

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**COMPARACIÓN ESTRUCTURAL Y ECONÓMICA DE LOS
PRINCIPALES SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO DE
EXCAVACIONES PARA EDIFICACIONES Y ESTRUCTURAS
ENTERRADAS EN EL PERÚ Y EL MUNDO**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Bachillera en
Ciencias con mención en Ingeniería Civil**

AUTORA:

Wendy Jhasmín MEZA CASTILLO

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Bachiller en
Ciencias con mención en Ingeniería Civil**

AUTOR:

Erick Franz MANRIQUE HUAMANCAJA

Jerson Aron TICSE QUISPE

Josué José ATAHUAMÁN ARROYO

Yoner Efraín JULCA YUNCA

ASESOR:

Diego VILLAGÓMEZ MOLERO

Lima, Enero, 2022

RESUMEN

El crecimiento de la demanda de viviendas ubicadas en zonas céntricas ha impulsado a que las construcciones tiendan a expandirse de forma vertical, buscando aprovechar lo más posible el terreno. De esta manera, se generó la necesidad de construir sótanos relativamente profundos. Para tal fin, es necesario conocer los diferentes sistemas de sostenimiento de terrenos que existen actualmente y cuáles son las que poseen más ventajas y/o desventajas. En el presente trabajo de investigación se presenta la comparación en cuanto al proceso de diseño, costos y plazos de construcción de cinco sistemas. Las técnicas de sostenimiento que se seleccionaron para el análisis son muro Berlínés, Top-Down, Muro Pantalla, Soil nailing, pantalla de Pilas y Pilotes. El sistema más económico resulto el muro Soil Nailing y el más caro el sistema Top – Down.



INDICE	Pág.
RESUMEN	ii
INDICE	iii
INDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE TABLAS	viii
CAPITULO 1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
CAPITULO 2. ESTADO DEL ARTE	4
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....	9
CAPITULO 4. SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO DE TERRENO.....	10
4.1 Muro Berlín.....	10
4.1.1. Origen y definición.....	10
4.1.2. Proceso Constructivo	11
4.1.3. Diseño del muro Berlín	15
4.1.4. Ventajas del Muro Berlín	20
4.1.5. Desventajas del Muro Berlín	20
4.2 Muro Pantalla	21
4.2.1. Origen del muro pantalla	21
4.2.2. Definición y tipos de muros pantalla	22
4.2.3. Proceso constructivo de muros pantalla	23
4.2.4. Diseño de muros pantalla.....	25
4.2.5. Ventajas de los muros pantalla	28
4.2.6. Desventajas de los muros pantalla	28
4.3 Soil nailing	29
4.3.1. Origen y definición.....	29
4.3.2. Proceso constructivo.....	30
4.3.3. Ventajas	31
4.3.4. Desventajas.....	31
4.4 Sistema Top-Down.....	32
4.4.1. Origen.....	32
4.4.2. Definición.....	32
4.4.3. Proceso constructivo.....	33
4.4.4. Ventajas del Sistema Top Down.....	36

4.4.5.	Desventajas del Sistema Top Down.....	37
4.5	Sistemas de Pilas y Pilotes.....	37
4.5.1.	Origen.....	37
4.5.2.	Definición.....	37
4.5.3.	Proceso constructivo.....	38
4.5.4.	Ventajas del sistema pilotes.....	44
4.5.5.	Desventajas del sistema pilotes.....	44
4.5.6.	Ventajas del sistema pilas.....	44
4.5.7.	Desventajas del sistema pilas.....	45
CAPITULO 5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN.....		46
5.1	Muro Berlínés.....	46
5.1.1.	Casino Punta Arenas, Magallanes y la Antártica Chilena, Chile.....	46
5.1.2.	Edificio Las Heras Concepción, Chile.....	46
5.1.3.	Edificio Viana Limache-Chile.....	48
5.2	Muros Pantallas.....	48
5.2.1.	Centro Empresarial Volterra.....	48
5.2.2.	Centro Empresarial Derby.....	49
5.2.3.	Edificio de Oficinas Monte Rosa.....	49
5.3	Soil Nailing.....	50
5.3.1.	Edificio las Perlas, Reñaca, Villa del Mar, Chile (Perlas & Mar, 1991).....	50
5.3.2.	Otros Proyectos.....	51
5.4	Sistema Top-Down.....	52
5.5	Pantalla de pilas y pilotes.....	53
5.5.1.	Pasos a desnivel (By-pass).....	53
5.5.2.	Líneas y estaciones subterráneas de metro.....	54
5.5.3.	Estacionamientos Subterráneos:.....	55
CAPITULO 6. COMPARACIÓN ECONOMICA.....		56
6.1	Muro Berlínés.....	56
6.2	Muros Pantalla.....	56
6.3	Soil Nailing.....	58
6.4	Sistema Top Down.....	60
6.5	Pantalla de pilas y pilotes.....	63
CAPITULO 7. CONCLUSIONES.....		64
CAPITULO 8. RECOMENDACIONES.....		66
8.1	Muro Berlínés.....	66
8.2	Muro pantalla.....	66
8.3	Soil nailing.....	67

8.4	Sistema Top-Down.....	68
8.5	Sistema de Pilas y Pilotes	69
CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA.....		70



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Costos de construcción y tiempos de ejecución de los sistemas de sostenimiento de terrenos en Santiago, Chile (Riveros, 2008)	6
Figura 2.	Costos y tiempos de ejecución para el sistema Soil Nailing de acuerdo a la resistencia del suelo, h=6 m (Riveros, 2008).....	6
Figura 3.	Impacto ambiental de los sistemas evaluados (Pons et al., 2018)	7
Figura 4.	Impacto económico de los sistemas evaluados (Pons et al., 2018).....	8
Figura 5.	Impacto total de los sistemas evaluados (Pons et al., 2018).....	8
Figura 6.	Esquema del muro Berlínés. (Errazuriz, 2009)	10
Figura 7.	Perfiles de acero utilizados en el muro Berlínés. (Alarcón, 2011)	11
Figura 8.	Limpieza del predio y recalce de la cimentación vecina. (Gerdau, 2017)	11
Figura 9.	Hincado de perfiles de acero. (Grupo Lac, s/f)	12
Figura 10.	Primer nivel de excavación sin apuntalamiento. (Gerdau, 2017)	13
Figura 11.	Colocación de tablonces de madera. (Fundaciones especiales, 2019).....	13
Figura 12.	Apuntalamiento del primer nivel del muro de Berlín. (Gerdau, 2017).....	14
Figura 13.	Colocación de anclajes. (Fundaciones especiales, 2019)	14
Figura 14.	Excavación por etapas colocando puntales. (Gerdau, 2017)	15
Figura 15.	Redistribución de presiones en el muro Berlín por efecto del arqueo del suelo. (Gerdau, 2017).....	15
Figura 16.	Diagrama de presiones del suelo en muro en voladizo. Ka-presión activa, Kp-presión pasiva y “O” es el punto de análisis. (Gerdau, 2017).....	16
Figura 17.	Muro con apoyo libre. Diagrama de momentos, cortantes y giros. (Gerdau, 2017)	17
Figura 18.	Muro con apoyo fijo. Diagrama de momentos, cortantes y giros. (Gerdau, 2017)	17
Figura 19.	Cargas actuantes en un muro apuntalado. (Gerdau, 2017)	18
Figura 20.	Espesor de tablonces de madera recomendados para muro Berlínés. Fuente: (Caltrans, 2011).....	19
Figura 21.	Diagrama para el análisis estructural de la viga de reparto y de los puntales. (Gerdau, 2017).....	20
Figura 22.	Encofrado de Muro pantalla. (Alvarado, 2019).....	25
Figura 23.	Patrón de ubicación de los anclajes. Fuente: Muñoz 2011.	27
Figura 24.	Soil nailing (Soil Nailing Tecnologías Pilotes Terratest S.A., s/f).....	30
Figura 25.	Proceso constructivo Soil Nailing (Rojo Pizarro, 2016)	31
Figura 26.	Construcción de estructuras perimetrales. Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C, 2021.	34
Figura 27.	Excavación e instalación de pilotes centrales. Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C, 2021	34
Figura 28.	Excavación del primer sótano y construcción de elementos estructurales horizontales. Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C, 2021	35
Figura 29.	Excavación de los sótanos inferiores y comienzo de la construcción de la superestructura– Down tradicional. Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C, 2021	36
Figura 30.	Muros pantalla de pilotes (Fuente: Keller, 2020).....	38

Figura 31.	Proceso constructivo con camisa metálica. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001)	39
Figura 32.	Proceso constructivo pilotes utilizando lodo bentonítico. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001).....	39
Figura 33.	Proceso constructivo utilizando hélice continua. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001)	40
Figura 34.	Proceso constructivo de pila de refuerzo. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001).....	41
Figura 35.	Pantalla de pilotes discontinuos (Fuente: Godavarthi, 2011)	42
Figura 36.	Pantalla de pilotes tangentes. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001)	42
Figura 37.	Fases de construcción de pantallas de pilotes secantes. (Fuente: Wharmby, 2010)	43
Figura 38.	Armado de pilote primarios en pantalla de pilotes secantes duro/blando y duro/firme. (Fuente: Cementation Skanska, 2009)	43
Figura 39.	Armado de pilote primarios en pantalla de pilotes secantes duro/duro. (Fuente: Cementation Skanska, 2009)	44
Figura 40.	Uso del muro Berlínés en el proyecto Casino Punta Arenas	46
Figura 41.	Proyecto: Edificio Las Heras Concepción	47
Figura 42.	Vista en planta y cortes típico del muro Berlínés	47
Figura 43.	Muro Berlínés en el edificio Viana Limache-Chile	48
Figura 44.	Centro Empresarial Volterra. PilotesTerrates, s/f.)	49
Figura 45.	Centro Empresarial Derby. (Geotécnica, s/f.)	49
Figura 46.	Edificio de Oficinas Monte Rosa. (Flores, 2019).....	50
Figura 47.	Proyecto de Soil Nailing (Terratest, s/f)	50
Figura 48.	Análisis de estabilidad (Terratest, s/f).....	51
Figura 49.	Túnel Santa Rosa Fase II, Perú (Terrajes, s/f).....	51
Figura 50.	Hotel Marriot Cusco, Perú (Terratest, s/f).....	51
Figura 51.	Esquema de procedimiento constructivo de by-pass mediante muros de pilotes. (Fuente: Sulzer)	54
Figura 52.	Pilotes anclados en la estación Bellas Artes – línea 5 del metro de Santiago. (Fuente: Sulzer)	55
Figura 53.	Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019)	57
Figura 54.	Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019)	57
Figura 55.	Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019)	57
Figura 56.	Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019)	58
Figura 57.	Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019)	58
Figura 58.	Precio del muro pantalla por metro de profundidad. Elaboración propia.	58
Figura 59.	Costos de construcción y tiempo de ejecución de Soil Nailing, H = 3m (Riveros, 2008).	59
Figura 60.	Costos de construcción y tiempo de ejecución de Soil Nailing, H = 6m (Riveros, 2008).	60
Figura 61.	Costos de construcción y tiempo de ejecución de Soil Nailing, H = 9m (Riveros, 2008).	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comparación de sistemas de sostenimiento de terrenos adaptado del “Estudio de sistemas de sostenimiento de suelo en excavaciones en edificios” (Rojo Pizarro, 2016)5
Tabla 2.	Costo del acero A36 por Kg56
Tabla 3.	Costo de ejecución del muro Berlinés espaciado cada 2.5m56
Tabla 4.	Días de ejecución de Soil Nailing de acuerdo con la altura y ciudad” (Riveros, 2008).....59
Tabla 5.	Presupuesto de construcción de la E-23 mediante el sistema Top Down y el método tradicional (Fuente: Chiri et al. 2021).....61
Tabla 6.	Presupuesto de construcción del Edificio Real 2 mediante el sistema Top Down y el método tradicional (Fuente: Díaz, D. 2015).....62
Tabla 7.	Costos para pantalla de pilas discontinuas. (Fuente: Gesche, 2016)63
Tabla 8.	Plazo para la elaboración de pantallas de pilas y pilotes. (Fuente: Gesche, 2016)63



CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En el Perú, la industria de la construcción es uno de los sectores más importantes de la economía porque contribuye al crecimiento del producto bruto interno (PBI) del país. En su Informe Técnico de la Producción Nacional emitido el 15 de octubre de 2021, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), informó que el Índice de la Producción del Sector Construcción registró un aumento de 25.53 % respecto al mes de agosto del año pasado (INEI, 2021). Este resultado se debió a una mayor ejecución de obras del sector público y privada, lo cual generó una mayor demanda de mano de obra en todo el país.

