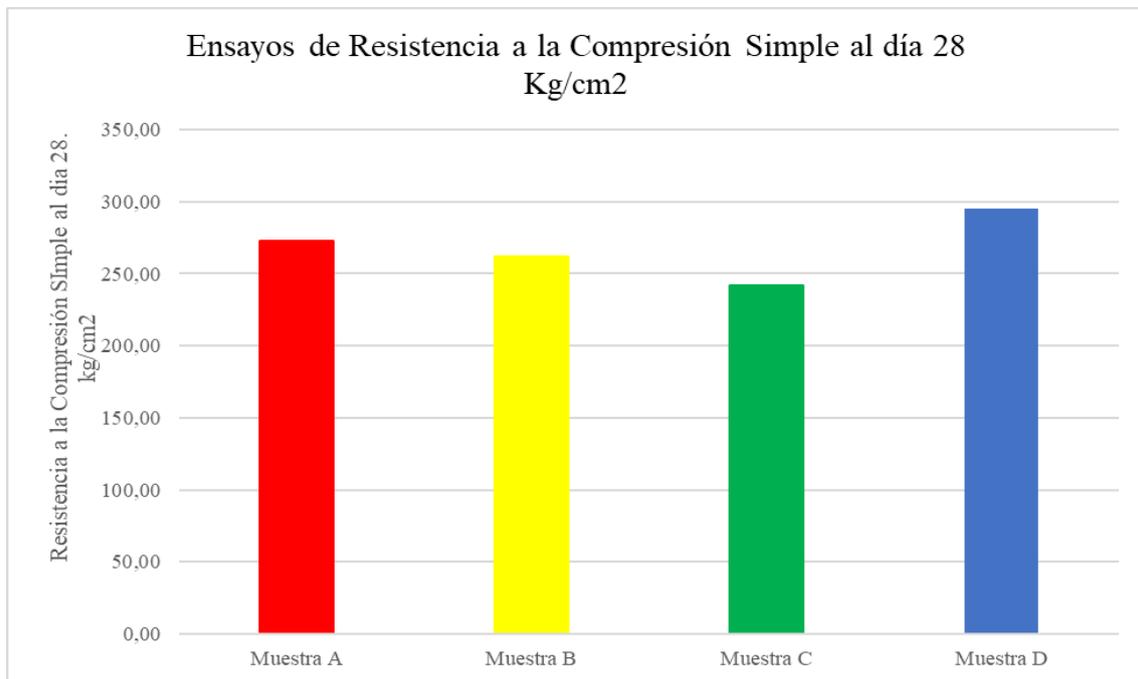


Figura 43. Comparación de resistencias a la compresión simple de las muestras A, B, C y D a los 14 días.



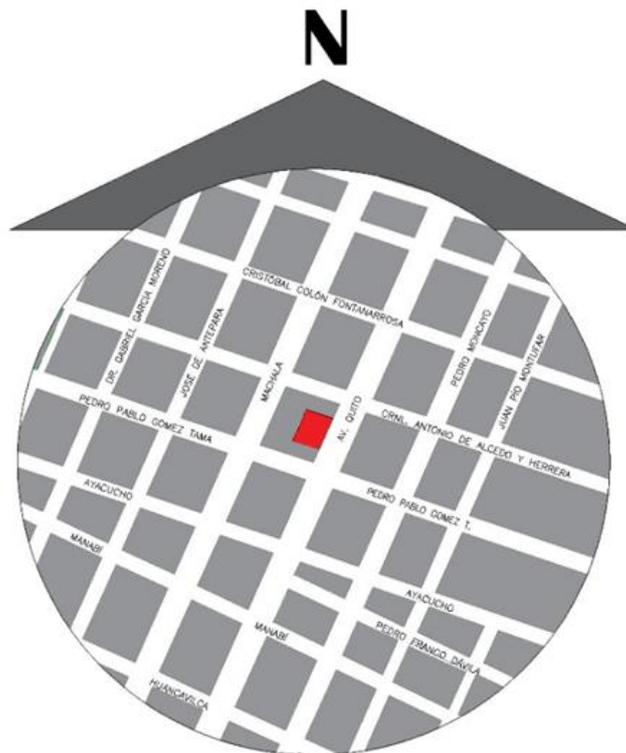
## 4.2 Propuesta ingenieril

El terreno escogido para el ejemplo esquemático se encuentra ubicado en la Av. Quito entre las calles Antonio de Alcedo y Herrera y la calle Pedro Pablo Gómez. Las medidas y la ubicación para el caso de análisis se seleccionaron para un edificio de dimensiones regulares, en un terreno de 1500 m<sup>2</sup>, el cual permite practicar las metodologías aquí propuestas.

Figura 44. Ubicación del terreno de estudio, Av. Quito y Pedro Pablo Gómez



Figura 45. Ubicación del terreno en la Avenida Quito



Nota. Google Maps

Figura 46. Dimensiones del terreno escogido

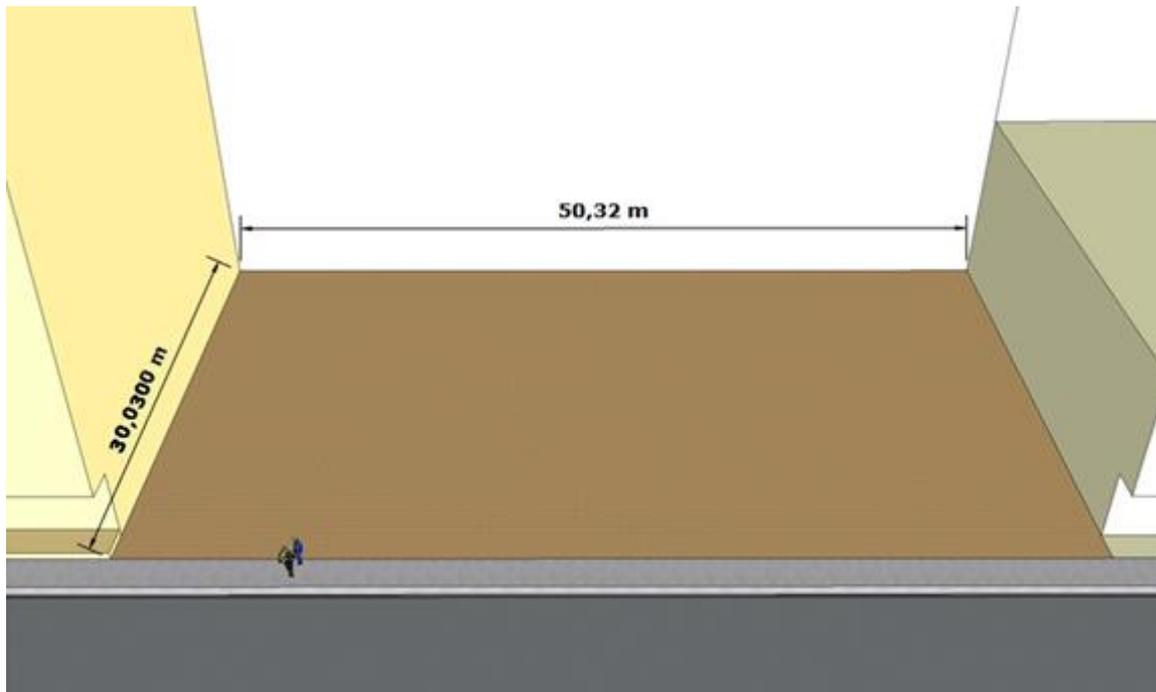
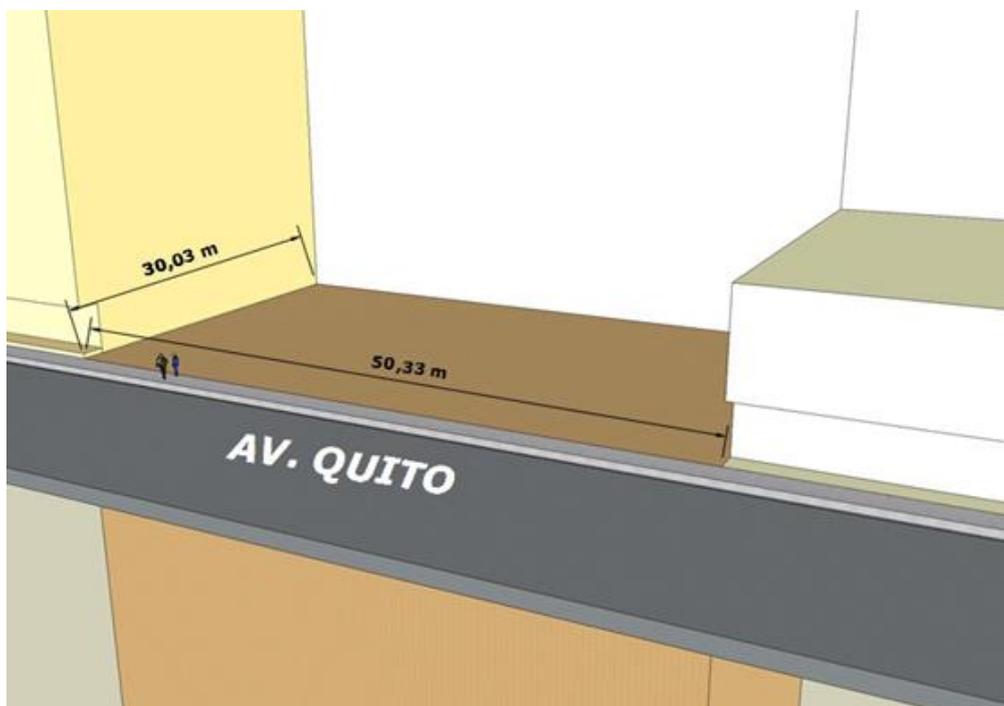


Figura 47. Vista esquemática de la ubicación del terreno en la Avenida Quito



Una vez definida la zona de enfoque de labor, se procedió a la edificación de los muros perimetrales, conocidos como muros Milán. Estos muros logran una excepcional capacidad para resistir la compresión y su habilidad para amortiguar las fuerzas sísmicas.

En efecto, tales muros perimetrales proporcionan una base sólida y duradera para el presente proyecto, lo que garantiza la estabilidad ante cargas significativas y ofrece protección contra posibles eventos sísmicos. Asimismo, con el fin de estabilizar las paredes antes de la fase de fundido, se usó Bentonita para prevenir cualquier riesgo de desmoronamiento en las superficies donde se instaurará el mencionado muro.

En primer lugar, hay que realizar la excavación de un muro guía, que es donde se fundirá el muro Milán, para esto se usó una concha bivalva o Clam Shell, dado que estas son eficientes para excavaciones y recolección de material de manera vertical.

