



**SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA EDIFICIOS DE SALUD
EN SUELOS BLANDOS. Quito, 2024.**

**Bryan Salvador Flores Jiménez
Diego Marcelo Justicia Chamorro**



**Universidad
Indoamérica**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE ARQUITECTURA**

**“ SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA EDIFICIOS DE SALUD EN SUELOS
BLANDOS, QUITO, 2024 ”**

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de
Arquitecto

Autor(a)

**Flores Jimenéz Bryan Salvador
Justicia Chamorro Diego Marcelo**

Tutor(a)

Ing. Jorge Ponce Tamayo

**QUITO - ECUADOR
2024**

Flores,B. (2024).

Justicica,D. (2024).

Soluciones constructivas para edificios de salud en
suelos blandos, Quito, 2024.

Universidad Tecnológica Indoamérica - Quito

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, FLORES JIMÉNEZ BRYAN SALVADOR, y , JUSTICIA CHAMORRO DIEGO MARCELO, declaramos ser autores del Trabajo de Titulación con el nombre “SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA EDIFICIOS DE SALUD EN SUELOS BLANDOS, QUITO, 2024”. como requisito para optar al grado de Arquitecto y autorico al sistema de Biblioteca de la Universidad Tecnológica Indoamerica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deba firmar convenios especificos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Quito, a los 28 días del mes de Febrero de 2025, firmo conforme:

.....
FLORES JIMÉNEZ BRYAN SALVADOR
C.I. 1725274177
Dirección: ATAHUALPA Y ALBERTO VEGA
Correo: bryjimenez4@gmail.com

.....
JUSTICIA CHAMORRO DIEGO MARCELO
C.I. 1002662144
Dirección: AV. KENEDDY
Correo: diegojusticia2020@gmail.com

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaramos que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Arquitecto, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica de los autores.

Quito, 28 de febrero de 2025

.....
FLORES JIMENEZ BRYAN SALVADOR
C.I. 1725274177

.....
JUSTICIA CHAMORRO DIEGO MARCELO
C.I. 1002662144

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “ SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA EDIFICIOS DE SALUD EN SUELOS BLANDOS, QUITO, 2024 ”presentado por FLORES JIMENEZ BRYAN SALVADOR y JUSTICIA CHAMORRO DIEGO MARCELO para optar por el titulo de Arquitecto., CERTIFICO Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 28 de febrero de 2025

.....
ING.PONCE TAMAYO JORGE
C.I. 1767008436

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado sobre el Tema: SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA EDIFICOS DE SALUD EN SUELOS BLANDOS, QUITO, 2024, previo a la obtención del Título de Arquitecto, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de integración curricular.

Quito, 28 de febrero de 2025

.....
MSC.CASTRO RUIZ JUAN JOSÉ
C.I. 1719954354

.....
ARQ. LEIVA GUZMÁN JOSÉ RAMÓN
C.I. 1756756902

DEDICATORIA

Este trabajo es el fruto de años de esfuerzo, aprendizaje y perseverancia. Sin embargo, hay personas fundamentales en este camino a quienes deseo dedicar este logro. A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso, iluminando mi camino en los momentos de incertidumbre. A mi madre Iralda y mi padre Salvador, ejemplo de amor, sacrificio y dedicación. Gracias por enseñarme que los sueños se construyen con trabajo y perseverancia. Su apoyo incondicional ha sido mi mayor pilar. A mi familia, por su amor y compañía, por cada palabra de aliento y sonrisa de orgullo que me motivaron a seguir adelante. A mis amigos, por su compañía en los momentos de alegría y dificultad, recordándome siempre disfrutar el camino. A mis profesores y mentores, cuya dedicación y guía han dejado en mí una huella imborrable y su enseñanza, el legado que llevaré siempre en mi corazón. A todos los que, de alguna manera, han sido parte de este proceso. Sin su amor y apoyo, este sueño no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Su luz ha iluminado mis días de incertidumbre, brindándome esperanza en los momentos difíciles. En cada desafío, en cada noche de esfuerzo y en cada prueba superada, su presencia ha sido mi refugio y mi mayor fuente de inspiración. Sin su amor y su gracia, este logro no habría sido posible. Agradezco a mis padres, quienes con su amor incondicional y sacrificio han sido los cimientos sobre los que he construido mis sueños. Su apoyo constante, sus enseñanzas y su confianza en mí han sido la motivación que me ha impulsado a seguir adelante. Gracias por su esfuerzo, por cada palabra de aliento y por demostrarme que con perseverancia y determinación todo es posible.

Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, que han estado a mi lado en cada momento.

Bryan Salvador Flores Jiménez

DEDICATORIA

Esta tesis es un tributo al amor incondicional y a la fe inquebrantable de mi madre. Desde el principio, creyó en mi capacidad para lograr grandes cosas, incluso cuando yo mismo dudaba. Su apoyo y aliento me permitieron superar obstáculos y perseverar en momentos difíciles. Su influencia en mi vida ha sido profunda y transformadora. Me enseñó a valorar la educación, a trabajar duro y a nunca rendirme. Su ejemplo de fortaleza me ha inspirado a ser una mejor persona. A mis amigos, quienes fueron testigos de mi esfuerzo y me acompañaron en este largo camino, por estar siempre a mi lado, por escuchar, por sus consejos y por su amistad. Este trabajo es un fruto de mucho esfuerzo y dedicación por lo que les dedico este logro con todo mi cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a todas las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo de titulación. En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis profesores tutores de carrera, por su guía, apoyo y orientación constante a lo largo de este proceso. Su experiencia y conocimiento fueron fundamentales para la realización de este trabajo. También quiero agradecer a mis familiares y amigos, que me brindaron su apoyo emocional y me ayudaron a mantener la motivación y el entusiasmo durante los momentos más desafiantes. Agradezco además a las personas que participaron en la investigación, por su tiempo y colaboración. Y finalmente, quiero agradecer a la universidad Indoamérica por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo y por la formación académica que recibí.

Diego Marcelo Justicia Chamorro

RESUMEN EJECUTIVO

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA EDIFICIOS DE SALUD EN SUELOS BLANDOS, QUITO, 2024

El crecimiento urbano de Quito ha modificado significativamente el entorno natural, especialmente en sectores como La Ferroviaria, donde los suelos blandos presentan alta compresibilidad, baja capacidad portante y riesgos de deslizamientos. Estas condiciones complican la construcción de edificaciones esenciales, como edificios de salud, que requieren cimentaciones sismorresistentes y soluciones específicas para garantizar su estabilidad. Esta tesis de investigación analiza las características geotécnicas de la zona y propone alternativas constructivas para cimentaciones en terrenos complejos.

En base a la problemática y para dar una respuesta, la presente tesis de investigación opta por un enfoque metodológico mixto, en el cual se realizaron estudios del nivel freático, características del suelo y análisis de interacción suelo-estructura, complementados con la revisión de normativas como la NEC 2015. Además, se analizaron casos de estudio e investigaciones relevantes, nacionales e internacionales en suelos blandos, que demuestran la influencia de las propiedades mecánicas del terreno en el comportamiento estructural y en el desempeño sísmico.

Los resultados identifican que los suelos de la Ferroviaria requieren soluciones especializadas de cimentación profunda para garantizar la estabilidad y seguridad de las edificaciones. Entre las técnicas más adecuadas destacan el uso de pilotes tipo caisson ya que es una de las estrategias más efectivas, ya que permite transferir las cargas del edificio de salud hacia estratos más resistentes del subsuelo, y prevenir fallas estructurales. Estas soluciones también optimizan la interacción entre el suelo y la estructura, minimizando los riesgos de asentamientos y deslizamientos en áreas urbanas con alta vulnerabilidad geotécnica.

Como conclusión, la investigación destaca la importancia de considerar las características específicas del terreno para el correcto diseño de cimentaciones para edificaciones de salud. Ya que no solo benefician a las infraestructuras de salud, sino que también sientan las bases para el crecimiento urbano ordenado y la mitigación de riesgos en el sector de la ferroviaria. Realizar un enfoque integral que incluya análisis detallados del suelo y técnicas constructivas avanzadas garantiza edificaciones seguras y funcionales, incluso en suelos problemáticos. Este modelo puede replicarse en otras zonas urbanas con condiciones similares, contribuyendo al desarrollo sostenible y seguro de las ciudades.

DESCRIPTORES: (Cimentaciones profundas, Interacción suelo-estructura, Suelos blandos, Vulnerabilidad geotécnica.)

ABSTRACT

CONSTRUCTION SOLUTIONS FOR HEALTH BUILDINGS ON SOFT SOILS, QUITO, 2024.

The natural environment has been significantly altered by the urban growth of Quito, especially in sectors such as “La Ferroviaria”, where soft soils have high compressibility, low load-bearing capacity, and risk of landslides. These conditions complicate the construction of essential buildings, such as health buildings, which require earthquakeresistant foundations and specific solutions to ensure their stability. This research thesis analyzes the geotechnical characteristics of the area and proposes construction alternatives for foundations on complex terrain.

Based on the problem and to provide an answer, this research thesis opts for a mixed methodological approach, in which studies of the water table, soil characteristics, and soil-structure interaction analysis were completed, complemented by the review of regulations such as NEC 2015. In addition, relevant national and international case studies and research on soft soils were analyzed, demonstrating the influence of the mechanical properties of the terrain on structural behavior and seismic performance.

The results identify that railway soils require specialized deep foundation solutions to ensure the stability and safety of buildings. Among the most suitable techniques, the use of caisson piles stands out, as it is one of the most effective strategies since it allows the transfer of loads from the health building to more resistant subsoil strata and prevents structural failures. These solutions also optimize the interaction between the soil and the structure, minimizing the risks of settlements and landslides in urban areas with high geotechnical vulnerability.

To conclude, the research highlights the importance of considering the specific terrain characteristics for healthcare buildings’ correct design. Their benefits extend beyond health infrastructure and serve as the basis for orderly urban growth and risk mitigation in the rail sector. Carrying out a comprehensive approach that includes detailed soil analysis and advanced construction techniques guarantees safe and functional buildings, even on problematic soils. This model can be replicated in other urban areas with similar conditions, contributing to sustainable and safe city development..

KEYWORDS: (Deep foundations, geotechnical vulnerability, soft soils, soil-structure interaction.)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL,	
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	5
APROBACIÓN DEL TUTOR	5
APROBACIÓN TRIBUNAL	6
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTO	7
DEDICATORIA	8
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN EJECUTIVO	9
ABSTRACT	10

ETAPA 1.....27

Conocimiento previo	27
1.Conocimiento previo	29
1.1 Introducción al problema de estudio	29
1.2 Justificación	29
1.3 Objetivos	30
1.3.1. Objetivo general	30
1.3.2. Objetivos específicos:	30
1.4 Fundamentación Teórico	30
1.4.1. Definición de cimentación profunda	32
1.4.1.1. Cimentaciones especiales y profundas	33
1.4.1.2. Capacidad de carga	33
1.4.1.3. Tipo de falla en suelos blandos	34
1.4.2. Definición de suelo blando	34

1.4.3. Tipos de suelos blandos	34
1.4.3.1. Arcillosos	34
1.4.3.2. Sedimentarios	35
1.4.4. Muros anclados tipo pantallas	35
1.4.5. Anclajes	36
1.4.6. Teorías de capacidad de carga en suelos	37
1.4.6.1. La solución de Prandtl	37
1.4.6.2. Teoría de Terzaghi	37
1.4.6.3. Teoría de Skempton	38
1.4.6.4. Recomendaciones	38
1.4.7. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	39
1.4.8. EUROPA	39
1.4.8.1. Cimentación de bloques de viviendas sobre suelos cohesivos muy blandos empleando colum-nas de módulo controlado-España.	39
1.4.9. AMÉRICA LATINA	40
1.4.9.1. Documento Técnico con los Criterios Generales para el Uso de Caissons en Puentes mediante un Análisis de los Estudios Básicos y Juicio de Expertos en la Zona Norte del Perú.	40
1.4.9.2. Supervisión Técnica Del Proceso Constructivo de Cimentación En Pilotes Tipo Caisson - Colombia.	47
1.4.9.3. Cimentación profunda a base de pilotes en un edificio tipo “b1”, México D.F 2021	48
1.4.9.4. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUADALAJARA	50
1.4.10. ECUADOR	50
1.4.10.1. INTERACCIÓN DEL SUELO- MACHALA	50
1.4.10.2. IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS COMPUTACIONALES PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS. APLICACIÓN AL CÁLCULO DE EDIFICIOS”	51
1.4.11. Soluciones de cada referente	52
1.4.12. Conclusión	53
1.4.13. REFERENTES DE EDIFICACIONES REALIZADAS	54

1.4.13.1. EL BURJ KHALIFA-DUBAI	54
1.4.13.2. TORRES PETRONAS-MALASIA	55
1.4.13.3. PUENTE YURACYACU-MALASIA	56

ETAPA 2.....59

Diagnóstico.....59

2.Diagnóstico	61
2.1 Información General	61
2.2 Introducción a la Metodología	61
2.2.1. Metodología	62
2.2.1.1. Fase1: Diagnóstico	63
2.2.1.2. Fase 2: Concepto	63
2.2.1.3. Fase 3: Propuesta	63

ETAPA 3.....65

Mi Propuesta65

3.Mi propuesta	67
3.1 Introducción a la problemática	67
3.2 Justificación del sitio de la propuesta (lote)	67
3.3 Analisis micro-macro	67
3.3.1. Ubicación	67
3.3.2. Topografía.	68
3.3.3. Hidrografía	68
3.3.4. Nivel freático	68
3.3.5. Características geológicas del sector	68
3.3.6. Perfil Estratigráfico	69
3.3.7. Resultados de estudio	69
3.4 Propuesta	70

3.4.7.1. Información general	70	3.7.10. -Diagramas de presiones.	80
3.5 NORMATIVA, Ordenanza 3457	70	3.7.11. Tabla de diseño de anclajes con su descripción y distribución por niveles	81
3.5.7.1. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. SECCIÓN TERCERA: EDIFICACIONES DE SALUD	70	3.7.12. Paso 4	
3.5.7.2. Art. 199 ALCANCE	70	Perforación de los orificios para los anclajes	82
3.6 Trabajos preliminares.	71	3.7.12.1. -Diseño de la colocación de los anclajes	82
3.6.7.1. Limpieza del terreno con maquinaria	71	3.7.12.2. Detalles de anclajes	84
3.6.7.2. Replanteo y nivelación con equipo topográfico	72	3.7.12.3. Evidencias fotográficas	84
3.7 Proceso constructivo	73	3.7.13. Paso 5	
3.7.1. Estabilización de taludes con pantallas de hormigón armado y anclajes de concreto reforzado	73	Vertido del mortero (grout) de cemento en el orificio perforado	85
3.7.2. Paso 1		3.7.13.1. Diseño en elevación de la distribución de los anclajes de muro pantalla.	86
Análisis del primer talud	73	3.7.13.2. Evidencias fotográficas.	87
3.7.2.1. Análisis de estabilidad de taludes / ladera	73	3.7.14. Paso 6	
3.7.3. talud 1- analizado.	75	Diseño de muros anclados y colocación de acero de refuerzo	88
3.7.3.1. Perfil Estratigráfico y Litología del Talud	75	3.7.14.1. Perspectiva de la armado de acero de refuerzo de muro pantalla.	88
3.7.3.2. -Análisis e interpretación	75	3.7.15. Colocación en obra la armadura de acero de refuerzo.	89
3.7.4. Paso 2		3.7.16. Diseño de armaduras de muro pantalla.	90
Proceso de excavación y perfilado del primer talud.	75	3.7.17. Diseño visto en corte muro pantalla.	91
3.7.4.1. Evidencias fotográficas	77	3.7.18. Volumen de hormigón de muros perimetrales	92
3.7.5. Paso 3		3.7.18.1. Evidencias fotográficas	92
Diseño muros pantallas de hormigón armado y diseño de anclajes de concreto reforzado y su proceso constructivo	77	3.7.19. Paso 7	
3.7.5.1. Propuesta de talud 1 muro pantalla de hormigón armado	78	Hormigonado de muro pantalla de hormigón proyectado o lanzado	93
3.7.6. talud 1- analizado.	78	3.7.19.1. Evidencias fotográficas	94
3.7.6.1. -Análisis e interpretación	78	3.7.20. Paso 8	
3.7.7. Diseño de anclajes en los muros.	78	Repetición del proceso para taludes inferiores hasta completar el muro.	95
3.7.8. Particulares adicionales de los anclajes	79	3.7.21. Conclusiones	95
3.7.9. Cálculo de falla rotacional por píe de talud y diseño de longitud de anclajes pasivos	79	3.7.22. Cimentaciones profundas tipo “caisson” de hormigón armado de seccion circular	96
		3.7.22.1. Paso 1	

Estudios Geotécnicos y Geofísicos	96	3.7.23.14. Paso 11	
3.7.22.2. Regulaciones y estándares	97	Fundida del fuste	108
3.7.22.3. -Trabajo en campo	97	3.7.23.15. Paso 12	
3.7.22.4. Trabajos de laboratorio	98	Corte y conexión con la superestructura	109
3.7.22.5. Características geológicas del sector	99	3.7.23.16. Conclusiones	109
3.7.22.6. Resultados de los analisis geológicos del sector	99	3.8 Planos Arquitectónicos	110
3.7.22.7. Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico	99	3.8.1. Planta subsuelo 3	110
3.7.23. Paso 2		3.8.2. Planta subsuelo 2	111
Análisis y diseño de tipo de cimentación propuesta y cota de cimentación.	100	3.8.3. Planta subsuelo1	112
3.7.23.1. Capacidad de carga en cimentaciones profundas	101	3.8.4. Planta baja	113
3.7.23.2. Parámetros de diseño de pilotes ingresados al software	101	3.9 Fachadas	114
3.7.23.3. Resultados de capacidad de carga factorada	101	3.10 Sección	115
3.7.23.4. Diseño en software del tipo de caisson propuesto	102	3.11 Plantas Estructurales	116
3.7.23.5. Coeficiente de balasto en caisson	102	3.12 Elevación muros pantallas	118
3.7.23.6. Paso 3		3.13 Corte muros pantallas	120
Replanteo en Obra	102	3.14 Elevación anclajes	121
3.7.23.7. Paso 4		3.15 Corte anclajes	123
Excavación	103	3.16 Detalles y diseño de anclajes	124
3.7.23.8. Paso 5		3.17 Detalles de cimentación profunda tipo pilotes caisson	125
Armado de anillos de refuerzo	104	3.18 Axonometrías constructiva con su cimentación tipo caisson	126
3.7.23.9. Paso 6		4.Conclusiones	127
Instalación de formaletas	105	4.1 Eficiencia de la cimentación profunda	127
3.7.23.10. Paso 7		4.2 Adaptabilidad del diseño:	127
Vertido y vibrado de hormigón	105	4.3 Importancia de la cimentación profunda	127
3.7.23.11. Paso 8		4.4 Resistencia frente a contextos sísmicos	127
Desencofrado de formaletas	106	4.5 Cumplimiento de la normativa	127
3.7.23.12. Paso 9		4.6 Impacto en la comunidad	127
Proceso Repetitivo hasta Alcanzar la Cota de Diseño del Caisson	107	5.Recomendaciones	128
3.7.23.13. Paso 10			
Armado y colocación de la estructura de acero de refuerzo o también llamada canasta	107		

5.1 Realización de estudios geotécnicos exhaustivos	128
5.2 Cumplimiento de normativas y estándares.	128
5.3 Aplicación de los resultados en futuras investigaciones.	128
6.Referentes bibliográficos	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cimentación profunda.	34
Tabla 2. Características suelos arcillosos.	36
Tabla 3. Regla de Peck.	38
Tabla 4. Resumen de procesos de cimentación.	44
Tabla 5. Cimentación profunda.	50
Tabla 6. Solución de referentes.	54
Tabla 7. Analisis referente.	56
Tabla 8. Analisis referentes.	57
Tabla 9. Analisis referente.	58
Tabla 10. Resumen referentes.	59
Tabla 11. Cuadro Metodología de Investigación.	63
Tabla 12. Cuencas Hidrografica.	70
Tabla 13. Tipos de Centro de Salud.	72
Tabla 14. Resultados de Factor de Seguridad (Fs) del talud.	77
Tabla 15. Resultados de Factor de Seguridad (Fs) del talud diseñado.	80
Tabla 16. Diametros de los anclajes.	80
Tabla 17. Longitud de anclajes	81
Tabla 18. Analisis anclajes.	81
Tabla 19. Tabla de fuerzas activas en cada apoyo por 1 metro de profundidad:	83
Tabla 20. Tabla de diseño de anclajes con su descripción y distribución por niveles.	83
Tabla 21. Consideraciones de diametro de refuerzo de acero para los muros anclados.	90
Tabla 22. Tabla de volumen de hormigón de muros perimetrales.	94
Tabla 23. Coordenadas TMQ y Profundidad de los sondeos SPT.	99
Tabla 24. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS),	101
Tabla 25. Resultados Geotécnicos de los sondeos realizados.	102
Tabla 26. Capacidad de carga factorada en Caisson de hormigón.	103
Tabla 27. Coeficiente de Balasto en Caisson	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organizador fundamento teorico.....	31
Figura 2. Tipos de cimentacion profunda.....	32
Figura 3. Tpos de cimentación.....	33
Figura 4. Usos de sistemas de cimentación.....	33
Figura 5. Formula capacidad de carga.....	34
Figura 6. Falla por suelo blando.....	34
Figura 7. Suelo arcilloso.....	35
Figura 8. Suelo sedimentario.....	35
Figura 9. Muro anclado en niveles.....	36
Figura 10. Muro contencion anclada.....	37
Figura 11. Solución de Prandtl.....	37
Figura 12. Nivel de desplante del suelo.....	38
Figura 13. Profundidad de desplante.....	38
Figura 14. Cimentación suelos blandos.....	39
Figura 15. Detalle excavación Caissons.....	41
Figura 16. Control de calidad.....	47
Figura 17. Cimientto de pilotes.....	47
Figura 18. Armado de cimientto Caissons.....	48
Figura 19. Cimentación.....	48
Figura 20. Cimentación en edificios.....	49
Figura 21. Factores ambientales.....	50
Figura 22. Ampliacion Aereopuerto.....	50
Figura 23. Impedancia.....	51
Figura 24. Estrcutura.....	51
Figura 25. Cimientto.....	51
Figura 26. Edificio Burj.....	54
Figura 27. Pilotes.....	55
Figura 28. Vista Torres petronas.....	55
Figura 29. Vistas Puente Yuracyacu.....	56
Figura 30. Organigrama metodologia.....	62
Figura 31. Ubicación.....	67
Figura 32. Corte de terreno.....	68
Figura 33. Perfil estrategico.....	69
Figura 34. Render proyecto.....	70
Figura 35. Evidencia de Limpieza del terreno.....	71
Figura 36. Evidencia topografica.....	72
Figura 37. Formúlas.....	74
Figura 38. Formúlas.....	74
Figura 39. Perfil Estratigráfico y Litología del Talud.....	75
Figura 40. Análisis de resultados en Slide V.6.0 - Condición Estática (Ordinary / Fellenius).....	75
Figura 41. Corte excavación no apoyada.....	76
Figura 42. Proceso excavación.....	76
Figura 43. Excavación de tierra con maquinaria.....	76
Figura 44. Perfilación de talud manual.....	76
Figura 45. Perfil Estratigráfico y Litología del Talud alternativa propuesta.....	78
Figura 46. Análisis de resultados en Slide V.6.0 - Condición Pseudoestático (Ordinary / Fellenius).....	78
Figura 47. Resistencia de mortero expansivo: 210 kg/cm2 vista en corte.....	80
Figura 48. Diagramas de fuerza y ubicación de apoyos.....	81
Figura 49. Perforaciones para anclajes.....	82
Figura 50. Instalación de anclajes vista en corte A.....	82
Figura 51. Instalación de anclajes vista en corte B.....	82
Figura 52. Instalación de anclajes vista en corte C.....	83
Figura 53. Instalación de anclajes vista en corte D.....	83
Figura 54. Instalación de anclajes vista en corte E.....	83
Figura 55. Instalación de anclajes vista en corte F.....	83
Figura 56. Inserción de los anclajes.....	84
Figura 57. Perno de anclaje.....	84
Figura 58. Placa de anclaje.....	84

Figura 59. Fotografías perforaciones.	84	Figura 89. colocación de ladrillos perimetrales.	105
Figura 60. Inyección de hormigón en el orificio perforado.	85	Figura 90. vertido y vibrado de hormigón	105
Figura 61. Muro pantalla.	86	Figura 91. vertido de hormigón de la mezcladora.	106
Figura 62. Colocación cemento.	87	Figura 92. desencofrado de formaletas.	106
Figura 63. Pespectiva de muros pantalla.	88	Figura 93. Excavación para ensanchamiento de base de caissons.	106
Figura 64. Armado manual.	88	Figura 94. Anillo perimetral de concreto armado en caisson.	106
Figura 65. Montaje de las armaduras.	89	Figura 95. repetición del proceso constructivo.	107
Figura 66. Montaje de las armaduras.	89	Figura 96. Armado y colocación de la estructura para caisson	107
Figura 67. Bajada de la armadura con maquinaria	89	Figura 97. Vaciado de concreto con camión mixer.	108
Figura 68. Proceso constructivo por etapas de muros pantallas	89	Figura 98. Vaciado de concreto.	108
Figura 69. Diseño de muro pantalla.	90	Figura 99. conexión de caisson con la estructura del edificio.	109
Figura 70. Corte de muro pantalla.	91	Figura 100. Planta Subsuelo 3.	110
Figura 71. Fotografías.	92	Figura 101. Planta Subsuelo 2.	111
Figura 72. Angulo de proyección de hormigón lanzado.	93	Figura 102. Planta Subsuelo 1.	112
Figura 73. Lanzado del hormigón con manguera.	93	Figura 103. Planta baja.	113
Figura 74. Inyección de hormigón proyectado	93	Figura 104. Fachadas.	114
Figura 75. hormigón proyectado.	94	Figura 105. Corte longitudinal.	115
Figura 76. Elaboración de muros pantallas de hormigón armado y anclajes de concreto reforzado.	94	Figura 106. Planta de cimentación profunda tipo caisson	116
Figura 77. Construcción de muros de hormigón lanzado con anclajes.	95	Figura 107. Planta de muros pantalla.	117
Figura 78. Sondeos realizados en la zona de estudio.	98	Figura 108. Muros pantalla.	118
Figura 79. Toma de muestras inalteradas TX.	98	Figura 109. Muros pantallas.	119
Figura 80. Delimitación de las zonas geotécnicas	100	Figura 110. Corte muros pantallas.	120
Figura 81. Parámetros de cálculo del estrato No. 1.	101	Figura 111. Diseño anclajes.	121
Figura 82. Detalle del Caisson propuesto elaborado en software.	102	Figura 112. Diseño anclajes.	122
Figura 83. Trazo y replanteo en campo.	103	Figura 113. Corte anclajes.	123
Figura 84. señalización de caisson.	103	Figura 114. Detalles y diseño de anclajes	124
Figura 85. Excavación para los anillos.	103	Figura 115. Detalles cimentación caisson.	125
Figura 86. armado de anillos de refuerzo.	104	Figura 116. Axonometrías constructiva.	126
Figura 87. engrasado y colocación de formaletas.	105		
Figura 88. colocación de formaletas.	105		

ETAPA 1

Conocimiento previo

● Conocimiento previo

1.1 Introducción al problema de estudio

En Europa, previo a una clasificación estructural, se clasifican los edificios según la clase de suelo en la que se encuentran de acuerdo al euro código 8 (Navarro, 2012), ya que diversos factores naturales ponen en manifiesto la importancia del comportamiento del suelo en los edificios. El estudio de Díaz en el año 2015, se enfocó en la interacción del suelo blando y las estructuras pesadas en la sabana de Bogotá, estableciendo las condiciones geológicas y geotécnicas debido a que conoce las alteraciones y desplazamientos de suelo luego del sismo de Quetame en el 2008.

Así como en el centro histórico de Quito, están presentes diferentes tipologías de construcción, donde se han utilizado varias metodologías de investigación para definir la capacidad del suelo portante, y se ha determinado un alto grado de vulnerabilidad, no solo por las características propias del suelo, sino también por la forma en cómo se construye (Ordoñez, 2016).

La construcción de un edificio de salud en el sector de San Bartolo presenta retos asociados al suelo blando, caracterizado por su baja capacidad portante y propensión a asentamientos diferenciales. Es decir si esto no se considera pueden estar en riesgo la protección del usuario y la estabilidad de la estructura.