Sin embargo, el sector de la construcción también representa uno de los campos profesionales con una realidad clara en cuanto a los riesgos para los trabajadores. Según el Sistema Informático de Notificación de Accidentes de Trabajo, Incidentes Peligrosos y Enfermedades Ocupacionales – SAT, en el mes de julio de 2021, la segunda actividad con mayor número de notificaciones de accidentes fue el de construcción con un 14.79% (MTPE, 2021). Entre los accidentes más frecuentes y con alto riesgo en este sector se da al realizarse actividades de excavaciones a cielo abierto o subterráneas.

Durante la construcción de una infraestructura es necesario realizar grandes excavaciones para la construcción de la cimentación sea superficial o profunda. Al excavar el suelo, se producen cortes verticales en este, generalmente en los linderos de la propiedad (González et al. 2016). Asimismo, la excavación produce un grado de falta de estabilidad en el terreno, lo cual puede generar hundimientos, desmoronamientos y/o deslizamientos hacia el interior de la obra. Por ello, con la finalidad de mantener la verticalidad de las excavaciones en el terreno, se han desarrollado diversos sistemas de sostenimiento de suelo. Una manera de sostener al terreno es cuando se introduce elementos estructurales que reciben y transmiten fuerzas de compresión de

un lado a otro de la excavación. Existen una serie de métodos para el sostenimiento del terreno en obras, la elección del sistema más apropiado va a depender del tipo de suelo y las características estructurales de cada proyecto.

Según el índice, este trabajo de investigación contiene siete capítulos. En el primer capítulo, se establece la justificación del trabajo de investigación, los objetivos e hipótesis. En el segundo, se describe el estado de arte en la cual se presenta una breve revisión bibliográfica sobre el tema. En el tercer capítulo, se detalla de manera concisa y objetiva la metodología de investigación. En el cuarto, se describe los tipos de sistemas de sostenimiento de excavaciones más usados en el Perú y el mundo, su diseño e influencia con la estructura de la edificación que se va a proyectar. En el quinto, se presenta los proyectos que incluyeron estos sistemas en su proceso de construcción. En el sexto, se realiza una comparación mostrando las ventajas y desventajas de estos sistemas. Finalmente, se establecen las conclusiones y/o recomendaciones.

1.2 Justificación

En las edificaciones y estructuras enterradas es necesario realizar grandes excavaciones. Estas, dejan cortes verticales que necesitan ser sostenidos para evitar desmoronamientos y deslizamientos del suelo. Sin embargo, el ejecutor desconoce los tipos de sistemas de sostenimiento de excavaciones que existen y cuál le conviene para el proyecto que se está ejecutando. Por ello, en el presente documento se busca realizar una investigación de los principales sistemas de sostenimiento de excavaciones en edificaciones, de modo que sirva como guía para el lector al momento de elegir un determinado sistema de sostenimiento. Los parámetros que influyen en la elección del sistema de sostenimiento son el diseño estructural y el costo de su ejecución, todo esto se detalla en el presente documento. Elegir bien es beneficioso en la planificación del proyecto, ya que un buen diseño optimiza tiempo y recursos (mano de obra, materiales, herramientas y maquinaria).

1.3 Objetivos

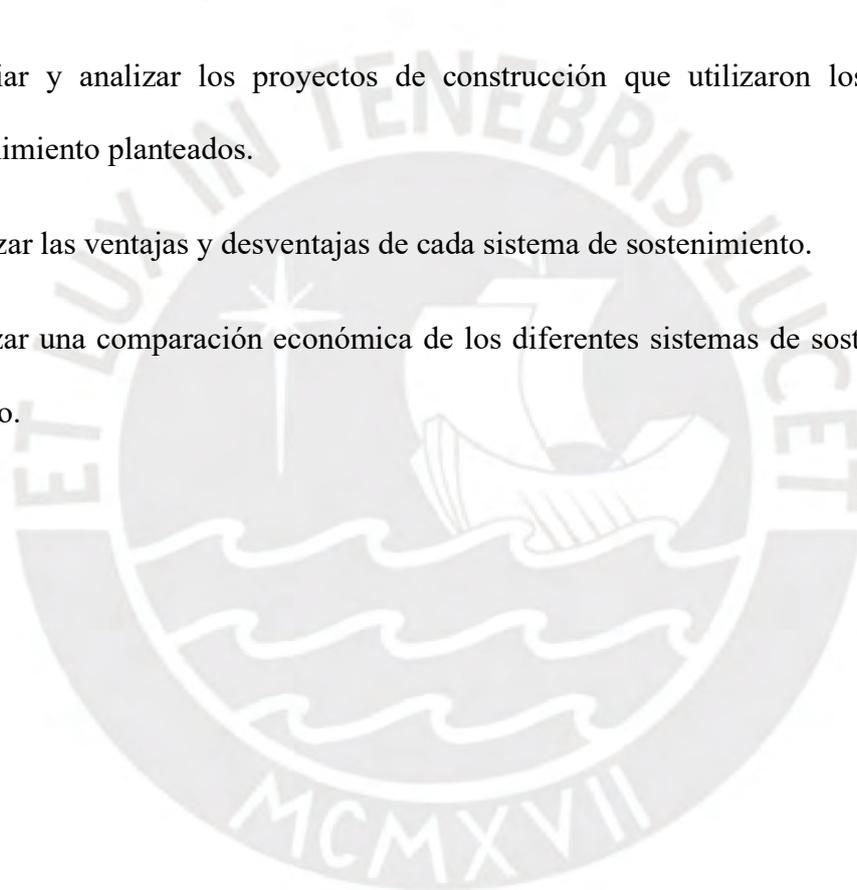
1.3.1. Objetivo General

- Describir y comparar los diferentes tipos de sostenimiento de excavaciones usados en el Perú y el mundo.

1.3.2. Objetivos Específicos

Describir el proceso constructivo de los sistemas de sostenimiento y su influencia con la estructura de la edificación a proyectar.

- Estudiar y analizar los proyectos de construcción que utilizaron los sistemas de sostenimiento planteados.
- Analizar las ventajas y desventajas de cada sistema de sostenimiento.
- Realizar una comparación económica de los diferentes sistemas de sostenimiento del terreno.



CAPITULO 2. ESTADO DEL ARTE

Los sistemas de sostenimientos de terrenos utilizados actualmente en el Perú y el mundo son diversos. Esta gran variedad, por un lado, permite que se dispongan de diversas opciones para sostener una excavación de una edificación, por otro lado, no existe mucha información difundida acerca de estos sistemas de sostenimiento de excavaciones. Es por esta razón que existen algunos acercamientos a estos temas y se muestran algunas de las investigaciones realizadas en el Perú y en otros países como por ejemplo Chile.

En primer lugar, en la tesis denominada “Estudio de sistemas de sostenimiento de suelo en excavaciones en edificios” (Rojo Pizarro, 2016) presentada en la Universidad de Chile se presentan la comparación de 7 sistemas de sostenimientos de terrenos: Tablestacado, Pantalla de Pilas y Pilotes, Muro Pantalla, Muro Berlinés, Soil Nailing, Muro Colgado y Sistema Top – Down. Esta comparación se realizó desde distintos enfoques: Económico, tiempo de construcción, método de ejecución y tipos de suelos en los que se utilizan. Se presenta una tabla en la que se muestra la comparación de 6 de estos sistemas y los resultados obtenidos en la investigación.

**Tabla 1. Comparación de sistemas de sostenimiento de terrenos adaptado del
“Estudio de sistemas de sostenimiento de suelo en excavaciones en edificios”
(Rojo Pizarro, 2016)**

Sistema de sostenimiento de suelo	Tipo de suelo donde se usan	Uso en presencia de agua	Profundidad alcanzada	Costo por m³ (UF)	Plazo (Días)
Tablestacado	Suelos granulares gruesos y finos	Se puede utilizar en presencia de napa freática	Depende de la longitud de la tablestaca	No analizado	No analizado
Pantalla de Pilas o Pilotes.	Cualquier tipo de suelo	Se puede utilizar en presencia de napa freática, dependiendo del tipo de pantalla de pilas o pilotes.	Hasta 50 metros de profundidad, depende de la máquina a utilizar.	8.51	50
Muro Pantalla Suelos finos,	arenas con presencia de rocas	Se puede utilizar en presencia de napa freática	Desde 10 a 40 metros	11.754	69
Muro Berlínés	Arenas o suelos finos	No se puede utilizar en presencia de napa freática	Desde 3 a 8 metros	8.333	57
Muro Soil Nailing	Suelos finos duros y suelos granulares con cohesión aparente	No se puede utilizar en presencia de napa freática	Profundidad deseada, en etapas de 1 a 2 metros.	8.179	156
Muro Colgado	Suelos finos duros y suelos granulares con cohesión aparente	Se puede utilizar en presencia de napa freática	Profundidad deseada, en etapas de 1 a 2 metros.	9.718	208

En segundo lugar, se presenta la tesis denominada “Evaluación Técnica y Económica Entre Sistemas de Sostenimientos de Excavaciones Abiertas en Suelos” (Riveros, 2008) presentado en la Universidad Andrés Bello . En esta investigación se realizó una comparación de Pilas de Entibación y Socalzado, Tablestacado de Acero y Soil Nailing. Además, se consideraron suelos en las ciudades de La Serena, Viña del Mar, Santiago y Punta Arenas, y excavaciones de 3, 6 y 9 metros y de 50x50 m de área en planta. Finalmente se obtienen gráficos que muestran la comparación en cuanto al costo y los plazos de ejecución del sistema. Se muestran algunos ejemplos de esta investigación.