Figura 48. *A medida que avanza la excavación se deposita la bentonita para estabilizar el muro guía.*

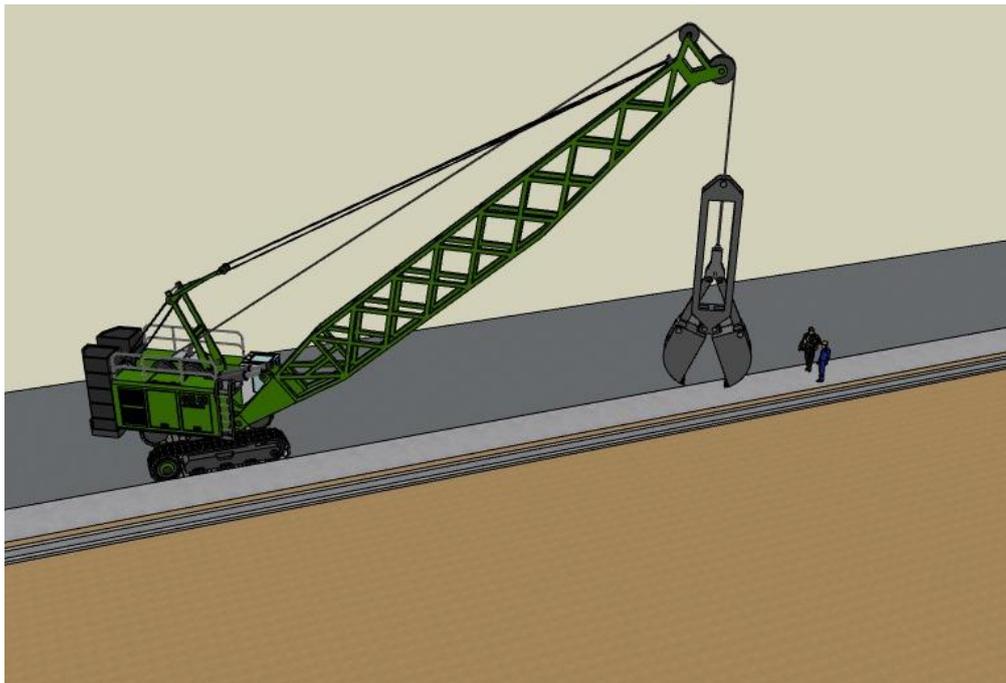


Figura 49. Construcción del muro guía para la construcción del muro Milán

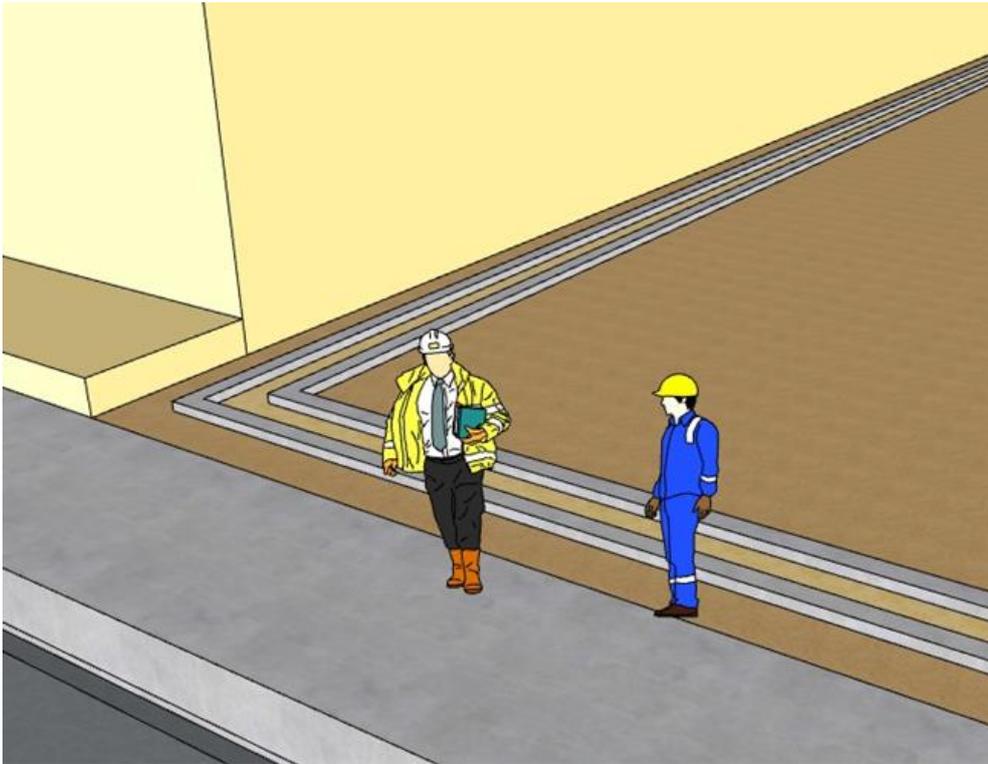
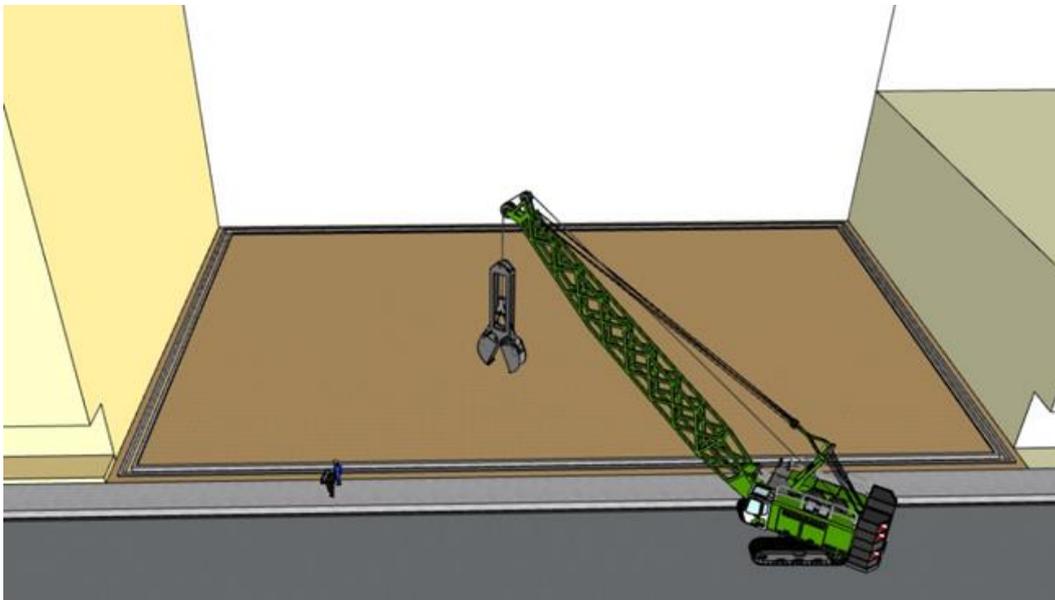


Figura 50. Muro guía para el inicio de la construcción del Muro Milán



Para el muro Milán se utilizó un diseño de Hormigón Tremie de  $300 \text{ kg/cm}^2$ . Este hormigón, según ACI Committee (304, 2012), es un hormigón que se funde mediante un

tubo Tremie; de este modo, se mantiene la homogeneidad de la mezcla y, asimismo, se torna un hormigón autonivelante.

Figura 51. *Vista de la construcción de paños del muro Milán, de manera alternada*

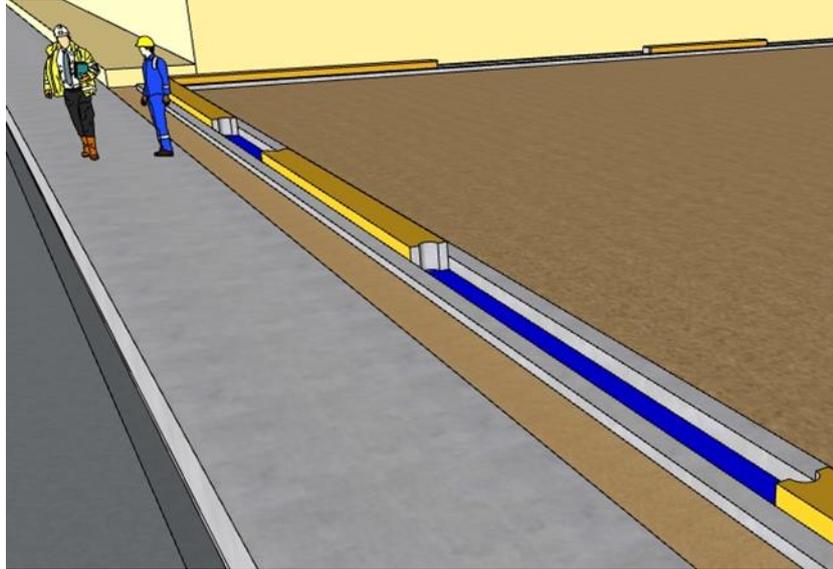


Figura 52. *Vista superior del muro Milán concluido*

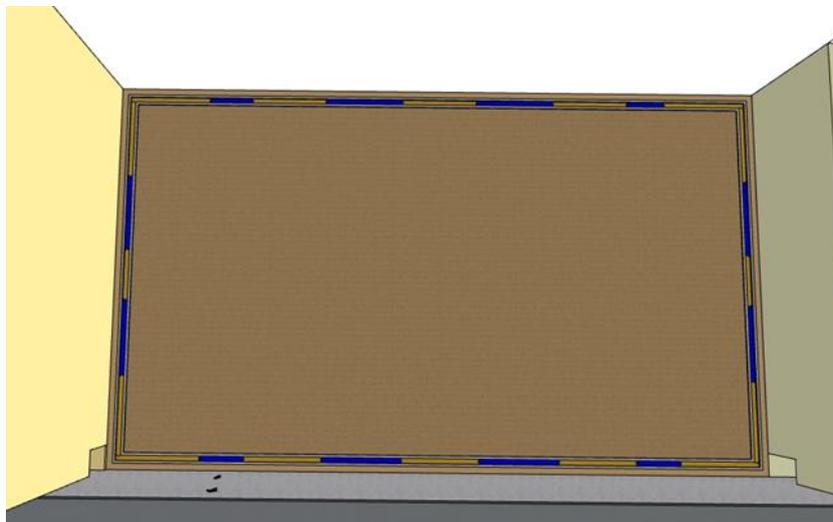
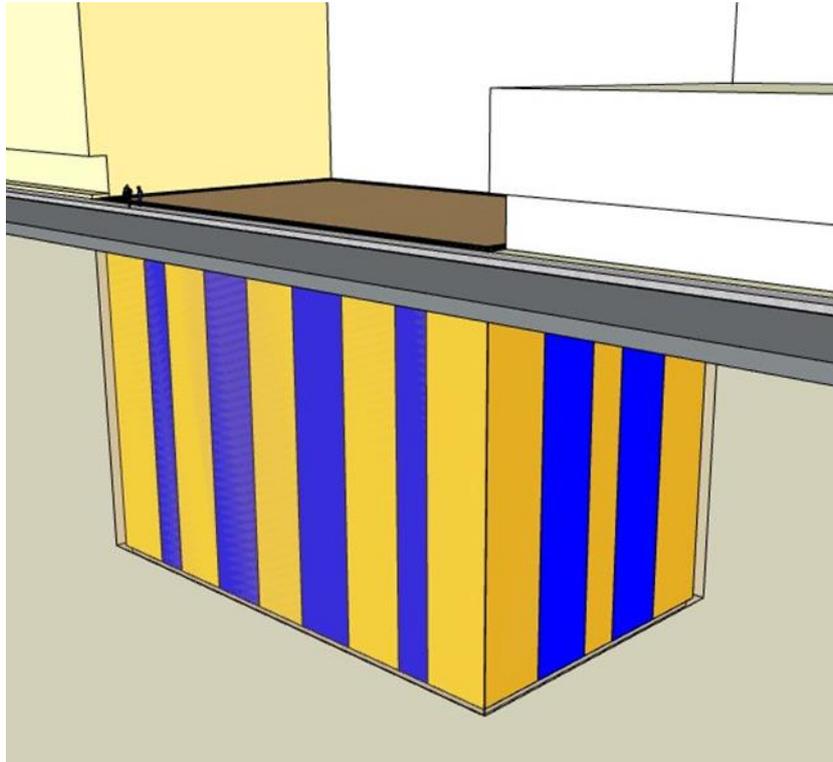


Figura 53. Vista del muro Milán concluido



Al completar de manera exitosa la edificación y el desarrollo del muro Milán, se procedió a la ejecución del proceso de pilotaje, con el propósito de mitigar cualquier potencial contratiempo logístico y administrativo en el sitio de construcción.

Para este proyecto se eligió el uso de pilotes pre barrenados, debido a que son prefabricados y posee una facilidad de uso de pilotes con mayor área; de igual modo, está demostrado, según Yopez (2016), que, en estratos de arcilla compacta o roca blanda, el uso de pilotes pre barrenados es una opción más viable. Por lo tanto, estos pilotes ayudan a combatir la descompresión del suelo sobre el que se fundirá la losa de fondo.