Las causas son las características geotécnicas propias del sector, además de modificaciones en rellenos de quebradas y reencauzamientos hidrológicos, retenedores subterráneos de agua y acuíferos subterráneos que for-

man capas de arena (Navarro, 2014). En consecuencia, los edificios son propensos a tener asentamientos muy agresivos y descontrolados, es decir que sus cimientos se desplazan de forma diferente haciendo que la estructura tienda a deformarse y ponga en riesgo su estabilidad (Ballen, 2015).

La finalidad es determinar el sistema constructivo que se adapte a las condiciones del suelo blando y garantice la estabilidad de un edificio de un factor alto de importancia como lo es un hospital (Chávez, 2016).

1.2 Justificación

En esta presente investigación se va a realizar la implementación de un sistema de cimentación profunda, capaz de transferir las cargas del edificio hacia estratos más resistentes del subsuelo, en el sector de San Bartolo, Quito, Ecuador ya que se caracteriza por tener un suelo blando, lo cual presenta baja capacidad portante y alta susceptibilidad a asentamientos diferenciales, este enfoque permitirá controlar los asentamientos y asegurar que la infraestructura cumpla con los estándares de seguridad exigidos, especialmente en un contexto sísmico como el de Quito.

Los beneficios del proyecto responden a una necesidad apremiante de mejorar la infraestructura de salud en la región, asegurando su resiliencia y operatividad frente a las demandas urbanas y ambientales del entorno.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y evaluar la implementación de un sistema de cimentación profunda como solución constructiva para garantizar la estabilidad y seguridad estructural de un edificio de salud en el sector de San Bartolo, Quito, considerando las condiciones de suelo blando y los requerimientos técnicos y normativos.

1.3.2. Objetivos específicos:

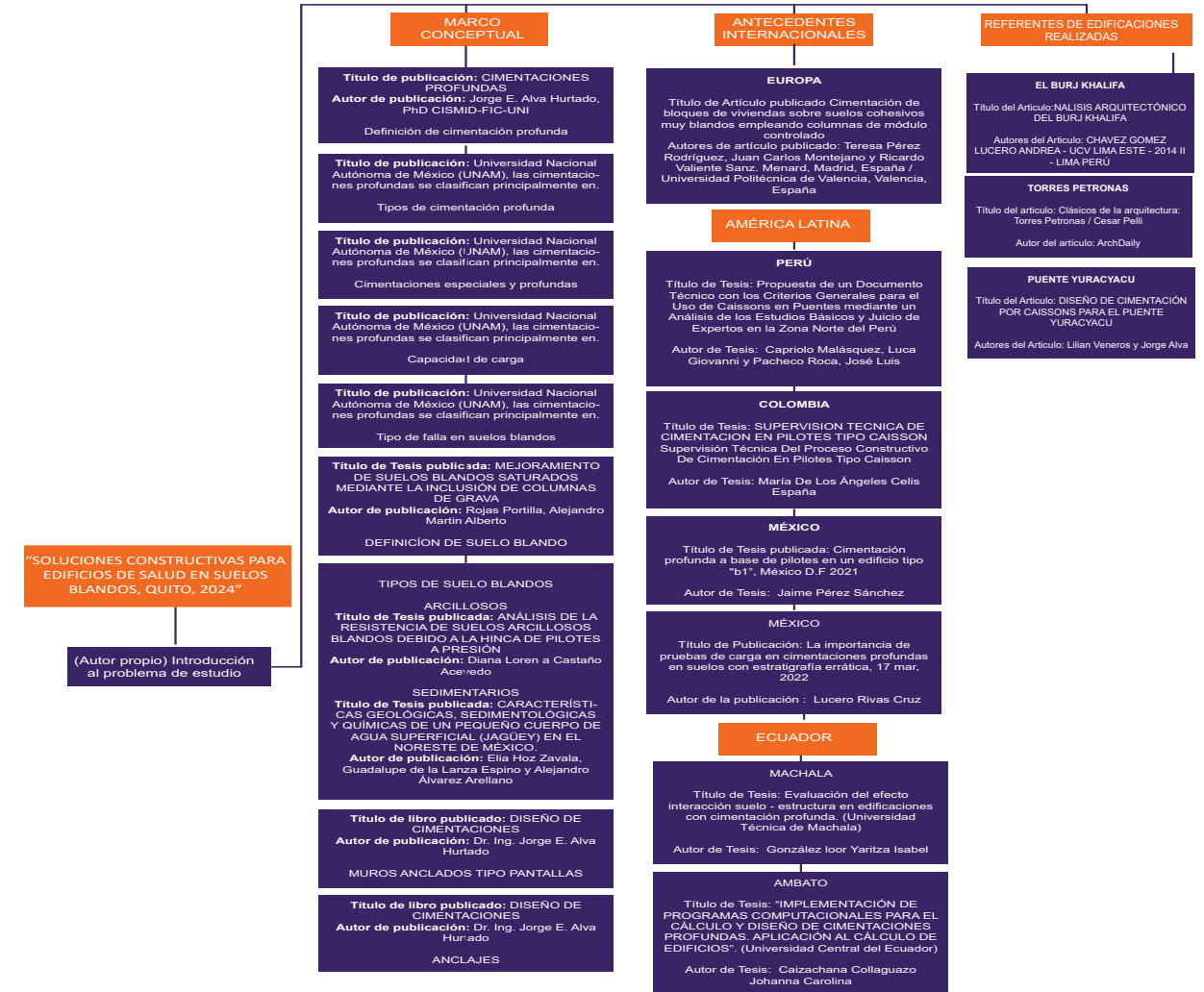
- Cuantificar las propiedades físico-mecánicas del suelo en el sector de La San Bartolo mediante estudios geotécnicos detallados para determinar su capacidad portante y los niveles de asentamiento potenciales.
- Analizar la eficiencia estructural y funcional de diferentes sistemas de cimentación profunda aplicados a terrenos con suelos blandos, considerando factores como estabilidad, durabilidad y respuesta sísmica.
- Determinar el diseño óptimo de la cimentación profunda para el edificio de salud, evaluando su viabilidad técnica y económica en función de las condiciones del terreno y las exigencias de normativas locales

1.4 Fundamentación Teórica

La construcción de un edificio de salud en el sector de San Bartolo, Quito, Ecuador, enfrenta importantes retos debido a las condiciones geotécnicas del terreno, caracterizado por la presencia de suelos blandos con baja capacidad portante y alta propensión a asentamientos diferenciales. Estos factores representan un riesgo significativo para la estabilidad y seguridad estructural de la edificación, especialmente en infraestructuras destinadas a la atención de la salud, donde la integridad y funcionalidad son esenciales para garantizar el bienestar de los usuarios.

La implementación de una cimentación profunda surge como una alternativa viable, ya que permite transferir las cargas estructurales a estratos más resistentes y estables del subsuelo. Este tipo de cimentación no solo mejora la capacidad portante del terreno, sino que también controla los asentamientos y asegura la estabilidad a largo plazo de la infraestructura. La presente investigación se enfoca en abordar este problema técnico, analizando las soluciones constructivas más efectivas para la cimentación de un edificio de salud en condiciones de suelo blando. A través de un estudio detallado, se busca evaluar la viabilidad y efectividad de las cimentaciones profundas como estrategia para garantizar la seguridad, la durabilidad y el cumplimiento de las normativas de construcción, contribuyendo así a la creación de una infraestructura resiliente y funcional para la comunidad.

Figura 1. Organizador fundamentación teórica.



Fuente: Elaboración propia.

1.4.1. Definición de cimentación profunda

Las cimentaciones profundas son elementos estructurales diseñados para transferir las cargas de una construcción a capas más profundas y resistentes del terreno, cuando las capas superficiales no tienen la capacidad portante adecuada. Se emplea en terrenos con suelos débiles o inestables, como suelos blandos, arcillosos, arenosos o con presencia de agua. Estas cimentaciones son esenciales para garantizar la estabilidad y seguridad de edificaciones de gran altura y peso (Alva,2012)

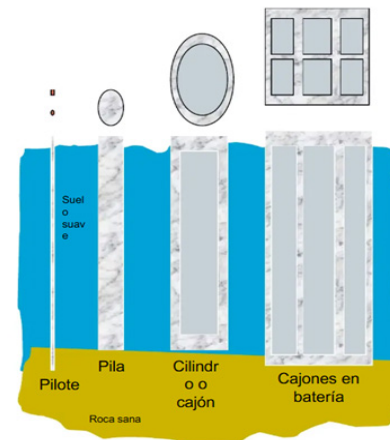
Tabla 1. Tipos de cimentación profunda.

Tipos	Características
1. Pilotes	Elementos estructurales alargados que se hincan o perforan en el terreno hasta alcanzar capas con suficiente capacidad portante.
2. Pilas	Estructuras de mayor sección que se construyen excavando el terreno y rellenándolo con concreto, alcanzando profundidades significativas.
3. Muros pantalla	Muros continuos de concreto armado que se construyen excavando el terreno y vertiendo concreto en el hueco, proporcionando soporte lateral y vertical.

4. Anclajes	Elementos que se instalan en el terreno para proporcionar soporte adicional a las cimentaciones, especialmente en terrenos con alta presión de agua o inestabilidad.
5. Sistemas autoportantes y arriostrados	Estructuras que combinan diferentes elementos para proporcionar estabilidad y soporte a la edificación.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Tipos de cimentación profunda.



Fuente: Cimentación pilas pilotes cajones, 2015.

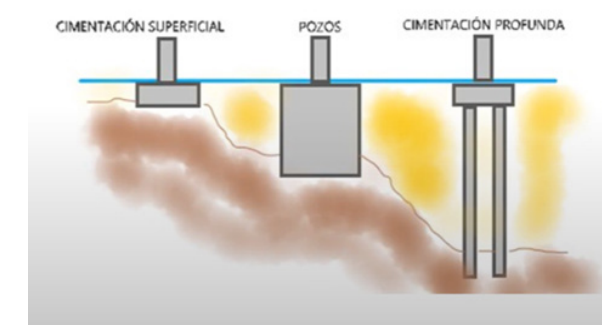
En esta presente investigación se va a implementar los pilotes como solución constructiva para la cimentación profunda de un edificio de salud en el terreno con suelo blan-

do se justifica por varias razones técnicas y prácticas. Los pilotes son piezas estructurales de gran magnitud y delgados que se hincan o perforan en el terreno hasta alcanzar capas de suelo con mayor capacidad portante, por lo que esta es una opción es apta para terrenos con características geotécnicas desfavorables, como los suelos blandos.

1.4.1.1. Cimentaciones especiales y profundas

Se define como cimentación profunda aquella que transfiere las cargas de la estructura que soporta a una de terreno en profundidad, es decir que está alejada de la superficie; pilotes, micropilotes, barreras.

Figura 3. Tipos de cimentación



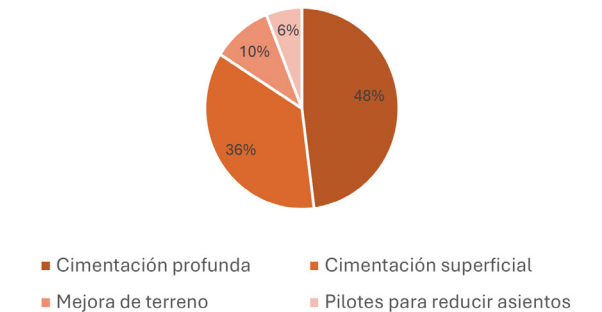
Fuente: Eadic, 2015.

En líneas generales, la cimentación profunda se recomienda cuando:

- No existe suelo firme a una profundidad alcanzable con zapatas, losas o pozo, es decir profundidades mayores a 5 metros.

- Se requiere reducir o limitar los asentos de la estructura.
- La permeabilidad, presencia de agua y otros factores, impiden la ejecución de cimentación superficial.
- Se requiere evitar la afectación a edificios próximos.

Figura 4. Usos de sistemas de cimentación



Fuente: Eadic, 2015.

1.4.1.2. Capacidad de carga

El método que se utiliza para calcular dicha capacidad de carga del suelo se basa en un ensayo de "SPT" (ASTM D1586), en donde Karl Terzaghi recomienda determinar esta capacidad según la expresión dada por el mismo, para de este modo tener una cimentación tipo zapata, aplicando componentes de la capacidad de carga tales como la fricción y cohesión del suelo.

Figura 5. Formula capacidad de carga.

$$Qu = 1.30 * C * Nc + \bar{q} * Nq + 0.40 * \gamma * B * Ny$$

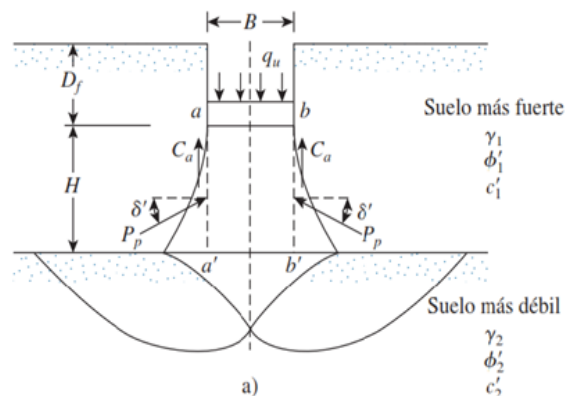
Dónde:

- Qu = Carga ultima
- C = Cohesión del suelo de soporte
- Nc, Nq, Ny = Factores de capacidad de carga
- \bar{q} = Sobrecarga
- B = Ancho de la cimentación cuadrada

Fuente: Aedic,2015.

1.4.1.3. Tipo de falla en suelos blandos

Figura 6. Falla por suelo blando.



Fuente: Estudio de suelos,2018.

En suelos tales como los encontrados en el presente estudio, se tiene que su compacidad y consistencia del material es BLANDA; bajo este aspecto se presume que el tipo de falla a darse en el suelo es de orden de PUNZONAMIENTO (González,2013).

1.4.2. Definición de suelo blando

Los suelos blandos presentan desafíos significativos en ingeniería civil debido a su baja resistencia y alta deformabilidad, lo que puede resultar en asentamientos excesivos y problemas de estabilidad en las estructuras construidas sobre ellos. Estos problemas se deben a que los suelos blandos están constituidos por materiales finos saturados que, al ser sometidos a cargas, pueden desarrollar asentamientos excesivos por consolidación (Rojas,2024).

1.4.3. Tipos de suelos blandos

1.4.3.1. Arcillosos

Los terrenos arcillosos de suelos blandos son aquellos combinados principalmente por partículas de arcilla con diámetros inferiores a 0.005 mm. Estos suelos presentan características distintivas que afectan su comportamiento en ingeniería civil (Castaño,2005).

Tabla 2. Características suelos arcillosos.

N	Características
1	Alta plasticidad: La arcilla tiene la capacidad de deformarse significativamente sin fracturarse, lo que le permite adaptarse a diversas formas bajo esfuerzos moderados.
2	Baja permeabilidad: La estructura compacta de las partículas de arcilla dificulta el paso del agua, lo que puede influir en la consolidación y drenaje del suelo.

3	Alta compresibilidad: Los suelos arcillosos blandos tienden a comprimirse bajo cargas, lo que puede resultar en asentamientos significativos si no se gestionan adecuadamente.
4	Cohesión significativa: La arcilla exhibe una fuerte atracción entre sus partículas, lo que le confiere una cohesión notable y le permite resistir esfuerzos de corte hasta cierto límite.
5	Estas propiedades hacen que los suelos arcillosos blandos presenten desafíos particulares en proyectos de construcción, como la necesidad de técnicas de estabilización o consolidación para mejorar su capacidad portante y reducir los asentamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Suelo arcilloso



Fuente: Investigación suelo arcillosos,2017.

1.4.3.2. Sedimentarios

El suelo sedimentario es el resultado de acumulación y compactación de partículas minerales y orgánicas trasladadas por componentes como el agua, el viento o el hielo. Estos suelos suelen presentar una estructura en capas o estratos, reflejando las condiciones ambientales y los

procesos geológicos dando como lugar su formación. La comprensión de las características de los suelos sedimentarios es esencial en diversos campos, incluyendo la geotecnia y la construcción, ya que sus propiedades físicas y mecánicas influyen directamente en la estabilidad y diseño de las estructuras edificadas sobre ellos (Zavala et al 2002).

Figura 8. Suelo sedimentario.



Fuente: Estudio suelos sedimentarios,2017.

1.4.4. Muros anclados tipo pantallas

Los diagramas utilizados para la estimación apuntalada, utilizando datos de campo reales. Anteriormente estas cifras eran obtenidas de mediciones de carga puntual. Estas eran utilizadas para obtener la magnitud y presión de la tierra estas fueron planteadas por Ralph Peck hace mas de 40 años cabe recalcar que las mismas siguen vigentes hasta la actualidad (Alva,2012).

Tabla 3. Regla de Peck.

<p>Las reglas prácticas de Peck para la distribución de presiones en entibados, en varios tipos de suelos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se aplica a excavaciones profundas, mayores de 6 metros. • Los datos empíricos se obtuvieron de mediciones en entibaciones apuntaladas, no con anclajes. • Las mismas simplificaciones usadas en el desarrollo de los diagramas aparentes de presión de tierra deben utilizarse en el cálculo de las cargas en puntales. Una ilustración muy simple es que se asume rótulas en los apoyos para determinar el diagrama aparente. • La envolvente empírica refleja todas las anomalías que normalmente ocurren en la construcción de este tipo de proyectos: secuencia de construcción, temperatura, acomodo entre pantalla y apoyos, etc. • Los diagramas para arenas se desarrollaron en lugares con nivel freático deprimido, luego las presiones hidrostáticas deben ser añadidas por separado. • En suelos cohesivos el diagrama de presión se basa en pesos específicos totales, sin considerar la distribución de la presión de poros, por lo que no hay que añadir presiones de poros para suelos cohesivos. • No es necesario tomar en especial consideración el balance de fuerzas por debajo del nivel de excavación (activo y pasivo).
---	--

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Muro anclado en niveles



Fuente: Avila et el, 2012.

1.4.5. Anclajes

Los anclajes poseen características que los diferencian de entibados con puntales en los distintos aspectos (Alva,2012).

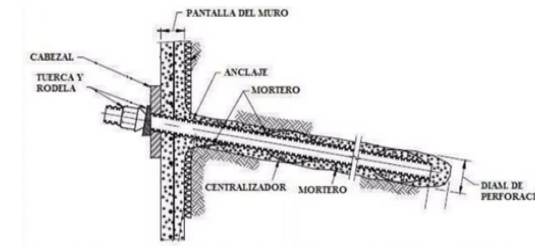
- Los anclajes se ensayan al 125% de la carga de diseño, luego se reduce la carga y se ajusta al 75% o más de la carga de diseño. Este proceso remueve alguna de las anomalías que causan variaciones de carga, inherentes a las entibaciones apuntaladas, que pueden o no ser precargadas. Si los puntales son precargados, generalmente lo son al 50% de su carga de diseño. En conclusión, se cree que el proceso de instalación de anclajes conduce a un mejor control de la carga y su distribución.

- Los datos experimentales en anclajes no muestran un incremento de carga al profundizarse la excavación, sino que mantienen una carga constante. A diferencia de los puntales en entibaciones, que aumentan su carga con la excavación, los anclajes mantienen una carga lateral predeterminada por la precarga y el sellado.

La menor fuerza lateral está asociada a la condición “activa”. La condición activa involucra una deformación lateral para alcanzar dicha condición. Si no se permitiese ningún movimiento horizontal, obtendríamos la presión en reposo.

esquemáticamente. Lo que se busca con esto calcular la expresión máxima de presión que se da en el compuesto rígido sin que penetre en el medio seminfinito; a este valor de la presión es de nomenclatura carga límite.

Figura 10. Muro contención anclada.



Fuente: Muro de contención, 2017.

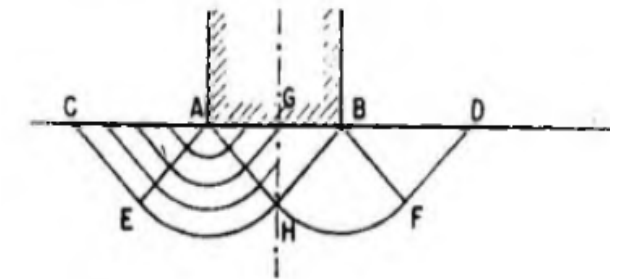
1.4.6. Teorías de capacidad de carga en suelos

La Capacidad de carga tiene diferentes características principales por lo que la mayor parte de teorías o hipótesis de la misma se desarrollan a partir el comportamiento del suelo y las mismas son resueltas con ecuaciones matemáticas, en otras teorías la observación y la práctica son de vital importancia para obtener dichas resoluciones.

1.4.6.1. La solución de Prandtl

El estudio de Prandtl publicado en 1920 identifica el medio seminfinito, homogéneo, isótropo y rígido-plástico perfecto, este por un compuesto rígido de longitud infinita, de base plana. Tomando en cuenta que el contacto entre el compuesto y el medio era perfectamente liso, este propuso el mecanismo de falla que se muestra

Figura 11. Solución de Prandtl



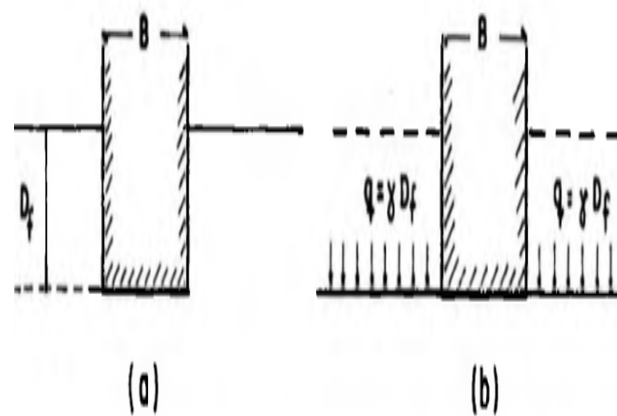
Fuente: Badillo&Rodriguez,1973.

1.4.6.2. Teoría de Terzaghi

El estudio de Terzaghi es conocido como una de las teorías que adaptan la mecánica de suelo y la mecánica de medio continuo. Esta teoría responde dicha incógnita sobre la cohesión y fricción de suelo, y el impacto que este tiene en la mecánica del suelo, esta a trascendido y es una de las teorías más utilizada para el cálculo de capacidad de carga, principalmente es utilizada en cimientos no muy profundos.

En el cimiento no muy profundo se aplica dicha teoría en donde B tiene que ser igual o mayor a la distancia vertical. En base a dicho estudio Prandtl, Terzaghi propone el mecanismo de falla.

Figura 12. Nivel de desplante del suelo.



Fuente: Badillo&Rodriguez,1973.

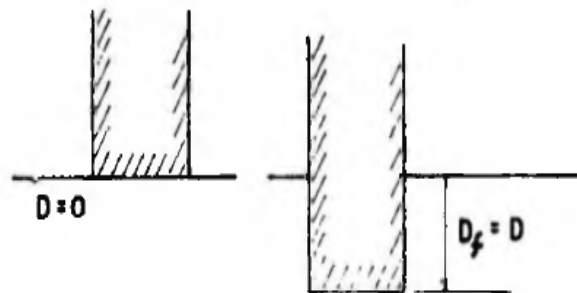
1.4.6.3. Teoría de Skempton

Se puede decir que, según Terzaghi, esta capacidad de carga no sería la misma en los dos cimientos, a causa de los diferentes valores, también se considera una cuestión dada por el valor N_c , que Terzaghi claramente no diferencia ya que puede ser diferente en ambos casos.

Considerando En dichos términos de superficies de falla, el cimiento más grande tendría la superficie de mayor por lo tanto la cohesión trabajará más, y el valor de N_c es mayor, para unificar dicha cifra Skempton determinó que el valor de N_c no es independiente de la profundidad de desplante esta también crece dependiendo del cimiento, pero este valor es constante a una profundidad específica.

Skempton indica lograr adaptar dicha capacidad de carga en cohesiones análogas a la de Terzaghi, en donde estas deben calcularse considerando los espesores de estratos dependiendo del peso, considerando el tipo de suelo.

Figura 13. Profundidad de desplante.



Fuente: Badillo&Rodriguez,1973.

1.4.6.4. Recomendaciones

Basándose en la opinión teórica de los autores, dichas teorías dependen del caso que se requiera solucionar ya que cada una presenta credibilidad de acuerdo como es aplicada y cada una responde a un punto específico.

1. Teoría de Terzaghi se recomienda para todo tipo de cimentación superficial y en todos los tipos de, aplicándose con certeza hasta el límite $D_j < 2 B$.

2. Teoría de Skempton se recomienda en cimentaciones de todo tipo y suelos arcillosos, interfiere en la resolución de capacidad de carga en cilindros y pilotes.

En el caso de cimentaciones profundas, cilindros y pilotes, dichas teorías no son confiables en su totalidad, quizá, por lo que es importante guiarse en el conocimiento técnico, visual y la experiencia (Juarez&Rodriguez, 1973).

1.4.7. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

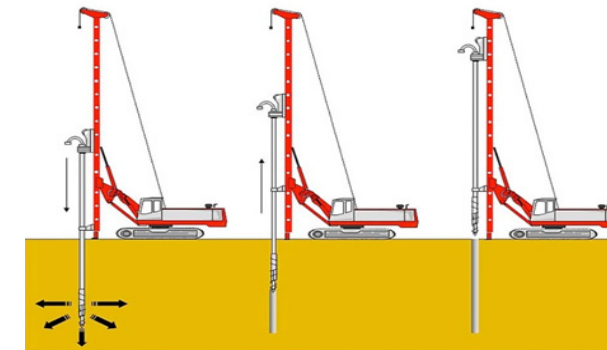
1.4.8. EUROPA

1.4.8.1. Cimentación de bloques de viviendas sobre suelos cohesionados muy blandos empleando columnas de módulo controlado-España.

El sur de España es un claro ejemplo de edificaciones asentadas sobre un suelo blando que posee un déficit de nutrientes, lo que ha producido que dichas estructuras sean resueltas con cimentaciones profundas. Estos métodos utilizados en este caso aseguran la capacidad de suelo para implantar edificaciones, esto va a depender individualmente de la particularidad de la edificación por lo que este viene a ser un claro ejemplo de la posibilidad de construcción en suelos blandos no favorables (Pérez et al, 2016).

Pare responder a dicho problema se han planteado una solución mediante en uso de columnas de módulo controlado, estas poseen varios beneficios tanto económicos como tradiciones, sin embargo, dicho proceso no era muy conocido anteriormente en edificaciones de gran altura, pero cabe recalcar que la misma brinda una gran solidez a la edificación si se la resuelve correctamente (Pérez et al, 2016).

Figura 14. Cimentación suelos blandos.



Fuente: UPV,2016.

Este proceso es muy parecido a la aplicación de pilotes, pero la misma presenta una menor solidez sin embargo la diferencia no es muy significativa ya que ambos procesos buscan rigidizar al terreno para su construcción, gracias a la alta utilización de dicho proceso en los últimos años se han realizado diferentes investigaciones para obtener mejores resultados y entender dicho proceso (Pérez et al, 2016). Consecuentemente dicha técnica es utilizada actualmente con la ayuda de avances tecnológicos que han permitido que en los últimos años este proceso no sea tan tedioso, logrando este proceso de manera más fácil evitando la extracción de materiales para estas perforaciones muy profundas, esto se por medio de una hélice que es recorrida lateralmente en el ahuecamiento teniendo como resultado se tiene una mayor solidez conocida como anillo de perforación (Pérez et al, 2016).

1.4.9. AMÉRICA LATINA

1.4.9.1. Documento Técnico con los Criterios Generales para el Uso de Caissons en Puentes mediante un Análisis de los Estudios Básicos y Juicio de Expertos en la Zona Norte del Perú.

América latina es una de las zonas más afectadas por factores climáticos o naturales, lo que han producido que en varias zonas específicamente costeras el suelo una muy alta deficiencia al momento de realizar edificaciones. Al norte de Perú se puede evidenciar una alta presencia de suelos blandos como menciona el ministerio de agricultura y riego en 1997, dado esto la opción de cimentación no muy profundas no es beneficiosas debido a esta falta de solides el suelo, por lo que es factible realizar cimentaciones profundas que aseguran una solides en la edificación y contendrán solidificando el suelo a las cargas, esta se logra tras la utilización de pilotes o caisson (Capriolo&Pacheco,2020).

Sin embargo, esto a sido insuficiente en el caso de desastres naturales, ya que se han visto obligados a realizar reparaciones en numerables ocasiones debido a estos fenómenos, esto puede suceder como resultado de una falta de análisis por parte de los encargados de dichas construcciones esto se evidencia más frecuentemente en el caso de pozos de cimentación o más conocidos caissons, ya que las mismas no son inventariadas correctamente lo que fragiliza este proceso (Capriolo&Pacheco,2020). De hecho, no hay una certera respaldación de datos que ayuden a asociar los diferentes tipos de suelo, lo

que da como resultado estas lesiones en dichas cimentaciones, ya que se desconoce el valor preciso que tomara dicha edificación con pozos de cimiento, esto a provocado que no se consiga una respuesta acertada con respecto a este tipo de cimentación que, aunque no a dado buenos resultados, la construcción con dicha técnica aumenta considerablemente ignorando esta falta de conocimiento (Capriolo&Pacheco,2020).