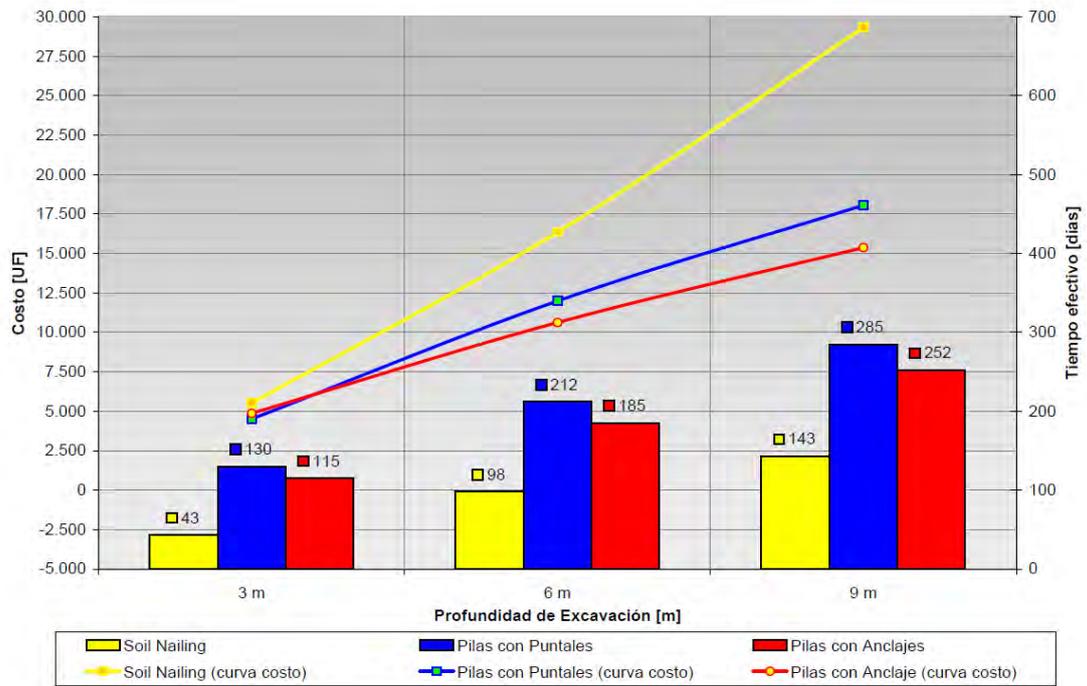


Figura 1. Costos de construcción y tiempos de ejecución de los sistemas de sostenimiento de terrenos en Santiago, Chile (Riveros, 2008)

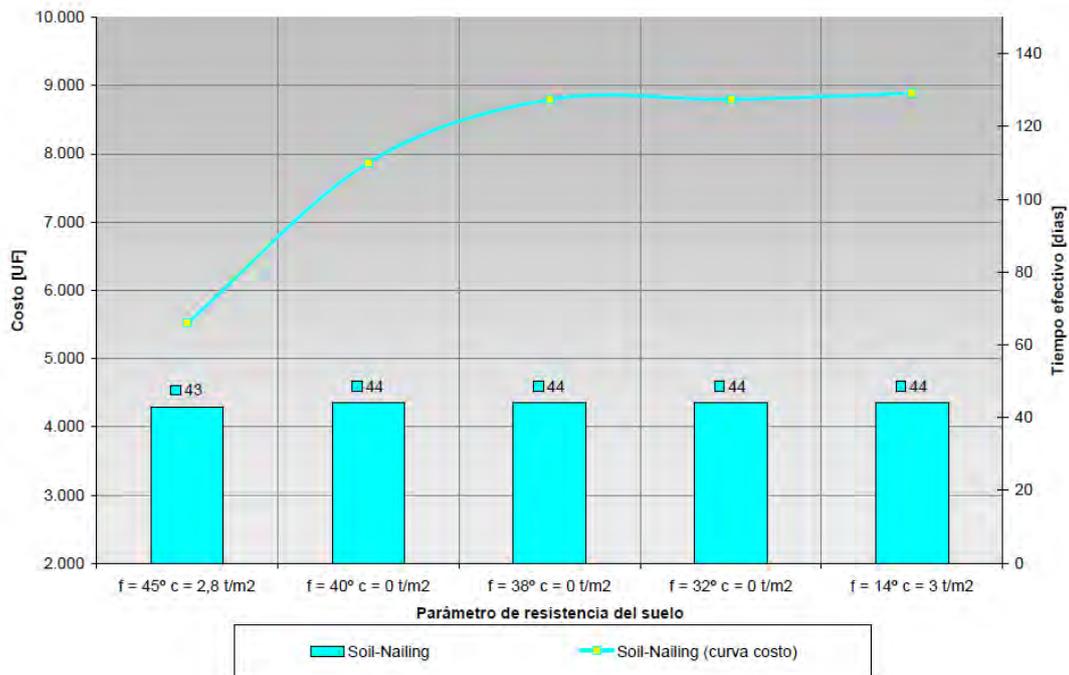


Figura 2. Costos y tiempos de ejecución para el sistema Soil Nailing de acuerdo a la resistencia del suelo, $h=6 \text{ m}$ (Riveros, 2008)

En tercer lugar, en el trabajo de investigación denominado “Sistemas de Sostenimiento Para Excavaciones a Cielo Abierto” (Tlalolini, s/f) desarrollado en la Universidad Nacional Autónoma de México. En este trabajo se realiza una presentación de algunos de los sistemas de sostenimiento de terrenos clasificándolos de acuerdo con su comportamiento estructural en las cuales las estructuras rígidas son: Muros de Concreto y Mampostería; y las estructuras flexibles: Tablestacados, Muros Milán y Pantalla de pilas. Finalmente se plantea que para la elección de los sistemas de sostenimiento de terrenos se debe considerar los tipos de estructuras circundantes, nivel de la napa freática, tipo y material de terreno y las dimensiones de la excavación.

Finalmente, se realizó un análisis del impacto ambiental y el ciclo de vida (LCA) de los distintos muros de sostenimiento de terrenos denominado “*Life cycle assessment of earth-retaining walls: An environmental comparison*” (Pons et al., 2018). En este caso estos sistemas de sostenimiento no son utilizados generalmente en edificaciones, sin embargo, es una nueva forma en la que se puede realizar la comparación de los sistemas de sostenimiento de terrenos en edificaciones. Se realiza una comparación de muros de gravedad, muros de mampostería, muros de concreto armado y Gaviones. Se presentan algunos gráficos que muestran la comparación en cuanto al impacto ambiental y económico.

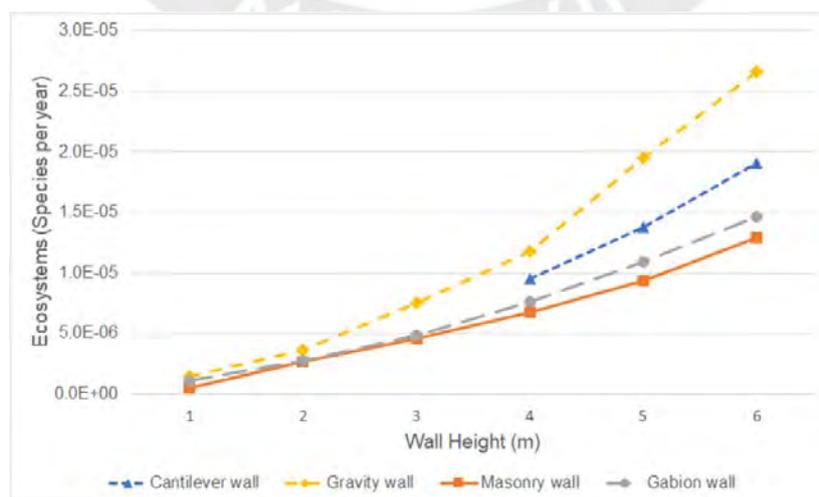


Figura 3. Impacto ambiental de los sistemas evaluados (Pons et al., 2018)

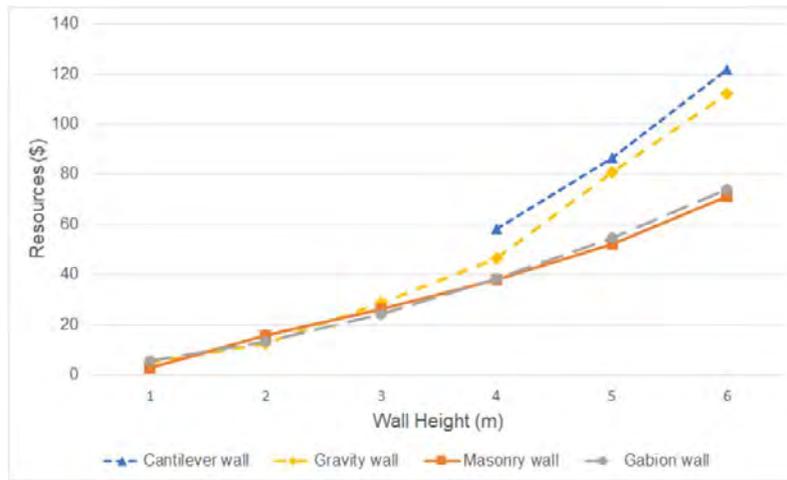


Figura 4. Impacto económico de los sistemas evaluados (Pons et al., 2018)

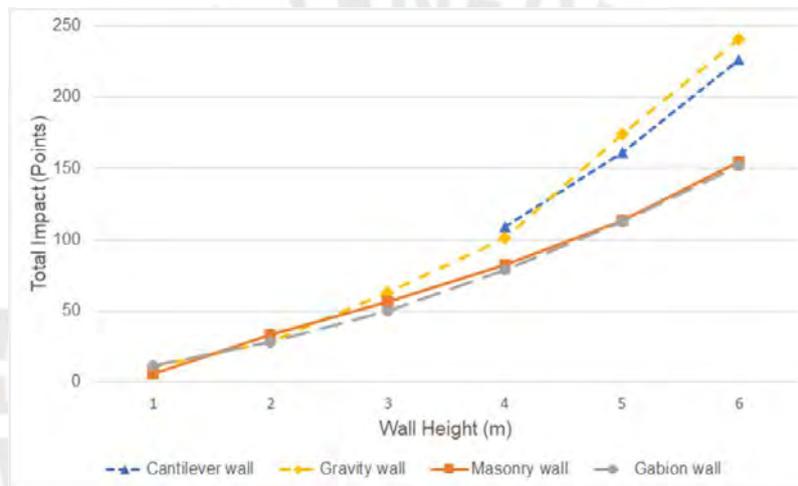


Figura 5. Impacto total de los sistemas evaluados (Pons et al., 2018)

CAPITULO 3. METODOLOGÍA

En la presente investigación se utiliza una metodología de enfoque cualitativo. Esto debido a que se describe cada sistema de sostenimiento de terreno y el proceso de diseño e influencia de cada método, para señalar las características objetivas de cada uno. Este enfoque se centra en los aspectos no susceptibles de cuantificación. Asimismo, por el nivel de profundidad de estudio, la presente investigación se clasifica como descriptiva, puesto que este tipo de trabajo pone su interés principalmente en la descripción de los datos del tema estudiado, sin buscar causas ni consecuencias de éste.

Además, dado que la investigación no está planteada para la manipulación de variables, este se clasifica como no experimental. Este tipo de investigación se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos, comunidades o contextos que se dan sin la intervención directa del investigador, es decir; sin que el investigador altere el objeto de investigación. Las unidades de observación a usar son, la descripción de los sistemas de sostenimiento de terreno y la descripción del desarrollo de diseño geotécnico de los diferentes métodos, cada una de ellas con sus diversas características, las cuales son evaluadas dentro del contexto aplicativo de la investigación.

Se desarrollará la revisión de la literatura para sustentar los conceptos y la razón de la elección del tema de esta investigación. También, se elegirán cinco sistemas de sostenimiento que se consideran más relevantes en la actualidad. Todos estos métodos serán presentados en el marco teórico, definiendo cada una de sus características, tipos, métodos de diseño y procesos constructivos. Asimismo, se buscarán ejemplos de aplicación, se realizará una comparación de todas estas técnicas y así poder contemplar sus ventajas y desventajas, lo cual será de gran ayuda al momento de escoger el método adecuado para el sostenimiento de excavaciones para edificaciones y estructuras enterradas en el Perú y el mundo.