Figura 54. *Hincado de los pilotes pre barrenados para el soporte de la estructura*

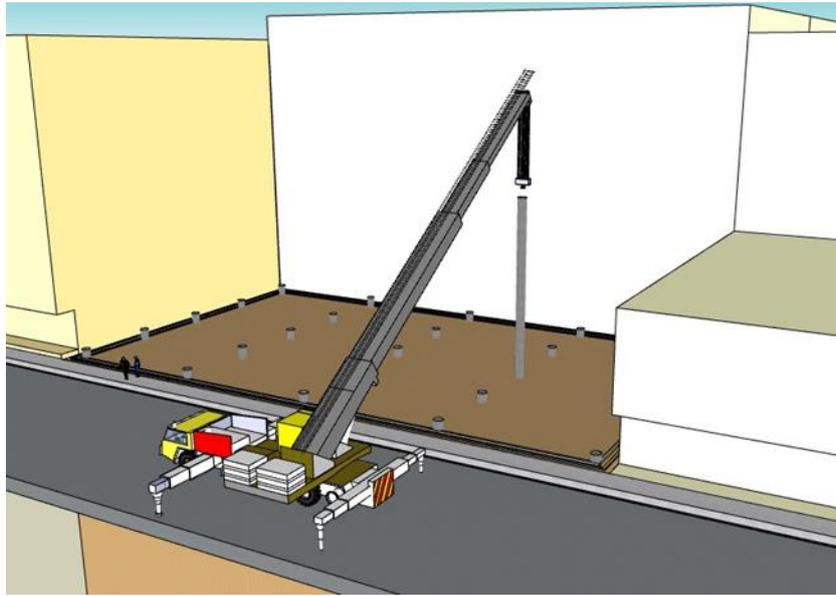


Figura 55. *Hincado de pilotes pre barrenados. Coinciden con los pilares definitivos del sótano*

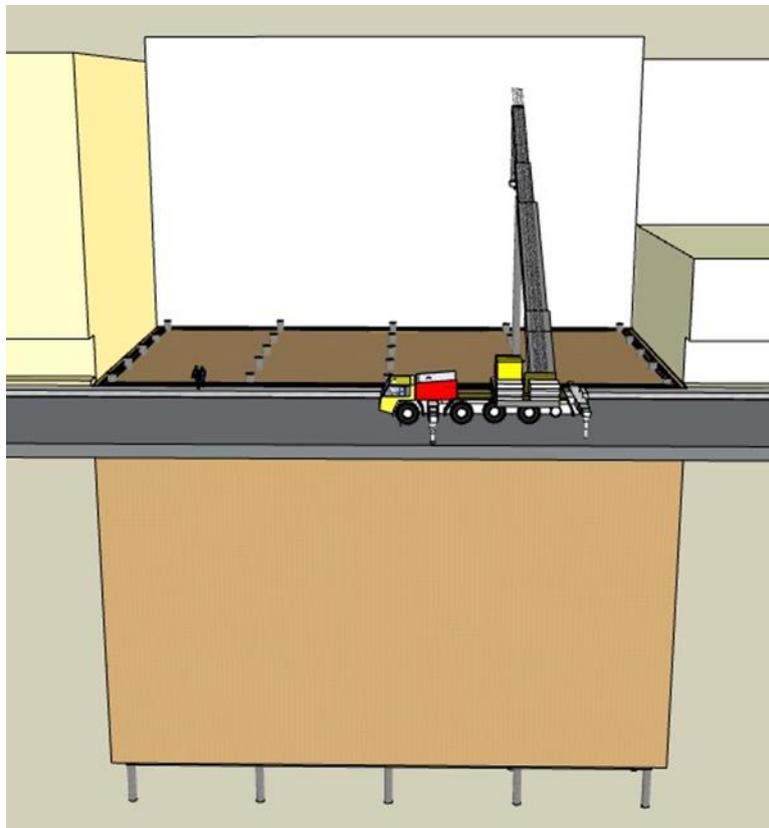
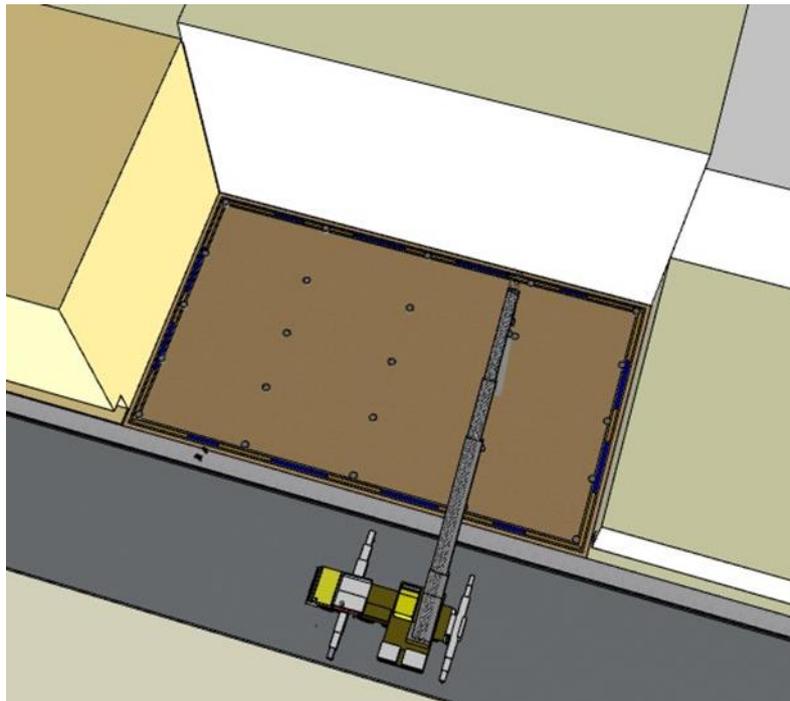


Figura 56. Vista superior del hincado de los pilotes pre barrenados



Al culminar el proceso del pilotaje, se continúa con la excavación. El desarrollo del proceso de excavación ocurre durante el día con el fin de aprovechar la luz. La maquinaria saca el material en una correa transportadora, la cual recibe el material ya mezclado con arena y grava, para evitar adherencia del material fangoso a la maquinaria, a través de cargadoras medianas, cargadoras o excavadoras. Acto seguido, estas máquinas son bajadas mediante cables. La excavación se desarrolla por el día y la extracción de arcilla se desarrolla por la noche mediante volquetas.

Asimismo, el empleo de las arcillas provenientes de la excavación de sótanos es una solución alternativa para la modificación de la elevación de terrenos en áreas de baja altitud o sujetas a inundaciones naturales graves. En muchas ocasiones, en proyectos de construcción que involucran la creación de sótanos, se produce una abundante cantidad de arcilla como subproducto de la excavación. Esta arcilla, en lugar de ser considerada un desecho, puede ser empleada de manera beneficiosa en la modificación de la topografía de zonas que presentan desafíos específicos, como las áreas bajas o las

regiones propensas a inundaciones naturales severas. Para el caso propuesto se usará arena y un rodillo pata de cabra en la zona de recepción del material desalojado.

Figura 57. *Vista superior de la excavación.*

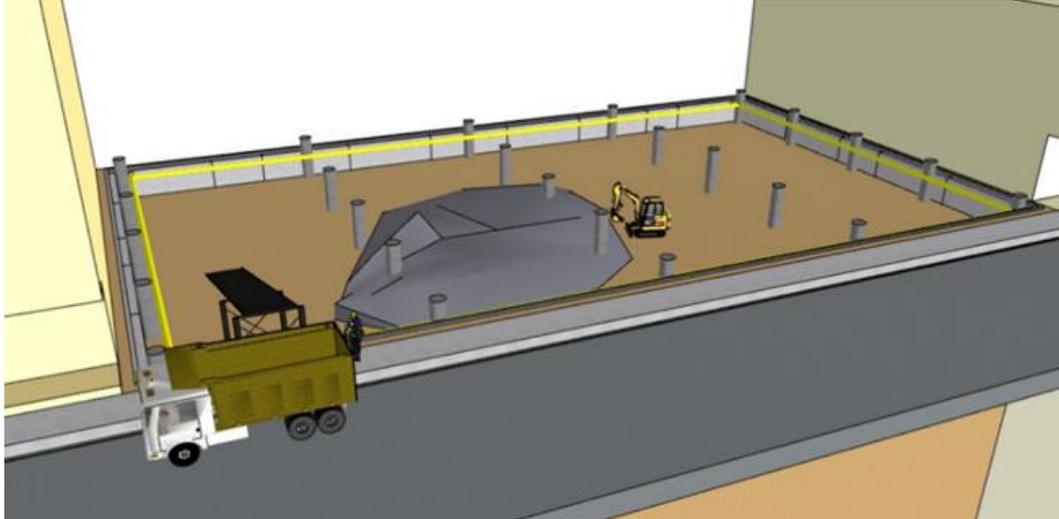


Figura 58. *Inicio de la excavación del sótano y transporte del material mediante una correa transportadora y volquetas*

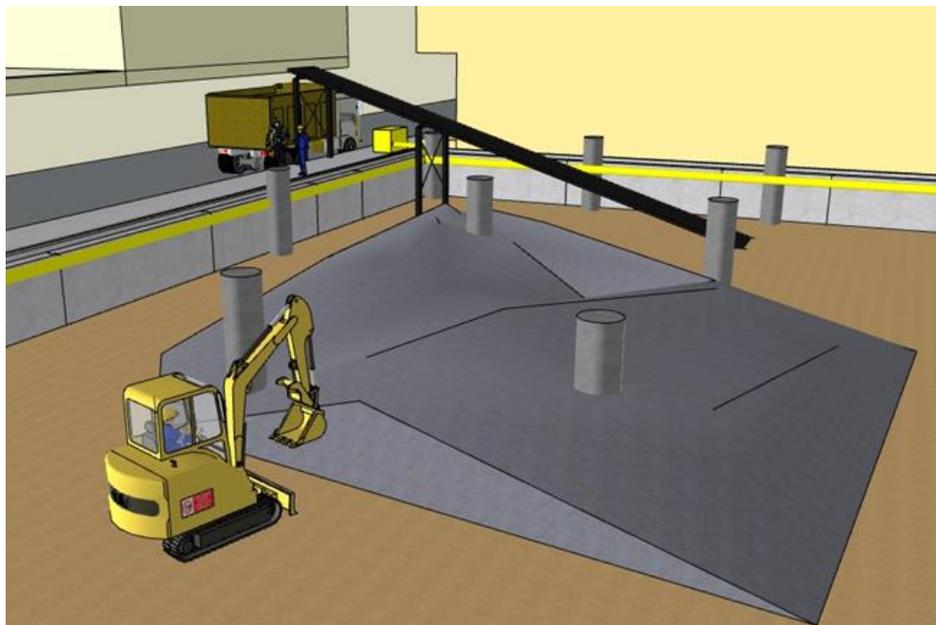


Figura 59. Arcilla de excavación retirada mediante una correa transportadora a un camión para acarrearla



La ejecución de una excavación en terrenos con alto contenido de agua subterránea, como los presentes en Guayaquil, puede dar lugar a desafíos significativos, entre ellos, se encuentra el principio de Arquímedes, el cual establece que un cuerpo sumergido experimentará una fuerza ascendente igual al peso del líquido desalojado. En el contexto de la construcción, esto puede traducirse en presiones hidrostáticas que actúan sobre las paredes de la excavación, lo que afectaría la estabilidad y la integridad de la estructura.

Por ende, este sistema de control del nivel freático, mediante el uso de bombas y punteras de extracción de agua, para contrarrestar los impactos originados por el principio de Arquímedes, manifestados al iniciar la excavación y al momento de remover el material, controlarán las fuerzas de ascenso en la estructura debido a la presencia de aguas subterráneas en los terrenos de Guayaquil.

Figura 60. Sistema de rebajamiento de nivel freático mediante el uso de equipos de bombeo y punteras de extracción de agua



Conforme avanza la excavación, se introducen vigas que serán sostenidas lateralmente por los pilotes, al utilizar pernos y siguiendo el mismo tipo de conexión que se exhibe en la Ilustración 62. En este punto, todavía no se funden las losas; sin embargo, esto se hace para dar facilidad al proceso de excavación e iluminación.

Los muros estarán apuntalados con las vigas. En efecto, lo anterior posibilita que los muros transfieran las cargas hacia las vigas y que estas, a su vez, dirijan las fuerzas hacia el muro del lado opuesto. Como resultado, se logra una estructura compacta en la que las otras construcciones en terrenos adyacentes no experimentan asentamientos, gracias a esta disposición estratégica.