Puesto que a lo largo de los tiempos la tecnología a ayudado a que este proceso sea simple sin embargo esto no a sido de gran ayudada ya que muchos desconocen sobre la aplicación correcta y efectiva debido a la falta de normativas que regularicen es uso de cada cimentación, por lo que es importante que las autoridades consideren estos puntos para tomar medidas que ayuden a tener edificaciones seguras, y se considere la particularidad de cada proyecto para establecer una solución certera (Capriolo&Pacheco,2020).

Mejor dicho, la falta de información o normativas a producido que los proyectos se vean afectados y se considere como única solución los pozos de cimiento desconociendo y ignorando puntos clave, por lo que se quiere informar o realizar estudios que respondan a dichos conocimientos desconocidos para de este modo dar respuestas certeras al momento de realizar proyectos en suelos blandos (Capriolo&Pacheco,2020).



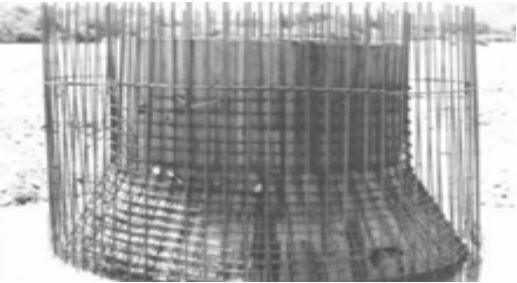
Figura 15. Detalle excavación Caissons.



Fuente: Alva,2017.

En consecuencia, de qué tipo de cimentación aplicar existen construcciones fallidas, por la falta de cimentación que responda a la particularidad de la misma existen características relevantes para tener indicios de que cimentación utiliza, por ejemplo si la excavación es mayor a 2 m se recomienda utilizar pozo de cimentación, y si es menos se debe utilizar cimentación superficial, considerando estos puntos es importante realizar una análisis exhaustivo que permita conocer cómo funciona y que cimentación es recomendable utilizar en cada caso y lograra rigidizar edificaciones verticales (Capriolo&Pacheco,2020). En definitiva, ningún proceso es 100% confiable pero mientras mayor sea el grado de factibilidad es más viable, pero para lograr tener buenos resultados es indispensable analizar el suelo y como el mismo reacciona, también es de vital importancia conocer no solo el tipo de suelo sino también el tipo de edificación que se desea plantear (Capriolo&Pacheco,2020).

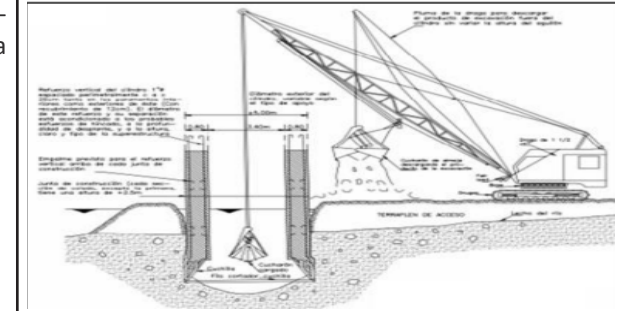
Tabla 4. Resumen de procesos de cimentación.

PROCESO	ILUSTRACIÓN
<p>Lectura e interpretación de planos:</p> <p>Se procede a realizar el replanteo con la ayuda de la topografía, y se ubican los ejes y medidas referenciadas en los planos para la correcta ubicación del caisson en el terreno de construcción.</p>	
<p>Construcción de un terraplén (condicional):</p> <p>Si el terreno no se encuentra nivelado y seco, se recomienda la construcción de un terraplén.</p>	
<p>Armado de la cuchilla cortadora:</p> <p>Esta cuchilla se encuentra en el borde inferior con la finalidad de facilitar el hincado del cajón</p>	

Excavación al interior:

Se puede realizar de manera manual y/o con maquinaria, esto depende básicamente de la profundidad de la excavación.

Con maquina



Manual



Armado, encofrado y vaciado de los anillos de maneras sucesiva:

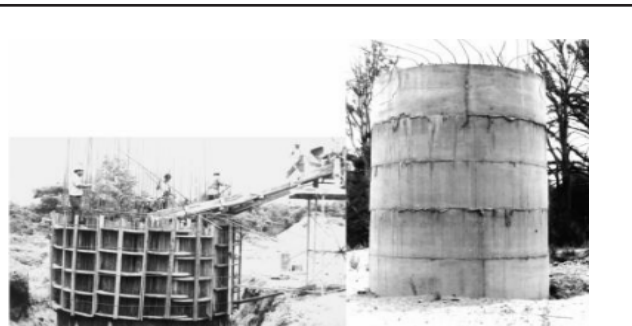
Mientras se va hundiendo la subestructura, se van construyendo los anillos.

Armado: Primero, se colocan las varillas verticales de refuerzo, seguido de la armadura horizontal de las mallas de las paredes del caisson.

Encofrado: Puede ser metálico o de madera, depende la altura del caisson y de los recursos. Se colocan cerchas y puntales para evitar la deformación del encofrado.

Vaciado: Mientras se vierte concreto, se debe ir vibrando para evitar que queden espacios con aire.

Encofrado y vaciado de las paredes interiores del caisson (condicional): Si el plano lo especifica, se realiza el armado de las estructuras principales del caisson fuera de este.



Vaciado del tapón inferior:

Paso 1. Vaciado de concreto

para el solado $e=10\text{cm}$.

Condición: Si existe presencia de agua entre las juntas, se recomienda la colocación de water stop.

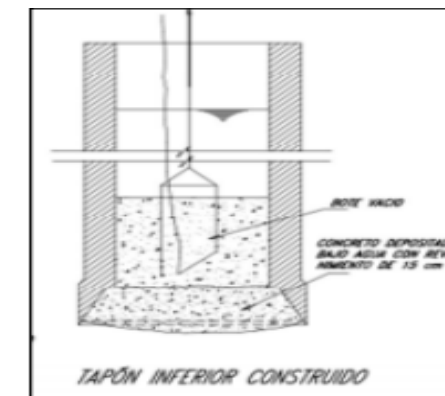
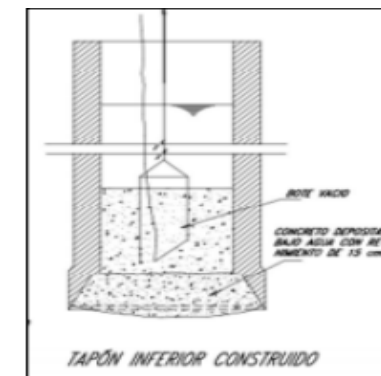
Paso 2. Vaciado del concreto

ciclópeo en el fondo del caisson.

Es importante que cualquiera sea el método de vaciado, mediante una manguera o una canastilla, se controle la altura de caída del concreto para que este no se segregue.

Paso 3 (condicional).

Si se observa agua en el interior, extraerla con la ayuda de bombas de agua.



Construcción de la tapa superior:

Transmitirá las cargas del pilar o estribo del puente a las paredes del cajón y estas al fondo del mismo para integrar el área de cimentación.



Caisson en proceso de construcción:



Caisson construido:



Fuente: Elaboración propia.

1.4.9.2. Supervisión Técnica Del Proceso Constructivo de Cimentación En Pilotes Tipo Caisson - Colombia.

El proyecto Ciudadela clínica Uros fue fundado en el año 2011 fue diseñado con el propósito de servicio social integro esta destacó en la actualidad como una clínica de ayuda al usuario, por innovación y tecnologías que la misma y su destacado hotel cinco estrellas y su área de medicina, ubicada en la carrera 6 de la ciudad de Neiva (Manrique, 2001). Asimismo, la construcción de dicha estructura posee 4 torres, ayudo al desarrollo regional, ya que este fue pensado a tener un uso múltiple no solo como unidad de salud, sino también como vivienda departamental (Manrique, 2001). La estructura tiene 2 sótanos, 8 pisos, y luces de entre 13 m, con un área que se proyecta a 117.68 kN/m² y con cargas de 6864.66 kN en su pedestal.

Por añadidura cabe recalcar que es necesario interferir y controlar, tanto el valor, tiempo y calidad de proyectos, de inicio a fin, para asegurar el tiempo de durabilidad y resistencia de dichos proyectos. Por esto es necesario tener frecuentes revisiones, análisis, estudios y todo lo que sea necesario para evitar tener como resultado infraestructuras no aptas para utilizarse, así sea necesario la intervención de técnicos y profesionales que garantizaran buenos resultados en la ejecución de obra (Celis,2023).

Encima de este proceso la cimentación de dicho referente es una representación optima y adecuada en donde se evidencia el arduo proceso y análisis realizado para obtener dichos resultados positivos y es un claro ejemplo que se tiene que tomar para construcciones futuras, ya que este posee un estudio muy referencial del pozo de cimentación que es aplicado

en la misma y logrado con éxito, siguiendo parámetros que ayudaron satisfactoriamente y respondieron totalmente a la característica de dicho proyecto (Sísmica, Asociación Colombiana de Ingeniería, 2010).

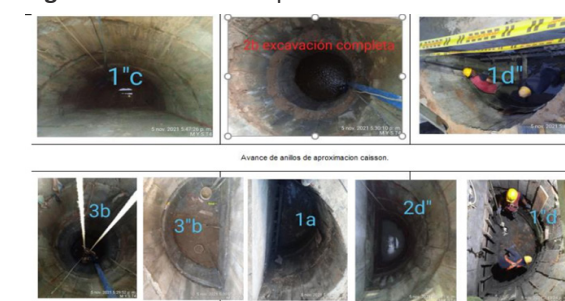
En cualquier caso de construcciones, es necesaria realizar una correcta supervisión y análisis de códigos, y verificar que se cumpla con todo lo argumentado en las mismas, tales como el CTE,NTC,ASTM entre otras en el caso colombiano que ayudaron a que el mismo se ejecute con total seguridad de los resultados posteriores (Celis,2023).

Figura 16. Control de calidad.



Fuente: Celis, 2023.

Figura 17. Cimiento de pilotes.



Fuente: Celis,2023.

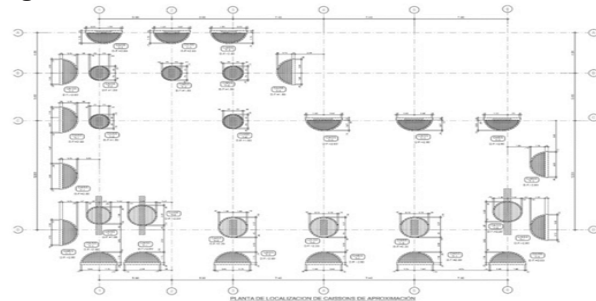
Figura 18. Armado de cimiento Caissons.



Fuente: Celiz,2023.

Entonces para obtener buenos resultados en este caso fue necesario la emplear cimentación profunda, debido a que las condiciones del suelo eran factibles para dicha cimentación, esto se concluyó luego de haber realizado un estudio muy arduo tanto experimental, practico y visual que esta cimentación era la correcta para el tipo de construcción que se quería implantar allí (Celis,2023).

Figura 19. Cimentación.



Fuente: Celis,2023.

1.4.9.3. Cimentación profunda a base de pilotes en un edificio tipo “b1”, México D.F 2021

Cimentación profunda a base de pilotes en un edificio tipo “B 1”, las cimentaciones profundas dando una definición más estructurada de lo que es un pilote y una pila, se hará una clasificación de los mismos, se expondrán las principales pruebas para el diseño de pilotes y se describirá un método práctico para el cálculo de los mismos.

Cimentación profunda en base de pilotes Pérez argumenta en 2001 que los pilotes pueden estar clasificados según el material, ficción, sección, apoyo entre otro dado cual sea el caso estas la función característica es poder traspasar las cargas, estas serán utilizadas según el tipo de edificación que se quiere implementar cuando se necesite.

los pilotes son elementos estructurales que nos permiten transmitir cargas a estratos más resistentes (más profundos), y pueden ser utilizados cuando se requiera:

Tabla 5. Cimentación profunda

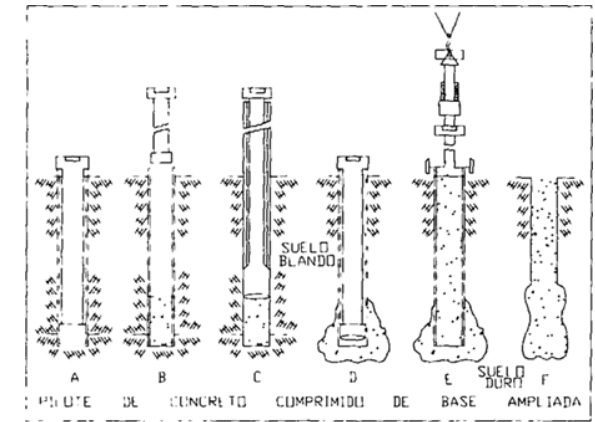
1	Transmitir las cargas de una estructura a través de un espesor de suelo blando o dentro de agua, hasta un estrato de suelo resistente, que garantice el apoyo adecuado.
2	Transmitir la carga a una cierta profundidad de un suelo blando, utilizando para ello la fricción lateral que se produce entre suelo y pilote.

3	Compactar suelos granulares (como arenas y gravas), con fines de generación de capacidad de carga; el limo y la arcilla, también se pueden compactar cuando no están saturados, sin embargo, cuando lo están, se mueven durante el hincado y extracción de los pilotes en la dirección de menor resistencia, generalmente hacia arriba lo que ocasiona una pobre compactación. Una reacomodación de las partículas de un suelo se da al momento de hincar un pilote, ya que se generan ondas de choque y vibraciones bastante fuertes.
4	Pueden servir como anclaje lateral a ciertas estructuras (por ejemplo, una tablestaca), o resistir las fuerzas laterales que se ejerzan sobre ellas (como en el caso de un puente), utilizando en este caso pilotes inclinados.
5	Para proporcionar anclaje a estructuras sujetas a sub presiones, momentos de volcadura o cualquier efecto que trate de levantar la estructura; la resistencia al levantamiento se desarrolla mediante la fricción en los lados del pilote, la capacidad del pilote en este caso también depende de la resistencia a la tensión y de la resistencia a los esfuerzos cortantes del suelo.
6	En lo que se refiere al daño que puede sufrir una cimentación por el paso del tiempo, generalmente estos son bastante resistentes ya que normalmente alcanzan profundidades en las que los efectos de erosión, socavaciones y otras acciones nocivas a la estructura, ya no interactúan directamente en ella; aunque claro que no se descarta la acción destructiva de estos agentes y principalmente cuando una parte del pilote se encuentra a la intemperie.

7	Pueden ser utilizados para proteger estructuras marítimas, tales como muelles, o atracaderos, contra el impacto de pequeñas embarcaciones o contra objetos flotantes, etc.
---	--

Fuente: Pérez,2021.

Figura 20. Cimentación en edificios.



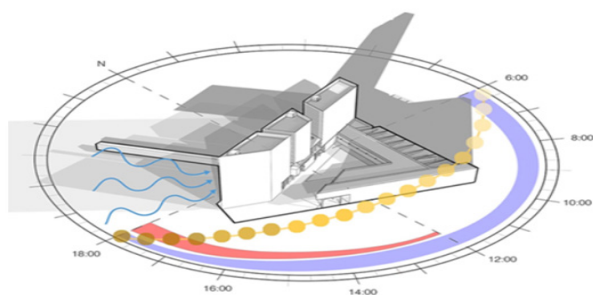
Fuente: Pérez,2021.

Pruebas de cimentación profunda y su importancia: Actualmente se han desarrollado diferentes métodos para calcular esta capacidad de carga con teorías, en muchos casos son minimizados dichos resultados ya que estos dependen de las características del suelo, por lo que para obtener óptimos resultados es necesario realizar pruebas que nos permitirán entender la conducta de la cimentación adecuada a cada caso, esto nos permitirá tener una perspectiva y un punto de vista más certero y confiables, con la utilización de ecuaciones teóricas y numéricas para obtener dicho resultado.

1.4.9.4. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUADALAJARA

Esta es una de las infraestructuras más frecuentadas en México, con un aumento constante de tráfico de personas que lo utilizan, lo que da como resultado que el mismo requiera ampliarse continuamente para satisfacer la necesidad constante de los usuarios, este tiene un área de 12 500m², tiene una estructura de pilotes colados con medidas que responden a los factores que este ambiente presenta.

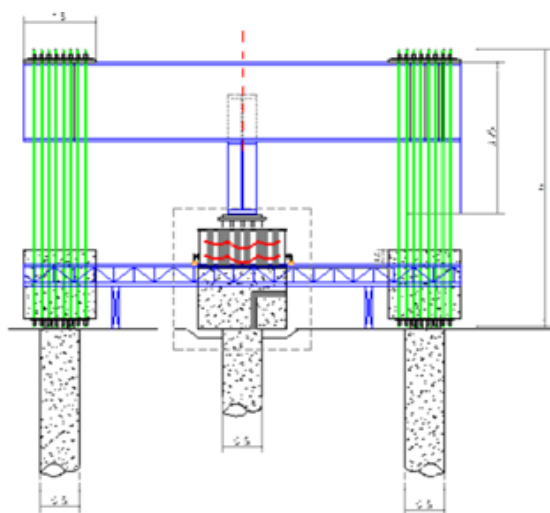
Figura 21. Factores ambientales.



Fuente: Morales, 2019.

Considerando los factores que presenta el terreno, para tener una capacidad factible fue necesario utilizar la metodología de Vesic, la cual ayudo a entender la capacidad favorable para dicho proyecto con cimentación profunda, analizando el valor numérico MEF 2D, se percató que es necesario tomar en cuenta la característica del suelo, para adaptar la solución correcta y adecuada (Rivas,2022). Para concluir con este análisis gracias a el resultado obtenido se pudo tridimensional dicha respuesta, acoplándola a los factores característicos del suelo, para que el mismo cumpla en función y rigidez, que se utilizan en este tipo de estructuras (Rivas,2022).

Figura 22. Ampliación Aereopuerto.



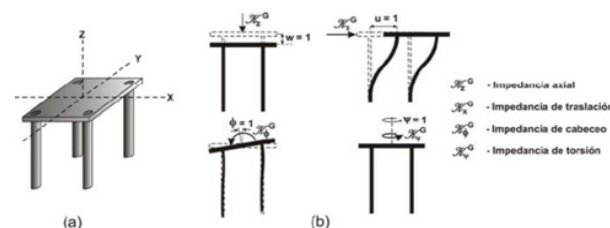
Fuente: Morales, 2019.

1.4.10. ECUADOR

1.4.10.1. INTERACCIÓN DEL SUELO-MACHALA

En Ecuador, Machala es una de las zonas que presentan un alto riesgo sísmico, esto nos ayudó a entender la característica que presenta este suelo dependiendo de lo ya antes mencionadas, en donde en este caso se posee un suelo blando con poca facilidad de construcción, pero no imposible ya que con la ayuda de teorías, métodos, normativa y ecuaciones que ayuden a dar respuestas factibles a esta problemática (González, 2023).

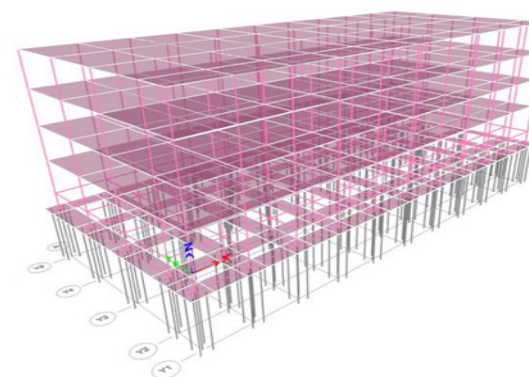
Figura 23. Impedancia.



Fuente: Alonso et al., 2007.

Para lograr tener un buen resultado es importante realizar pruebas que nos permitan obtener un prototipo que se adecue a las características de dicho suelo, considerando al ejemplo de Machala esta respuesta se verá afectada por factores tales como la estructura, cimentación y suelo, ya que para este caso se tuvo que tomar en cuenta un factor crucial para que esta estructura posea esta rigidez en caso de sismos y esta respuesta sea 'positiva' ya sea el caso que la misma se presente (González, 2023).

Figura 24. Estructura.

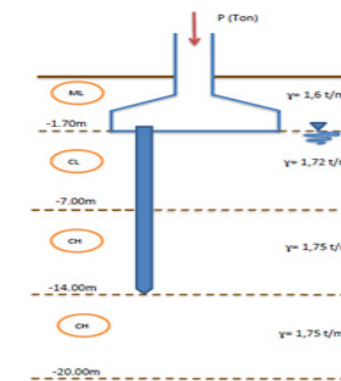


Fuente: Gonzalez,2018.

1.4.10.2. IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS COMPUTACIONALES PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS. APLICACIÓN AL CÁLCULO DE EDIFICIOS"

Actualmente el uso de tecnología a ayudado a que la carga de cálculos de cimentación sea más fácil a través de programas tales como ETABS y SAFE, que están orientados a solucionar este arduo desarrollo con resultados favorables y muy baja probabilidad de falla, esto a sido muy importante aplicarlo en Ecuador , ya que este presenta una calidad de suelo rígido para construcción generalmente en la Costa y Oriente que son zonas cálidas con un suelo bastante desfavorable, por tal motivo en este caso es indispensable pensar en otra solución que no sea la cimentación profunda y mas en estructuras de gran altura (Caizachana, 2013).

Figura 25. Cimiento.



Fuente: Caizachana,2013.

1.4.11. Soluciones de cada referente

Tabla 6. Solución de referentes

SOLUCIONES		
Europa (España)	América Latina	Ecuador
<p>- La técnica de cimentación mediante columnas de módulo controlado se ha consolidado como una solución eficaz para la mejora de suelos muy blandos y cohesivos en la construcción de bloques de viviendas. Su capacidad para modificar las propiedades tensodeformacionales del terreno, incrementando su capacidad portante y reduciendo la deformabilidad, la convierte en una alternativa viable frente a las cimentaciones profundas tradicionales.</p> <p>Aunque la rigidez de estas inclusiones es menor a la de los pilotes, su implementación resulta ser una opción más económica y adecuada para terrenos con baja capacidad portante</p>	<p>- El sistema constructivo utilizado en la cimentación de caissons para puentes en el norte del Perú ha sido el hincado con cuchilla, un método eficiente para suelos de baja capacidad portante. Este proceso inicia con la construcción de un cajón de concreto armado con una cuchilla metálica en su base, diseñada para facilitar su penetración en el suelo. Luego, se realiza la excavación interna del caisson, lo que genera un vacío y permite su descenso por gravedad, a medida que se profundiza, el material interno se retira manualmente o con equipos mecánicos hasta alcanzar la profundidad deseada, momento en el cual se rellena con concreto estructural o grava compactada para su estabilización y conexión con la superestructura del puente.</p> <p>- El sistema constructivo utilizado en la cimentación de la Ciudadela Clínica Uros Torre 4 es un sistema de cimentación profunda mediante caissons, el cual se emplea cuando los suelos presentan baja capacidad portante o son blandos. Este sistema consiste en la excavación y perforación para 30 caissons de sección circular, reforzados con anillos de concreto de sección troncocónica en la zona central, lo que permite garantizar estabilidad estructural en suelos con condiciones adversas.</p> <p>- La cimentación profunda a base de pilotes se presenta como una solución efectiva para garantizar la estabilidad y resistencia de edificaciones sobre suelos inestables o de baja capacidad portante, como se evidencia en el caso del edificio tipo "B1". Los pilotes, al transmitir las cargas hacia estratos más profundos y resistentes, no solo aseguran el adecuado soporte de la estructura, sino que también pueden ofrecer beneficios adicionales como la protección contra fuerzas laterales y la mejora de la capacidad de carga de suelos granulares</p> <p>- En el estudio presentado sobre la cimentación profunda con pilotes en suelos de alta compresibilidad, se destaca la importancia de realizar pruebas de carga in situ para conocer el comportamiento real de la cimentación bajo cargas axiales. A pesar de que los métodos analíticos y numéricos, como el método de elemento finito (MEF), ofrecen aproximaciones útiles, los resultados obtenidos a través de las pruebas de carga muestran una mayor fiabilidad al proporcionar datos precisos sobre la capacidad de carga y el comportamiento del suelo</p>	<p>- La implementación de cimentaciones profundas es una solución efectiva para mitigar los efectos negativos de estos suelos, mejorando la capacidad de carga y reduciendo los desplazamientos y deformaciones. Los resultados obtenidos mediante la simulación en software de análisis estructural refuerzan la importancia de considerar la ISE en el diseño sísmico, demostrando que un enfoque adecuado puede mejorar la respuesta estructural y optimizar la seguridad de las edificaciones en regiones sísmicamente activas.</p> <p>- La investigación sobre el cálculo y diseño de cimentaciones profundas en edificaciones, utilizando programas computacionales como ETABS y SAFE, demuestra ser una herramienta eficaz para optimizar los procesos constructivos en terrenos de baja capacidad portante. El análisis realizado sobre el Bloque E de Hospitalización 2 del Hospital de Ambato, con un modelo de suelo proveniente de la región Costa, permitió comprobar la aplicabilidad y confiabilidad de estos programas al realizar los cálculos de diferentes tipos de cimentaciones profundas como zapatas sobre pilotes, vigas sobre pilotes y losa sobre pilotes.</p>

Fuente: Elaboración propia.

1.4.12. Conclusión

Para la construcción de un edificio de salud en el cual su suelo es blando ubicado en San Bartolo, Quito, la opción más adecuada de cimentación profunda con pilotes tipo CAISSON, ya que permiten pasar dichas cargas de la estructura a estratos profundos y más compactos, garantizando estabilidad ante asentamientos diferenciales y sismos.

Dado que Quito es una zona sísmicamente activa, el diseño de cimentaciones debe considerar la relación suelo-estructura (ISE) considerada en el desempeño de la estructura frente a eventos sísmicos. Además, el uso de herramientas computacionales como ETABS el análisis de la estructura permitirá optimizar en el diseño y garantizar el cumplimiento de normativas sísmicas vigentes.

Por lo tanto, una cimentación profunda con pilotes tipo CAISSON es la mejor alternativa para asegurar la seguridad y funcionalidad de la edificación en el largo plazo.

1.4.13. REFERENTES DE EDIFICACIONES REALIZADAS

1.4.13.1. EL BURJ KHALIFA-DUBAI

Figura 26. Edificio Burj.



Fuente: Panoramica,2024

Ubicado en Dubái, Emiratos Árabes Unidos, en el centro de la ciudad. Es conocido como el edificio más alto del mundo con 828m. Construido por Burj Khalifa en 2004 y terminado en 2010, para lograr soportar esta alta carga este presenta pilotes con una profundidad de 50m.

Por qué se usó Pilotes

Esto va a depender de las condiciones del terreno, el tipo suelo, por lo que es difícil excavar o entibar para generar el espacio, el pilote se puede hincado para genere presiones laterales y así un grupo de pilotes se soporta como estructura generando presiones entre sí (Chavez,2014).

Tabla 7. Analisis referente.

Análisis	Imagen
<p>Análisis estructural La estructura está compuesta por hormigón armado hasta la plata 156. Desde dicho piso, las plantas están hechas de acero, haciéndolas más ligeras.</p> <p>La composición del concreto ha sido cuidadosamente estudiada y verificada para garantizar la indispensable resistencia mecánica de las adversas condiciones climáticas de Dubái.</p>	
<p>Cimentación cimentación consiste en una placa de hormigón armado de 4 metros de grosor que soportan 192 pilotes de 1.5 metros de diámetro cada uno y se entierran a una profundidad de 50 metros. Sobre esta un podio que permite el anclaje de la estructura de concreto.</p> <p>Fases de cimentación</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Pilotes.



Fuente: Lesics,2018.

1.4.13.2. TORRES PETRONAS-MALASIA

Figura 28. Vista Torres petronas.



Fuente: Plataforma arquitectura,2023.

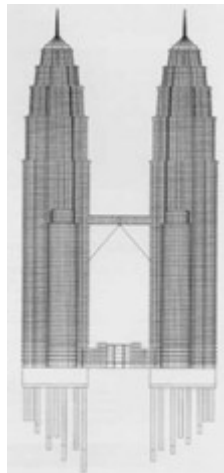
El proyecto Torres Petronas están ubicadas en Kuala Lumpur, Malasia, y está compuesto de dos torres gemelas de gran altura, se construyó desde 1992 hasta 1998 y su función es mixta, con oficinas, comercio y vivienda. Este edificio se convierte una representación de modernidad.