CAPITULO 4. SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO DE TERRENO

4.1 Muro Berlínés

4.1.1. Origen y definición

El Muro de Berlín nace en la construcción de las líneas ferroviarias subterráneas en la ciudad de Berlín en los años 30 (Alarcón, 2011). Es una técnica de contención del suelo que se utiliza para excavaciones de cierta importancia y profundidad de 3 a 8m, con terrenos poco estables. Consiste en perfiles de acero de ala ancha hincados en el suelo por debajo del nivel de excavación, mediante el uso de martinetes, espaciados a una distancia que varía de 1.5 a 3.5 metros. A medida que se excava se va entibando los tablones de madera de perfil a perfil apoyados sobre las alas de la sección. Esta tecnología es una solución temporal segura y rentable para trabajos pequeños y medianos en arenas o suelos finos (Pilotes Terratest, 2010).

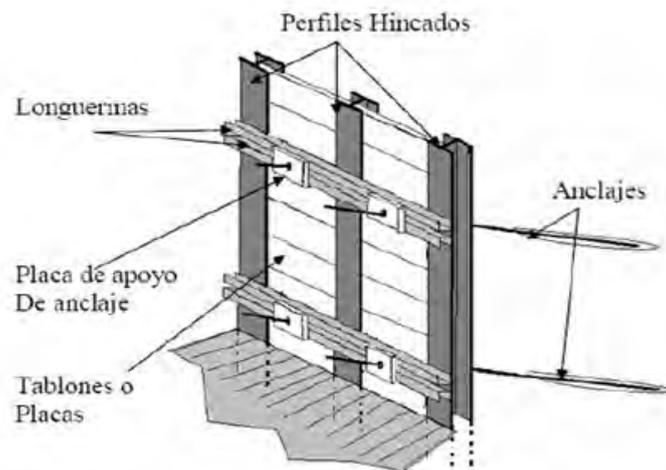


Figura 6. Esquema del muro Berlínés. (Errazuriz, 2009)

Para la estabilización del muro se utilizan anclajes o puntales, dependiendo del espacio relativo en la construcción. Cuando no se dispone de espacio se utilizan anclajes de barras o cables, los cuales se colocan con máquinas perforadoras. Para la sujeción de los anclajes se utiliza longuerinas que son vigas metálicas unidas a una placa metálica donde se anclan. Por otro lado, también existen diferentes tipos de perfiles de acero, pero los más conocidos son el tipo T y H,

su función es recibir las cargas aplicadas por el empuje del suelo, en cambio la función de los tablonés es transmitir las cargas hacia los perfiles a partir del efecto arco (Rojo, 2016).

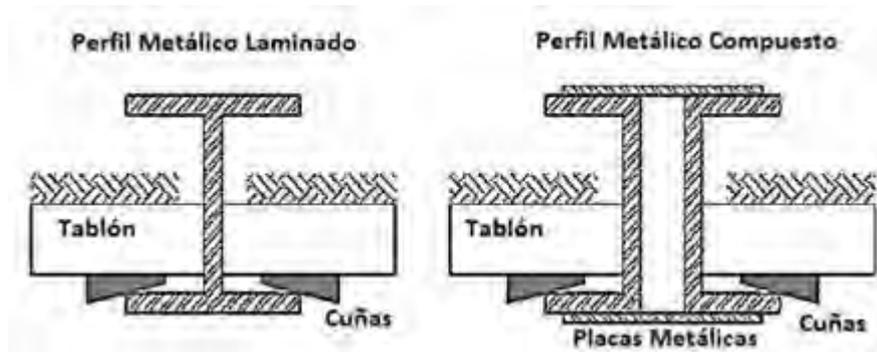


Figura 7. Perfiles de acero utilizados en el muro Berlinés. (Alarcón, 2011)

4.1.2. Proceso Constructivo

- Preliminares

Preparación del área del terreno donde se hará la excavación, demolición de cimentaciones existentes y excavación de limpieza menor a 1.5m. En caso sea necesario se realizará un recalce de las cimentaciones colindantes; es decir, un refuerzo o apoyo provisional a la estructura vecina en caso lo requiera. Por otro lado, se planifica la ubicación en donde se colocarán los perfiles de acero.

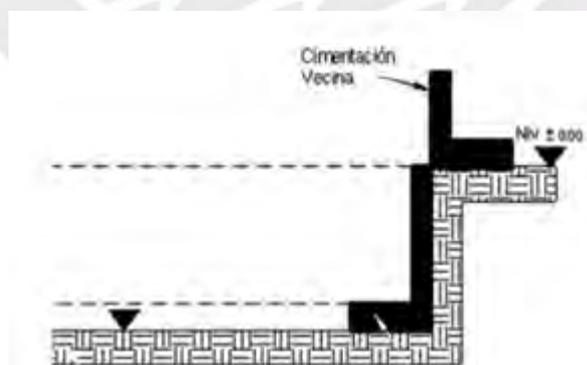


Figura 8. Limpieza del predio y recalce de la cimentación vecina. (Gerdau, 2017)

- **Hincado de perfiles de acero**

Se señala la ubicación de los perfiles de acero, con separación y posición de acuerdo con el proyecto. Luego, se realiza el hincado de los perfiles con un martillo de impacto, vibrohincador o colocándolas con perforaciones previas, las cuales deben ser rellenadas con lodo fraguante (cemento y bentonita) o relleno fluido. Los perfiles deben quedar de manera vertical para que calcen los tablonces sin ningún problema.

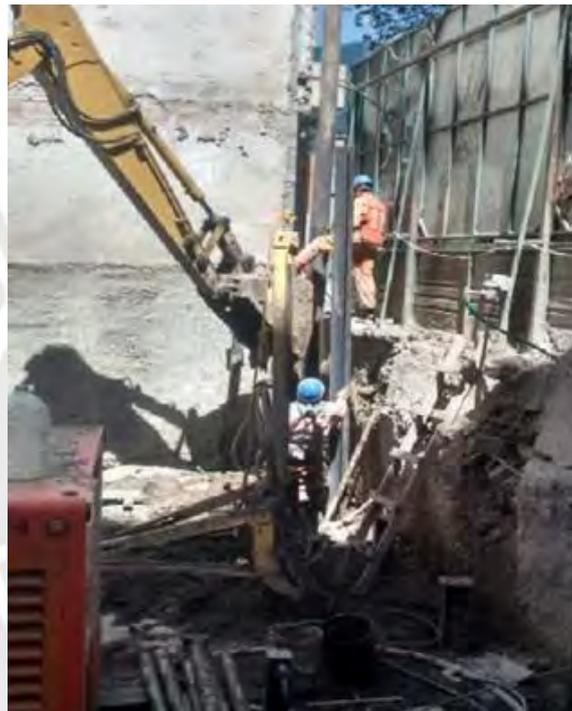


Figura 9. Hincado de perfiles de acero. (Grupo Lac, s/f)

- **Agotamiento de la napa freática si es necesario**

El muro berlinés no impide el paso del agua subterránea por lo que se requiere un agotamiento del agua subterránea, por lo que será necesario realizar cualquier sistema de bombeo para este fin.

- **Primer nivel de excavación**

Se realiza la primera excavación general del predio con maquinaria o de forma manual. La profundidad de excavación debe garantizar la seguridad de las edificaciones vecinas y deformaciones en el muro de Berlín. Después, se colocan los tablonces de madera entre los perfiles de acero.

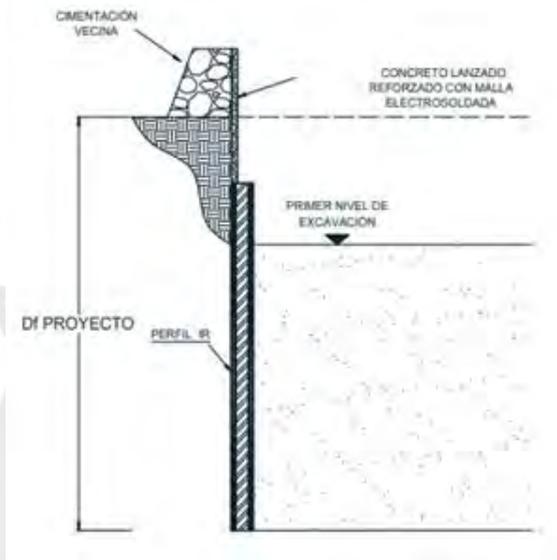


Figura 10. Primer nivel de excavación sin apuntalamiento. (Gerdau, 2017)

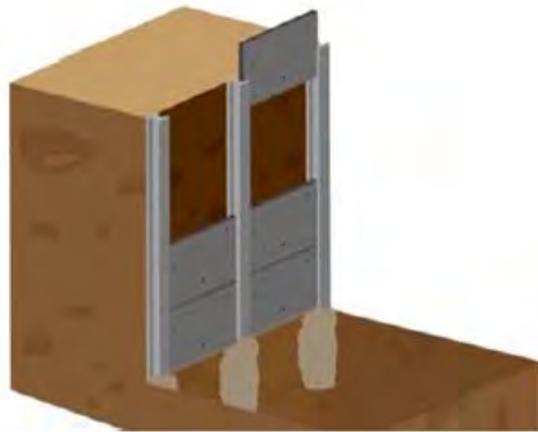


Figura 11. Colocación de tablonces de madera. (Fundaciones especiales, 2019)

- **Colocación del primer nivel de puntales o anclajes**

Se instalan vigas de reparto, puntales o anclajes en todo el perímetro del muro Berlín según corresponda el diseño.



Figura 12. Apuntalamiento del primer nivel del muro de Berlín. (Gerdau, 2017)



Figura 13. Colocación de anclajes. (Fundaciones especiales, 2019)

- **Etapas de excavación y apuntalamiento**

Para continuar con la excavación el proyecto podrá ser dividido en fases. No se debe realizar una nueva excavación hasta colocar el nivel de arriostamiento de la etapa correspondiente. Toda la secuencia continuará hasta llegar al máximo nivel de excavación del proyecto.

Finalmente, en caso de que se hayan utilizado anclajes, estos deberán ser tensados para que el muro funcione de acuerdo con lo diseñado.

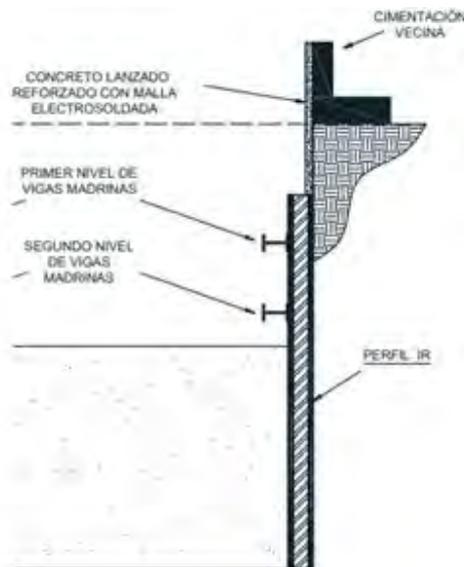


Figura 14. Excavación por etapas colocando puntales. (Gerdau, 2017)

4.1.3. Diseño del muro Berlínés

- Aspectos geotécnicos

Para hacer uso de este sistema de excavación el suelo debe tener la suficiente capacidad de arqueado para poder colocar los tablonés de contención secundaria. La propiedad de arqueado es más evidente en suelos granulares que en suelos cohesivos. En el diseño del muro de Berlín implica que existirá mayor presión del suelo en las vigas de acero.