Figura 61. *Construcción del sistema de vigas para las futuras losas de los entresijos a medida que avanza la excavación*

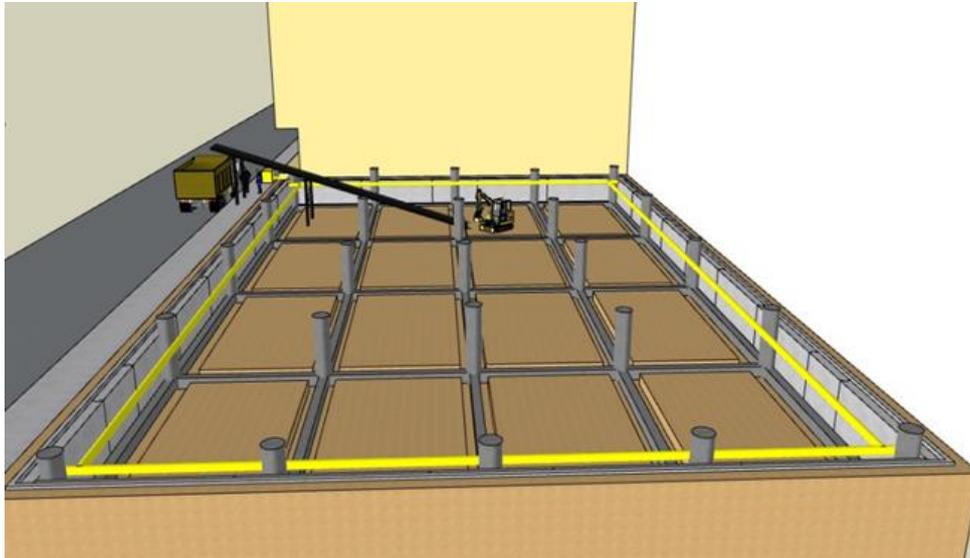


Figura 62. *Empalme de las vigas para las futuras losas de entresijos, con los pilotes previamente instalados*

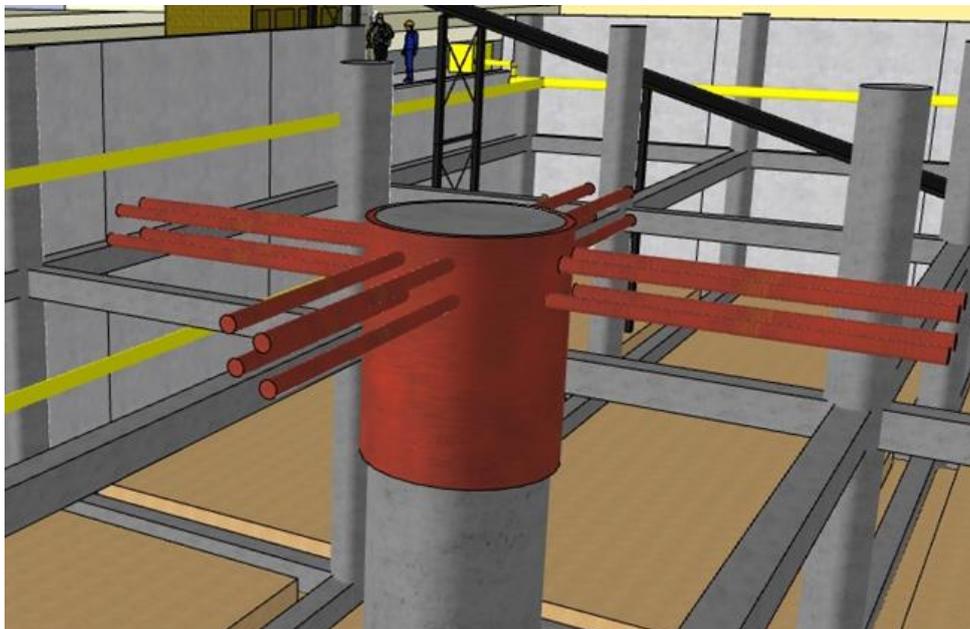


Figura 63. *Primer empalme a través de camisa metálica entre las vigas de las losas con los pilares.*

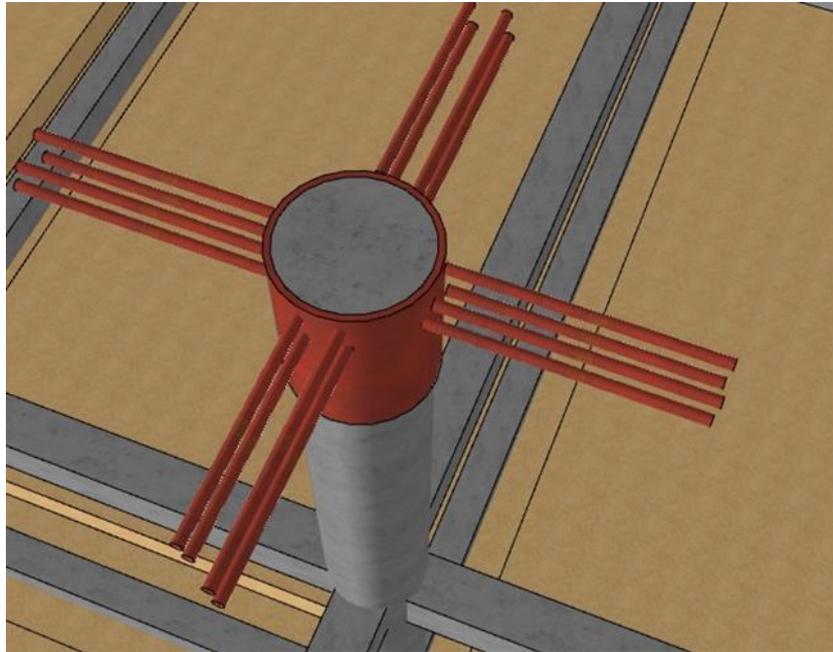


Figura 64. *Empalme entre las vigas de las losas del sótano con los pilotes.*

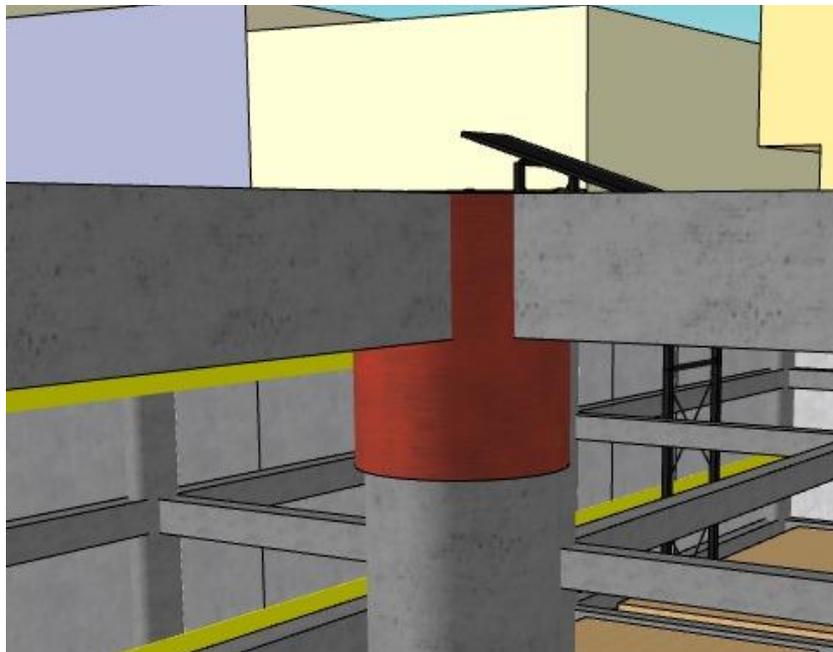


Figura 65. *Excavación del piso -2 y fundición de sus respectivas vigas. Se observa el sistema de rebajamiento de agua del nivel freático*



Figura 66. *Nivel -2 concluido*

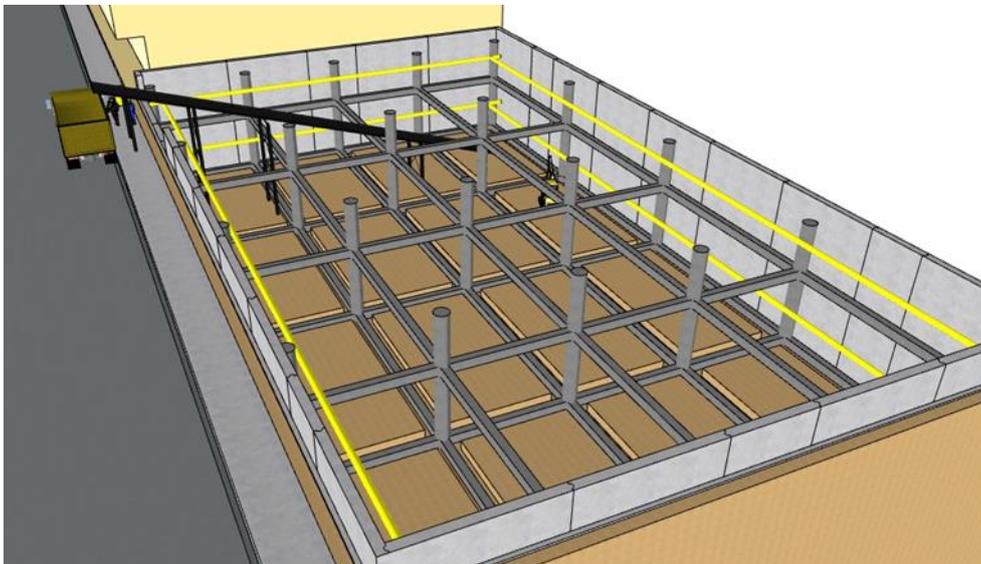
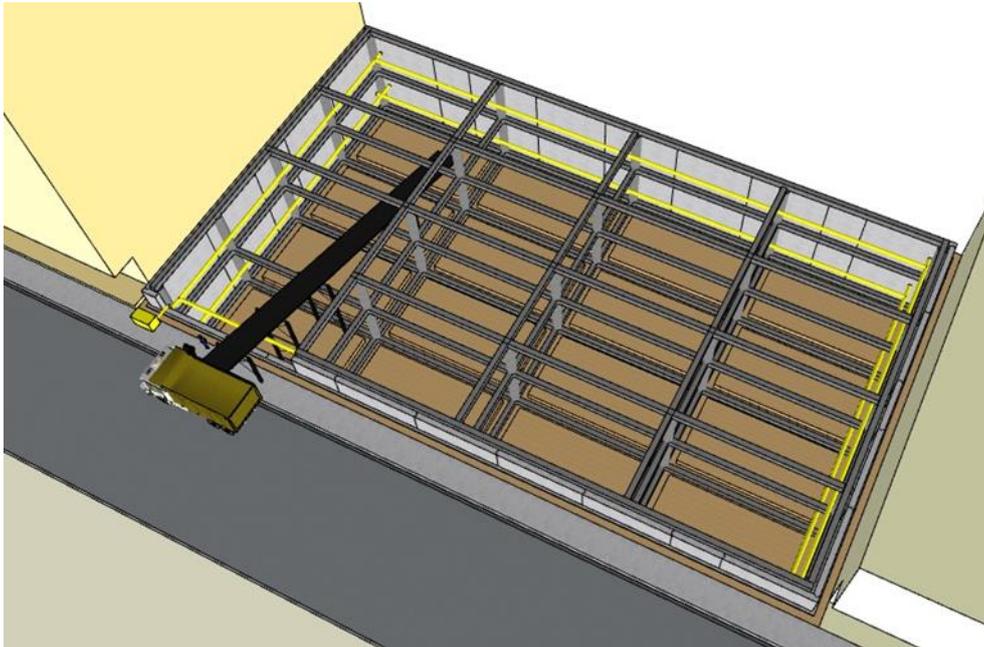