Tabla 8. Analisis referentes.

Análisis	Imagen
<p>Análisis estructural La estructura central se basa en un núcleo cuadrado, 23x23m, básicamente de hormigón armado unido a un anillo periferal con 16 columnas también de hormigón. Las torres descansan sobre una losa de hormigón compartida, que a su vez está situada sobre un "bosque" subterráneo de pilares de hormigón y acero. En el desarrollo en altura, las dos torres se van estrechando y escalonando hasta ser coronadas por un pináculo cónico, de 73,5 m de altura. Cada torre se va retrayendo en su ascenso para mantener el eje vertical y seguir su diseño. Las paredes de los pisos superiores también están inclinadas hacia adentro para ahusarse y converger en el pináculo</p>	

Cimentación

Los cimientos son tipo balsa con un grosor de 4.5m realizado con 13,200 m³ de hormigón armado y un peso aproximado 32,550t bajo cada torre, aproximadamente a 19m bajo el nivel del suelo. La balsa está apoyada sobre 104 pilotes Barrette que varían de 60 a 115 m de longitud por debajo de la caja. Debido a la gran profundidad de estos pilotes, fue necesario desplazar la realización del proyecto aproximadamente 60m, hasta alcanzar roca firme.



Fuente: Elaboración propia.

1.4.13.3. PUENTE YURACYACU-MALASIA

El proyecto Torres Petronas están ubicadas en Kuala Lumpur, Malasia, y está compuesto de dos torres gemelas de gran altura, se construyó desde 1992 hasta 1998 y su función es mixta, con oficinas, comercio y vivienda. Este edificio se convierte una representación de modernidad.

Figura 29. Vistas Puente Yuracyacu.



Fuente: CNIC,2022.

Tabla 9. Analisis referente.

Análisis	Imagen
<p>Análisis estructural</p> <p>Fueron utilizadas las metodologías de fórmulas empíricas de Aoki-Velloso, Decourt-Quaresma, P.P. Velloso y Meyerhof, con o sin corrección de los valores de N. Los métodos fueron evaluados haciendo uso del programa de cómputo FEPC (Guillén, 1994). Se realizaron los cálculos de la capacidad de carga última y admisible para pilotes hincados de concreto armado de 0.40 m x 0.40 m de sección, pilotes excavados de 0.80 m de diámetro y pilotes Franki de 0.40 m de diámetro en el fuste y 0.65 m de diámetro en la base.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Resumen referentes.

REFERENTES	CIMENTACION	RIESGO DE ACENTAMIENTO	ESTRATO DURO A MAS DE 140 MTS	PESO	ASENTAMIENTO
EL BURJ KHALIFA	Losa de cimentación	Alto	No viable	Desproporcionado	No calculable
TORRES PETRONAS	Cimentación profunda	Muy alto	Viable	Controlado	4cm
PUENTE YURACYACU	Cimentación profunda	Muy alto	Viable	Controlado	No calculable

Fuente: Elaboración propia.

ETAPA 2
Diagnóstico

● Diagnóstico

2.1 Información General.

Tabla 11. Cuadro Metodología de Investigación.

Tipo de investigación	Resultados
Línea de investigación	Implementación de un sistema de cimentación profunda en suelo blando, incorporando pilotes como elementos de soporte estructural.
Áreas de investigación	San Bartolo, Quito Ecuador
Delimitación temporal	Periodo B24

Fuente: Elaboración propia.

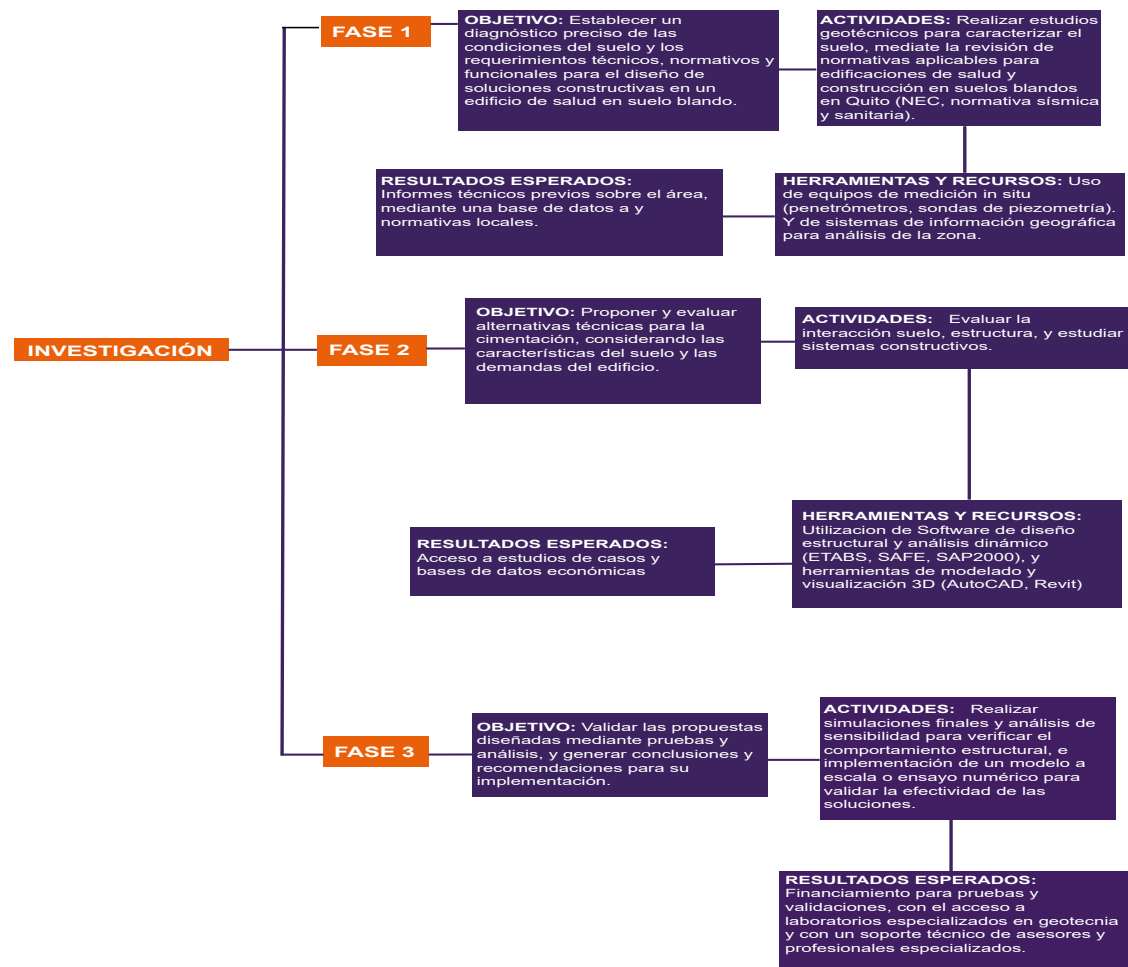
2.2 Introducción a la Metodología

En la presente investigación se presentará los siguientes métodos que se basa en el enfoque metodológico descriptivo el cual tiene un enfoque mixto, ya que combina estrategias y técnicas tanto cualitativas como cuantitativas en el proceso el análisis y diseño, para alcanzar los resultados deseados.

La proceso metodológico esta dividido en tres fases en la cual se va implementar una excavación profunda para implementar muros pantallas y cimentacion tipo caisson, dando soluciones constructivas para infraestructura de un edificio de salud en San bartolo, quito

2.2.1. Metodología

Figura 30. Organigrama metodología .



Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.1. Fase 1: Diagnóstico

En la fase número uno de la investigación se establecer un diagnóstico preciso de las condiciones del suelo y los requerimientos técnicos, normativos y funcionales para el diseño de soluciones constructivas en un edificio de salud en suelo blando, Realizando estudios geotécnicos para caracterizar el suelo, mediante la revisión de normativas aplicables para edificaciones de salud y construcción en suelos blandos en Quito (NEC, normativa sísmica y sanitaria), con el uso de equipos de medición in situ (penetrómetros, sondas de piezometría). Y de sistemas de información geográfica para análisis de la zona, teniendo como resultados informes técnicos previos sobre el área, mediante una base de datos a y normativas locales.

2.2.1.2. Fase 2: Concepto

En la fase número dos de la investigación, se propone y evalúa alternativas técnicas para la cimentación, considerando las características del suelo y las demandas de la estructura, con la evaluación de la interacción suelo, estructura, y estudiar sistemas constructivos, teniendo como resultado el acceso a estudios de casos y bases de datos económicas.

2.2.1.3. Fase 3: Propuesta

En la fase número tres de la investigación, se validará las propuestas diseñadas mediante pruebas y análisis, y generar conclusiones y recomendaciones para su implementación, realizando las simulaciones finales y análisis de sensibilidad para verificar el comportamiento estructural, e implementación de un modelo a escala o ensayo numérico para validar la efectividad de las soluciones, con un financiamiento para pruebas y validaciones, con el acceso a laboratorios especializados en geotecnia y con un soporte técnico de asesores y profesionales especializados.

ETAPA 3
Mi Propuesta

Mi propuesta

3.1 Introducción a la problemática

La República del Ecuador está situada en la costa noroccidental de América del Sur (INOCAR, 2012, pág. 13). Ecuador limita con Perú, en el este y sur, al Norte con Colombia y al Oeste con el Océano Pacífico. La construcción de un edificio de salud en el sector de la Ferroviaria presenta retos asociados al suelo blando, caracterizado por su baja capacidad portante y propensión a asentamientos diferenciales. Es decir que pone en riesgo la seguridad y estabilidad de la estructura. Las causas son las características geotécnicas propias del sector, además de modificaciones en rellenos de quebradas y reencauzamientos hidrológicos, retenedores subterráneos de agua y acuíferos subterráneos que forman capas de arena. (Navarro, 2014).

En consecuencia, los edificios son propensos a tener asentamientos muy agresivos y descontrolados, es decir que sus cimientos se desplazan de forma diferente haciendo que la estructura tienda a deformarse y ponga en riesgo su estabilidad (Ballen, 2015). La finalidad es determinar el sistema constructivo que se adapte a las condiciones del suelo blando y garantice la estabilidad de un edificio de un factor alto de importancia como lo es un hospital.

3.2 Justificación del sitio de la propuesta (lote)

En esta presente investigación se va a realizar la implementación de un sistema de cimentación profunda, capaz de transferir las cargas del edificio hacia estratos más resistentes del subsuelo, en el sector de La Ferroviaria, Qui-

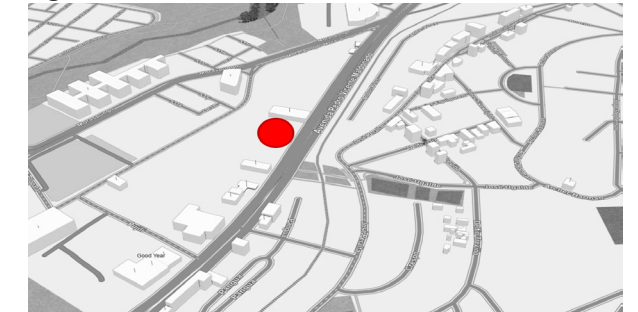
to, Ecuador ya que se caracteriza por tener un suelo blando, lo cual presenta baja capacidad portante y alta susceptibilidad a asentamientos diferenciales, este enfoque permitirá controlar los asentamientos y asegurar que la infraestructura cumpla con los estándares de seguridad exigidos, especialmente en un contexto sísmico como el de Quito. Los beneficios del proyecto responden a una necesidad apremiante de mejorar la infraestructura de salud en la región, asegurando su resiliencia y operatividad frente a las demandas urbanas y ambientales del entorno.

3.3 Analisis micro-macro

3.3.1. Ubicación

El terreno se encuentra ubicado en la calle Pedro V. Maldonado - LS11-698, parroquia San Bartolo del cantón Quito, perteneciente a la provincia de Pichincha.

Figura 31. Ubicación.

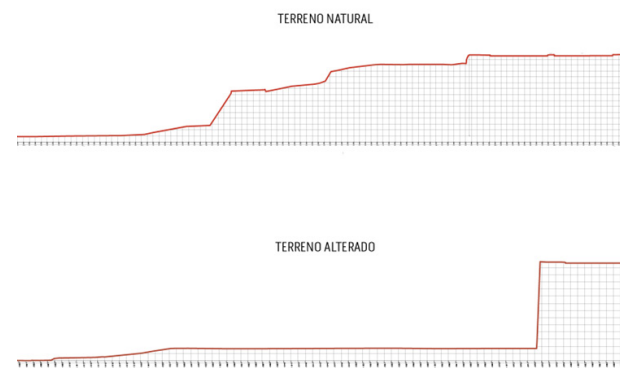


Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Topografía.

La topografía original del lugar es consecuencia de las formas que ha generado la urbanización del sector, tomado del (PDOT, 2016). Esta forma del suelo se ha visto alterada para alojar tres subsuelos, por lo que se realizó una desbanque de casi 15.000 m3.

Figura 32. Corte de terreno.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Hidrografía

Una cuenca hidrográfica es una unidad espacial de límites geográficos naturales, en donde todas las aguas captadas alimentan un mismo sistema hídrico. La zona de estudio forma parte, de la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas; constituida principalmente por la subcuenca hídrica del río Guayllabamba la cual es abastecida por varios afluentes menores, de diversos nevados, deshielos y vertientes.

Tabla 12. Cuencas Hidrografica.

NOMBRE	UBICACIÓN	EXTENSIÓN	CARACTERÍSTICA
ESMERALDAS	Esmeraldas	19680,00 m	La cuenca hidrográfica comprendida dentro de una zona de lluvias constantes

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Nivel freático

Así las profundidades de nivel freático con respecto al nivel de terreno natural son relativamente altas, en consecuencia de ser necesario se deberá considerar el uso de equipos de bombeo durante la fase excavaciones de las cimentaciones.

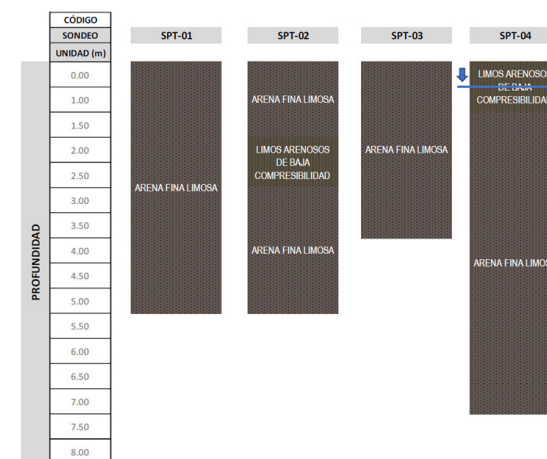
3.3.5. Características geológicas del sector

La ciudad de Quito se encuentra en la cordillera Occidental, donde su altitud varía entre los 700m, limitado al Oeste por el río blanco y al Este por el Cerro Guagua Pichincha con 4794 msnm. Las rocas que presenta la carta geológica de Quito tienen edades cretácicas y cuaternarias. Las rocas cretácicas son lavas y sedimentos volcánicos y las rocas cuaternarias son lavas, piroclastos y material volcánico sedimentario además de depósitos de Cangahua (ceniza) que cubre la parte Oriental.

3.3.6. Perfil Estratigráfico

Mediante correlaciones de los ensayos de campo y laboratorio, se determinó el siguiente perfil estratigráfico, donde el estrato corresponde a suelos de grano fino a grueso, por ende, se considera como un Suelo Cohesivo Friccionante para el análisis de la capacidad de carga admisible del suelo.

Figura 33. Perfil estrategico.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.7. Resultados de estudio

En base a los resultados de las perforaciones SPT efectuadas en cada uno de los sondeos, se determinó que los primeros 4 sondeos presentan similares condiciones de resistencia geomecánica, mientras que la 5ta perforación obedece a suelos de pobres características y propiedades mecánicas. Por lo tanto, se optó por zonificar el predio y la zona de construcción, cuya definición es la siguiente:

- Zona Geotécnica No. 1: Cimentaciones superficiales directas
- Zona Geotécnica No. 2: Cimentaciones profundas con sistemas Caisson / Pilotes

3.4 Propuesta

3.4.7.1. Información general

PROYECTO: CLINICA DE ESPECIALIDADES COLONIAL CIA LTDA

TIPO DE OBRA: Edificación de Salud

PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE: Pantallas de hormigón armado y anclajes de concreto reforzado y Cimentaciones profundas tipo “caisson” de hormigón armado de seccion circular

Figura 34. Render proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

3.5 NORMATIVA, Ordenanza 3457

3.5.7.1. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. SECCIÓN TERCERA: EDIFICACIONES DE SALUD

3.5.7.2. Art. 199 ALCANCE

Se considerarán a las edificaciones destinadas a brindar prestaciones de salud, conforme a la clasificación utilizada por el MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA, para fomento, prevención, recuperación, y/o rehabilitación del paciente que requiera atención ambulatoria y/o internación. Los establecimientos hospitalarios deberán ocupar la totalidad de la edificación. No se permitirá otros usos compartidos.

Tabla 13. Tipos de Centro de Salud

Centro de Salud Tipo A	Centro de Salud Tipo B	Centro de Salud Tipo C
El Centro de Salud tiene como propósito servir a una población entre 2,001 y 10,000 hab. El tipo de servicios que dispone:	El Centro de Salud tiene como propósito servir a una población entre 10,001 y 25,000 hab. El tipo de servicios que dispone:	El Centro de Salud tiene como propósito servir a una población entre 25,001 y 50,000 hab. El tipo de servicios que dispone:
-Atención integral de medicina familiar.	-Atención integral de medicina familiar.	-Atención integral de medicina familiar.
-Cuidados Intensivos.	-Cuidados Intensivos.	-Cuidados Intensivos.
-Atención Odontológica (Curación, tratamiento)	-Cuidados Palliativos	-Rehabilitación y Cuidados Palliativos
-Enfermería.	-Salud Mental	-Ginecología y Pediatría
-Promoción de salud y prevención de la enfermedad.	-Atención Odontológica.	-Psicología
-Salud Oral (Prevención)	-Enfermería.	-Maternidad
	-Promoción de salud y prevención de la enfermedad.	-Imageneología
		-Atención Odontológica.
		-Enfermería.

Fuente: Elaboración propia.

Un Centro de Salud tipo A recae como una institución de primer nivel de atención el cual resuelve el 80% de los problemas de salud frecuentes, sirve tanto a individuos, familias, y comunidades. Su propósito es proporcionar:

- Prevención
- Promoción
- Curación

3.6 Trabajos preliminares

3.6.7.1. Limpieza del terreno con maquinaria

Se realizó la limpieza del terreno en San Bartolo, Quito, comenzando con una inspección detallada para identificar obstáculos como árboles, rocas y escombros. Luego, se seleccionaron las máquinas adecuadas, como bulldozers, retroexcavadoras y motoniveladoras, según las características del terreno. Con la maquinaria preparada, se procedió a retirar los obstáculos, como vegetación y escombros, y se excavaron áreas con tierra inestable. Posteriormente, se niveló el terreno utilizando motoniveladoras y se compactó el suelo en las zonas necesarias para asegurar su estabilidad. Finalmente, se realizó una inspección final para verificar que el terreno estuviera completamente limpio y listo para la construcción.

Figura 35. Evidencia de Limpieza del terreno.





3.6.7.2. Replanteo y nivelación con equipo topográfico

Es el proceso de trazado y marcado de puntos importantes, trasladando los datos de los planos al terreno y marcarlos adecuadamente, de tal forma que la excavación y la ubicación de las columnas de los muros anclados y la cimentación profunda sea exacta, en función de la ubicación en planos,

Este proceso se lo realizó con equipo topográfico: Estación Total Trimble C5 HP, GPS Trimble Geoxt 6000.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Evidencia topografica.



Fuente: Elaboración propia.

3.7 Proceso constructivo

3.7.1. Estabilización de taludes con pantallas de hormigón armado y anclajes de concreto reforzado

Este proceso constructivo consiste en la construcción de un muro de suelo anclado, resultante de reforzar el talud o pared del suelo natural, con inclusiones introducidas horizontalmente dentro del mismo (anclajes de hormigón reforzado con acero); y en la colocación de un recubrimiento de hormigón armado convencional u hormigón lanzado.

La inclusión consiste de una varilla de acero de diámetro y longitud variable introducida en un agujero hecho dentro del suelo, recubierta en toda su longitud y en todo el diámetro del agujero con lechada o mortero de cemento. Estos anclajes podrán ser de tipo CLAVETEADO o ANCLADO con placas de anclaje.

En las cuales se menciona a continuación las fases de la construcción de muros anclados de concreto lanzado, con una estructura de doble pantalla de acero.

- Análisis del primer talud
- Proceso de excavación y perfilado del primer talud
- Diseño muros pantallas de hormigón armado y diseño de anclajes de concreto reforzado y su proceso constructivo
- Perforación de los orificios para los anclajes
- Vertido del mortero (grout) de cemento en el orificio perforado
- Diseño de muros anclados y colocación de acero de refuerzo
- Hormigonado de muro pantalla de hormigón proyectado o lanzado

- Repetición del proceso para taludes inferiores hasta completar el muro.

3.7.2. Paso 1 Análisis del primer talud

Para realizar el análisis del primer talud se realiza una excavación inicial hasta una profundidad que permita la instalación de los primeros anclajes. Esta profundidad varía según el diseño y la estabilidad del terreno.

Para ello se desarrolló un análisis y modelado de los taludes y su proceso constructivo que se presenta a continuación

3.7.2.1. Análisis de estabilidad de taludes / ladera

Cuando se tienen obras tales como muros de contención, pantallas, tablestacas u otros elementos que estén sujetos a empujes del suelo, es necesario considerar la presión lateral que ejerce el material sobre dicho elemento, para ello se utiliza la teoría define una presión activa de Rankine, misma que considera líneas de deslizamiento o planos de falla.

Para el cálculo de empujes laterales en el presente proyecto, se hace referencia a cualquier obra que tienda a generar empujes activos, en donde la fricción delta es igual al ángulo de fricción del suelo ($\delta = \phi$), mientras que para rellenos granulares densos, el valor de delta esta entre: ($\phi/2 \leq \delta \leq 2/3 \phi$).

Figura 37. Formúlas.

- $\gamma = 1.80 \text{ gr/cm}^3$
- $c = 1.50 \text{ kg/cm}^2$
- $\phi = 39.00 \text{ grados}$
- $K_a = 0.228$ (Coef. Empuje activo Rankine)
- $\delta = 2/3 \phi = 26.00 \text{ grados}$ (Coef. Rugosidad entre el suelo y el muro)
- Zona sísmica: V = Alta: $z = 0.40$

Fuente: Elaboración propia.

A fin de determinar el comportamiento geomecánico de cada uno de los taludes de análisis, se realizó un análisis de estabilidad a través de un software especializado para el efecto, se consideró los dos escenarios importantes:

- Condiciones naturales (estáticas)
- Cargas Laterales dinámicas (sismos - Pseudoestáticas).

El software incorpora el perfil transversal del talud existente, las propiedades mecánicas del suelo analizado, definición de los métodos de evaluación, entre otros parámetros. En general el software en mención es SLIDE 6.0 de la compañía Rocscience, donde el parámetro de evaluación corresponde al Factor de Seguridad (FS) motivo del análisis.

Para el modelado de las cargas sísmicas, se consideró el valor de la aceleración máxima esperada para la localidad de la Ferroviaria, cantón Quito, provincia de Pichincha.

En el análisis de estabilidad es necesario tomar en consideración la acción sísmica, estableciendo para ello un coeficiente sísmico kh , que de acuer-

do con el Cuerpo de Ingenieros de los estados Unidos varía entre $1/2$ a $1/3$ de la aceleración máxima, sin embargo, existen otros criterios al respecto.

De acuerdo con las Normas NEC, el coeficiente pseudo-estático se puede determinar en función de la aceleración máxima del sitio (Z) y el factor de amplificación sísmica del sitio $F_a = F_{pga}$, se define el coeficiente de aceleración horizontal para el análisis pseudo-estático de estabilidad global. El valor de F_a fue considerando el escenario crítico, es decir con un perfil de suelo tipo D, dando como resultado un $F_a = 1.20$

Figura 38. Formúlas.

$$kh = 0.60 (ZF_a)$$

$$kh = 0.60 (0.40 * 1.20)$$

$$kh = 0.288$$

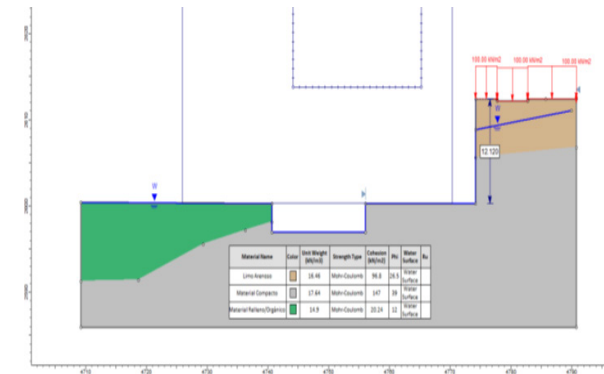
$$kv = 1/3 * kh = 0.096$$

Fuente: Elaboración propia

3.7.3. talud 1- analizado

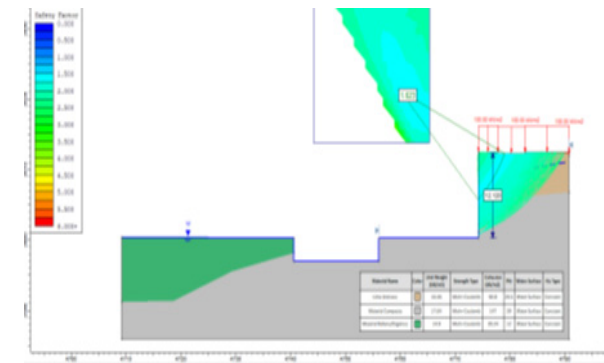
3.7.3.1. Perfil Estratigráfico y Litología del Talud

Figura 39. Perfil Estratigráfico y Litología del Talud.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Análisis de resultados en Slide V.6.0 - Condición Estática (Ordinary / Fellenius).



Fuente: Elaboración propia.

3.7.3.2. Análisis e interpretación

El factor de seguridad en condiciones estáticas tiene el valor a $FS = 1.623$, equivalente a que sus condiciones son ESTABLES en su estructura interna, debido a que las fuerzas equilibradoras son mayores a las desequilibradoras.

Tabla 14. Resultados de Factor de Seguridad (Fs) del talud.

MÉTODO	Fs	
	Estático	Criterio de falla
Ordinary / Fellenius	1.623	> 1.50 (Estable)

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, como medidas complementarias en los taludes analizados, se podrá optar por el recubrimiento con geosintéticos (geomantos) de los taludes, dado a que, al estar expuestos a la intemperie, serán afectados por fenómenos erosivos (lluvia, sol, viento, sismos, etc.), que repercuten en la estabilidad de los mismos, conllevando a deslizamientos locales, socavaciones y desprendimientos del cuerpo del talud.

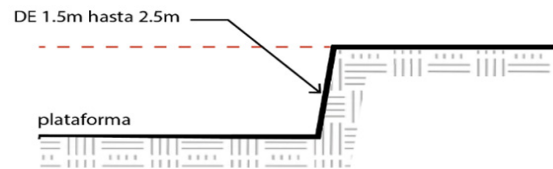
3.7.4. Paso 2 Proceso de excavación y perfilado del primer talud

En la excavación del área donde se va a construir el muro, se debe asegurar de que el terreno esté libre de cualquier material que pudiera afectar la adherencia del hormigón. Es fundamental que la base sea estable y nivelada, para que el hormigón se adhiera correctamente. Además, se verifica que el terreno tenga las características adecuadas para soportar los anclajes y la carga del muro.

La excavación se realiza a una profundidad en la cual el talud pueda soportarse a sí mismo sin apoyo por un espacio de tiempo corto, de uno a dos días, esta profundidad puede estar entre 1,5 metros y 2,5 metros dependiendo del suelo. Detrás del talud excavado se debe construir una zanja de coronación para interceptar el agua superficial que puede afectar la capacidad portante del suelo.

El perfilado manual es la fase más importante de la actividad, en donde se debe intentar perfilar solamente el espesor necesario para la colocación de la estructura de acero. El tipo de suelo interviene de manera directa con la calidad final del perfilado puesto que en suelo granular, el terreno suele ceder ante cualquier picado dejando huecos en el paño, por otro lado, los suelos cohesivos son más accesibles al perfilado no dejando espacio para huecos.