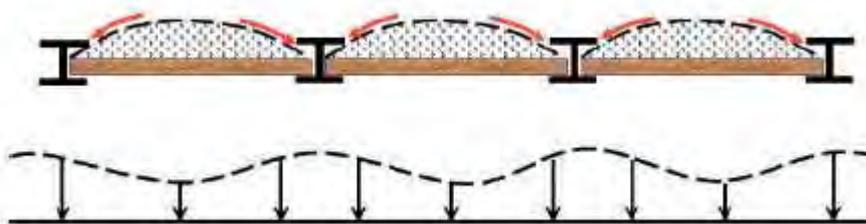


Figura 15. Redistribución de presiones en el muro Berlín por efecto del arqueado del suelo. (Gerdau, 2017)

El muro Berlín es un sistema de contención de pantalla flexible que requiere de puntales o anclajes para garantizar la estabilidad del sistema, el empotramiento en el suelo no es suficiente por sí mismo. Se presentan deflexiones en la pantalla que ayudan a redistribuir las cargas hacia las zonas de mayor rigidez como las vigas, puntales y anclajes. Por ello, se debe garantizar que el empuje del suelo sea soportado por la resistencia dada del empotramiento de la viga y el sistema de arriostramiento (Gerdau, 2017).

- **Análisis en el estado límite**

Dependiendo del sistema de arriostramiento del muro de Berlín existen tres casos de análisis.

- i. Muro en voladizo, la estabilidad del sistema se logra solo con el empotramiento de las vigas. El análisis se basa en resolver los elementos mecánicos del muro usando equilibrio de momentos, equilibrio de fuerzas del sistema y determinando la longitud de empotramiento por iteraciones.

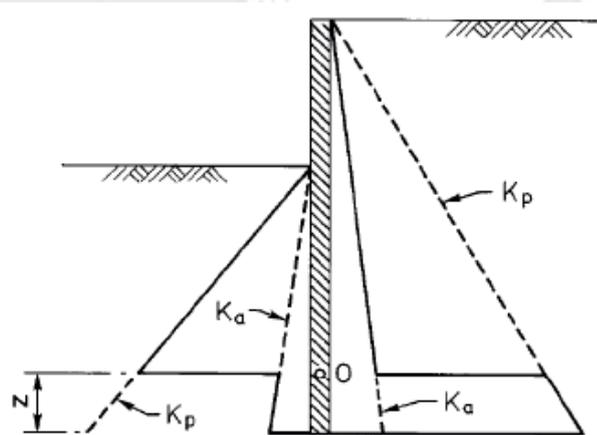


Figura 16. Diagrama de presiones del suelo en muro en voladizo. K_a -presión activa, K_p -presión pasiva y “O” es el punto de análisis. (Gerdau, 2017)

- ii. Muro con un sistema de arriostramiento, la estabilidad es garantizada por el empotramiento de la viga de acero y por los anclajes o puntales. El sistema se resuelve considerando la longitud de empotramiento. Si la longitud de empotramiento es poca y se presentan giros en la base se considera como un apoyo

libre. Si la longitud de empotramiento es larga y no hay giros se considera como un apoyo fijo.

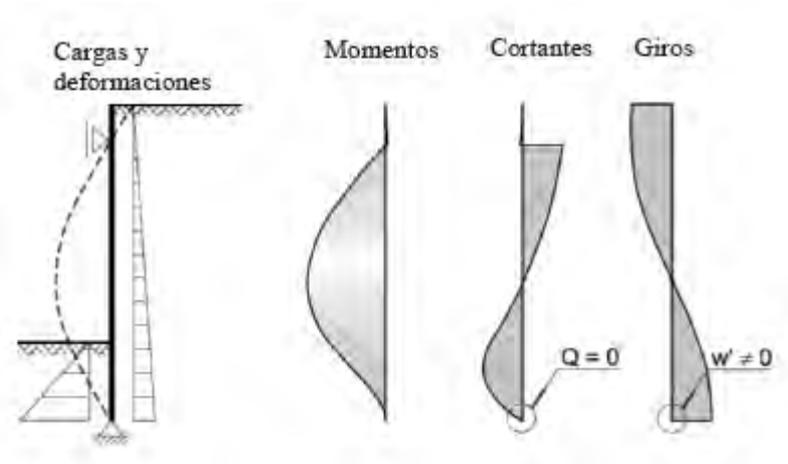


Figura 17. Muro con apoyo libre. Diagrama de momentos, cortantes y giros. (Gerdau, 2017)

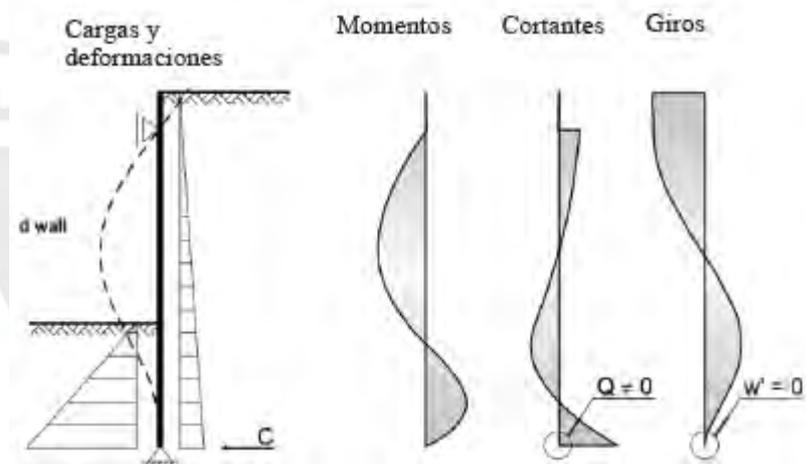


Figura 18. Muro con apoyo fijo. Diagrama de momentos, cortantes y giros. (Gerdau, 2017)

- iii. Muros con múltiples niveles de arriostramientos. Se colocan dos o más puntales o anclajes en la sección del muro, con esto los empujes del suelo se redistribuyen.

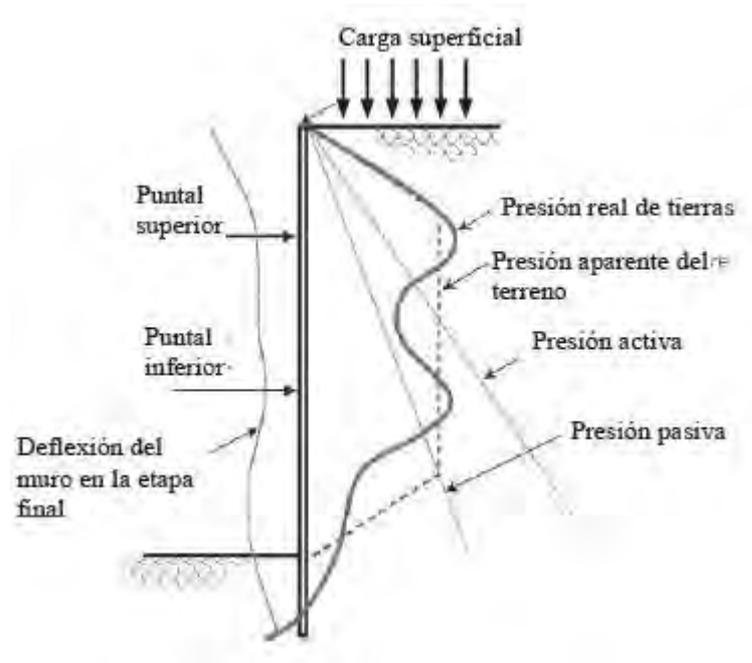


Figura 19. Cargas actuantes en un muro apuntalado. (Gerdau, 2017)

- **Revisión estructural**

- Vigas de acero

Se debe garantizar que la viga trabaje en el intervalo elástico. Según el diseño por esfuerzos admisibles los esfuerzos actuantes en la viga deben ser menores a:

$$\text{Esfuerzo flexión} < 0.6f_y$$

$$\text{Esfuerzo de corte} < 0.33f_y$$

Donde f_y es el módulo de fluencia del acero.

En estado de flexión del muro, la sección mínima (S_{min}) requerida de acero es igual al cociente entre el momento flector máximo ($M_{máx}$) y el esfuerzo admisible del acero (f_b).

$$S_{min} = M_{máx}/f_b$$

- Tablones

Los tabloncson diseñados como vigas simples sometidos a flexión con las siguientes características: La longitud es igual al espaciamiento entre vigas de acero y la carga es uniforme igual a la máxima presión de tierras en el trasdós.

.Consistencia	SUCS / Descripción	Excavación	Espesor (mm) de tabloncson de madera para espaciamiento entre vigas de :					
			1.5 m	1.8 m	2.1 m	2.4m	2.7m	3.0m
Suelos competentes (alta compacidad)	ML, SM-ML. Limos y arenas limosas por encima del NAF. Arenas y gravas (medias a densas)	< 8.0 m	50	75	75	75	100	100
	CL, CH. Arcillas no fisuradas de consistencia media a muy dura	8.0 m - 18.0 m	75	75	75	100	100	125
Suelos difíciles (compacidad baja a media)	SW, SP, SM. Arenas y arenas limosas (sueltas)	< 8.0 m	75	75	75	100	100	125
	SC. Arenas arcillosas (medias a densas), bajo el NAF							
	CL, CH. Arcillas sobreconsolidadas, saturadas. ML, SM-ML. Limos no plásticos o arenas limosas bajo el NAF	8.0 m - 18.0 m	75	75	100	100	125	125
Suelos peligrosos (tabloncson no recomendados)	CL, CH. Arcillas blandas.	< 5.0 m	75	75	100	125	-	-
	ML. Limos ligeramente plásticos bajo el NAF.	5.0 m - 8.0 m	75	100	125	150	-	-
	SC. Arenas arcillosas bajo el NAF	8.0 m - 11.0 m	100	125	150	-	-	-

Figura 20. Espesor de tabloncson de madera recomendados para muro Berlinés. Fuente: (Caltrans, 2011)

- Puntales / vigas de reparto

El diseño de las vigas de reparto y de los puntales deben ser analizados para el siguiente sistema de cargas.

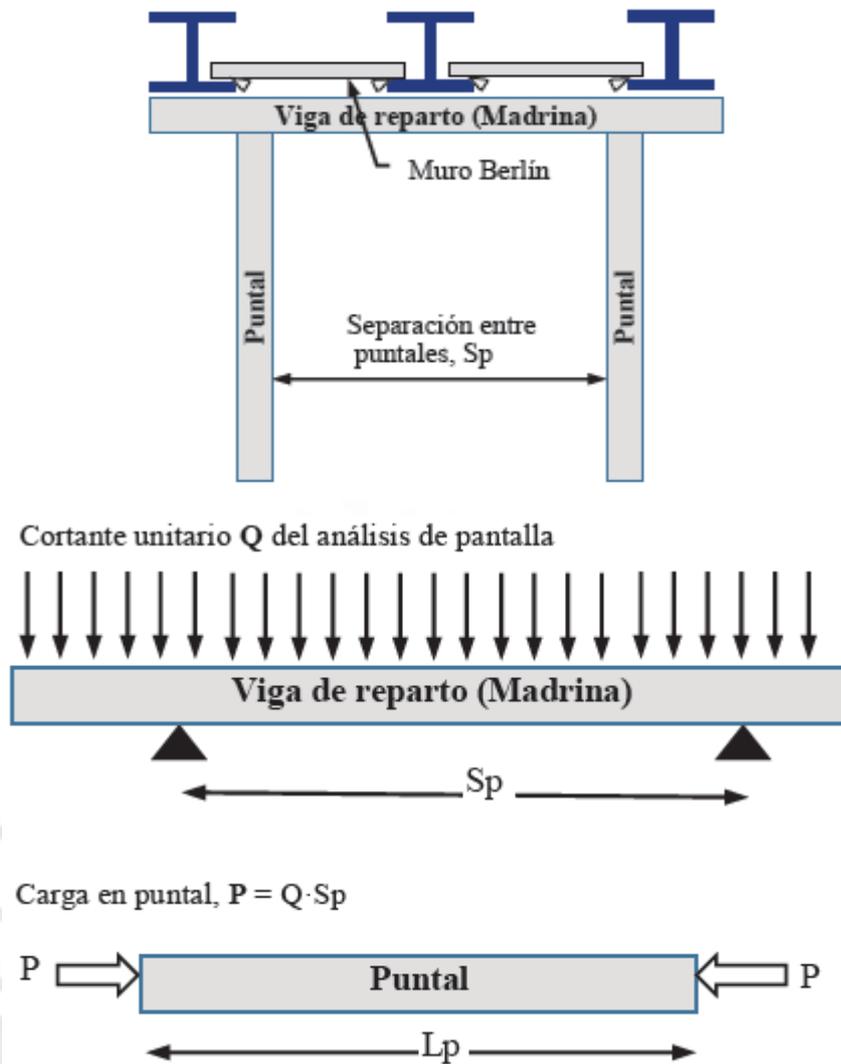


Figura 21. Diagrama para el análisis estructural de la viga de reparto y de los puntales. (Gerdau, 2017)

4.1.4. Ventajas del Muro Berlinés

- Es un sistema de bajo costo y rápido armado
- La excavación se realiza a medida que se construye el muro Berlinés
- Se utiliza en suelos arenosos y finos

4.1.5. Desventajas del Muro Berlinés

- No impide el paso del agua subterránea, por lo que se requiere un agotamiento simultáneo del nivel freático durante la excavación.