Figura 67. Vista superior de los primeros 2 niveles inferiores excavados

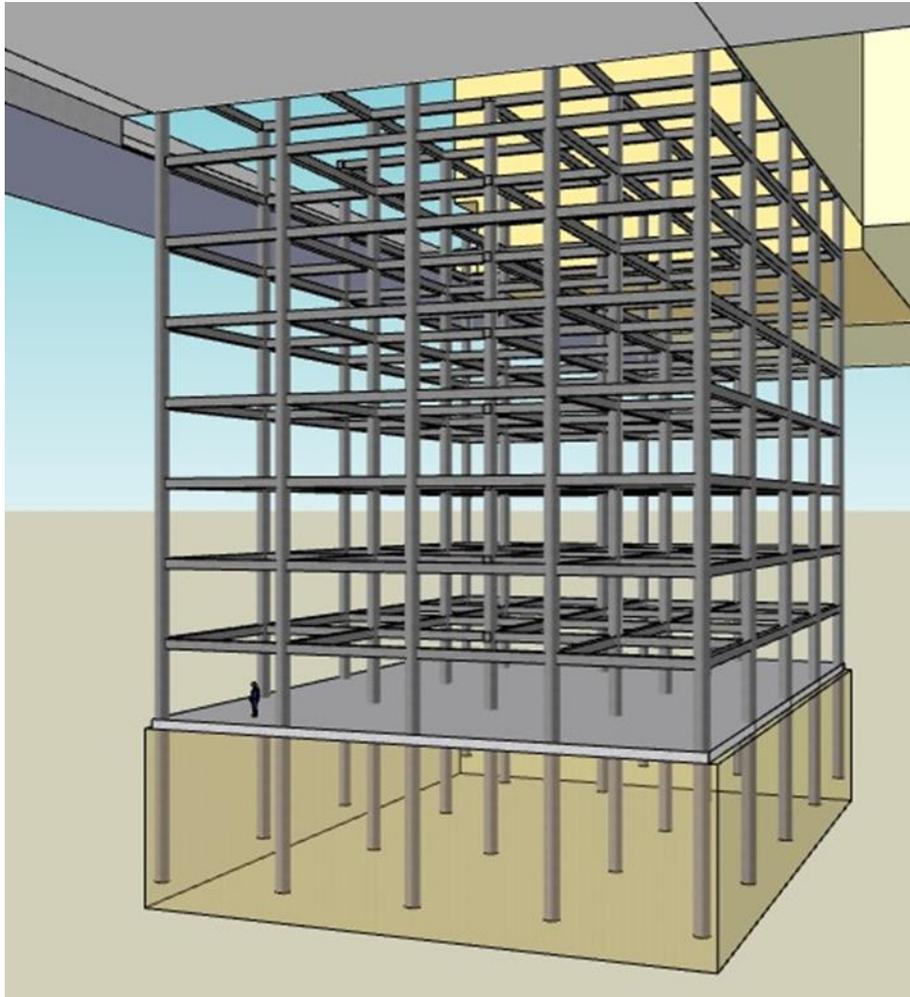


En la Ilustración 68 se muestra la estructura completa dentro del muro Milán con una losa de cimentación de 60 cm de espesor. Esta losa de cimentación o losa Radier no solo soportará el peso de la zona de parqueo, sino que también soportará el peso de todo el edificio. En este punto, las vigas están completamente conectadas a los pilotes y conectadas a las paredes del muro Milán.

De igual modo, el procedimiento detallado, hasta alcanzar el nivel -2, se repite en términos de la excavación y la incorporación de vigas a medida que progresa la excavación. Así, la Ilustración 68 presenta la estructura en su totalidad en el interior del muro Milán, acompañada de una losa de cimentación de 60 cm de grosor.

Por lo tanto, esta losa de cimentación, también conocida como losa Radier, no solo será responsable de sostener el peso de la zona de estacionamiento, sino que también asumirá la carga total del edificio en sí. En este punto, las vigas se hallan completamente enlazadas a los pilotes y conectadas al muro.

Figura 68. Vista del sistema estructural de las vigas de losas y los pilotes, dentro del muro Milán. Fundición de la losa de Cimentación del piso -8



Una vez que se ha completado el proceso de vertido de la losa de cimentación, se procede a la desactivación del sistema de control del nivel freático, dado que se ha logrado una compensación efectiva entre la reducción de peso causada por la extracción de material y la resistencia brindada por la estructura cimentada.

Así, tal como se muestra en la Ilustración 69, se encamisan los pilotes para que pasen a funcionar como columnas estructurales y, en esa medida, fundir las losas superiores. Estas nuevas columnas tendrán una sección de 1,20 m x 1,20 m y, por consiguiente, soportarán las cargas muertas de las losas y demás cargas actuantes en la estructura.

Este procedimiento se ejecuta en una secuencia por niveles, lo que significa que se comienza revistiendo los pilotes del nivel -8; posteriormente, se coloca el concreto para formar la losa del nivel -7. Luego, se procede a revestir los pilotes del nivel -7 y se sigue con la fundición de la losa correspondiente al nivel -6. Así, esta secuencia se repite de manera iterativa hasta alcanzar el nivel 0, que es la planta baja del edificio.

Figura 69. *Encamisado de los pilotes para la ejecución de los pilares definitivos, donde se soportarán las losas de los entresijos*

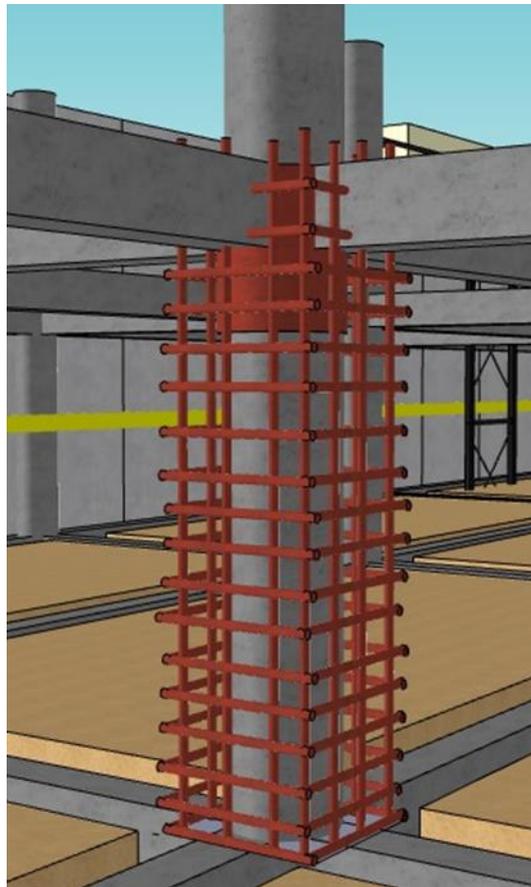


Figura 70. Encamisado y fundición de los pilotes que se convierten en los pilares definitivos

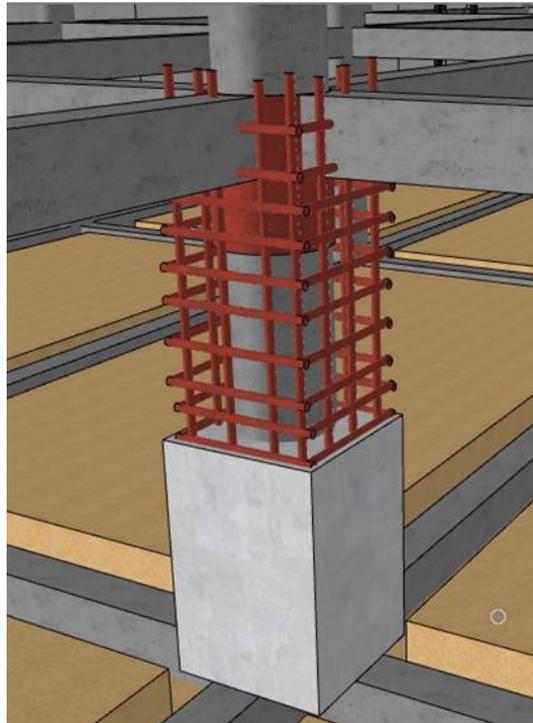


Figura 71. Encamisado y fundición de los pilotes que se convierten en los pilares definitivos

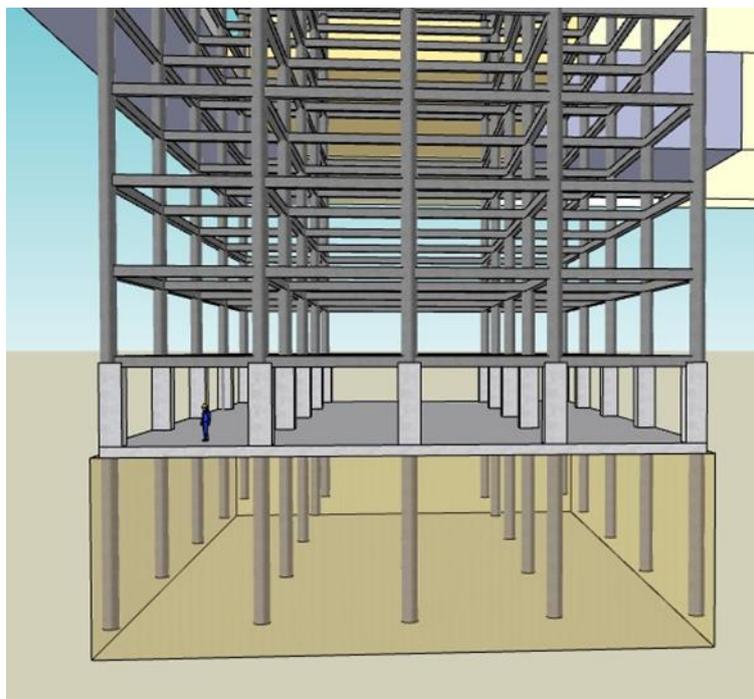


Figura 72. Vista de los pilares, losas y rampas de acceso al sótano concluido

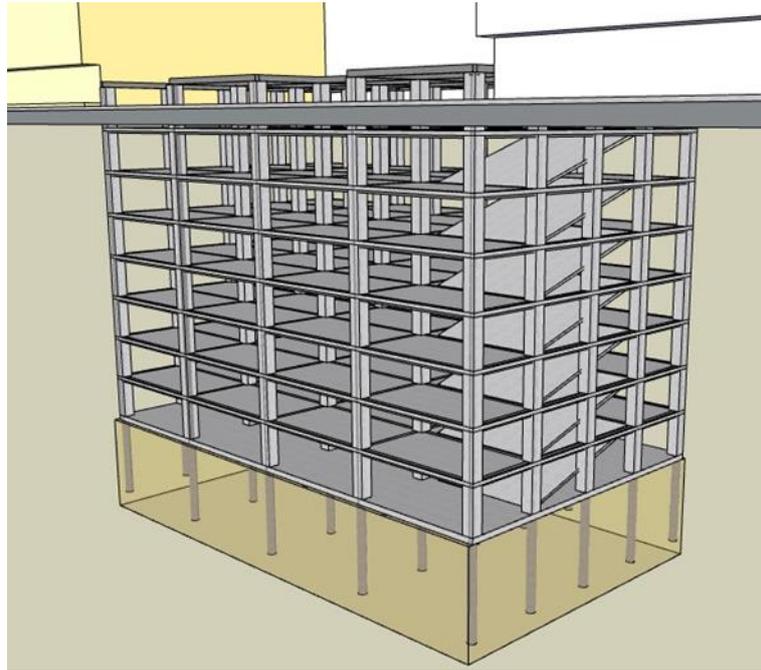
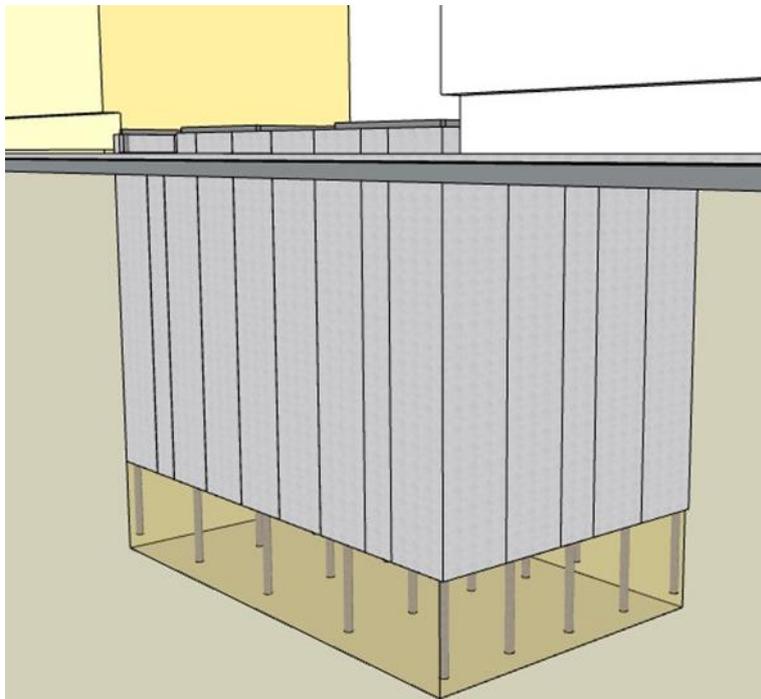


Figura 73. Vista de la cimentación con el muro Milán



Al completar la cimentación, se construirá la rampa de acceso en el nivel 0 o planta baja, la cual tendrá una pendiente positiva, con una altura de 1,50 m para contrarrestar el ingreso del agua al sótano y evitar inundaciones.