Figura 41. Corte excavación no apoyada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Proceso excavación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Excavación de tierra con maquinaria.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Perfilación de talud manual.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.4.1. Evidencias fotográficas

Tabla 15. Excavación de tierra con maquinaria pesada



Fuente: Elaboración propia.

3.7.5. Paso 3

Diseño muros pantallas de hormigón armado y diseño de anclajes de concreto reforzado y su proceso constructivo

Esta alternativa consiste en la construcción de un muro de suelo anclado, resultante de reforzar el talud o pared del suelo natural, con inclusiones introducidas horizontalmente dentro del mismo (anclajes de hormigón reforzado con acero); y en la colocación de un recubrimiento de hormigón armado convencional u hormigón lanzado.

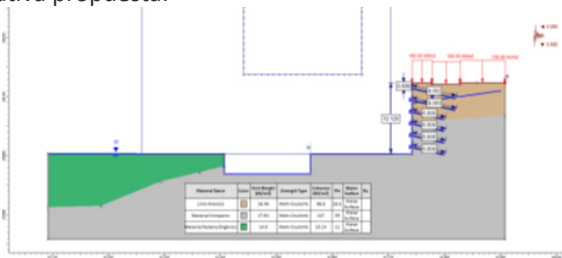
La inclusión consiste de una varilla de acero de diámetro y longitud variable introducida en un agujero hecho dentro del suelo, recubierta en toda su longitud y en todo el diámetro del agujero con lechada o mortero de cemento. Estos anclajes podrán ser de tipo CLAVETEADO o ANCLADO con placas de anclaje.

Los agujeros se deben orientar y ubicar según los planos de diseño respetando la profundidad. Las perforaciones se pueden hacer a mano o con máquinas perforadoras según la dureza del suelo de manera que no afecten la integridad del suelo circundante.

Para ello se desarrolló la propuesta y el análisis de muro pantalla de hormigón armado, anclajes de concreto reforzado y su proceso constructivo que se presenta a continuación.

3.7.5.1. Propuesta de talud 1 muro pantalla de hormigón armado

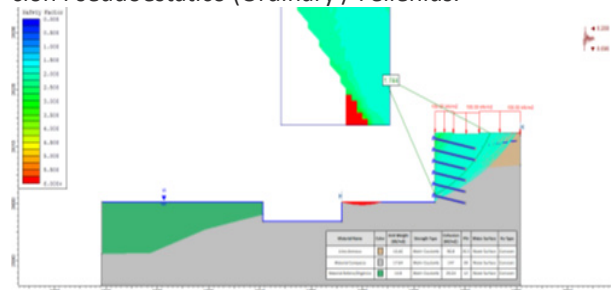
Figura 45. Perfil Estratigráfico y Litología del Talud alternativa propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.6. talud 1- analizado

Figura 46. Análisis de resultados en Slide V.6.0 - Condición Pseudoestático (Ordinary / Fellenius).



Fuente: Elaboración propia.

3.7.6.1. -Análisis e interpretación

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el factor de seguridad en condiciones Pseudoestáticas (sismos) tiene valores que oscilan entre $FS = 1.744$, equivalente a que sus condiciones son ESTABLES en su estructura interna, debido a que las fuerzas equilibradoras son mayores a las desequilibradoras.

Tabla 16. Resultados de Factor de Seguridad (Fs) del talud diseñado.

MÉTODO	Fs	
	Pseudoestático (Sismos)	Criterio de falla
CASO 2		
Ordinary / Fellenius	1.744	> 1.20 (Estable)

Fuente: Elaboración propia.

3.7.7. Diseño de anclajes en los muros

El diámetro de las perforaciones de los anclajes se optó por considerar perforaciones de 4.0 pulg de diámetro, cuya longitud obedecerá a la calculada posteriormente..

Tabla 17. Diametros de los anclajes.

	Diámetro			τ_u		
NIVEL	(m)	Carga (Tn)	γ_1	(Tn/m2)	γ_t	L_b
2	0.1	13.60224	2	50	2	3.419
1	0.1	13.60224	2	50	2	3.419

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Longitud de anclajes

LONGITUD MÍNIMA DE EMPOTRAMIENTO EN EL TERRENO				
NIVEL	L_b	L_i	L_b+L_i	$L_{min.}$
2	3.419	2.5	5.919	6.0
1	3.419	1.4	4.819	5.0

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, la sección mínima de las varillas de anclaje es de $\Phi = 32\text{mm}$, a fin de garantizar estabilidad a la tensión del muro de interés; la longitud de los anclajes será de $L = 5.00\text{m}$ en la parte inferior y $L = 6.00\text{m}$ en la parte superior.

3.7.8. Particulares adicionales de los anclajes

A partir del análisis realizado del tipo de material encontrado, así como de los resultados obtenidos en los ensayos de compresión triaxial tipo UU, se concluye que los anclajes deberán obedecer a las siguientes consideraciones:

Tabla 19. Analisis anclajes.

Diámetro de perforación:	4 pulgadas
Diámetro de varilla de refuerzo ($F_y=4200\text{ kg/cm}^2$)	32 mm
Longitud de anclaje mínima:	6.00m y 5.00m
Separación horizontal máxima considerada:	3.0m
Separación vertical máxima considerada:	2.00m

Fuente: Elaboración propia.

La técnica de los muros de hormigón lanzado reforzados con anclajes, se usa un ángulo (β) para las perforaciones de los anclajes, estos ángulos oscilan desde 5.0 a 15 grados con dirección contraria al plano de falla; para el presente estudio se optó por considerar un ángulo de 12.0 grados.

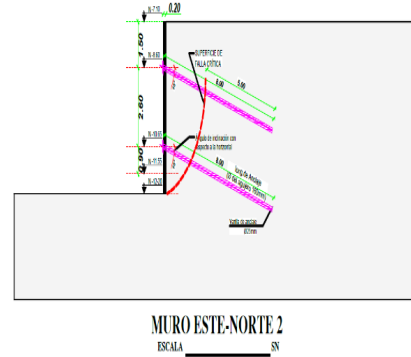
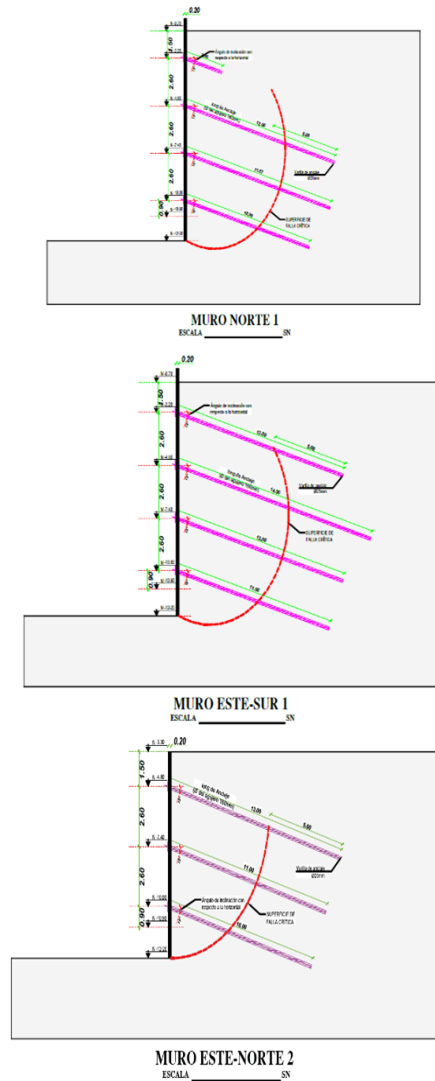
Por otro lado, a fin de garantizar la adherencia entre el tensor del anclaje junto con el mortero, se prevé el uso de varillas OMEGA, las cuales deberán tener un diámetro mínimo de 10.0mm, colocadas y soldadas cada 2.0m a largo de varilla de 32.0mm proyectada.

3.7.9. Cálculo de falla rotacional por pie de talud y diseño de longitud de anclajes pasivos

Dada las observaciones de los perfiles estratigráficos, más los siguientes parámetros de diseño de los pernos de anclaje, y la resistencia del mortero expansivo a utilizar se puede determinar las fallas rotacionales por pie de talud de los muros y las longitudes de anclaje.

- Longitud de adherencia por detrás de la falla es: 5,00 m
- Diámetro nominal del perno de anclaje: 25 mm
- Diámetro exterior del perno de anclaje: 27,9 mm
- Carga mínima según ASTM A615 Fluencia: 59,300 KN
- Carga mínima según ASTM A615 Tracción: 79,000 KN
- Grado75 Según Norma ASTM A615
- Diámetro final de anclaje: 160 mm
- Resistencia de mortero expansivo: 210 kg/cm2

Figura 47. Resistencia de mortero expansivo: 210 kg/cm2 vista en corte.

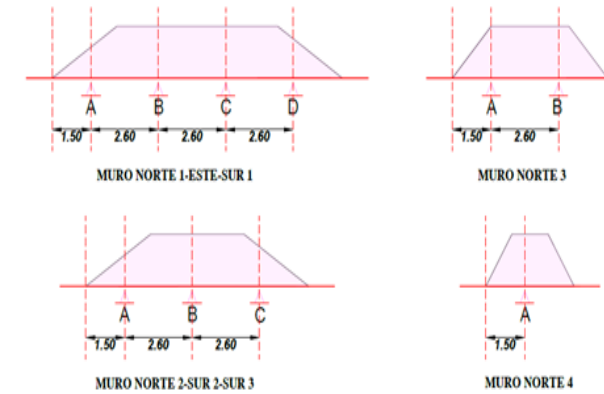


Fuente: Elaboración propia.

3.7.10. -Diagramas de presiones.

Para el proyecto en cuestión se tuvo que realizar varios diseños de anclajes debido a que existen cuatro diferentes alturas de talud (H=12.20; H=11.05; H=5.70; y H=5.05), para esto estructuralmente se diseña los anclajes como si el muro a construir fuera una viga simplemente apoyada, con un empotramiento por la base, donde el primer nivel de anclaje o apoyo está a 1,50 metros en bolada y los apoyos restantes cada 2,60 metros. La razón por la cual se diseña de esta manera los anclajes es por las alturas estándar de tableros de madera que existen en el mercado. El qa de fuerza es 37,5 T/m2.

Figura 48. Diagramas de fuerza y ubicación de apoyos.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Tabla de fuerzas activas en cada apoyo por 1 metro de profundidad:

H	12,20 M	H	11,05 M	H	5,70 M	H	5,05 M
APOYO	FUERZA (TON)	APOYO	FUERZA (TON)	APOYO	FUERZA (TON)	APOYO	FUERZA (TON)
A	1,40625	A	1,41	A	1,41	A	1,41
B	7,6875	B	7,69	B	7,69		
C	12,5625	C	6,28				
D	8,71875						

Fuente: Elaboración propia.

3.7.11. Tabla de diseño de anclajes con su descripción y distribución por niveles

Tabla 21. Tabla de diseño de anclajes con su descripción y distribución por niveles.

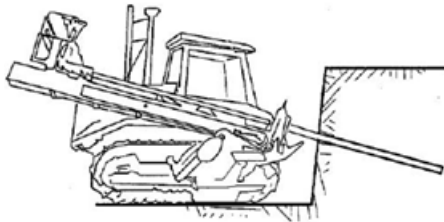
DISEÑO DE ANCLAJES					
NIVEL	DIAMETRO (MM)	ESPACIAMIENTO (M)	LONG ANCLAJE (M)	CANTIDAD (U)	LONG. TOTAL ANCLAJE (m)
MURO ESTE (h=12,20 ; long=31,31m)					
-2,20	25,00	3,50	12,00	9,00	108,00
-4,80	25,00	2,40	14,00	13,00	182,00
-7,40	25,00	1,20	12,00	26,00	312,00
-10,00	25,00	2,40	11,00	13,00	143,00
TOTAL				61,00	745,00
MURO SUR 1 (h=12,20 ; long=8,30m)					
-2,20	25,00	3,50	12,00	3,00	36,00
-4,80	25,00	2,40	14,00	3,00	42,00
-7,40	25,00	1,20	12,00	7,00	84,00
-10,00	25,00	2,40	11,00	3,00	33,00
TOTAL				16,00	195,00
MURO SUR 2 (h=11,05 ; long=16,90m)					
-5,80	25,00	3,50	12,00	5,00	60,00
-8,60	25,00	1,25	11,00	13,00	143,00
-8,40	25,00	2,50	10,00	7,00	70,00
TOTAL				25,00	273,00
MURO SUR 3 (h=11,05 ; long=6,30m)					
-3,20	25,00	3,50	12,00	2,00	24,00
-5,80	25,00	1,25	11,00	4,00	44,00
-11,17	25,00	2,50	10,00	3,00	30,00
TOTAL				9,00	98,00
MURO NORTE 1 (h=12,00 ; long=8,15m)					
-2,20	25,00	3,50	3,00	2,00	6,00
-4,80	25,00	2,40	14,00	4,00	56,00
-7,40	25,00	1,20	12,00	7,00	84,00
-10,00	25,00	2,40	11,00	4,00	44,00
TOTAL				17,00	190,00
MURO NORTE 2 (h=11,00 ; long=21,24m)					
-4,80	25,00	3,50	12,00	5,00	60,00
-7,40	25,00	1,25	11,00	18,00	198,00
-10,00	25,00	2,50	10,00	9,00	90,00
TOTAL				32,00	348,00
MURO NORTE 3 (h=5,70 ; long=5m)					
-8,60	25,00	3,50	8,00	2,00	16,00
-10,65	25,00	2,50	8,00	2,00	16,00
TOTAL				4,00	32,00
MURO NORTE 4 (h=5,05 ; long=5,50m)					
-10,00	25,00	3,50	8,00	2,00	16,00
TOTAL				2,00	16,00
LONG TOTAL DE ANCLAJE				166,00	1897,00

Fuente: Elaboración propia.

3.7.12. Paso 4 Perforación de los orificios para los anclajes

En primer lugar, se perforan agujeros en el suelo para insertar los anclajes. La profundidad, el diámetro y la ubicación de los agujeros se determinan mediante cálculos estructurales que consideran las cargas que debe soportar el muro y las características del terreno. El proceso de perforación debe ser preciso para evitar desvíos que puedan comprometer la alineación de los anclajes.

Figura 49. Perforaciones para anclajes.



PASO 2. Perforación del Huevo para Anclaje

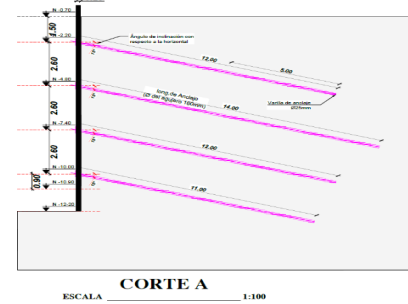


Fuente: Elaboración propia.

3.7.12.1. -Diseño de la colocación de los anclajes

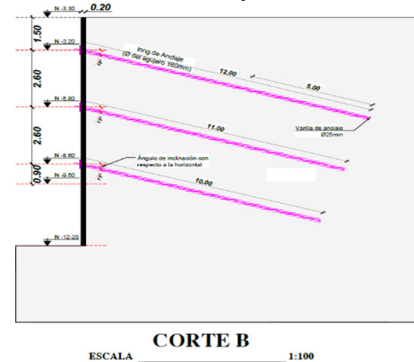
Los anclajes, una vez perforado el terreno, se colocan dentro de los agujeros. En el caso de los anclajes mecánicos, se utiliza un sistema de expansión para fijar el anclaje en el agujero perforado. La correcta colocación de los anclajes es crucial, ya que garantizan la resistencia y estabilidad a largo plazo del muro.

Figura 50. Instalación de anclajes vista en corte A.



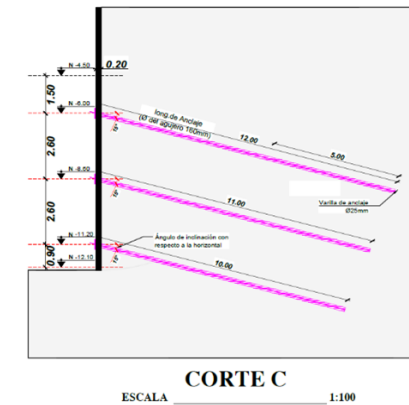
Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. Instalación de anclajes vista en corte B.



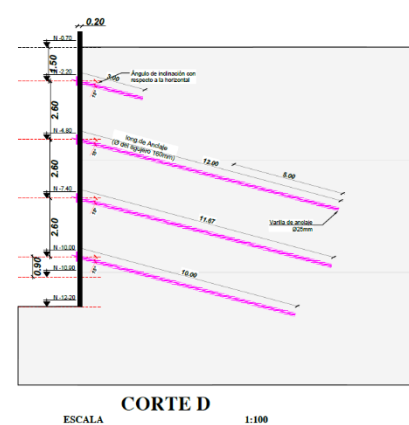
Fuente: Elaboración propia.

Figura 52. Instalación de anclajes vista en corte C.



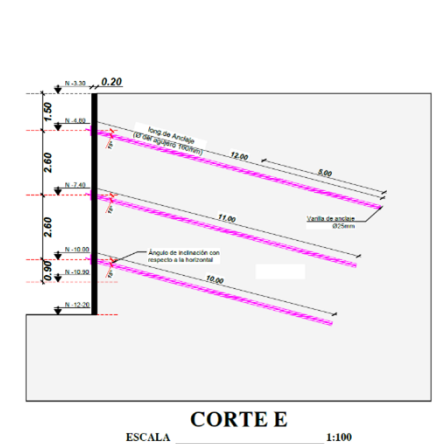
Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Instalación de anclajes vista en corte D.



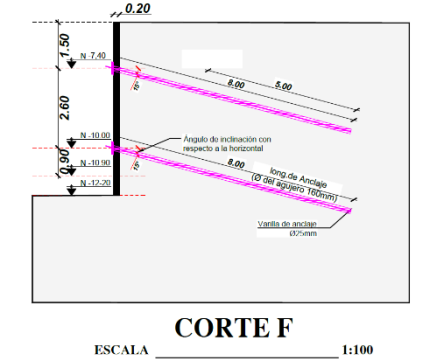
Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Instalación de anclajes vista en corte E.



Fuente: Elaboración propia.

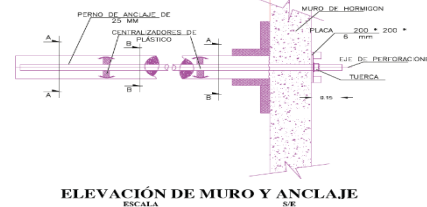
Figura 55. Instalación de anclajes vista en corte F.



Fuente: Elaboración propia.

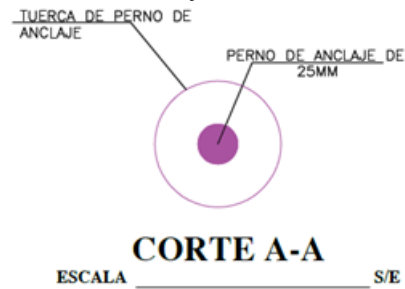
3.7.12.2. Detalles de anclajes

Figura 56. Inserción de los anclajes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Perno de anclaje.



Fuente: Elaboración propia.

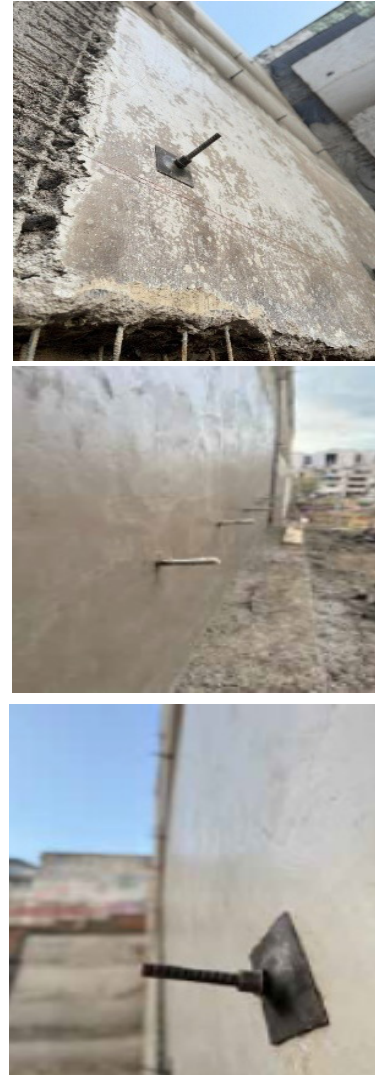
Figura 58. Placa de anclaje.



Fuente: Elaboración propia.

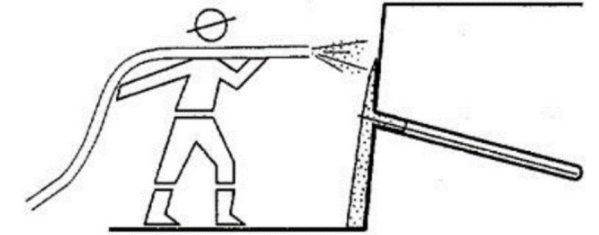
3.7.12.3. Evidencias fotográficas

Figura 59. Fotografías perforaciones.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Inyección de hormigón en el orificio perforado.



Fuente: Elaboración propia.

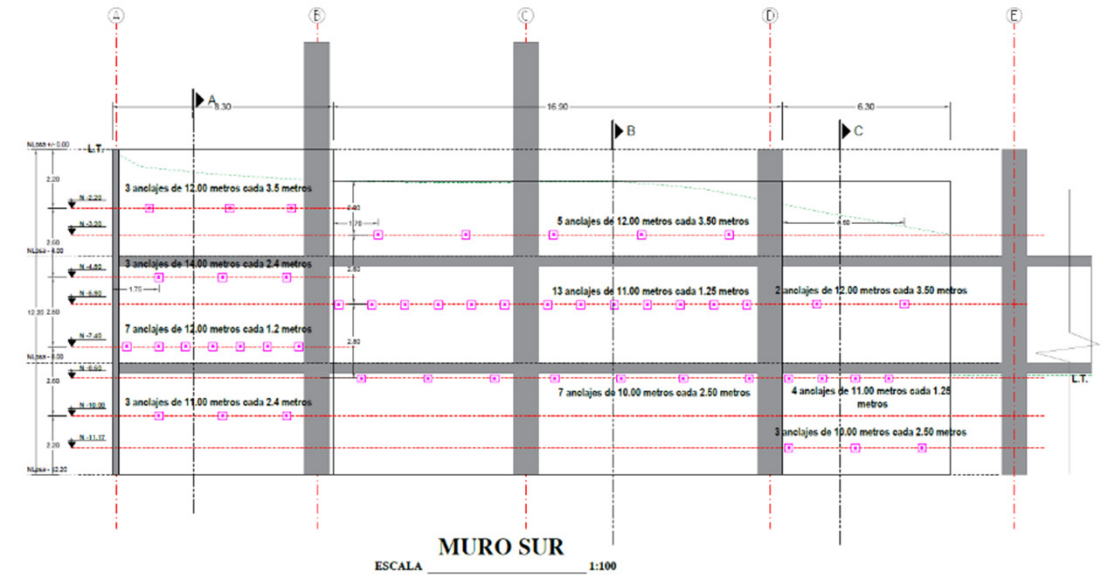
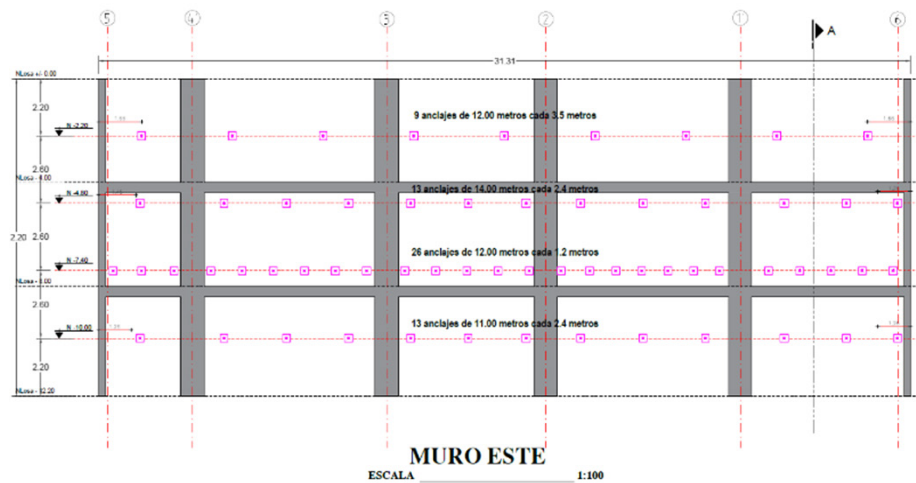
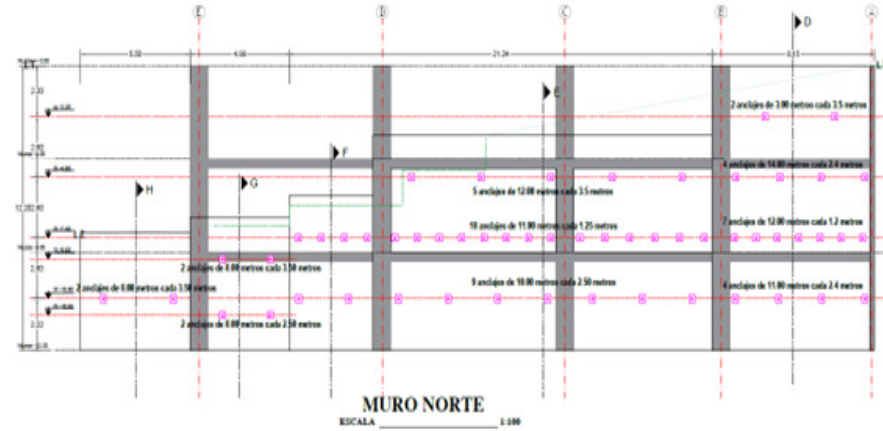
3.7.13. Paso 5 Vertido del mortero (grout) de cemento en el orificio perforado

El operador de la inyectora prepara la mezcla de la lechada de cemento de acuerdo a las especificaciones técnicas, frecuentemente se relaciona la cantidad de metros lineales con la cantidad de cemento en la mezcla, además existirá una relación agua-cemento.

El inyectado de lechada de cemento dentro de la perforación, específicamente dentro de la longitud del bulbo, sin embargo, la longitud libre también estará rellena de lechada. Se aplica desde la boca superior de la perforación. Luego de terminar el inyectado de la lechada, se aplica la presión para sellar la mezcla en el bulbo.

3.7.13.1. Diseño en elevación de la distribución de los anclajes de muro pantalla

Figura 61. Muro pantalla.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.13.2. Evidencias fotográficas.

Figura 62. Colocación cemento.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.14. Paso 6 Diseño de muros anclados y colocación de acero de refuerzo

En cuanto a los muros anclados previstos en el edificio, a través de cálculos de empujes y estabilidad, se determinó que se requiere una barra de acero de F_y 4200 kg/cm², de 32.0 mm de diámetro, misma que proporciona una sección transversal de $A_s = 8.04$ cm², valor superior a la requerida $A_{s\ req.} = 7.45$ cm²; considerando una separación máxima horizontal de $S = 3.00$ m. Adicionalmente se concluye que los anclajes deberán obedecer a las siguientes consideraciones:

Tabla 22. Consideraciones de diámetro de refuerzo de acero para los muros anclados.

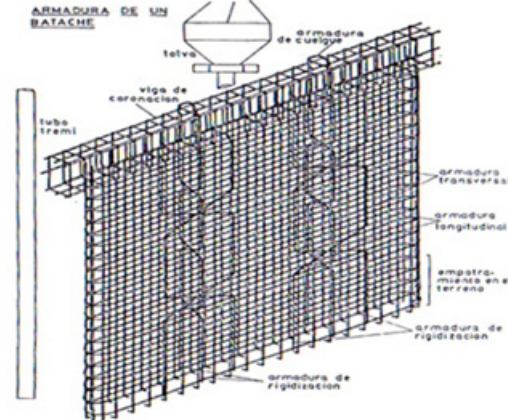
Diámetro de perforación:	4 pulgadas
Diámetro de varilla de refuerzo ($F_y=4200$ kg/cm ²)	32 mm
Longitud de anclaje mínima:	6.00m y 5.00m
Separación horizontal máxima considerada:	3.0m
Separación vertical máxima considerada:	2.00m

Fuente: Elaboración propia.

el armado de la estructura de acero del muro pantalla, la estructura consiste en dos mallas dobles, las mallas interiores se diseñan como refuerzo del anclaje y la malla doble exterior es la placa estructural. La malla interior dependerá de la fuerza que soportará el muro, y se diseña en base a los requerimientos de la empresa que estará a cargo del diseño del anclaje. La malla de la superficie está diseñada de acuerdo a los requerimientos de la estructura. El armado de la estructura se realiza siguiendo los planos estructurales en donde especifican los espaciamientos, dimensiones, tipo de acero, entre otros de la estructura.