- No puede utilizarse en suelos granulares gruesos o con rocas
- Solo se utilizan en obras pequeñas, donde la profundidad se encuentra entre los 3 a 8 metros.

4.2 Muro Pantalla

4.2.1. Origen del muro pantalla

El origen del muro pantalla o también conocido como “Método Milán” o sistema “Cut and Cover” se remonta en los años 50 en Italia. Anteriormente, los primeros sistemas de sostenimiento de excavación que se empleaban eran los tablestacados de madera, luego le siguió las tablaestacas de hormigón armado, los cuales presentaban mayores ventajas que la madera puesto que permitía construir elementos prefabricados, y posteriormente se usaron las tablaestacas de acero pues poseía menor peso, mayor resistencia a la flexión y se podía instalar con mayor rapidez.

Más adelante, en el año 1934, aparecieron las primeras pantallas de pilotes conocidas como secantes o tangentes, luego en Italia en los años 50 y 53, los ingenieros italianos Veder y Marconi inventaron un nuevo método que se denomina pantallas de hormigón armado. Este proyecto nació al observar los problemas que existían al realizar las excavaciones profundas cercanas a edificios y por obras donde el nivel freático era cercano a la superficie. (Mozó, 2012)

La bentonita, alrededor del año 1910, era usado como estabilizador de agua y petróleo, luego, en 1938, el ingeniero Carlo Veder, empezó a emplearlo para estabilizar zanjas excavadas en el suelo. Más adelante, la técnica se adoptó para muros pantalla, el cual fue creciendo en el sector de construcción en ciudades italianas y adoptada en otros países europeos, que por esos años estaban en un intensivo proceso de reconstrucción de los daños ocasionados por la segunda guerra mundial y para modernizar las ciudades. Asimismo, en la ciudad de Paris dos empresas constructoras conocidas como Soletanche y Bachy impulsaron el desarrollo tecnológico actual

de ese procedimiento de construcción, debido a la alta competencia entre ellos. (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019)

4.2.2. Definición y tipos de muros pantalla

Los muros pantalla se definen como una estructura de contención flexible que soporta deformaciones, desplazamientos, y cuyos parámetros de diseño contemplan estas condiciones (Alvarado H, 2019). Son muros construidos en las excavaciones profundas, donde se busca constituir una estructura geoméricamente continua, por lo que primero se introduce la armadura del muro y posteriormente el hormigón. Asimismo, con la finalidad de escudar la excavación y evitar que las paredes de este se desprendan, se utilizan lodos bentónicos. Su estabilidad se define, básicamente, con la profundidad de empotramiento en el terreno que se encuentra bajo el fondo de la excavación. No obstante, dependiendo del proyecto en algunos casos se necesita utilizar elementos de apoyo con el objetivo de garantizar la estabilidad y para reducir los movimientos horizontales y/o verticales del terreno del trasdós, tales como: anclajes, puntales y losas, entre otros (Mozó, 2012).

Los objetivos principales de los muros pantalla bajo sus características estructurales son las de: contener los empujes horizontales (perpendiculares a su plano de la pantalla), estabilidad de los taludes de la excavación, impermeabilización de la excavación y soporte de cargas verticales que le transmitan otros elementos estructurales, es decir, también sirven como parte de la construcción definitiva.

Existe una variedad de muros de pantalla los cuales dependen del tipo de terreno al cual son aplicados, tipo de obra que se ejecutará, estructuras existentes alrededor del proyecto, etc. Entre las principales se puede encontrar las pantallas de madera, muro berlinés, pantalla de micropilotes, muros anclados y muros moldeados.

4.2.3. Proceso constructivo de muros pantalla

En esta investigación se describe el proceso constructivo de los muros pantalla específicamente, las que utilizan anclaje para su estabilización. Esto debido a que en el Perú se ha generalizado su uso en casi todas las construcciones que tienen dos o más sótanos.

En caso de las pantallas ancladas se divide en uno o varios apoyos en toda su profundidad, de modo que “los momentos flectores resultantes y los desplazamientos, tanto verticales (asientos en superficie) como horizontales, sean mucho menores, con la consiguiente economía en el espesor de la pantalla y la armadura empleada” (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019).

Los dispositivos de anclaje pueden ser activo o pasivo, donde estos últimos suelen ser muy rígidos para limitar los movimientos de la pantalla. Asimismo, se van instalando a medida que el vaciado de la excavación progresa.

Para la construcción de un nivel de un muro pantalla, usando como estabilización el anclaje, se realiza un trabajo en serie que consiste en cinco etapas.

- **Movimiento de tierra o excavación masiva.**

Previo a los trabajos de perforación y fabricación de los muros se realiza el movimiento de tierra preliminar. Para ello, es importante llevar a cabo una inspección de los muros perimetrales de los edificios vecinos para verificar su estabilidad. Asimismo, para prevenir una posible sobre excavación, durante la remoción de tierra se debe realizar un control permanente de los niveles. Del mismo modo, es importante considerar que la excavación masiva no se efectúa en el área íntegro de la zona a estabilizar, debe dejarse un segmento que se conoce como banquetta.

- **Perforación e introducción del anclaje.**

Luego de la excavación en banquetta, se efectúa un replanteo de los puntos donde se proyectaron los anclajes, para posteriormente realizar la perforación. El diámetro de la perforación que se usa generalmente es de 4.5”. La perforación que se ejecuta se denomina roto-percusiva, ya que

se reviste los huecos al mismo tiempo que se perforan. Luego de que se haya alcanzado la profundidad de anclaje, se limpia la perforación y se retira la tubería interior (API). De esta manera, solo se deja la tubería de revestimiento por donde se va a instalar el anclaje.

Posteriormente, después de terminar la perforación se introduce el anclaje por el tubo de revestimiento y se retira este último.

- **Elaboración e inyección de lechada.**

Luego de finalizar con la introducción del anclaje se inyecta la vaina. Se debe verificar el rechazo por boca para poder garantizar la saturación del suelo que producirá el bulbo del anclaje. Si ocurre el caso de que no se produce el rechazo por boca, se deja por un tiempo de 6 horas como mínimo antes de realizar la re-inyección.

- **Armado del muro.**

Luego de finalizar la introducción de los anclajes, se ejecuta la excavación en las banquetas de forma alternada para la elaboración de los muros. Para poder conseguir un correcto montado del muro se comienza con la colocación de las mallas de acero y la colocación de acero terminado, incluyendo refuerzo en zona de anclaje, de acuerdo con los planos estructurales. Luego, se continúa con el encofrado del muro, donde inicialmente se deben colocar las soleras para poder apoyar las primeras planchas metálicas de encofrado. Con el objetivo de mantener la verticalidad del mismo, se debe llevar control topográfico durante el proceso. Posteriormente, se efectúa el vaciado del concreto, el cual debe ser supervisado para evitar problemas con el concreto. Finalmente, se realiza el desencofrado al día siguiente del vaciado, retirando las planchas del muro, limpiándolas y posteriormente aplicándole el desmoldante respectivo.



Figura 22. Encofrado de Muro pantalla. (Alvarado, 2019)

- **Tensado de anclaje**

Una vez que el bulbo de la inyección de los anclajes y el concreto de los muros hayan fraguado según los plazos (5 a 7 días después de vaciar el muro pantalla) se realiza el tensado de los cables de anclaje correspondientes a estos muros. Se debe considerar que durante el tensado “se tendrá especial cuidado para que ninguna persona se encuentre en la línea de tiro del anclaje, en previsión que pueda romperse un cable por falla de fabricación y salga proyectada alguna cuña de fijación” (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019).

4.2.4. Diseño de muros pantalla

Para realizar el diseño de muros pantalla es necesario poseer información preliminar. Entre esta información importante, se encuentra las limitaciones de construcción, el cual incluye acceso al sitio, topografía, estructuras adyacentes, servicios públicos y proyección de diseño. También se debe contar con los planos estructurales de cimentación y sus cortes, planos ubicación, los planos de arquitectura y los planos de interferencia de servicios básicos. Asimismo, se requiere un estudio geotécnico que incluya ensayos in-situ y laboratorio. Esto, debido a que es importante conocer el perfil estratigráfico, ya que permitirá identificar el tipo de suelo a estabilizar y por ende anticipar el predimensionamiento de los paños.

Una vez que se cuenta con estos datos preliminares, se debe tomar en cuenta una serie de consideraciones del diseño del muro.

- **Esquema del muro**

Se establece el esquema del muro donde incluye la altura, longitud e inclinación del muro. Asimismo, incorpora el desarrollo del perfil longitudinal del muro, localización de obras complementarias; estableciendo las limitaciones de la ubicación de los anclajes.

- **Distancias horizontales y verticales de los anclajes**

Para el diseño de los anclajes se asume un área tributaria de carga a cada anclaje. Para esto se basa en el espaciamiento horizontal y vertical entre los anclajes adyacentes. Generalmente, el espaciamiento (S_h) es igual al espaciamiento vertical (S_v). Estos espaciamientos generan que cada uno de los anclajes tenga un área de influencia de $S_h \times S_v \leq 4 \text{ m}^2$. La separación puede ser afectado por la presencia de estructuras vecinas. Este, llega a variar entre 1.25 a 2 metros, donde el más usado es de 1.5 metros. Asimismo, con la finalidad de minimizar la intersección de los anclajes debido a las desviaciones de la perforación, se debe especificar el espaciamiento mínimo de los anclajes alrededor de 1 metro (Muñoz 2011).

- **Patrón de ubicación de los anclajes**

Los patrones en la ubicación de anclajes más utilizados son tres. En primer lugar, el patrón cuadrangular, termina en una columna de anclajes alineadas. Este patrón es el más usado, ya que facilita la construcción de paneles verticales de concreto lanzado y la instalación de tiras de geo compuestos para sistema de drenaje del revestimiento. En segundo lugar, el patrón triangular permite una distribución más uniforme de la presión del suelo. Finalmente, debido la geometría del proyecto, se requiere que se reduzca el espaciamiento en algunas partes, por lo que se obtiene un patrón irregular.