Figura 74. Planta baja del edificio con rampas de acceso que incluyen el sistema de no ingreso de aguas lluvias al sótano

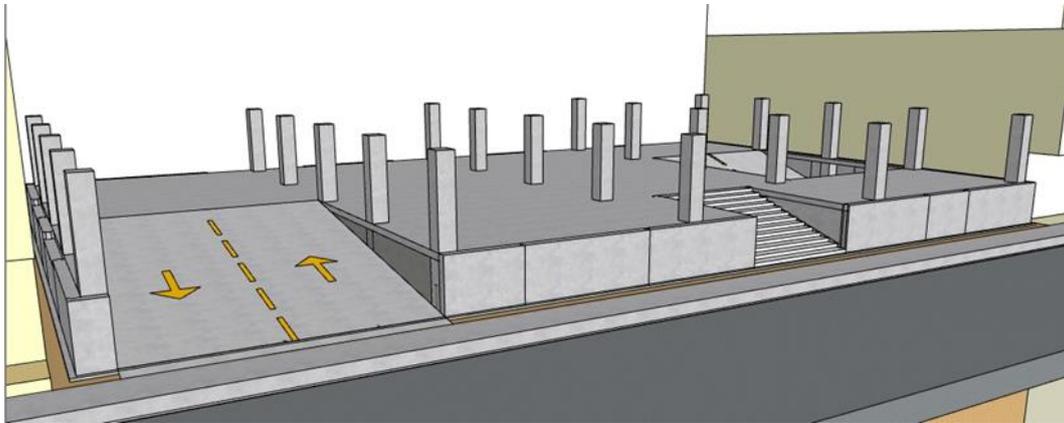


Figura 75. Vista de la rampa de acceso desde la calle. Se incluye el sistema de no ingreso de aguas lluvias al sótano

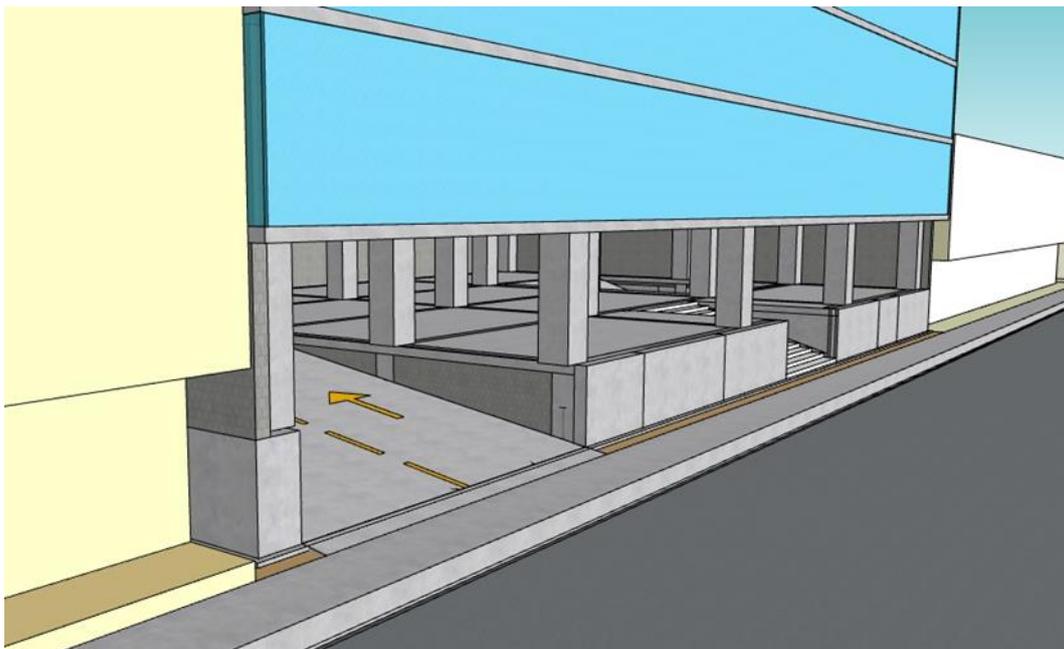
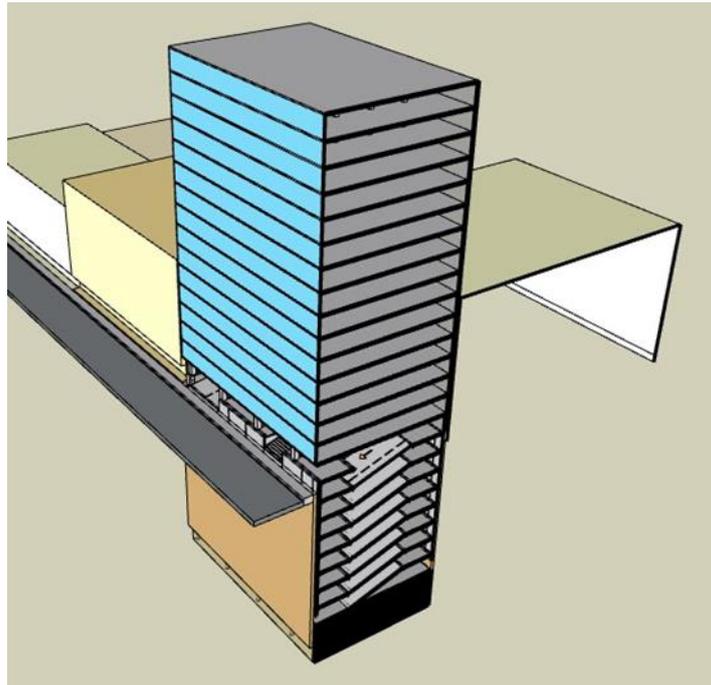


Figura 76. Vista del edificio concluido. 16 pisos hacia arriba y 8 hacia abajo



Una vez finalizada la edificación en todos los niveles, tanto superiores, como inferiores, se da por concluido el proceso constructivo. En esta etapa, se inicia la comercialización de las unidades residenciales y de oficinas, junto con la implementación del servicio de alquiler por hora de los espacios de estacionamiento, dirigido al público en general. En ese sentido, esta estrategia tiene como objetivo generar ingresos internos que se recaudarán entre los propietarios y se utilizarán para cubrir los gastos de mantenimiento y operación del edificio a lo largo del año.

Al haber transcurrido el periodo, se realiza una distribución equitativa de los excedentes de los ingresos acumulados entre los copropietarios. Por tal razón, esta dinámica establece un sistema de autogestión financiera para el edificio, puesto que los recursos generados en el interior se emplean para costear las necesidades de conservación y, de este modo, el inmueble se convierte en un ente autosuficiente en términos económicos.

### **4.3 Resultados y discusión**

Los autores del presente trabajo investigativo desarrollaron un sistema de construcción particular de sótanos subterráneos para edificios, ubicados en zonas de alto tráfico y con dificultades para encontrar estacionamiento. En consecuencia, para esta propuesta presentada, y a manera de ejemplo, se utilizó un solar de 30 m x 50 m ubicado en la ciudad de Guayaquil, en la Avenida Quito, entre Alcedo y Pedro Pablo Gómez. Como resultado, los suelos de este terreno corresponden a sedimentos saturados recientes depositados por los cuerpos de agua que rodean la urbe y que pertenecen al complejo estuarino sedimentario deltaico del Golfo de Guayaquil.

#### ***4.3.1 Metodología ejecutiva ascendente-descendente***

El sistema propuesto incluye la metodología de excavación y la construcción de un muro Milán perimetral, el cual evitará asentamientos en las construcciones vecinas e impedirá el ingreso de agua a la zona de excavación. Asimismo, este muro generará el refuerzo sísmico necesario para combatir las ondas de corte producidas por la sismicidad del lugar.

En esa medida, los autores presentaron, de forma gráfica, el proceso metodológico para la ejecución de la estructura del sistema de sótanos (pisos -8 a -1), sin generar atrasos en la construcción simultánea de la supra estructura (pisos 0 a +15). De la misma manera, se presentó el sistema de apuntalamiento de los muros diafragma con el fin de conceder mayor seguridad al proceso de excavación.

Igualmente, la edificación utilizó para su cimentación un sistema de pilotes pre barrenados de 35 cm de diámetro, que posteriormente se encamisaron para transformarse en pilares de 1,20 m x 1,20 m, exactamente son estos los que se arrancan desde la losa de

cimentación ubicada en el sótano -8. A partir del piso -7, se fueron fundiendo las losas sistemáticamente hasta llegar al piso 0, equivalente a la planta baja.

Esta metodología considera también un sistema de rebajamiento del nivel freático que permitirá que la excavación se realice con pocas dificultades. Adicionalmente, el material excavado será depositado en las zonas bajas ubicadas en los alrededores de Guayaquil, para lograr la reutilización de estos suelos arcillosos.

#### ***4.3.2 Diseño de hormigón Tremie para el muro Milán***

Los autores desarrollaron un diseño de hormigón Tremie para ser utilizado, en condiciones extremas, durante la construcción del muro Milán. Por otro lado, la temperatura ambiente de la ciudad de Guayaquil puede llegar hasta los 39 °C, lo que acelera el proceso de fraguado de los hormigones convencionales; esto dificultaría el hormigonado en los tramos del muro Milán. De tal manera que se podría comprometer la continuidad estructural de dichas paredes, así como su impermeabilidad debido a la presencia de fangos durante el proceso de fundición.

Por lo tanto, el diseño de hormigón Tremie propuesto utiliza un retardador de fraguado de última generación para hormigonados muy lentos, un súper fluidificante para hormigones auto nivelantes, que no podrán ser vibrados. Además, se empleó una curva granulométrica perfecta para el diseño, con tamaño máximo del agregado inferior a 10 mm, con el fin de evitar la segregación y la generación de alvéolos o espacios vacíos en el muro Milán.

#### ***4.3.3 Edificación con rentas propias***

La presente propuesta de una edificación de 15 niveles en altura y 8 pisos para estacionamiento subterráneo contribuirá con una solución para los problemas de tráfico

en el sector, debido a que los propietarios utilizarán una parte de los estacionamientos del edificio, y los demás espacios de parqueo servirán como estacionamientos de alquiler. En consecuencia, esta situación particular de la edificación posibilitará que la administración del edificio obtenga ingresos económicos por el alquiler de parqueos a particulares. Los propietarios de la edificación tendrán rentas propias, al mismo tiempo que contribuirán con una solución segura ante la ausencia de espacios para estacionamientos en el sector.

#### ***4.3.4 Sistema de no ingreso de aguas lluvias al sótano***

Los autores incluyen en la presente propuesta el diseño de un sistema de accesos con elementos impermeables, lo cual impedirá el libre ingreso de aguas lluvias al sótano para estacionamientos subterráneos. En esa medida, este sistema consiste en que los vehículos deberán subir hasta el primer piso alto, para iniciar el descenso a las distintas zonas de parqueo. Cabe recordar que la ciudad de Guayaquil es una de las ciudades con mayor probabilidad de inundaciones en el continente americano, debido a que su cota en las zonas bajas está entre 3,2 y 4,2 m sobre el nivel medio del mar, en una zona de inundación natural severa.