3.7.14.1. Perspectiva de la armado de acero de refuerzo de muro pantalla.

Figura 63. Perspectiva de muros pantalla.



Fuente: bloque temático 1, 2021.

Figura 64. Armado manual.

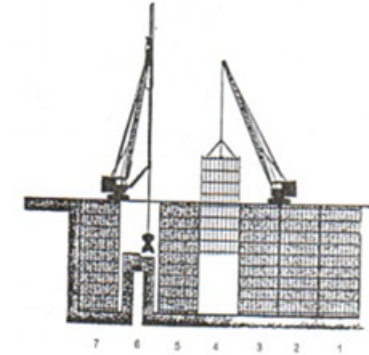


Fuente: bloque temático 1, 2021.

3.7.15. Colocación en obra la armadura de acero de refuerzo

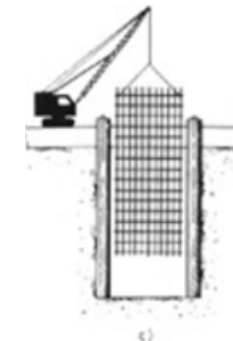
Se monta en forma de cajas rígidas (jaulas) y se colocan dentro de la zanja antes del hormigonado.

Figura 65. Montaje de las armaduras



Fuente: Elaboración propia.

Figura 66. Montaje de las armaduras.



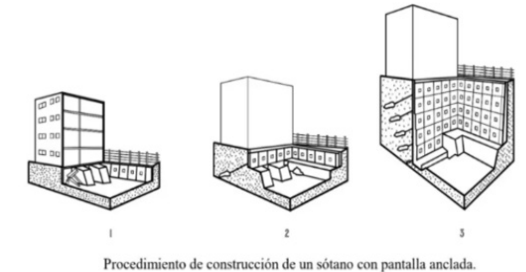
Fuente: Elaboración propia.

Figura 67. Bajada de la armadura con maquinaria



Fuente: bloque temático 1, 2021.

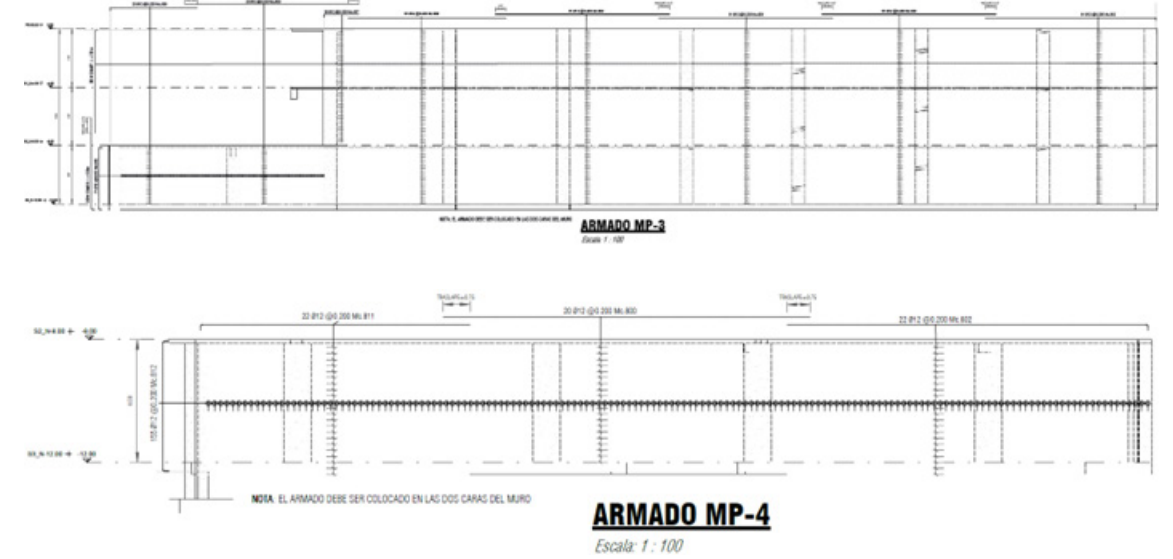
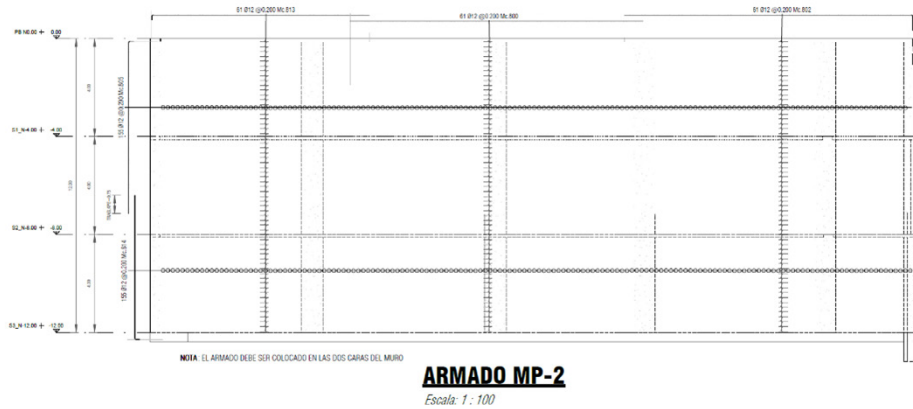
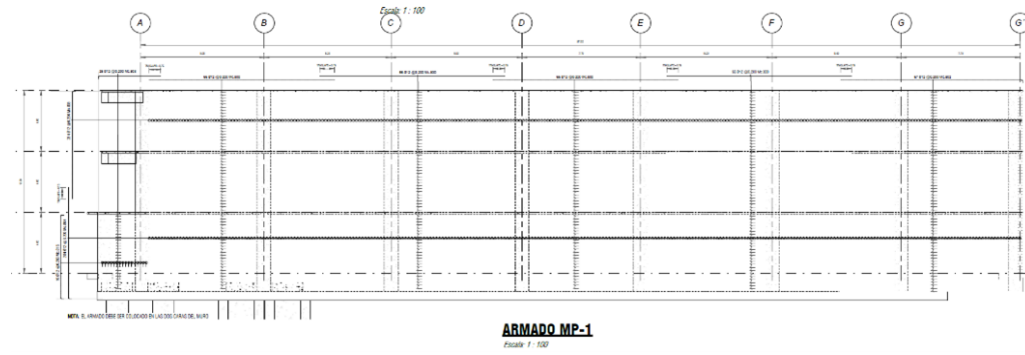
Figura 68. Proceso constructivo por etapas de muros pantallas



Fuente: bloque temático 1, 2021.

3.7.16. Diseño de armaduras de muro pantalla

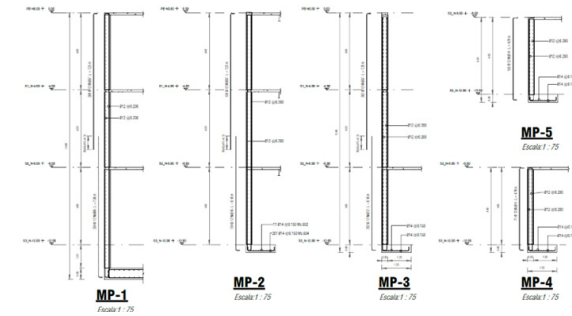
Figura 69. Diseño de muro pantalla.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.17. Diseño visto en corte muro pantalla.

Figura 70. Corte de muro pantalla.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.18. Volumen de hormigón de muros perimetrales

Tabla 23. Tabla de volumen de hormigón de muros perimetrales.

VOLUMEN DE HORMIGÓN-MUROS PERIMETRALES			
Tipo	Longitud	Volumen	Material estructural
MP-1	161.08 m	198.42 m ³	f _c = 280 Kg/cm ²
MP-2	92.13 m	95.57 m ³	f _c = 280 Kg/cm ²
MP-3	172.42 m	193.43 m ³	f _c = 280 Kg/cm ²
MP-4	30.95 m	31.44 m ³	f _c = 280 Kg/cm ²
Total general: 37	456.57 m	518.87 m ³	

Fuente: Elaboración propia.

3.7.18.1. Evidencias fotográficas

Figura 71. Fotografías.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.19. Paso 7 Hormigonado de muro pantalla de hormigón proyectado o lanzado

El hormigón proyectado se ejecuta utilizando una manguera o cañón unido a un compresor de aire comprimido. La mezcla de hormigón sale disparada o “proyectada” por la boquilla a alta velocidad. La mezcla impacta la superficie a hormigonar. Esta puede ser horizontal, vertical o curva. Esta técnica se conoce también como “gunitado”. Aprovechando el gran impacto que tiene esta proyección a alta velocidad, el hormigón queda compactado y con una densidad significativamente mayor.

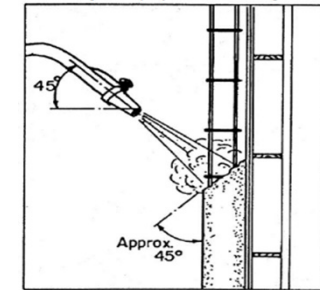
El hormigón de granulometría fina que se bombea y se mezcla con aire comprimido. Este aire comprimido impulsa el hormigón a una velocidad de salida aproximada de 12 m/s, lo que facilita su proyección.

Sus características positivas es que no necesitamos usar moldes o encofrados, se dispara directamente contra la superficie que nos sirva de apoyo, ya que hormigón proyectado tiene una excelente adhesión a la superficie, independientemente de si es vertical u horizontal, lo que hace más sencillo el trabajo de hormigonado.

El operador deberá poner el cañón enfocado perpendicularmente aproximadamente a 45 grados hacia el área que se está proyectando. A una distancia de unos 60 a 185 cm. Las capas que se proyecten determinarán la densidad o espesor necesario.

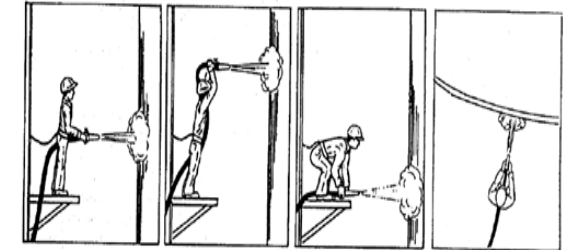
El hormigón proyectado se endurecerá en unos 11 días. Es realmente esencial que mantengamos el área constantemente hidratada, usando una temperatura no inferior a 0°C.

Figura 72. Angulo de proyección de hormigón lanzado.



Fuente: Byrne et al., 1998.

Figura 73. Lanzado del hormigón con manguera.



Fuente: Byrne et al., 1998.

Figura 74. Inyección de hormigón proyectado



Fuente: hormigón proyectado, 2018.

Figura 75. hormigón proyectado.



Fuente: hormigón proyectado,2018.

3.7.19.1. Evidencias fotográficas

Figura 76. Elaboración de muros pantallas de hormigón armado y anclajes de concreto reforzado.



Fuente: Elaboración propia.



3.7.20. Paso 8 Repetición del proceso para taludes inferiores hasta completar el muro.

Los siguientes niveles se van realizando de forma consecutiva a la excavación, formando anillos que contienen los taludes y garantizan el siguiente nivel de excavación repitiendo el mismo procedimiento constructivo para el armado del siguiente muro.

Figura 77. Construcción de muros de hormigón lanzado con anclajes.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.21. Conclusiones

La construcción de muros de hormigón lanzado con anclajes en la Clínica de Especialidades Colonial Cía. Ltda., ubicada en San Bartolo, Quito, garantiza una solución estructural eficiente y segura ante la topografía irregular y la actividad sísmica de la zona.

Dado que los taludes no son autosoportantes a partir de los 3,00 metros de corte en vertical, se recomienda la construcción de muros anclados, donde los anclajes pasivos provisionales aportan presiones pasivas de 15 toneladas fuerza. Se emplearán pernos de anclaje de 25 mm de diámetro nominal, con un límite de fluencia mínima de 5270 kg/cm² y una resistencia a la tracción mínima de 7030 kg/cm², conforme a la norma ASTM A615 Grado 75. El diámetro de perforación mínima será de 160 mm, y el mortero expansivo tendrá una dosificación 2:1, con 250 ml de EPS 413 por saco de cemento, asegurando estabilidad estructural.

Este proceso constructivo requiere una adecuada preparación del terreno, instalación de anclajes, aplicación de hormigón lanzado y control de calidad. La implementación de mallas de refuerzo y un curado adecuado optimiza la resistencia del hormigón, prolongando su vida útil y minimizando el mantenimiento.

Desde un enfoque hospitalario, estos muros garantizan una infraestructura segura y operativa, permitiendo la integración de instalaciones esenciales. En conclusión, su implementación en la Clínica de Especialidades Colonial Cía. Ltda. responde a criterios estructurales y normativos, proporcionando una edificación resistente, funcional y sostenible, clave para la seguridad y calidad del sistema de salud en la región.

3.7.22. Cimentaciones profundas tipo “caisson” de hormigón armado de seccion circular

Las cimentaciones profundas tipo Caisson son estructuras diseñadas para transmitir las cargas de una edificación a estratos de suelo con mayor capacidad portante. En el caso de la Clínica., ubicada en San Bartolo al sur de Quito, se han proyectado Caissons de sección circular, con una cota de cimentación mínima de $D_f = -9.00$ m bajo el nivel -12.00 m (nivel de contrapiso del tercer subsuelo), debido a las condiciones geotécnicas del sector. Para garantizar la correcta ejecución de estos elementos, se debe seguir un proceso constructivo que asegure su estabilidad estructural y funcionalidad. A continuación, se describen en detalle las fases que componen la construcción de los Caissons de hormigón armado.

- Estudios Geotécnicos y Geofísicos
- Análisis y diseño del tipo cimentación propuesta
- Replanteo en Obra
- Excavación
- Armado de anillos de refuerzo
- Instalación de formaletas
- Vertido y vibrado de hormigón
- Desencofrado de formaletas
- Proceso Repetitivo hasta Alcanzar la Cota de Diseño del Caisson
- Armado y colocación de la estructura de acero de refuerzo o también llamada canasta
- Fundida del fuste
- Corte y conexión con la superestructura

3.7.22.1. Paso 1 Estudios Geotécnicos y Geofísicos

Se realizó ensayos y trabajos realizados en el estudio de mecánica de suelo en el terreno con el cual se requiere determinar las características geotécnicas del terreno circundante (tales como la capacidad de carga última, capacidad de carga admisible, coeficiente de balasto, propiedades físico – mecánicas, entre otros parámetros geotécnicos).

En términos generales, la ingeniería geotécnica a desarrollar está basada en la ejecución de ocho (8) perforaciones de penetración estándar (SPT), una (1) extracción de muestra Inalterada (Triaxial), ensayos de geofísica que consisten en líneas de sísmica de refracción (V_p), sísmica MASW (V_s) dentro de la zona de estudio y toma de muestras inalteradas / alteradas para posteriores ensayos de laboratorio, a fin de definir con veracidad las principales características geotécnicas del suelo del sector.

Entre los principales objetivos tanto de campo, laboratorio y gabinete, se tiene los siguientes:

- Determinar las principales características físico – mecánicas del subsuelo en el sector de interés, a fin de establecer un perfil stratigráfico con la distribución de los parámetros mecánicos de las distintas unidades geotécnicas.
- Determinar las propiedades del terreno en base a ensayos de geofísica como sísmica de refracción y pasiva MASW.
- Determinar los parámetros de corte del suelo, a través de ensayos de compresión triaxial tipo UU, con ello determinar los anclajes a ser considerados en los muros de sótano.

- Determinar los parámetros elásticos del suelo, así como el asentamiento de tipo elástico que experimenta el mismo por efecto de la sobrecarga.
- Evaluar la capacidad de carga última y admisible del suelo, así como el coeficiente de balasto del suelo de interés.
- Emitir conclusiones y recomendaciones acerca del tipo de cimentación, altura de desplante, métodos de mejoramiento de suelos si fuese necesario y proceso constructivo

3.7.22.2. Regulaciones y estándares

El estudio de mecánica de suelos y el análisis geotécnico se enmarca en las normas y regulaciones nacionales (NEC, MTOP) e internacionales (ASTM, AASHTO), que se destacan a continuación:

- ASTM (American Society for Testing and Materials).
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).
- Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- NEC-SE-CM: Geotecnia y Cimentaciones.
- NEC-SE-DS: Peligro Sísmico Y Diseño Sismo Resistente.
- MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) – MOP – 001 – F – 2002.

3.7.22.3. - Trabajo en campo

Los trabajos de campo corresponden a las actividades de exploración del subsuelo, a través de métodos directos e indirectos, para lo cual se procedió con la ejecución de ocho (8) sondeos o perforaciones de penetración estándar SPT de acuerdo a la norma ASTM

D-1586, con avance cada un metro, en donde se recuperó muestras alteradas para posteriores ensayos de laboratorio; por otro lado, se registró toda la información existente, como la probable presencia de nivel freático

Tabla 24. Coordenadas TMQ y Profundidad de los sondeos SPT.

PERFORACIÓN SPT	UBICACIÓN COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
	E(m)	S(m)	
SPT -01	497430,9165	9971481,5797	-6.00
SPT -02	497419,0907	9971473,9443	-9.00
SPT -03	497428,6013	9971461,7617	-5.00
SPT -04	497408,7709	9971462,7236	-4.00
SPT -05	497463,7649	9971469,4457	-5.00
SPT -06	497452,6481	9971470,7174	-7.00
SPT -07	497439,1520	9971477,5562	-8.00
SPT -08	497437,0171	9971460,0029	-3.00

Fuente: Elaboración propia.

Para justificar la profundidad de los sondeos se aplicó lo indicado en la normativa ASTM D 1586-84, donde se menciona que para dar por finalizada una prueba SPT, se aplicó el criterio de RECHAZO, que consiste en:

- Cuando se apliquen 50 golpes para un tramo de 15 cm
- Cuando se apliquen 100 golpes en total.
- Cuando no se observa penetración alguna para 10 golpes.

En definitiva, el criterio que justifica la máxima profundidad de los sondeos ejecutados en campo, corresponde al concepto de Rechazo, en donde los suelos presentan una elevada compacidad, propio de suelos consolidados y compactos.

Además, a fin de obtener las propiedades geomecánicas del suelo, se tomó una (1) muestra inalterada (Bloques de 0.25m x 0.25m) y muestras alteradas, con el fin de someter al ensayo de Compresión Rápida Triaxial, (UU – No consolidado – No Drenado);, donde se definió preliminarmente los tipos de suelos constituyentes, incluso la existencia de materia orgánica, en efecto se seleccionaron las muestras representativas a cada estrato durante los sondeos, para futuros ensayos de laboratorio tanto de clasificación como de resistencia mecánica.

Figura 78. Sondeos realizados en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 79. Toma de muestras inalteradas TX.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.22.4. Trabajos de laboratorio

la caracterización física de los suelos del lugar, para el efecto se utilizó las muestras recuperadas representativas, donde se efectuó ensayos de identificación y clasificación (SUCS), que consiste en la determinación de la humedad natural ASMT D-2216, límites de Atterberg (líquido y plástico) ASTM D-4318, análisis granulométrico ASTM D-422.

partir de la información de campo y laboratorio obtenida, se procedió al análisis e interpretación de la misma, a fin de establecer las características físico-mecánicas de los suelos y la caracterización geotécnica del suelo del sector.

3.7.22.5. Características geológicas del sector

La ciudad de Quito se encuentra en la cordillera Occidental, donde su altitud varía entre los 700m, limitado al Oeste por el rio blanco y al Este por el Cerro Guagua Pichincha con 4794 msnm.

Las rocas que presenta la carta geológica de Quito tienen edades cretácicas y cuaternarias. Las rocas cretácicas son lavas y sedimentos volcánicos y las rocas cuaternarias son lavas, piroclastos y material volcánico sedimentario además de depósitos de Cangahua (ceniza) que cubre la parte Oriental.

Las formaciones geológicas y superficiales que forman parte del área de estudio se detallan a continuación:

- Volcano sedimentos Machángara (Pleistoceno)
Es una secuencia de lavas, aglomerados, tobas y sedimentos mal clasificados. Una lava extensa tipo andesita piroxénica porfirítica masiva o laminada de color gris oscuro.
- Formación Cangahua (Cuaternario)
Constituido por ceniza que es deleznable y de color habano claro a oscuro, intercalado con dos capas de 60cm y 25cm de lapilli de pómez blanca. La Cangahua cubre el sustrato volcánico y ciertos depósitos superficiales antiguos, principalmente las faldas orientales del Pichincha.
- Depósito Lagunar de Ceniza (Cuaternario)
Conformado por capas horizontales bien estratificadas de ceniza, presenta una morfología plana y un espesor aproximado de 100m.

3.7.22.6. Resultados de los analisis geológicos del sector

A través de la interpretación geológica del sector se estableció que el área en estudio se encuentra acentuada sobre un Depósito Lagunar de ceniza (QL) el cual sobreyace a la Formación Cangahua (Qc) formados durante el cuaternario respectivamente, caracterizado por estar constituido principalmente por capas horizontales bien estratificadas de ceniza. Cabe mencionar que el lugar de estudio se encontraron los siguientes materiales; Arenas Finas Limosas, Limos de Alta y Baja Compresibilidad y Turbas (SM – ML – MH – OL - PT).

3.7.22.7. Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico

Desde el punto de vista de la geología local, la norma NEC-SE-DS establece seis (6) tipos de suelos, caracterizados principalmente por las propiedades geotécnicas. Para el presente proyecto de acuerdo al número de golpes NSPT obtenidos del ensayo se clasificó el sector como categoría D.

Tabla 25. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS),

D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de cortante.	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > N ≥ 15 Golpes 100 kPa > Su ≥ 50 Kpa

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

- Vs = Velocidad de onda cortante promedio del suelo que sobre yace al semi espacio.
- N = Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo.
- Su = Resistencia al corte no drenado.

A continuación, se detalla los valores de caracterización de riesgo sísmico para el presente estudio.

Tabla 26. Resultados Geotécnicos de los sondeos realizados.

NSPT (Golpes)	24,3
N°60 (Golpes)	18,4
Su (kPa)	140,00
Vs (m/s)	225,00
Ip (%)	5.28 % - 17.10
w (%)	21.32 % - 133.32
TIPO DE PERFIL DE SUELO	D

Fuente: Elaboración propia.

3.7.23. Paso 2

Análisis y diseño de tipo de cimentación propuesta y cota de cimentación.

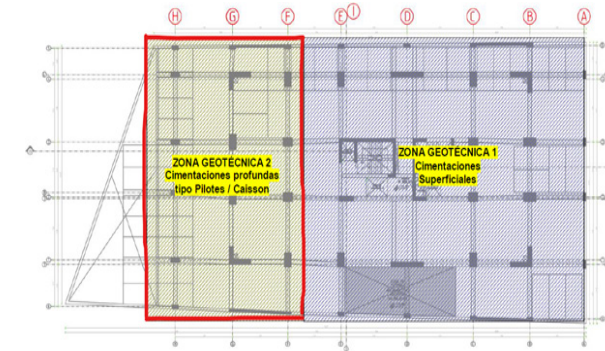
La cota de cimentación del proyecto fue definida en base a las condiciones naturales y geotécnicas del sector, así como la disposición arquitectónica prevista, consecuentemente de acuerdo con la geotecnia identificada en la zona donde se implantará la edificación de la Clínica, y se plantea la alternativa de un tipo de cimentación:

- Cimentación profunda tipo pilotes o caisson

El diseño de cimentación profunda tipo caisson puede ser de sección circular, cuadrada o rectangular, mismos que se apoyarán en los estratos competentes identificados en el flanco oeste (sector de la quebrada rellena). Estas cimentaciones corresponden a la Zona Geotécnica, en donde los materiales de soporte corresponden a materiales sueltos, con presencia de materiales antrópicos (relleno), incluso materiales orgánicos con turba, más aún asociados a la presencia de nivel freático alto, por lo tanto, justifica la implementación de este tipo de cimentaciones especiales.

A continuación, se ilustra la delimitación de las zonas geotécnicas para los tipos de cimentación propuestos:

Figura 80. Delimitación de las zonas geotécnicas



Fuente: Elaboración propia.

3.7.23.1. Capacidad de carga en cimentaciones profundas

Para el presente estudio se consideró una alternativa de cimentación, la cual se basa en cimentaciones profundas tipo “CAISSON” de hormigón armado, cuya cota de cimentación que, de acuerdo con las condiciones naturales y geotécnicas del sector, no deberá ser menor a $D_f = -9.00$ m bajo el nivel -12.00 m o nivel de contrapiso del tercer subsuelo.

3.7.23.2. Parámetros de diseño de pilotes ingresados al software

El análisis y cálculo de la capacidad de carga de los pilotes / caisson se realizó por medio del software DRIVENPILES, en donde se consideró las propiedades geomecánicas del suelo, la posición del nivel freático, las características del pilote (circulares de hormigón armado); la longitud mínima estima para el pilotaje es 9.0m.

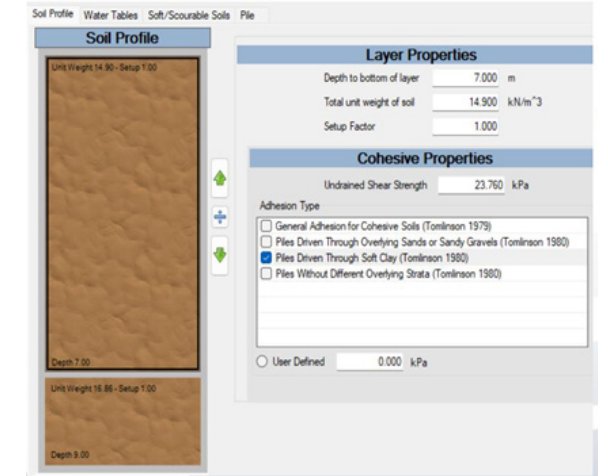
El número de pilotes / caisson y su espaciamiento será definido en función de las solicitaciones transmitidas por la superestructura, tomando en cuenta que la relación espaciamiento sobre diámetro sea mayor a tres veces el diámetro del pilote, a fin de que estos trabajen individualmente.

Los parámetros o datos geotécnicos con los criterios de cálculo adoptados en el software fueron los siguientes:

Estrato No. 1:

Estrato de Suelos limo arenosos, con presencia de relleno y material orgánico, con potencia entre 0.00m a -7.00 m

Figura 81. Parámetros de cálculo del estrato No. 1.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.23.3. Resultados de capacidad de carga factorada

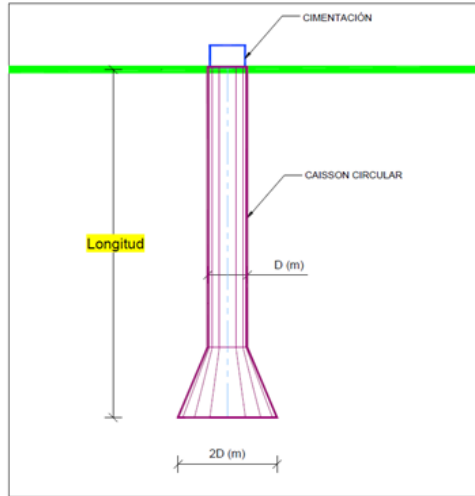
Tabla 27. Capacidad de carga factorada en Caisson de hormigón.

Diámetro (ø)	Capacidad de Carga en Pilotes / Caisson de hormigón armado		
	Qu (KN) DRIVEN PILE	Qu (Tn)	QR (Admisible – Tn)
cm			
60	918.56	93.73	23.43
80	1424.66	145.37	36.34
100	2065.93	210.81	52.70
120	2821.24	287.88	71.97
150	4168.05	425.31	106.33
200	6982.93	712.54	178.14

Fuente: Elaboración propia.

3.7.23.4. Diseño en software del tipo de caisson propuesto.

Figura 82. Detalle del Caisson propuesto elaborado en software.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.23.5. Coeficiente de balasto en caisson

Tabla 28. Coeficiente de Balasto en Caisson

Coeficiente de Balasto		
Consideración	Qa natural (Tn/m ²)	Ks (Tn/m ³)
Suelo Natural	22.00	2640.00
Caisson	3200 Tn/m ³	

Fuente: Elaboración propia.

3.7.23.6. Paso 3 Replanteo en Obra

Una vez que se ha definido la ubicación de los Caissons en el proyecto estructural, se lleva a cabo el replanteo en obra, un procedimiento fundamental que consiste en trasladar las dimensiones y coordenadas del diseño a la realidad del terreno, asegurando que la cimentación se construya en la posición exacta indicada en los planos.