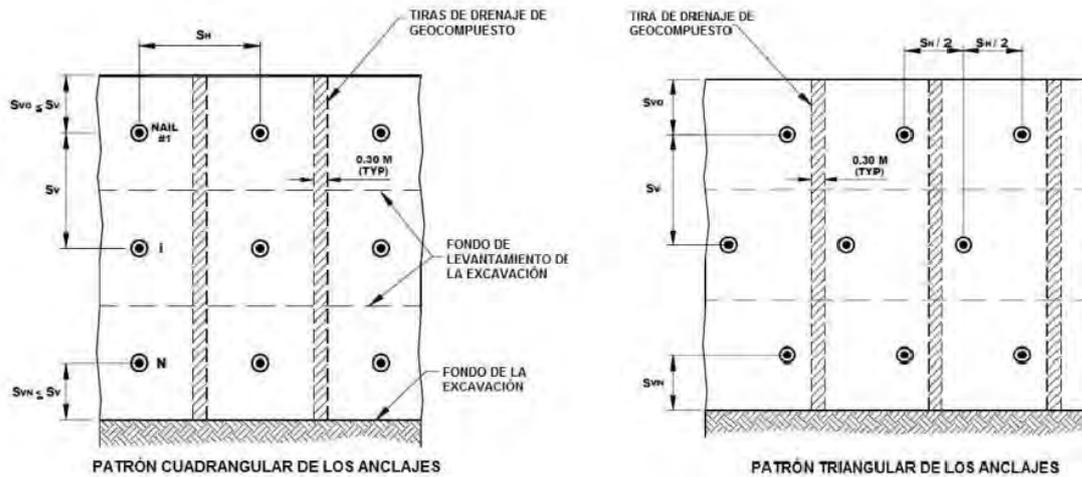


Figura 23. Patrón de ubicación de los anclajes. Fuente: Muñoz 2011.

- **Inclinación de los anclajes.**

En los proyectos generalmente se usa anclajes con inclinación de 15° . No obstante, debido a diferentes razones, como evitar estructuras subterráneas, tuberías o que no exista cruce entre anclajes, puede llegar a variar entre 10° a 20° . Sin embargo, la inclinación no es aconsejable que sea menor a 10° , ya que llegaría a complicar la inyección de la lechada.

- **Longitud de los anclajes y distribución.**

Mientras menores sean los desplazamientos en los muros, el factor de seguridad global será más grande. Por otro lado, se ha podido observar que las deformaciones son más grandes cuando los anclajes superiores son demasiados pequeños. Por lo tanto, se puede reducir estos desplazamientos si se colocan anclajes más largos en la parte superior.

La experiencia ha mostrado que en al pie del muro las longitudes de los anclajes no deben ser menor que 0.5 de la altura del muro (H), ya que no llegará a cumplir con los requisitos de estabilidad de deslizamiento. Para evaluaciones de viabilidad, se puede suponer una longitud de anclaje de 0.7H. Si se conoce que se tendrán muros altos (mayor a 10 metros) o grandes sobrecargas la longitud puede ser mayor a 0.7 H.

- **Otras consideraciones.**

- El acero más usado para el caso de los muros anclados son barras con resistencia nominal de 420 MPa.
- Se debe evaluar el método de drenaje a usar, así como el diámetro del tubo.
- Se debe definir las cargas actuantes y el factor de seguridad para diferentes modos de falla.

4.2.5. Ventajas de los muros pantalla

- Posee una capacidad para soportar presiones horizontales, alturas de tierra y sobrecargas considerables, sin aumentar drásticamente el espesor de la sección.
- La gran parte de la carga vertical es sostenida por la fricción de la cara vertical del muro con el terreno y solo el remanente debe ser soportado por la cimentación.
- Se reduce el volumen de excavación y relleno.
- Se puede construir en una gran variedad de suelos.
- Menor tiempo de construcción.
- Menor costo, ya que se reduce el volumen de materiales de construcción.
- Si se compara con sistemas equivalentes (puntales, taludes temporales, etc) ocupa menor espacio durante su instalación.

4.2.6. Desventajas de los muros pantalla

- El anclaje y el bulbo deben poseer una protección a los efectos de corrosión, de lo contrario puede llegar a durar pocos meses. Asimismo, los elementos de refuerzo también pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos.

- Algunos suelos, como los rellenos sueltos, las arenas lavadas, los suelos sin cohesión y los suelos orgánicos, son suelos no adecuados ya que por los mismos parámetros de estos suelos pueden provocar deformaciones considerables.
- Debido a que las tuercas y los elementos de anclaje pueden llegar a desgastarse posiblemente necesiten un mantenimiento permanente.
- Este sistema puede interferir con estructuras vecinas o adyacentes al lugar del proyecto. Por lo tanto, para su construcción se puede requerir el permiso del vecino.

4.3 Soil nailing

4.3.1. Origen y definición

El Soil Nailing es un método de sostenimiento que consiste en la colocación de acero sometido a tensión (bulones) y el vaciado de elementos tipo pantalla de concreto armado. Que finalmente logra que el muro pueda ser estabilizado de manera similar que, con muros de gravedad, con la diferencia de que la cantidad de concreto y el proceso constructivo son menores (*Soil nailing | Keller Cimentaciones, s/f*). A diferencia de los muros anclados el tipo de sostenimiento es pasivo ya que los bulones actúan cuando este es sometido a tracción ya que está anclado en un extremo y la presión del suelo sobre la pantalla actúa (*Soil Nailing | Tecnologías | Pilotes Terratest S.A., s/f*)

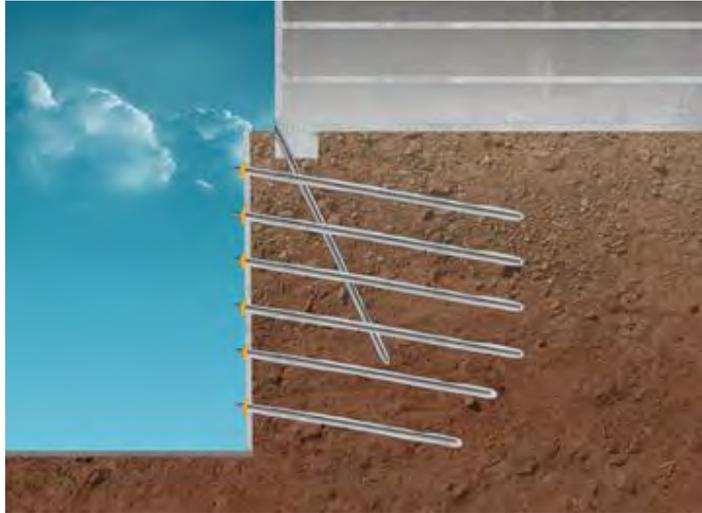


Figura 24. Soil nailing (Soil Nailing | Tecnologías | Pilotes Terratest S.A., s/f)

4.3.2. Proceso constructivo

- Se realiza la excavación del primer tramo, la colocación de Soil Nailing, al igual que en la mayoría de sostenimiento se realiza a medida que avanza la excavación.
- Luego se realiza la perforación en la cual luego se colocarán los bulones
- Se coloca luego el acero y se inyecta concreto en el espacio restante
- Se coloca la armadura en la cara perforada (opcional) y se le coloca una capa de concreto
- De ser necesario se colocan ductos para el drenaje

Este proceso se observa de manera sencilla con la siguiente ilustración

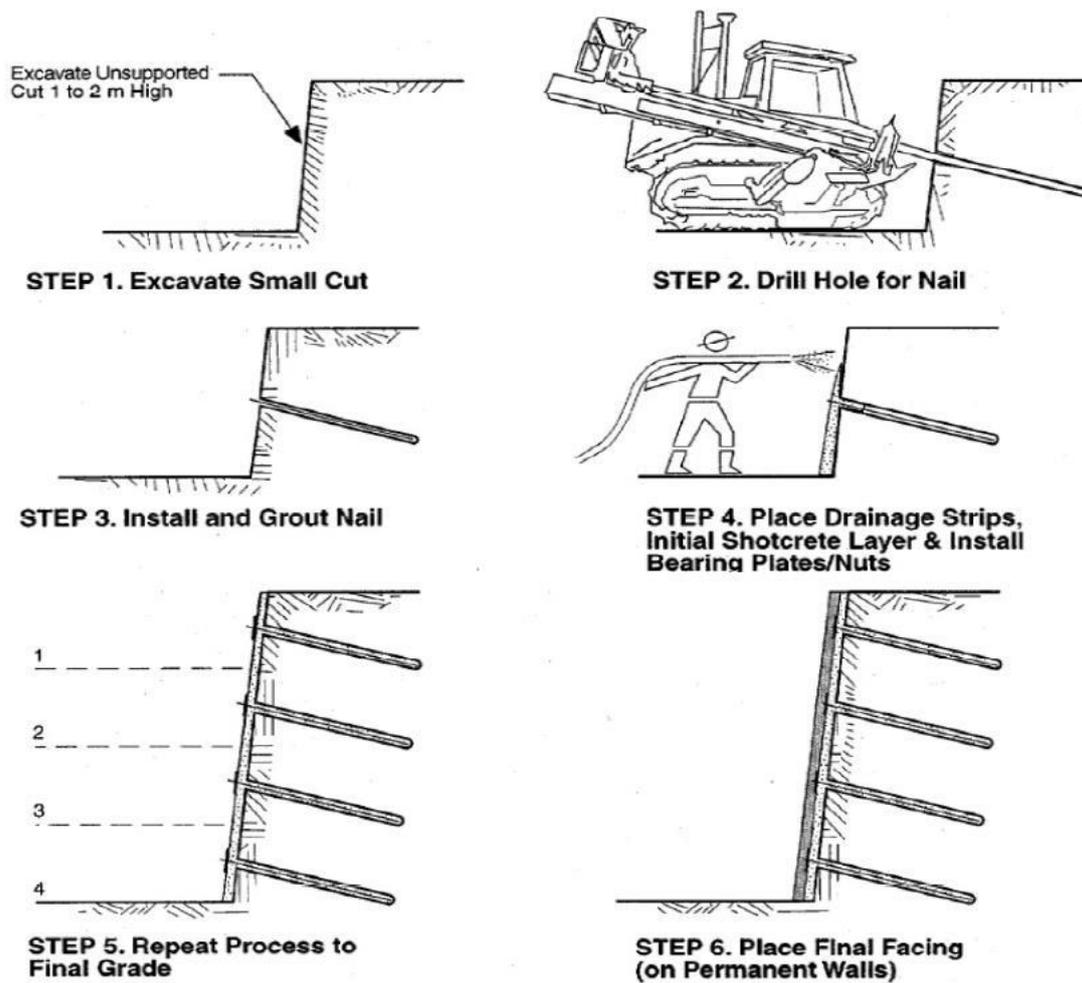


Figura 25. Proceso constructivo Soil Nailing (Rojo Pizarro, 2016)

4.3.3. Ventajas

- Versatilidad, este sistema puede adaptarse a diferentes geometrías que se pueden presentar en los taludes
- Economía, su comportamiento es similar al de los muros de gravedad, pero con menor cantidad de concreto utilizado y gracias a su fácil construcción es económica.
- Es posible utilizarlo tanto en suelos finos y granulares

4.3.4. Desventajas

- El suelo debe tener la suficiente cohesión para soportar un corte de 1- 2 metros de altura
- Debido a que sus anclajes son pasivos generan problemas cuando se presentan asentamientos en edificaciones vecinas

- Debido a los problemas de adherencia del concreto armado es necesario que el nivel freático no sea tan alto

4.4 Sistema Top-Down

4.4.1. Origen

El sistema de construcción Top-Down es una de las innovaciones que ha desarrollado Air Taylor Consulting para el uso en la industria de la construcción en Austria Occidental. Este sistema es uno de los enfoques integrados para el diseño avanzado y la construcción de subestructuras de la empresa especializada Advance Substructure. (Airey Taylor Consulting, 2016). Además, proceso constructivo de Top Down inicialmente fue utilizado para la construcción de líneas de metro, en la cual se tenía plazos de ejecución limitados y era necesario la construcción simultánea de las vías a nivel rasante y las estructuras bajo rasante.