## Conclusiones

Para la ejecución de la presente propuesta, se realizó una investigación bibliográfica que incluyó edificaciones, a nivel planetario, con sótanos subterráneos, construidos sobre suelos blandos y con alto nivel freático. En ese orden de ideas, se verificó que el muro Milán es un artificio ingenieril eficiente para facilitar los procesos de excavación en suelos blandos con seguridad. De igual modo, este tipo de muro protege a las edificaciones vecinas, así como a las obras de infraestructura pública con asentamientos indeseables. Asimismo, estos muros logran que los niveles de agua freática se mantengan bajos y permitan la excavación segura. En suma, La literatura especializada ratifica el alto desempeño de estos muros para atenuar las ondas sísmicas.

En consecuencia, los autores sistematizaron en una propuesta gráfica la metodología innovativa para la ejecución del sistema de 8 niveles de sótanos, al emplear la técnica Top-Down o ascendente-descendente y aplicada en un terreno de 1500 m<sup>2</sup>, ubicado en el centro de la ciudad de Guayaquil. Así, se propuso la construcción de un muro Milán perimetral antes de que los trabajos se inicien.

Igualmente, los autores desarrollaron un diseño de hormigón Tremie que podrá ser utilizado en ambientes con clima caluroso, durante el proceso de fundición del muro Milán. Este diseño posibilitará laborar en condiciones extremas y en procesos de hormigonado lento, sin que se presenten interrupciones durante la fundición, segregación del agregado grueso a causa de la armadura o la presencia de zonas defectuosas que permitan el paso del agua a través del muro.

La propuesta contribuirá con los criterios de ciudades sostenibles, contenidos en el objetivo de desarrollo sostenible número 11, de la Agenda 2030 de la ONU. En efecto, esta propuesta contribuirá con una solución a la falta de estacionamientos en el sector,

para los vehículos particulares, al mismo tiempo que generará rentas propias para los propietarios del edificio.

Finalmente, la presente propuesta incluye un sistema sismo resistente, por la presencia del muro Milán en el perímetro del terreno. Asimismo, se incluyó un sistema que impedirá el ingreso de aguas lluvias al sótano a través de una rampa que lleva a los vehículos hasta el primer piso, antes de iniciar su descenso a las áreas de estacionamiento subterráneo, en una zona céntrica de Guayaquil, sujeta a procesos de inundación natural severa debido a la cota cercana al nivel medio del mar en la que se encuentra.

## Referencias

- ACI Committee 336. (2001). *Suggested Practice for Selecting Proportions for Tremie Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 211. (2011). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- ACI Committee 228. (2018). *Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 304. (2012). *Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*.
- Almeida, J. G., & Oliveira, R. D. (2001). Proceedings of the 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Estambul: Comite Des Publications Du XV CIMSG.
- ASTM International. (2011). Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils. doi:10.1520/D1586-11
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*. ASTM International.
- Benítez, S. (1975). *Morfología y sedimentos de la plataforma continental del golfo de Guayaquil*, Tesis de Grado para el título de Ing. Geólogo-ESPOL. ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/32475>
- Benítez, S. (1990). *Memoria Técnica: Mapa geológico de las formaciones Cayo y Guayaquil en la ciudad de Guayaquil*. [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA8/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/GUAYAS/GUAY AQUIL/MEMORIA\\_TECNICA/mt\\_geomorfologia.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA8/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/GUAYAS/GUAY AQUIL/MEMORIA_TECNICA/mt_geomorfologia.pdf)

- Benítez, S. (1995). *Evolution Géodynamique de la Côte Équatorienne*. Obtenido de Universidad de Grenoble: [http://geologie-alpine.ujf-grenoble.fr/articles/GA\\_1995\\_\\_71\\_\\_3\\_0.pdf](http://geologie-alpine.ujf-grenoble.fr/articles/GA_1995__71__3_0.pdf)
- Berrones G. (1994). *Evolución geodinámica del graben de jambelí desde el mioceno superior hasta el reciente*. s/e.
- Bourdon, E, Gutscher, M, Hall, & C. (2003). Magmatic response to early aseismic ridge subduction: the Ecuadorian margin case (South America). *Earth and Planetary Science Letters*, (205), 123-138. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)01024-5](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)01024-5).
- Bove, D. (2018). Glacial geomorphology from two Central Volcanic Zone stratovolcanoes in Ecuador. *Andean Geology*, 45(1), 23-43.
- Bowles, J. E. (1966). *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill Education.
- Brown, S. (2014). *Concrete Technology for Sustainable Development*. CRC Press.
- Budhu, M. (2013). *Soil mechanics and foundations*. John Wiley & Sons.
- Cabeza, G., Ruata, S., Leyva, M., & Cordova, F. (2018). Evaluación Tráfico vehicular para conocer Nivel de servicio de Avenida Francisco de Orellana, ciudad Guayaquil. *Revista Ciencia e Investigación*, 69-72. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7364568>.
- Caran, M. (2003). Geomorphology and soil micromorphology in Ecuador: profiles and landscapes. *Catena*, 52(2-4), 165-178.
- Carrillo, A., & Salazar, F. (2018). *Análisis de solución alternativa al método convencional para la construcción de sótanos, considerando el uso de anclajes activos “springsol” (patentados por soletanche bachy cimas s.a) en los suelos*

*blandos característicos de la sabana de Bogotá*. Universidad Distrital Francisco

José

de

Caldas:

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14124/CarrilloNavarroAndresFelipe2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cement Concrete & Aggregates. (2020). *Special Concrete Agregation - Underwater Tremie Concrete*. Cement Concrete & Aggregates.

Chen, L. (2020). Applications of Tremie Concrete Design in Various Construction Contexts. *Construction Engineering and Management*, 28(4), 289-301.

Cobos, L., & Montengro, G. (2010). *Estudio integrado del Golfo de Guayaquil del Mioceno al reciente*.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9091/1/Estudio%20Integrado%20del%20Golfo%20de%20Guayaquil%20del%20Mioceno%20al%20reciente.pdf>

Coduto, D. P. (2001). *Geotechnical engineering: principles and practices*. Pearson.

Consulsua Geoestudios. (2012). *Geología, Geotecnia, Sedimentos de Subfondo y Sísmica de Refracción*. Consulsua Geoestudios.

Consultora Vera y Asociados. (2002). *Estudio para el Viaducto de la Av. Machala*. M.I. Municipalidad de Guayaquil.

Costanza-Robinson, M. (2008). Coastal sedimentary archives in Ecuador. En G. Postma, & C. N. G. (Edits.), *Sedimentary coastal zones from high to low latitudes: similarities and differences* (págs. 71-83). Geological Society of America.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2007). *Principles of geotechnical engineering*. Cengage Learning.

- Deniaud, Y., Baby, P., Basile, C., Ordonez, M., Montenegro, G., & Mascle, G. (1999). Ouverture et evolution tectono-sedimentaire du golfe de Guayaquil; basin d'avant-arc neogene et quaternaire du Sud des Andes equatoriennes. Opening and tectonosedimentary evolution of the Gulf of Guayaquil; a Neogene and Quaternary fore-arc basin of the s. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Serie II. Sciences de la Terre et des Planetes*, 328, 181-187. 10.1016/S1251-8050(99)80094-9 .
- Diario El Universo. (2022). *'Uno se estresa mucho al circular por el centro'*. Con la reactivación de actividades, en varias vías céntricas de Guayaquil se complica la movilidad vehicular. <https://n9.cl/j8w0o>
- Dumont, J., Santana, E., Vilema, W., Pedoja, K., Ordoñez, M., Cruz, M., . . . Zambrano, I. (2005). Morphological and microtectonic analysis of Quaternary deformation from Puna and Santa Clara Islands, Gulf of Guayaquil, Ecuador (South America), Tectonophysics. *Tectonophysics*, (399), 331-350. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.029>.
- Egüez, A., & Robinson, D. (2000). *Geology of Ecuador*. (P. Mann, Ed.) Geological Society of London.
- Eguez, Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M., Costa, C., Dart, R., & Bradley, L. (2003). *Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions: U.S. Geological Survey Open-File Report 03-289*.
- European Federation of Foundation Contractors and Deep Foundations Institute. (2016). *Best Practice Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations*. EFFC/DFI Concrete Task Group.

- Foster, E., & Alvarado, M. (2012). Sedimentation and tectonics in the late Upper Cretaceous of the coastal region of Ecuador. *Geological Society, London, Special Publications*, 375(1), 375-394. doi:<https://doi.org/10.1144/SP375.10>
- Fuentes, J. (2015). *Análisis geológico-estructural de la zona de Guayaquil y su influencia en la estabilidad de las edificaciones*. Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39882>
- García, A. (2015). *Hormigón: teoría y práctica* (Tercera ed.). Ediciones de la Universidad.
- García-Sánchez, F., Escribano, A., & Rodríguez-Cabello, F. (2016). Assessing the Relative Contribution of Vertical Land Movements, Tides and Sea Level to Coastal Flooding: A Case Study in Guayaquil (Ecuador). *Regional Environmental Change*, 16(3), 633-641. doi:10.1007/s10113-015-0784-5
- Gazetas, G. (1998). Dynamics of Soil-Pile Interaction: A Review. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(8), 817-833.
- Geoestudios S.A. (2015). *Elaboración del documento de microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011*. <https://n9.cl/o0i4o>
- Geotecnia y Mecánica de Suelos ABC. (2021). *Cimentaciones: Tipos y Losas de Cimentación*. <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/cimentaciones/>
- Ghosh, S. K., & Das, B. M. (2010). *Desarrollo histórico de las cimentaciones de pilotes*. Springer.
- Goh, A. T., & Tan, T. S. (2016). Diseño y construcción de pilotes de tracción en Singapur. *Revista de ingeniería geotécnica de SEAGS y AGSSEA*, 47(3), 1-8.

- Goh, A. T., & Tan, T. S. (2017). Comparison of tension piles with other foundation systems. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 143(9).
- Gómez, J. A., Arango, S., & Torres, J. (2019). Aplicación del principio de Arquímedes en la determinación de la capacidad de carga de pilotes. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 28(51), 33-44.  
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/338949>
- González, M. (2008). Estratigrafía y sedimentología de las unidades miocenas del denominado "Complejo de Yaguarcocha" en la Depresión del Toachi-Ulubra, Provincias de Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Revista Geológica de América Central*, 39, 27-39.
- Goosens, P. (1970). *La Geología Del Ecuador*. s/e.
- Goyes, P. (1987). *Seismic stratigraphy and structure of the Progreso Basin, Ecuador*.  
<https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/ETD-TAMU-1987-THESIS-G724>
- Hall, M. L., & Mothes, P. A. (1995). Las erupciones de la Sierra y de la costa. El volcán Chimborazo. *Boletín Ciencias de la Tierra*, (13), 65-75.
- Hanna, A. M., Kassim, K. A., & Al-Shamrani, M. A. (2018). Behavior of reinforced sand columns subjected to vertical loads. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 36(2), 1085-1100. doi:10.1007/s10706-017-0317-4
- Hird, C., & Thom, N. (2017). *Offshore Geotechnical Engineering*. CRC Press.
- Jardine, R. J., Potts, D. M., & Bolton, K. J. (2014). Foundation Engineering. En S. G. Milligan (Ed.), *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables* (2 ed., págs. 3-15). RC Press.