El replanteo se realiza mediante un levantamiento del terreno topográficamente de alta precisión, garantizando que cada punto de perforación esté correctamente alineado con el diseño estructural del edificio. El proceso consta de las siguientes etapas:

•**Marcado de ejes principales:**

Se establecen los puntos de referencia a partir de los cuales se medirá la ubicación de cada Caisson. Estos se fijan en elementos inamovibles de la obra, como muros perimetrales o elementos estructurales existentes.

•**Ubicación exacta de cada Caisson:**

Se marcan sobre el terreno los centros de perforación de los Caissons con pintura, estacas o clavos de referencia, tomando en cuenta las coordenadas del diseño. Se verifica que la separación entre Caissons cumpla con las especificaciones estructurales para evitar interferencias en la transmisión de cargas.

•**Control de alineación y verticalidad:** Se emplean equipos láser y plomadas electrónicas para asegurar que la excavación se realice con la precisión necesaria y que los Caissons mantengan su correcta alineación respecto al edificio.

•**Verificación de cotas de nivel:** Se mide la elevación del terreno en cada punto de perforación, asegurando que las profundidades de excavación cumplan con las especificaciones establecidas en los planos estructurales.

Figura 83. Trazo y replanteo en campo.



Fuente: Caisson Procedimiento.

Figura 84. señalización de caisson.



Fuente: Caisson Procedimiento.

El replanteo es una actividad clave en el proceso constructivo, ya que cualquier error en esta etapa puede afectar la distribución de cargas de la estructura y comprometer su estabilidad. Por ello, una vez realizado el replanteo, se debe realizar una verificación detallada con el equipo de ingeniería y supervisión de obra, asegurando que cada punto esté correctamente posicionado antes de iniciar la excavación.

3.7.23.7. Paso 4 Excavación

Este proceso se inicia retirando la capa vegetal del suelo. Esto se conoce como descapote. En un principio se puede retirar la tierra manualmente con una pala, la tierra empieza a ser retirada con baldes con la ayuda de los molinetes manuales o plumas mecánicas, para iniciar la excavación hasta la profundidad especificada para el primer anillo.

Una de las ventajas de caisson como sistema de cimentación, es que permite una inspección mucho más detallada del suelo encontrado y así se puede corroborar la precisión del estudio de suelos.

Figura 85. Excavación para los anillos.





Figura 86. armado de anillos de refuerzo.



Fuente: Caisson Procedimiento.

3.7.23.8. Paso 5 Armado de anillos de refuerzo

Lo primero que uno hace es verificar los niveles y plomos para poder armar el primer anillo del caisson. Se ubica las varillas verticales que arman el círculo y luego a estos se le traslapan los anillos de refuerzo y por último, se amarran unos con otros en todos los puntos de intersección con alambre.



Fuente: Caisson Procedimiento.

3.7.23.9. Paso 6 Instalación de formaletas

Las formaletas pueden ser metálicas o de madera, dependiendo del tamaño del caisson y la disponibilidad del material. Para cualquier proceso de concreto fundido en el sitio, se deben engrasar las formaletas antes para facilitar el retiro una vez el concreto se haya endurecido. Se ubica las formaletas una por una armando el círculo. Después estas se aseguran con parales para darle mayor rigidez a esta estructura

Figura 87. engrasado y colocación de formaletas.



Fuente: Caisson Procedimiento.

Figura 88. colocación de formaletas.



Fuente: Caisson Procedimiento.

3.7.23.10. Paso 7 Vertido y vibrado de hormigón

se vierte el concreto con la ayuda de una lámina metálica doblada, que funciona como canal y los operarios van llenando el anillo con concreto. A medida que se va completando este proceso, el concreto es vibrado mecánicamente para evitar que queden espacios de aire. Por último, el anillo ya fundido, lo confinan temporalmente con ladrillos en el perímetro del caisson.

El hormigón utilizado en los Caissons es bombeado o auto-compactante, con una resistencia mínima de $f'c = 35$ MPa.

Figura 89. colocación de ladrillos perimetrales.



Fuente: Caisson Procedimiento.

Figura 90. vertido y vibrado de hormigón



Fuente: Caisson Procedimiento.

Figura 91. vertido de hormigón de la mezcladora



Fuente: Caisson Procedimiento.

3.7.23.11. Paso 8 Desenfofrado de formaletas

Una vez el concreto se ha endurecido completamente, se retira la formaleta que está en el primer anillo. De este punto en adelante, el proceso es repetitivo para los anillos siguientes.

A partir del segundo o tercer anillo, hay que ubicar una escalera para los trabajadores y se debe sacar la tierra y el agua del terreno con baldes porque la profundidad. Esto se hace mediante un sistema simple de poleas o molinetes.

En este punto suelen ocurrir imprevistos como encontrar rocas en el terreno que hay que demoler con la ayuda de un machimbrado mecánico, explosivos o resinas expansivas.

En los siguientes anillos, las formaletas se deben inclinar respecto al borde del anillo, inmediatamente inferior para tener el espacio suficiente para poder verter el concreto.

Figura 92. desenfofrado de formaletas.



Fuente: Caisson Procedimiento.

Figura 93. Excavación para ensanchamiento de base de caissons



Fuente: Caisson Procedimiento.

Figura 94. Anillo perimetral de concreto armado en caisson



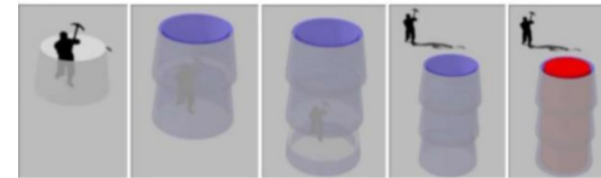
Fuente: Caisson Procedimiento.

3.7.23.12. Paso 9 Proceso Repetitivo hasta Alcanzar la Cota de Diseño del Caisson

Este proceso se repite hasta alcanzar la profundidad final establecida en el diseño del Caisson. En este proyecto, la cota mínima de cimentación es de -9.00 m, bajo el nivel -12.00 m del tercer subsuelo.

Este proceso repetitivo garantiza que cada Caisson se construya de forma controlada y segura, evitando problemas de estabilidad en el suelo y asegurando que la estructura cumpla con los requerimientos del diseño.

Figura 95. repetición del proceso constructivo.



Fuente: Pozo de cimentación de caisson.

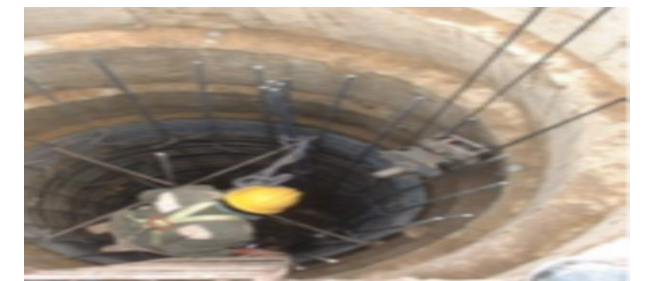
3.7.23.13. Paso 10 Armado y colocación de la estructura de acero de refuerzo o también llamada canasta

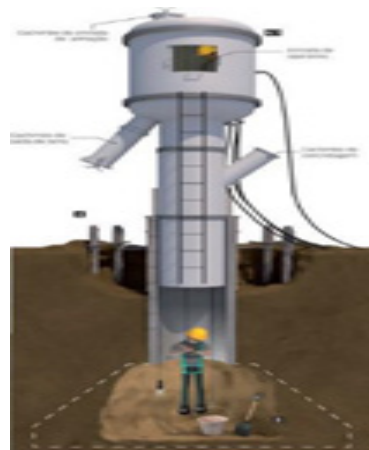
El armado de la canasta consiste en la preparación y ensamble del acero de refuerzo que conformarán la estructura del Caisson. En la que se emplean barras de acero corrugado de acuerdo con el diseño estructural, generalmente con diámetros de 25 mm o más, cumpliendo normas ASTM A615 Grado 75 que se organizan en una distribución circular, manteniendo los diámetros especificados en los planos estructurales.

También se instalan estribos o anillos perimetrales soldados o atados con alambre recocado para mantener la separación adecuada entre barras y se colocan distanciadores plásticos o metálicos en la canasta para garantizar el recubrimiento de hormigón y evitar corrosión del acero para luego que luego esta sea subida con una torre grúa y se ubicada al interior del caisson

Esta estructura constituye el refuerzo principal del fuste del caisson, ya que es su elemento central. En este caso el diseño tiene una forma acampanada en su base a la que le suelen llamar, pata de elefante, con el propósito de aumentar el área de contacto del pilote con el estrato de cimentación, así se reduce el esfuerzo al que estará sometido el suelo.

Figura 96. Armado y colocación de la estructura para caisson





Fuente: Caisson Procedimiento.

3.7.23.14. Paso 11 Fundida del fuste

Al igual que los anillos, el fuste del Caisson también es de concreto fundido en sitio, lo que permite garantizar la continuidad estructural y la resistencia del elemento.

Para este proceso se utiliza un embudo profesional con un tubo que llega hasta el fondo de la excavación. La mezcladora vierte allí el concreto y este va llenando el Caisson de manera controlada hasta alcanzar el nivel original del terreno.

Este método de vertido asegura que el hormigón se distribuya homogéneamente, evitando segregaciones y garantizando un adecuado recubrimiento de la armadura de refuerzo. Durante el proceso, se emplean vibradores de inmersión para compactar el material y eliminar burbujas de aire, lo que mejora la resistencia y durabilidad del Caisson.

Figura 97. Vaciado de concreto con camión mixer.



Fuente: Caisson Procedimiento.

Figura 98. Vaciado de concreto.



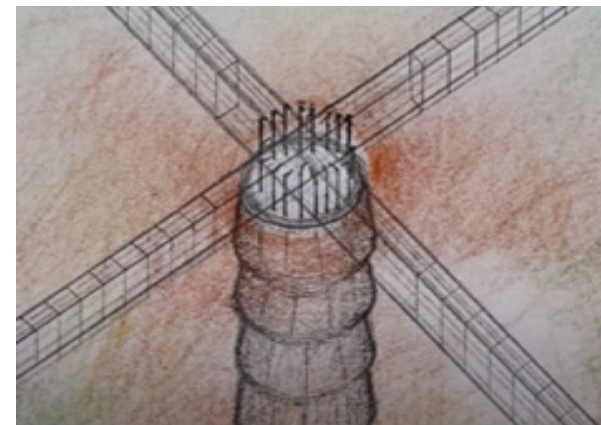
Fuente: Caisson Procedimiento.

3.7.23.15. Paso 12 Corte y conexión con la superestructura

Una vez que el hormigón ha alcanzado la resistencia requerida, se retira el exceso en la parte superior del Caisson mediante corte con disco diamantado, asegurando que la cota final coincida con el nivel de diseño para que permita una adecuada transferencia de cargas y garantiza la continuidad estructural de la cimentación con el resto de la edificación.

la construcción de las vigas de amarre, que permiten conectar los diferentes elementos de la cimentación. De esta manera, se garantiza el trabajo conjunto de la cimentación, al mismo tiempo que se realiza la transición a la estructura del proyecto.

Figura 99. conexión de caisson con la estructura del edificio.



Fuente: Construcción de un caisson

3.7.23.16. Conclusiones

El sistema de cimentación profunda tipo Caisson de hormigón armado empleado en la Clínica, ubicada en San Bartolo, Quito, ha sido diseñado para garantizar la estabilidad estructural de la edificación. Este proceso constructivo, que involucra estudios geotécnicos, perforación, colocación de armadura, vertido de hormigón y pruebas de calidad, permite una transferencia eficiente de cargas al suelo.

La implementación de este método de cimentación responde a las condiciones específicas del terreno, asegurando que la estructura soporte las cargas verticales y horizontales de manera óptima. La aplicación de estrictos controles de calidad en cada etapa del proceso, desde la caracterización del suelo hasta la verificación de resistencia del hormigón, permite garantizar la seguridad y funcionalidad del sistema.

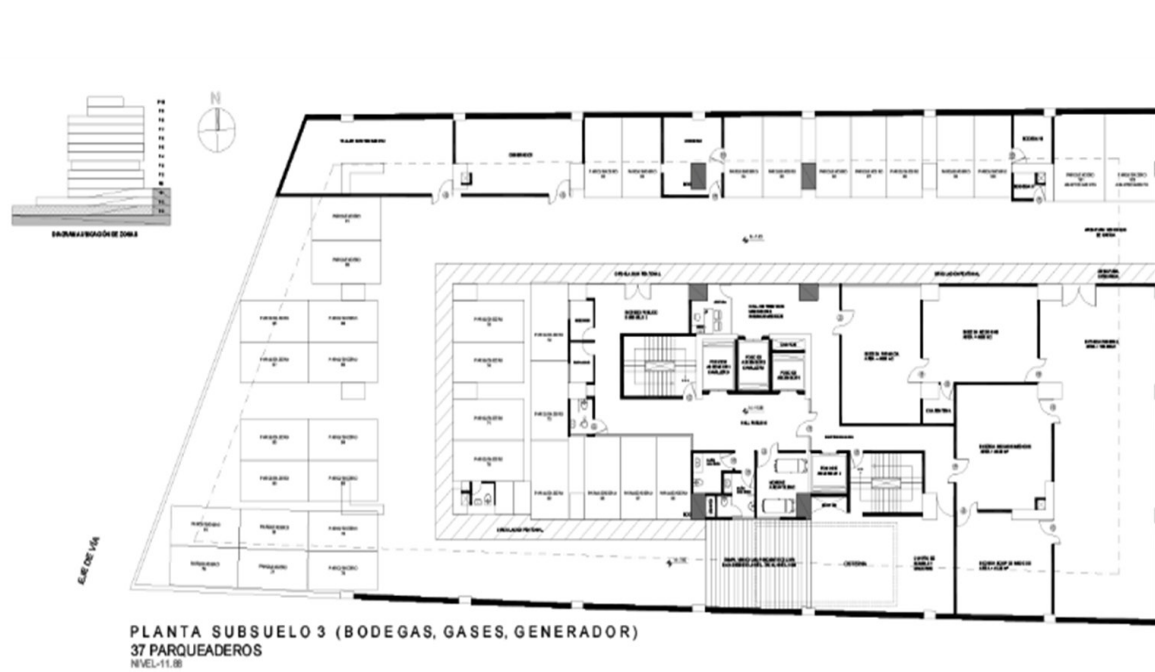
Además, la correcta ejecución y supervisión de la cimentación aseguran el cumplimiento de las normativas estructurales vigentes, tales como el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC) y otras regulaciones aplicables. Esto no solo prolonga la vida útil de la edificación, sino que también minimiza riesgos asociados a asentamientos diferenciales o fallas estructurales en el futuro.

En conclusión, la cimentación profunda tipo Caisson ha sido clave para proporcionar una base resistente y estable para la clínica. Su diseño y ejecución han sido fundamentales para optimizar el desempeño estructural, garantizando la seguridad de los usuarios y la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

3.8 Planos Arquitectónicos.

3.8.1. Planta subsuelo 3

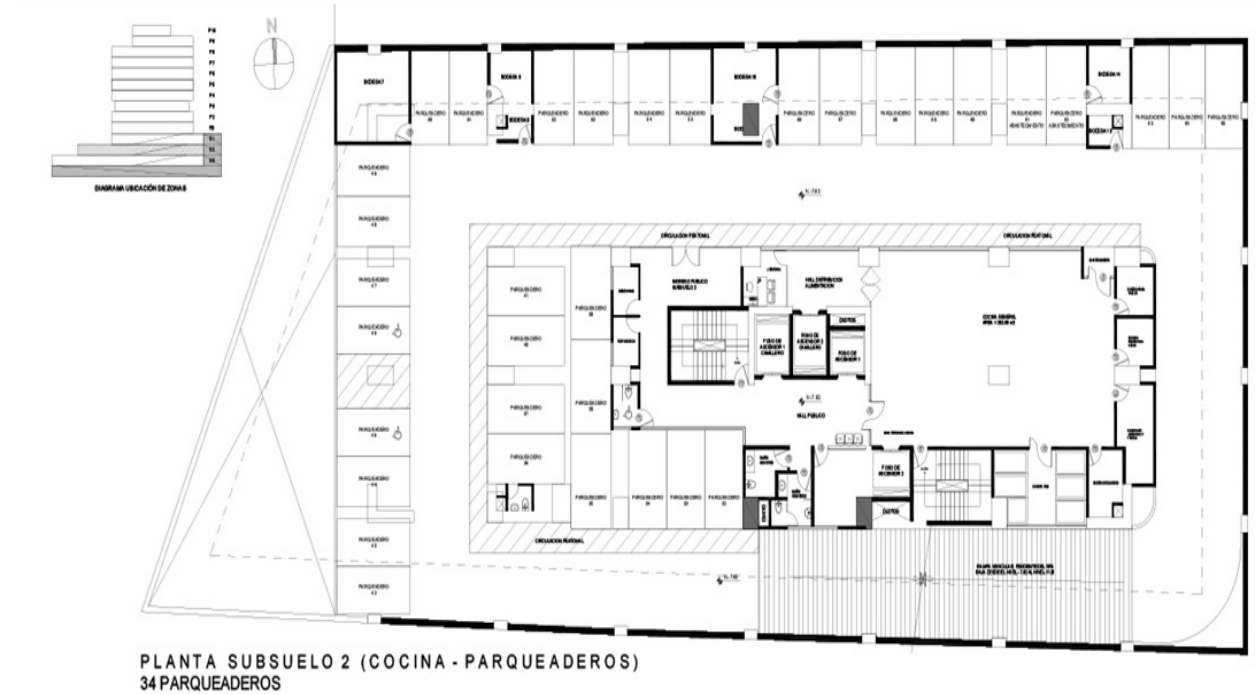
Figura 100. Planta Subsuelo 3.



Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Planta subsuelo 2.

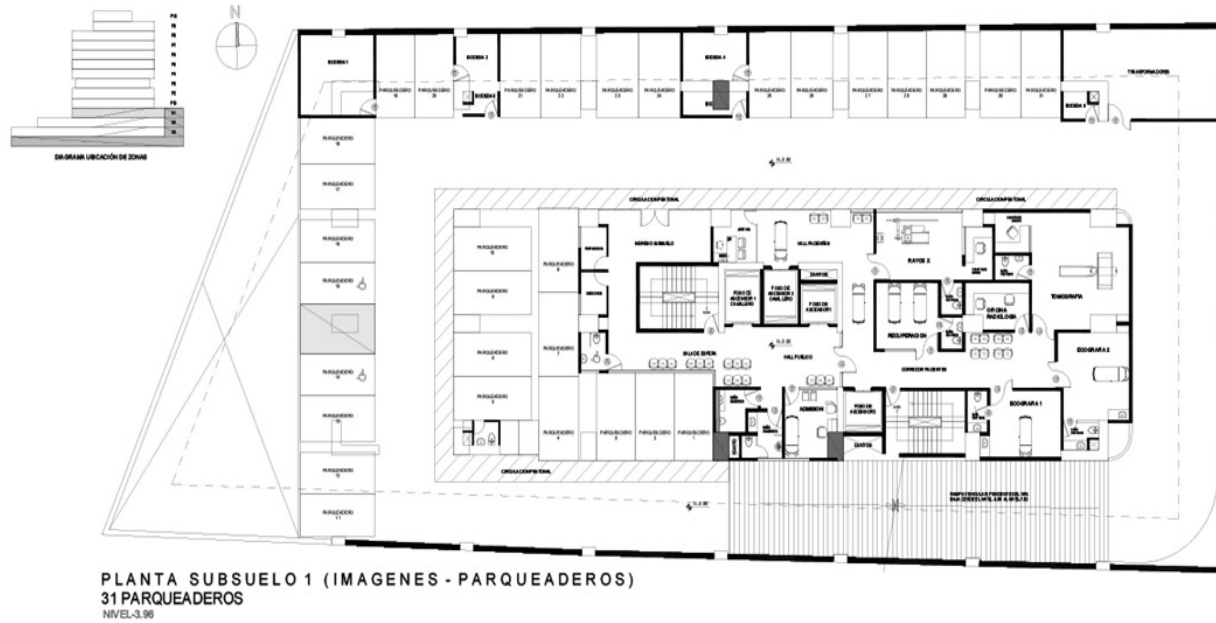
Figura 101. Planta Subsuelo 2.



Fuente: Elaboración propia.

3.8.3. Planta subsuelo1.

Figura 102. Planta Subsuelo 1.



Fuente: Elaboración propia.

3.8.4. Planta baja.

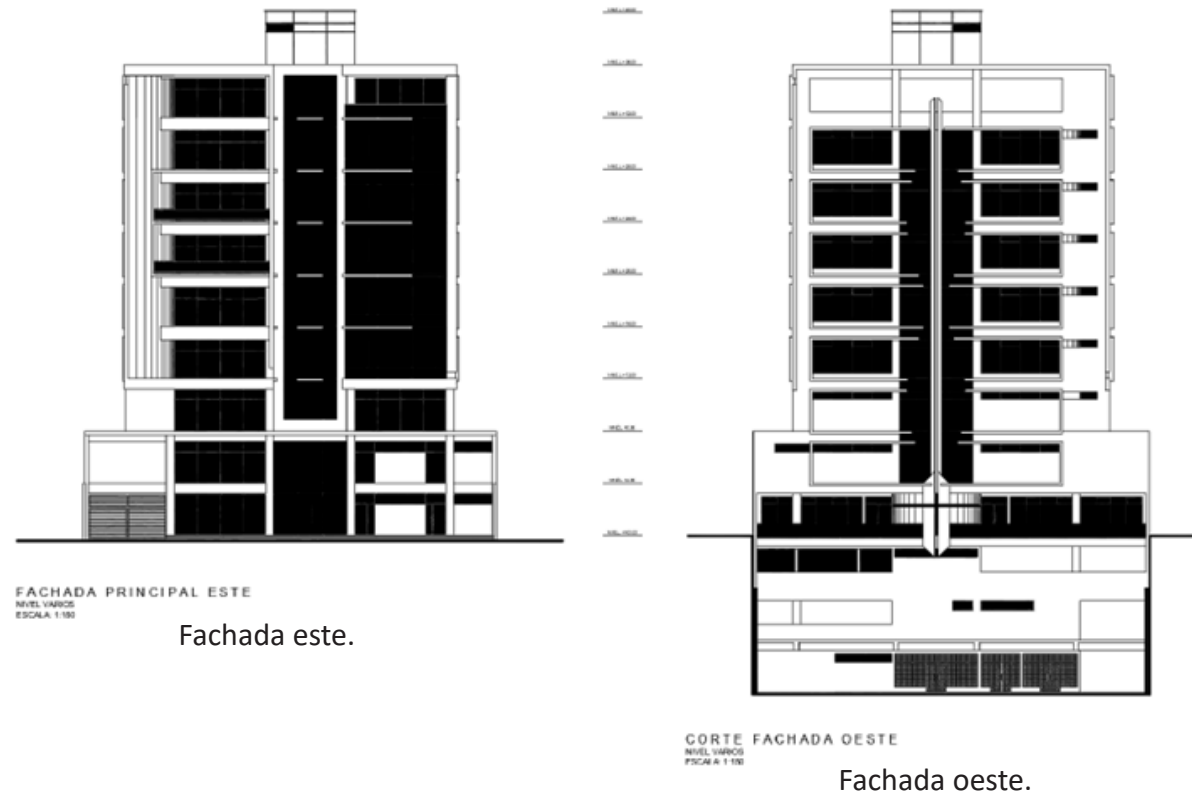
Figura 103. Planta baja.



Fuente: Elaboración propia.

3.9 Fachadas.

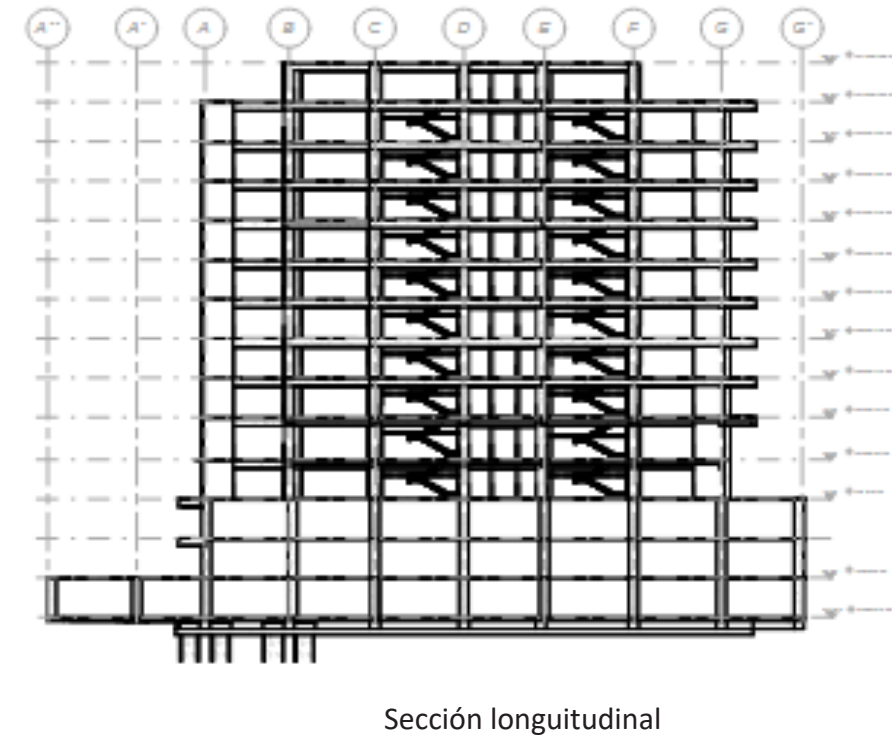
Figura 104. Fachadas.



Fuente: Elaboración propia.

3.10 Sección.

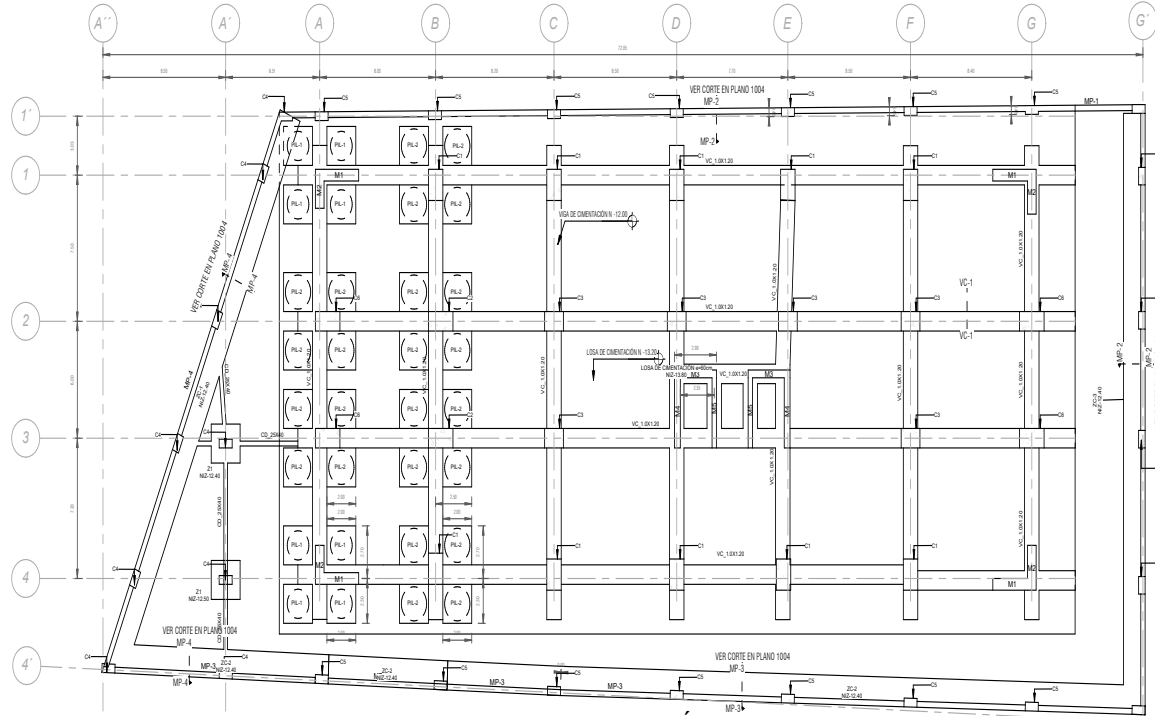
Figura 105. Corte longitudinal.



Fuente: Elaboración propia.