- Johnson, A., & Brown, R. (2019). Tremie Concrete Design for Subaquatic and Maritime Structures. *Marine Structures*, 32, 67-82.
- Johnson, M. (2012). *Concrete Mix Design, Quality Control, and Specification* (Cuarta ed.). CRC Press.
- Kandil, A. A., & El Naggar, M. H. (2011). Field Load Testing of Tension Piles. *Canadian Geotechnical Journal*, 48(4), 627-640. doi:<https://doi.org/10.1139/t11-018>
- Kimayong, R. J., & Jacinto, P. E. (2015). Design and Construction of Deep Foundation: Case Study of Tremie Concrete Pile. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(9), 403-408.
- Lahr, F. (1989). Geology, stratigraphy and volcanology of Galápagos Islands. En F. Lahr, *The Geology of North America: An Overview: PHS 17* (págs. 537-563). Geological Society of America.
- Liu, J., & Wang, C. (2018). Performance of tension piles under different loading conditions: A numerical study. *Geomechanics and Engineering*, 15(1), 1-12.
- Lonsdale. (1978). *Ecuadorian Subduction System*.
- Lopez, R. (2016). *Rheology of Fresh Cement and Concrete: Recent Developments*. CRC Press.
- Mantilla, R. (2014). Using GIS and multicriteria analysis for land use planning of Guayaquil, Ecuador. *Applied Geography*, 54, 83-95.
- Márquez, J. (2004). *Estrés- afrontamiento ante el tráfico vehicular en choferes de transporte público de la ciudad de México {tesis de licenciatura, universidad nacional autónoma de México*. Universidad Nacional Autónoma de México:

[https://ru.dgb.unam.mx/jspui/bitstream/DGB\\_UNAM/TES01000600792/3/0600792.pdf](https://ru.dgb.unam.mx/jspui/bitstream/DGB_UNAM/TES01000600792/3/0600792.pdf)

Martínez, R. (2013). Técnicas de construcción con hormigón armado. *Revista de Obras Públicas*, 160(3596).

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill.

Melo, M. F., Cañada, F., Martínez, M. A., & Sánchez, J. L. (2016). Conocimiento didáctico del contenido sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la flotación. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 23(76), 253-279.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-66662018000100253](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662018000100253)

Muy Ilustre Consejo Cantonal de Guayaquil. (2020). *Home*.  
<https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/Ordenes%20Dia/2020/Marzo/2020-03-12%20Orden%20del%20d%C3%ADa%20sesi%C3%B3n%20ordinaria/2020-03-12%20PUNTO%208%20DAJ-IJ-2020-3262.pdf>

Navarrete, E. (2018). *Itinerarios Geológicos de la Costa del Ecuador. Guayaquil y sus Alrededores*. Escuela Superior Politécnica del Litoral [ESPOL].

Neville, A. M. (2011). Control and Monitoring Techniques in Tremie Concrete Placement. *Concrete Technology Journal*, 34(2), 110-125.

Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. Trans-Atlantic Publications, Inc.

Nieto, L. (2011). El antiguo mar de Guayaquil. La cuenca del río Guayas. *Revista Universidad de Guayaquil*, 110(1),  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8368249>.

- Olson, S. M. (1981). Numerical Methods for the Solution of the Wave Equation in Piles. *Journal of Geotechnical Engineering*, 107(3), 353-367.
- Ordóñez, M., Jiménez, N., & Suárez, J. (2006). *Micropaleontología Ecuatoriana*. s/e.
- O'Reilly, M., & New, B. (2015). *Deep Foundations and Geotechnical In Situ Testing*. ICE Publishing.
- Organo Oficial de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C. (2020). *Cimentaciones compensadas con Pilotes de Fricción para Disminuir Asentamientos*. <https://www.smig.org.mx/archivos/revista-trimestral-smig/revista-geotecnia-smig-numero-254.pdf>
- Páez, P., & Martínez, J. (2019). *Análisis probabilístico de la falla de fondo en excavaciones urbanas en los suelos blandos de*. Universidad Santo Tomás: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19263/2019julymartinez.pdf?sequence=11>
- Paredes, R. (2015). Geological Evolution of the Ecuadorian Coastal Zone and Its Influence on the Geotechnical Behavior of Soils. *Proceedings of the 8th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground (TC204 ISSMGE)*.
- Pinzon, J. (2006). Viscosidad de suspensiones de una bentonita en estado natural y organoflica. *Revista Colombiana de Química*, 35(2), 225-233. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309026669006.pdf>.
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (2012). *Pile Foundation Analysis and Design*. Wiley.
- Quadros, L. P., & Villagómez, D. (2017). Análisis de la Formación Balao en la Cuenca Guayaquil. *Revista del Instituto de Investigaciones GEOCIENCIAS*, 47(2), 57-68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95957214006>

- Rahimi, S., & Soroush, A. (2013). Comparative study of compensation grouting and underpinning techniques. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 5(1), 1-10.
- Randolph, M. F., & Wroth, C. P. (1978). An analysis of the horizontal resistance of piles in cohesive soils. *Géotechnique*, 28(3), 269-281.
- Reyes, R. (2012). Eolian sediments in the Holocene fluvial-filled Quaternary basin of the Guayas River (Guayaquil-Ecuador). *Quaternary International*, 272-273, 32-42.
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Ivarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yopez, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en Ecuador*. Corporación Editora Nacional – CEN.
- Roesset, J. M. (1978). Wave Propagation in Piles. *Journal of Geotechnical Engineering*, 104(7), 909-924.
- Salomon. (2018). *Ingeniería Geotécnica*. Obtenido de <https://www.salomon.ec/pilotes/>
- Sánchez, F. J. (2010). *Tecnología de la construcción: Procesos constructivos*. Gustavo Gili.
- Sánchez-Andrade, G., & Andrade, R. (2013). Sedimentología y bioestratigrafía del Neógeno de la costa sudoeste del Golfo de Guayaquil, Ecuador. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(3), 431-452.
- Schmitt, H., & Heene, A. (2002). *Tratado de construcción*. Editorial Gustavo Gili.
- Shahin, M. A., Youssef, M. A., & El Naggar, A. H. (2019). Tension piles: A review of design, construction, and performance. *Alexandria Engineering Journal*, 58(4), 1199-1217.

- Sifferman, V. (2005). Engineering properties of soils of Guayaquil (Ecuador). *Proceedings XVI International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (págs. 2413-2416).
- SILSOIL. (2010). *SILSOIL muro pantalla Kobelco BME 750-HD*. YouTube: [https://www.youtube.com/watch?v=lrR\\_WIGrLxA&t=114s](https://www.youtube.com/watch?v=lrR_WIGrLxA&t=114s)
- Sims, D., Ferrill, D., & Stamatakos J.A. (1999). *Role of a ductile décollement in the development of pull-apart basins: Experimental results and natural examples*. Elsevier.
- Smith, J. (2010). *Principles of Stratigraphy*. Wiley-Blackwell.
- Smith, J. (2018). *Concrete Materials: Properties, Specifications, and Testing* (Tercera ed.). CRC Press.
- Smith, J. (2018). The Advantages of Tremie Concrete Design for Deep Foundations and Piles. *Journal of Geotechnical Engineering*, 45(2), 124-132.
- Sornoza, L., & Ureña, S. (2019). *Caracterización de los suelos del Parque Histórico de Guayaquil*. Universidad de Guayaquil.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. John Wiley & Sons.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley.
- Tiktin, J. (1997). *Procedimientos generales de construcción: movimiento de tierras : utilización de la maquinaria, producciones y casos prácticos, compactación de materiales, utilización de compactadores*. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

- Tinoco-Ojanguren, C., Plaza-González, M. J., & Hidalgo-Moreno, C. M. (2017). Contamination by heavy metals in urban soils of Guayaquil, Ecuador. *Chemosphere*, 188, 529-537. 10.1016/j.chemosphere.2017.08.105
- Topographic. (s.f.). *Mapa topográfico Guayaquil*. <https://es-es.topographic-map.com/map-2rstf/Guayaquil/?popup=-2.44015%2C-79.13835&center=-2.14997%2C-79.84144&zoom=14>
- Urbina, R. (2004). *Guía Para el Diseño de Pilotes*. Universidad de Piura, Piura.
- Valverde, M., Cabrera, E., & Rodríguez, H. (2013). Caracterización física y química de los suelos en la Unidad Educativa Fiscal Juan Montalvo, Guayaquil-Ecuador. *Ekología Aplicada*, 12(1), 47-53.
- Vera, X., Benítez, S., Álvarez, V., & Mera, W. (2005). *Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38271?mode=full>
- Vera-Grunauer, X., Kayen, R., Tandazo Ortega, E., Ramírez Calderón, J., & Vera Grunauer, J. (2005). *Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. Estudio Geotécnico Fase I y II*. M.I. Municipalidad de Guayaquil.
- Vilema, W., & García, M. (1986). *Síntesis Geológica de la Isla Puná*. Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas y Petroleos.
- Whittle, K. (2010). *Construction Management: Principles and Practice*. s/e.
- Yepez, V. (2016). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. [https://www21.ucsg.edu.ec:2653/es/ereader/ucsg/57415?as\\_all=Procedimientos\\_](https://www21.ucsg.edu.ec:2653/es/ereader/ucsg/57415?as_all=Procedimientos_)

\_de\_\_construcci%C3%B3n\_\_de\_\_cimentaciones\_\_y\_\_estructuras\_\_de\_\_conten  
ci%C3%B3n&as\_all\_op=unaccent\_\_icontains&prev=as

Zhang , Kong, L., Yang, A., & Sayem, H. (2016). *Thixotropic mechanism of clay: A microstructural investigation*. <https://n9.cl/65boc>

Zhang, Q., & Zhang, H. (2017). Numerical analysis on behavior of shallow foundations on geogrid-reinforced clay using finite element method. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(6), 635-643.

Zhang, Y. (2018). High-performance concrete for tremie applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*.



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, Prado Pileggi, José Fernando con C.C: # 0923648067y García Guerra, Gabriel Joao con C.C: #0956373773 autores del Trabajo de Titulación: Sótanos en edificios con cimentación compensada para revitalizar tránsito urbano complejo y generar renta propia, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT, en formato digital, una copia del referido Trabajo de Titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT para tener una copia del referido Trabajo de Titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

**Guayaquil, 8 de septiembre de 2023**

f. \_\_\_\_\_  
Nombre: **Prado Pileggi, José Fernando**  
C.C: **0923648067**

f. \_\_\_\_\_  
Nombre: **García Guerra, Gabriel Joao**  
C.C: **0956373773**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Sótanos en edificios con cimentación compensada para revitalizar tránsito urbano complejo y generar renta propia.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Prado Pileggi, José Fernando García Guerra, Gabriel Joao		
<b>TUTOR:</b>	Ing. Colón Gilberto, Martínez Rehpani, M.Sc		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	8 de septiembre de 2023	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	121
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ingeniería, Cimentación, Construcción.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Cimentación Compensada, Guayaquil, Muro Milán, Diseño de Hormigón Tremie, Sistema de Bombeo de Agua, Sótano		

**RESUMEN:** La investigación se centra en soluciones de estacionamiento para evitar la búsqueda de espacios en superficie en ciudades con suelos blandos, como Guayaquil. También aborda el desafío de prevenir la entrada de agua en sótanos debido a la baja altitud de la ciudad. Se enfoca en el centro de Guayaquil, específicamente en la avenida Quito, un área con alto riesgo sísmico. Para brindar seguridad y resistencia sísmica, se propone el uso del muro Milán en lugar de solo pilotes.

Este muro de 40 centímetros de espesor amortiguaría el impacto inicial en caso de un sismo. La investigación también implica pruebas de rotura en probetas de Hormigón Tremie para evaluar su impermeabilidad y calidad estructural. Estas pruebas buscan asegurar que el hormigón cumpla con los estándares requeridos en términos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad necesarios para cimentaciones profundas, como las necesarias en un muro Milán. En conclusión, este estudio propone soluciones innovadoras para el estacionamiento en ciudades con suelos blandos, considerando los desafíos de inundaciones y actividad sísmica. Propone el uso de muros Milán para mejorar el comportamiento estructural frente a los terremotos y realiza algunas pruebas en el Hormigón Tremie para garantizar su idoneidad en cimentaciones profundas. Esta propuesta podría tener un impacto significativo en la planificación urbana y la construcción de infraestructuras en Guayaquil y áreas similares.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	SI	NO
<b>CONTACTO CON AUTORES:</b>	<b>Teléfonos:</b> +593-939306224 +593-979831028	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:josefoprado@hotmail.com">josefoprado@hotmail.com</a> <a href="mailto:gabrielgarcia-25-@hotmail.com">gabrielgarcia-25-@hotmail.com</a>
	<b>Nombre:</b> Clara Glas Cevallos <b>Teléfono:</b> +593-4-2206956 <b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	

#### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	