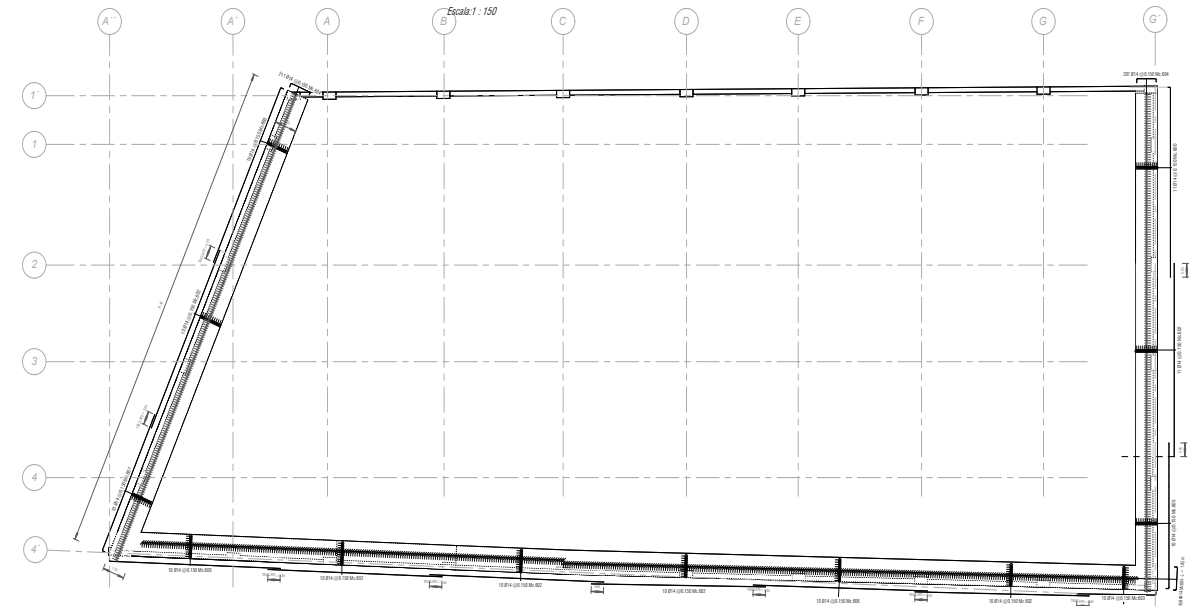
3.11 Plantas Estructurales.

Figura 106. Planta de cimentación profunda tipo caisson



Fuente: Elaboración propia.

Figura 107. Planta de muros pantalla

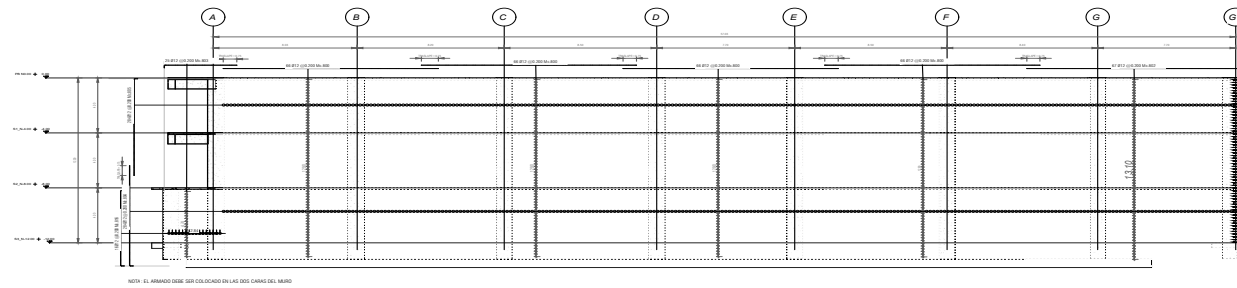


Fuente: Elaboración propia.

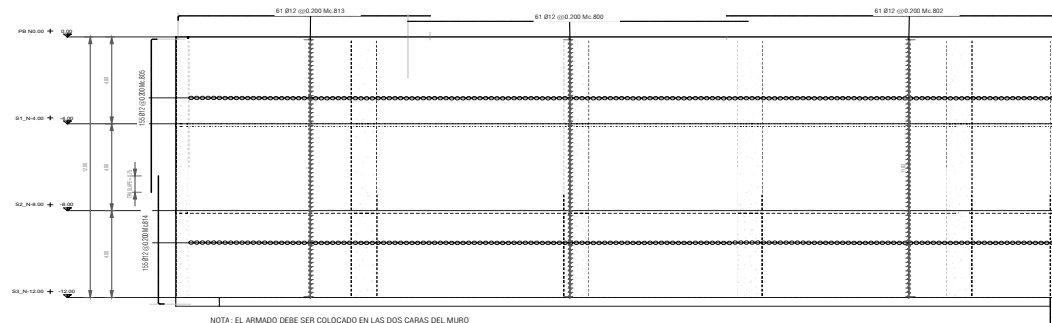
3.12 Elevación muros pantallas.

Figura 108. Muros pantalla.

ARMADO DE MUROS PANTALLAS



ARMADO MP-1
Escala: 1 : 100

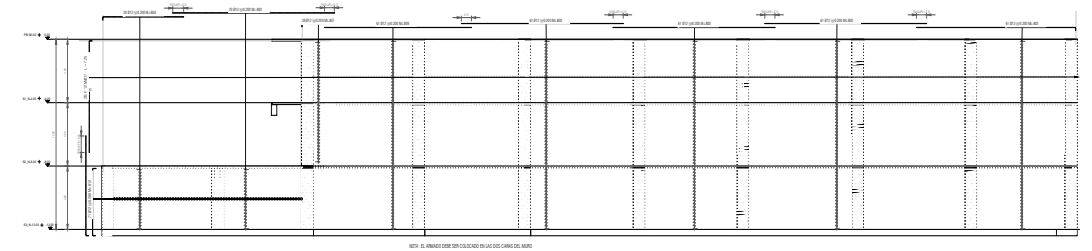


ARMADO MP-2
Escala: 1 : 100

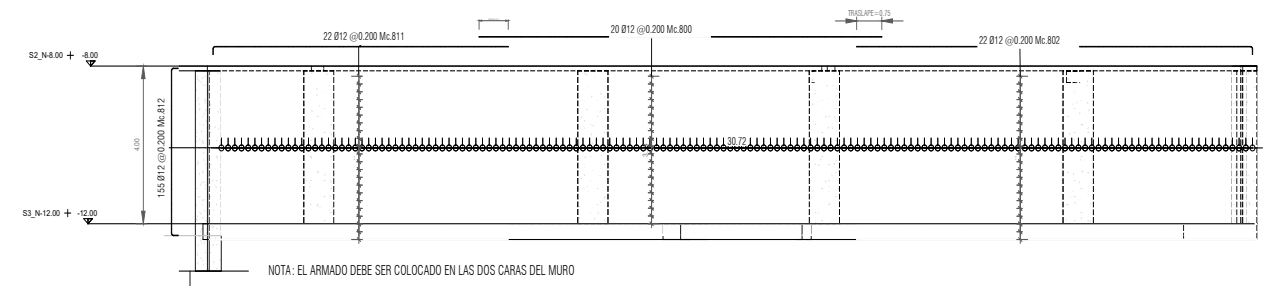
Fuente: Elaboración propia.

Figura 109. Muros pantallas.

ARMADO DE MUROS PANTALLAS



ARMADO MP-3
Escala: 1 : 100



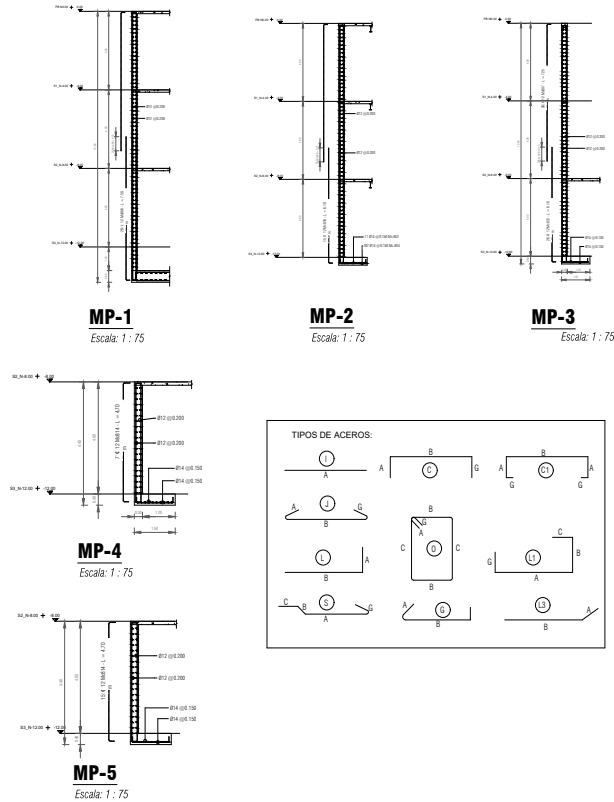
ARMADO MP-4
Escala: 1 : 100

Fuente: Elaboración propia.

3.13 Corte muros pantallas.

Figura 110. Corte muros pantallas.

CORTE MUROS PANTALLAS



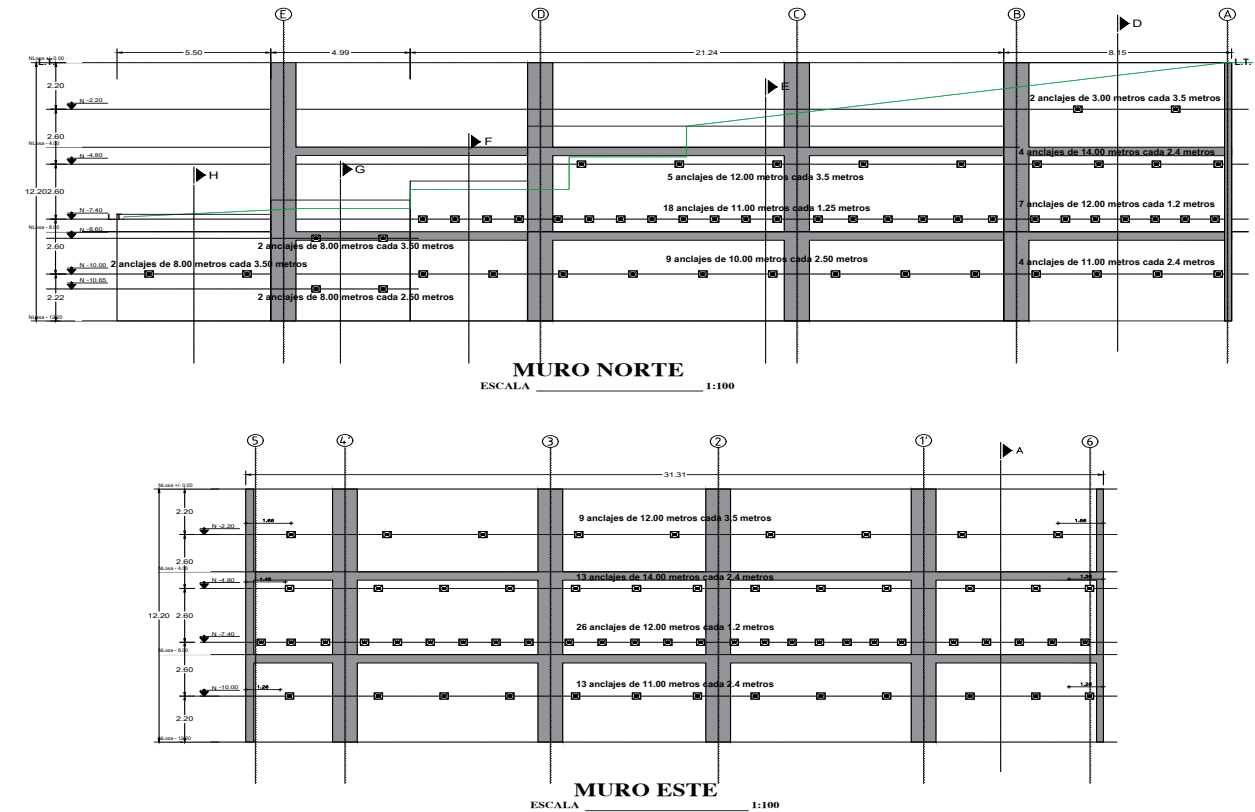
VOLUMEN DE HORMIGÓN-MUROS PERIMETRALES			
Tipo	Longitud	Volumen	Material estructural
MP-1	161.08 m	198.42 m³	f _c = 280 Kg/cm²
MP-2	92.13 m	95.57 m³	f _c = 280 Kg/cm²
MP-3	172.42 m	193.43 m³	f _c = 280 Kg/cm²
MP-4	30.95 m	31.44 m³	f _c = 280 Kg/cm²
Total general:	37	456.57 m	518.87 m³

PLANILLA DE ACERO - MUROS PERIMETRALES										
Mc.	Tipo	Ø (mm)	No.	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	Long. barra (m)	Long. total de barras (m)	Peso total (Kg)
800	I	12	1096	12.00	0.00	0.00	0.00	12.00 m	13152.00 m	11678.98
801	L	12	25	3.85	0.20	0.00	0.00	4.05 m	101.25 m	89.91
802	L	12	422	11.80	0.20	0.00	0.00	12.00 m	5064.00 m	4496.83
803	L	12	25	4.05	0.20	0.00	0.00	4.25 m	106.25 m	94.35
804	L	12	568	7.28	0.20	0.00	0.00	7.48 m	4248.64 m	3772.79
805	L	12	1022	7.05	0.20	0.00	0.00	7.25 m	7409.50 m	6579.64
806	L	12	40	6.00	0.20	0.00	0.00	6.20 m	248.00 m	220.22
807	L	12	78	2.40	0.20	0.00	0.00	2.60 m	202.80 m	180.09
808	L	12	76	5.90	0.20	0.00	0.00	6.10 m	463.56 m	411.64
809	I	12	122	10.90	0.00	0.00	0.00	10.90 m	1329.80 m	1180.86
810	L	12	442	5.90	0.20	0.00	0.00	6.10 m	2696.20 m	2394.23
811	L	12	44	8.80	0.20	0.00	0.00	9.00 m	396.00 m	351.65
812	C	12	452	4.25	0.20	0.00	0.00	4.65 m	2101.78 m	1866.38
813	L	12	122	8.90	0.20	0.00	0.00	9.10 m	1110.20 m	985.86
814	L	12	310	6.20	0.20	0.00	0.00	6.40 m	1984.00 m	1761.79
815	L	12	380	6.93	0.20	0.00	0.00	7.13 m	2709.40 m	2405.95
816	C	12	32	5.50	0.20	0.00	0.00	5.90 m	188.80 m	167.65
			5256						43512.19 m	38638.82

3.14 Elevación anclajes.

Figura 111. Diseño anclajes.

DISEÑO DE ANCLAJES

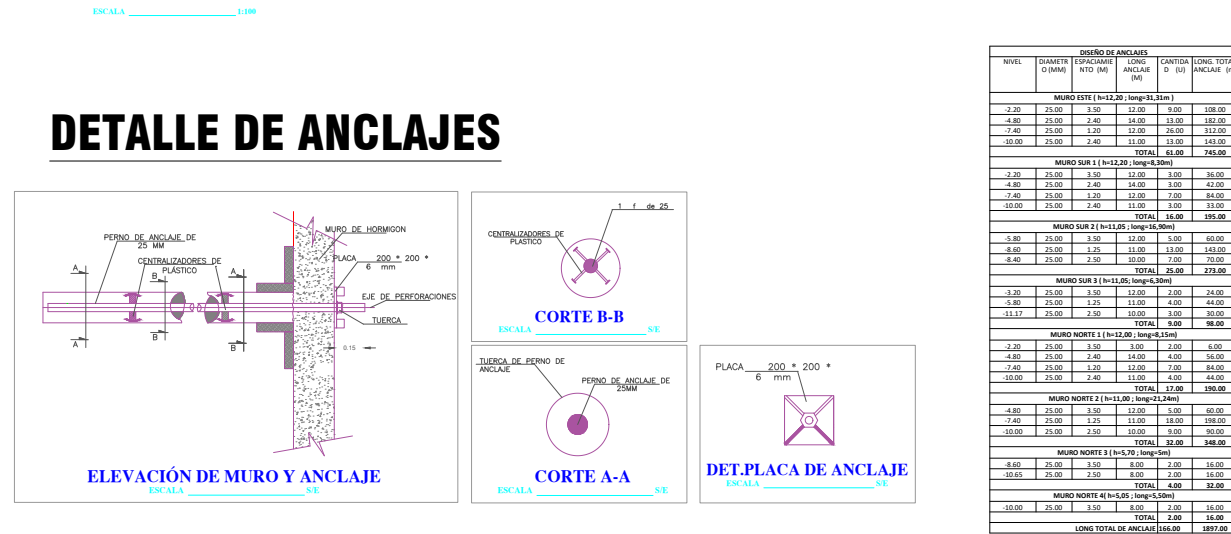


Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

3.16 Detalles y diseño de anclajes.

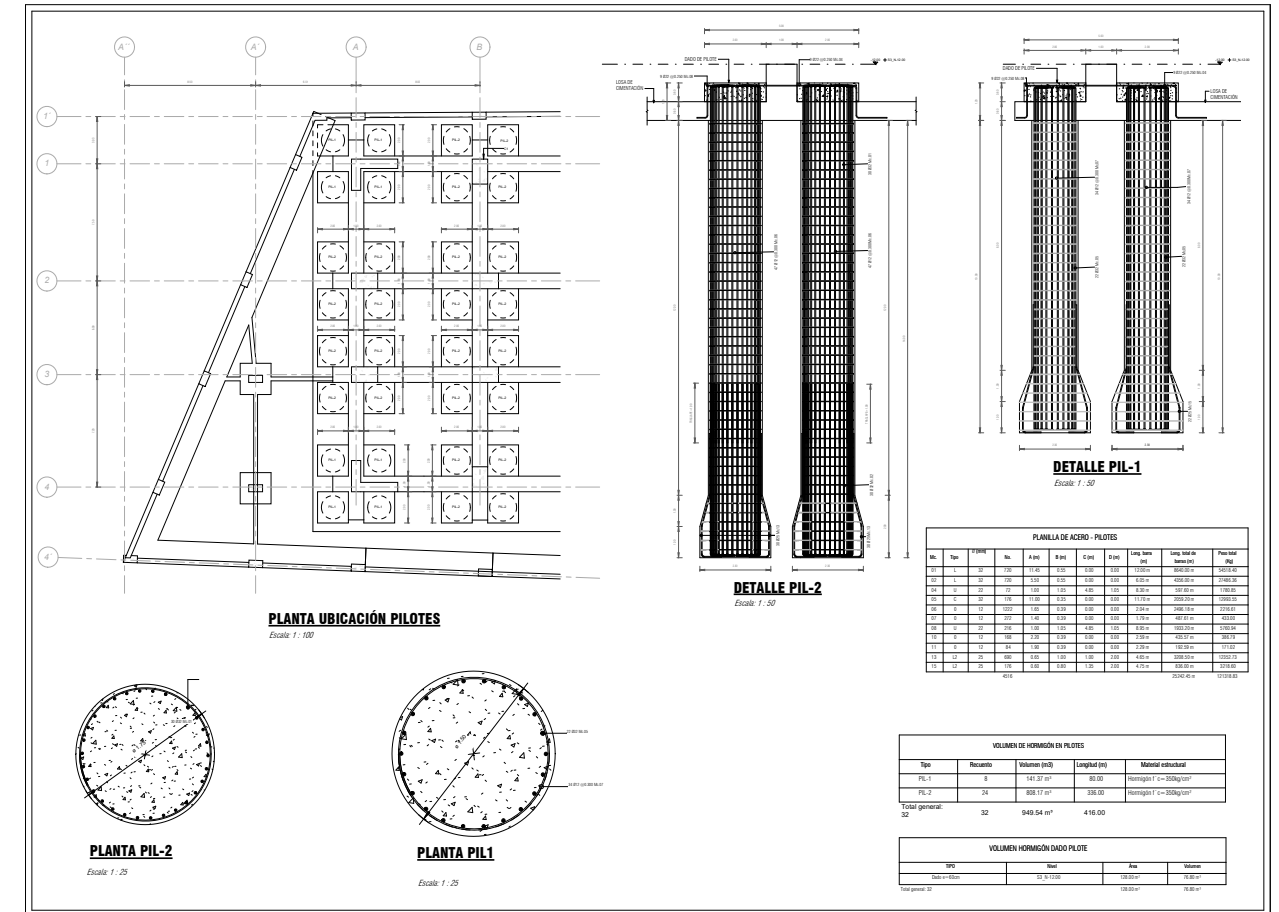
Figura 114. Detalles y diseño de anclajes



Fuente: Elaboración propia.

3.17 Detalles de cimentación profunda tipo pilotes caisson.

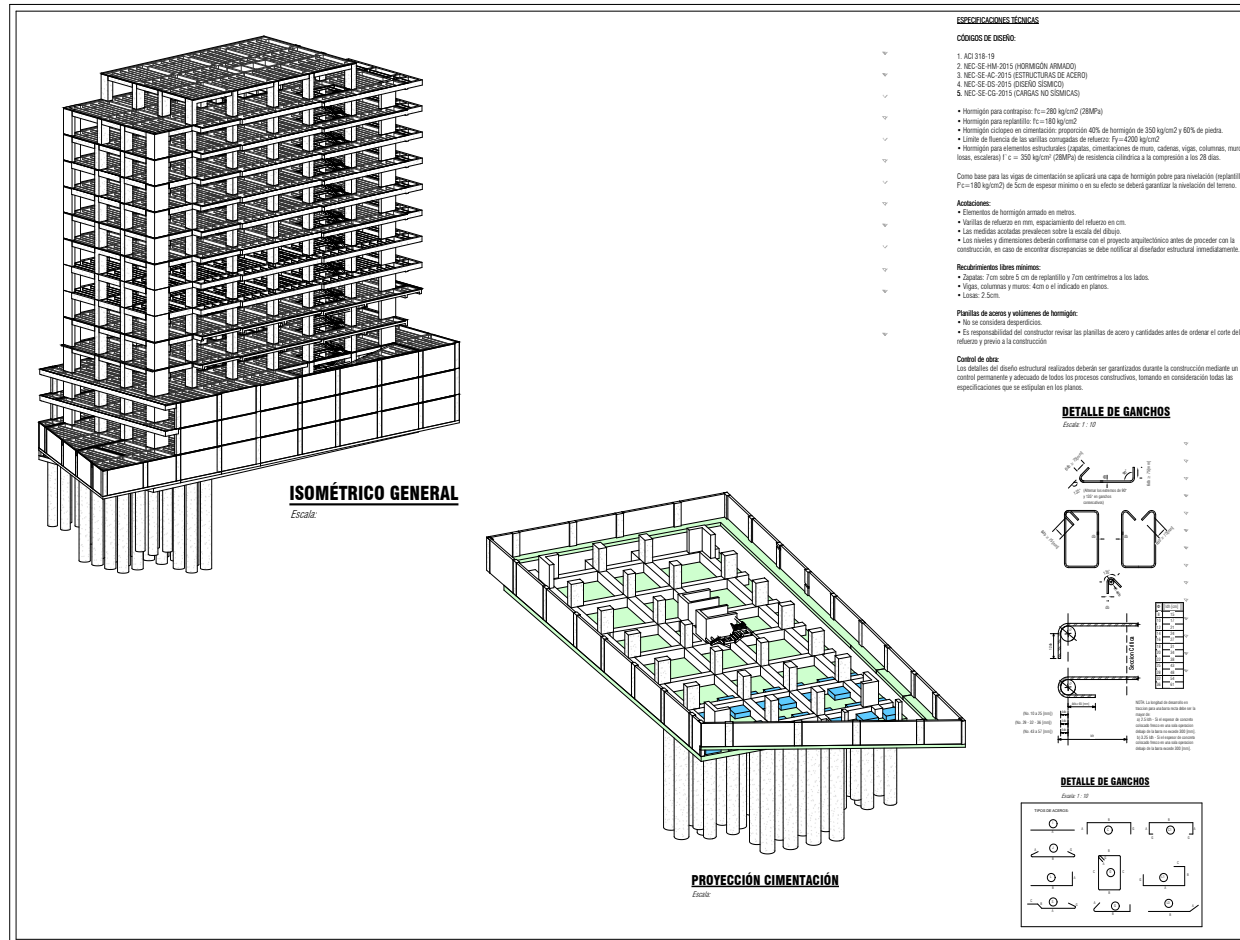
Figura 115. Detalles cimentación caisson.



Fuente: Elaboración propia.

3.18 Axonometrías constructiva con su cimentación tipo caisson.

Figura 116. Axonometrías constructiva.



Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

4.4 Resistencia frente a contextos sísmicos

Dado el alto riesgo sísmico de Quito, el diseño adecuado de la cimentación profunda asegura una mejor respuesta estructural ante eventos sísmicos, reduciendo el riesgo de colapso y protegiendo tanto la integridad de la infraestructura como la seguridad de los usuarios.

4.1 Eficiencia de la cimentación profunda

La cimentación profunda es una solución óptima para mitigar los problemas asociados con los suelos blandos en La Ferroviaria, Quito. Su capacidad para transferir cargas a estratos más resistentes reduce significativamente los riesgos de asentamientos diferenciales y mejora la estabilidad de las edificaciones.

4.5 Cumplimiento de la normativa

La investigación demuestra que el diseño de la cimentación profunda se ajusta a las normativas locales e internacionales aplicables, garantizando que la construcción del edificio de salud sea segura, funcional y sostenible en el tiempo.

4.2 Adaptabilidad del diseño:

Los estudios realizados demuestran que el diseño de cimentaciones profundas puede adaptarse a las particularidades del terreno, maximizando su eficiencia y asegurando el cumplimiento de las normativas locales de construcción.

4.6 Impacto en la comunidad

La implementación de estas soluciones constructivas contribuye significativamente al desarrollo de una infraestructura de salud confiable y operativa, respondiendo a las necesidades urbanas y mejorando la calidad de vida de la población en el sector.

4.3 Importancia de la cimentación profunda

La implementación de un sistema de cimentación profunda es una solución técnica adecuada para garantizar la estabilidad y seguridad de edificaciones construidas sobre suelos blandos, como los encontrados en el sector de La Ferroviaria, Quito. Este enfoque permite transferir las cargas estructurales hacia estratos más resistentes, mitigando los riesgos asociados con la baja capacidad portante y los asentamientos diferenciales.

5. Recomendaciones

5.1 Realización de estudios geotécnicos exhaustivos

Es fundamental realizar investigaciones detalladas del subsuelo en las fases iniciales de cualquier proyecto, para garantizar que el diseño de la cimentación se adapte a las características específicas del terreno y minimice los riesgos de asentamientos.

5.2 Cumplimiento de normativas y estándares

Garantizar que el diseño, la construcción y los materiales empleados cumplan con las normativas locales y estándares internacionales, prestando especial atención a la resistencia sísmica.

5.3 Aplicación de los resultados en futuras investigaciones

Utilizar los hallazgos de esta investigación como base para desarrollar guías prácticas y protocolos que puedan ser implementados en proyectos similares en otras regiones con suelos blandos.

6. Referentes bibliográficos

https://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo25_a.pdf?utm_source=chatgpt.com

https://es.scribd.com/document/213260763/ANALISIS-DE-CIMENTACIONES-PROFUNDAS?utm_source=chatgpt.com

<https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f776c39a-1169-4ed2-8e93-be5c1bd56c10/content>

<https://es.slideshare.net/slideshow/tipos-de-suelo-y-su-clasificacion-y-ejemplos/267911710#1>

<https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/30411/28233>

<https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/150752-Cimentacion-bloques-viviendas-suelos-cohesivos-blandos-empleando-columnas-modulo.html>

<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000290064/3/290064.pdf>

<https://www.midasoft.com/latinoamerica/learning/hub/cimentaciones-profundas-estratigrafia-erratica>

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22789/1/Gonzalez%20Looor%2C%20Yaritza%2020.pdf>

<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/c10db947-1870-4cd0-a062-65c36908446a>

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/>

handle/10757/653965/Capriolo_ML.pdf?sequence=3

<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/e3a8e708-5ce3-499e-946b-46c90abbf1eb/content>

https://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo05_a.pdf

<https://es.slideshare.net/slideshow/analisis-arquitectnico-del-burj-khalifa/40223261>

<https://www.archdaily.cl/cl/866961/clasicos-de-la-arquitectura-torres-petronas-cesar-pelli>

<https://es.scribd.com/document/388573149/Trabajo-de-Investigacion-Suelos>

https://www.academia.edu/29889369/Mec%C3%A1nica_de_suelos_Tomo_II_Ju%C3%A1rez_Badillo

<https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/origen-formacion-suelos/>

<https://es.scribd.com/document/381940080/Cimentaciones-Pilas-Pilotes-Cajones>

<https://es.slideshare.net/slideshow/muros-de-conten-cin-75321294/75321294>



Universidad
Indoamérica

Arquitectura
2024