En el Perú, en el 2018, la empresa de ingeniería y construcción COSAPI fue la primera en adaptar el sistema tradicional Top Down a la tecnología disponible en el país. Este método fue implementado en la construcción del edificio Primera Visión, el cual consta de dieciocho pisos y ocho niveles de sótanos (Allende Arquitectos, 2018).

4.4.2. Definición

El sistema constructivo Top-Down o Arriba-Abajo es un método utilizado en la construcción de edificaciones para la estabilización y sostenimiento de talud. Este método consiste en reforzar el suelo in-situ, a medida que avanza la excavación, mediante la introducción de elementos estructurales de soporte de carga vertical y la construcción de un sistema de contención como pilotes o muros pantalla construidos desde el nivel natural del suelo antes de la excavación.

A diferencia del sistema de construcción tradicional, este método permite la construcción simultánea de la subestructura y de la superestructura del edificio, reduciendo el plazo de ejecución, manteniendo la calidad y sin afectar considerablemente el costo. (Díaz, 2015)

Sus principales aplicaciones son las siguientes:

- Edificaciones de grandes superficies
- Excavaciones profundas con suelos blandos
- Edificaciones con sistemas tradicionales de concreto y acero (viga, placa y columna)
- Rellenos sanitarios
- Líneas de metro (túneles)

4.4.3. Proceso constructivo

El proceso constructivo del sistema Top-Down se muestra en la siguiente figura.

En la primera fase del proceso constructivo, se lleva a cabo la preparación de la plataforma de trabajo. En esta etapa, se realiza la nivelación del terreno, el cual será la base del proyecto. En la segunda fase, se procede a construir los muros pantalla o pilotes perimetrales in situ. El tipo de elemento estructural a construir va a depender de las características del terreno y el de proyecto. Estas estructuras funcionarán como elementos de entibación y soportarán lateralmente la excavación, formarán columnas y paredes perimetrales subterráneas.

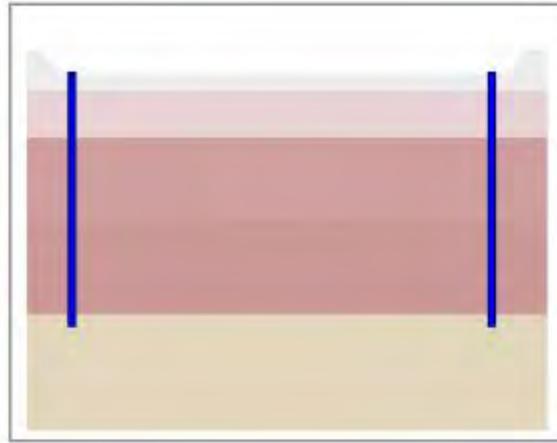


Figura 26. Construcción de estructuras perimetrales. Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C, 2021

Una vez ejecutado la totalidad de estos elementos perimetrales, en la tercera etapa, se procede a instalar los pilotes centrales, los cuales pueden ser de hormigón armado o mixtos, con hormigón armado en las fundaciones y columnas de acero en la altura de los sótanos (Pilotes Terratest Perú, 2021). Es importante que estos elementos centrales se encuentren empotrados en la base debido a que estos formarán parte de la estructura definitiva y serán la base de la construcción.

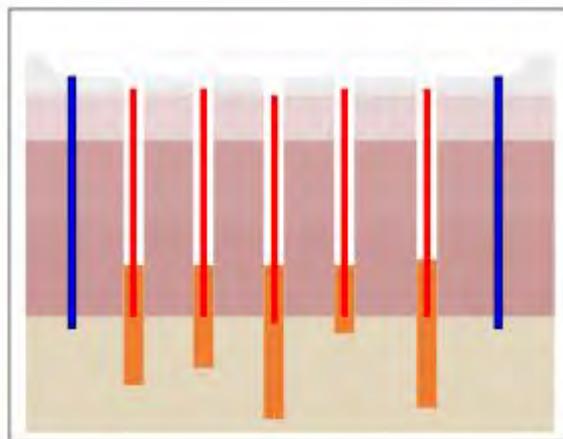


Figura 27. Excavación e instalación de pilotes centrales. Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C, 2021

Posteriormente, en la cuarta fase, se realiza la excavación del primer sótano eliminando el material excedente a través del orificio del acceso superior. Una vez alcanzada la altura y espacio requerido, en la quinta fase, se procede a construir los elementos estructurales

horizontales del primer sótano. La losa de techo y el piso de la planta baja se proyecta sobre los pilotes centrales y los muros perimetrales de manera que estos se encuentren confinados. Es importante proveer orificios de acceso para la eliminación del material de excavación de los niveles inferiores y el suministro de equipos y materiales necesarios para el desarrollo de la obra (González et al. 2016).

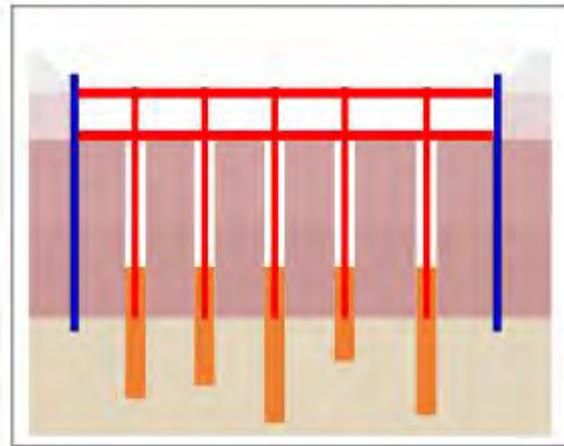


Figura 28. Excavación del primer sótano y construcción de elementos estructurales horizontales.

Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C, 2021

A partir de la ejecución del primer sótano, en las siguientes fases, se van a construir los diferentes niveles de los que consta la obra subterránea hasta llegar al nivel requerido. Si el proyecto cuenta con una estructura superior, ambas construcciones se ejecutan de manera simultánea. Es decir, se ejecutarán los distintos niveles subterráneos con el sistema Top Down y al mismo tiempo, en la parte superficial se podrá comenzar a edificar la edificación con un método tradicional de abajo hacia arriba (Bottom-Up).

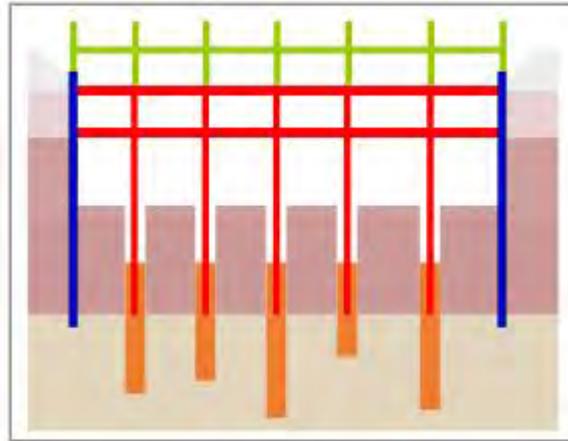


Figura 29. Excavación de los sótanos inferiores y comienzo de la construcción de la superestructura– Down tradicional. Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C, 2021

4.4.4. Ventajas del Sistema Top Down

Las ventajas más destacadas de este método constructivo son las siguientes:

- Permite manejar excavaciones profundas sin causar inestabilidad del terreno.
- Reduce en gran medida el daño a los edificios adyacentes a la construcción que, en gran medida, está asociado con el movimiento del suelo.
- Genera un aumento en el rendimiento del proceso de excavación. Esta técnica permite acelerar los tiempos en la obra hasta en un 30% frente a un sistema tradicional de construcción (Díaz, D. 2015).
- Genera dos direcciones de trabajo, es decir, permite la construcción simultánea de la subestructura, mediante el sistema convencional y la superestructura mediante el sistema moderno Top Down.
- Tiene una aplicación amplia en proyectos inmobiliarios, proyectos de líneas subterráneas, proyectos de centros comerciales, entre otros.
- Proporciona excelencia en el acabado de la construcción.

4.4.5. Desventajas del Sistema Top Down

- Los trabajos confinados es la consecuencia del límite de espacio en los proyectos con esta metodología.
- Exige mayor control en la prevención de riesgos.
- Emisión de gases del terreno y de la maquinaria.
- Incremento en costos de maquinaria.

4.5 Sistemas de Pilas y Pilotes

4.5.1. Origen

Las primeras estructuras flexibles para el sostenimiento de taludes eran las tablestacas de madera. Sin embargo, las propiedades de la madera como la baja resistencia, alta deformabilidad ante la acción del agua, agentes biológicos, entre otros, propuso el remplazo de la madera con el concreto armado. De esta manera, mejoraron las propiedades de las pantallas, pero debido a que raramente se puede recuperar este material fue necesario considerarlo como parte de la estructura definitiva. De ahí, surgió la idea de remplazar el concreto por acero, el cual tiene mayor ventaja con respecto a la resistencia a flexión, bajo peso y mayor velocidad de colocación, pero la oxidación fue su mayor desventaja.

En 1934, se construyeron las primeras pantallas de pilotes secantes o tangentes. Los ingenieros Vender y Marconi descubrieron este procedimiento debido a la necesidad de aprovechar mejor los espacios urbanos con excavaciones profundas cercanas a estructuras existentes y en algunos casos por la presencia del nivel freático cerca de la superficie. (Sunhuesa et al 2008)

4.5.2. Definición

Existe una diferencia entre pilas y pilotes, el cual es el proceso constructivo. La primera se realiza mediante excavación manual y la segunda mediante maquinarias. Este sistema de sostenimiento de tierras sirve como soporte de los empujes horizontales generados por el suelo,

en el cual los tipos de pilas y pilotes de más utilizados son las secantes, tangentes y discontinuas. Debido a que las pantallas son flexibles, es necesario colocar anclajes a distintas profundidades de ser necesario.

Este método de sostenimiento es útil en terrenos urbanos con un espacio de trabajo restringido. Mayormente cada pilote posee un diámetro de 0.6 a 1.5 metros y alcanzan profundidades hasta 50 metros.



Figura 30. Muros pantalla de pilotes (Fuente: Keller, 2020)

4.5.3. Proceso constructivo

- **Construcción de pilotes**

En primer lugar, se realiza la excavación utilizando máquina perforadora por rotación o cuchara bivalva. A medida que se procede con la excavación se sostienen las paredes con camisas metálicas recuperables o agregando lodo bentónico.

Una vez colocada el sostenimiento se introduce la armadura en el orificio; para ello, se sujeta el murete guía.

Finalizada la colocación de la armadura se procede a rellenar el orificio con concreto. Sin embargo, cada forma de sostenimiento del orificio tiene su procedimiento distinto. Por un lado,

la camisa metálica debe ser extraída a medida de introducir el concreto mediante una tubería. Por otro lado, el concreto vaciado hace que el lodo se desplaza por diferencia de densidades. Una vez extraída el lodo, se lleva a plantas desarenadoras y es necesario colocar más concreto del requerido para llenar el pilote debido a que la superficie del concreto del pilote está contaminada por el lodo que causa fallas locales.

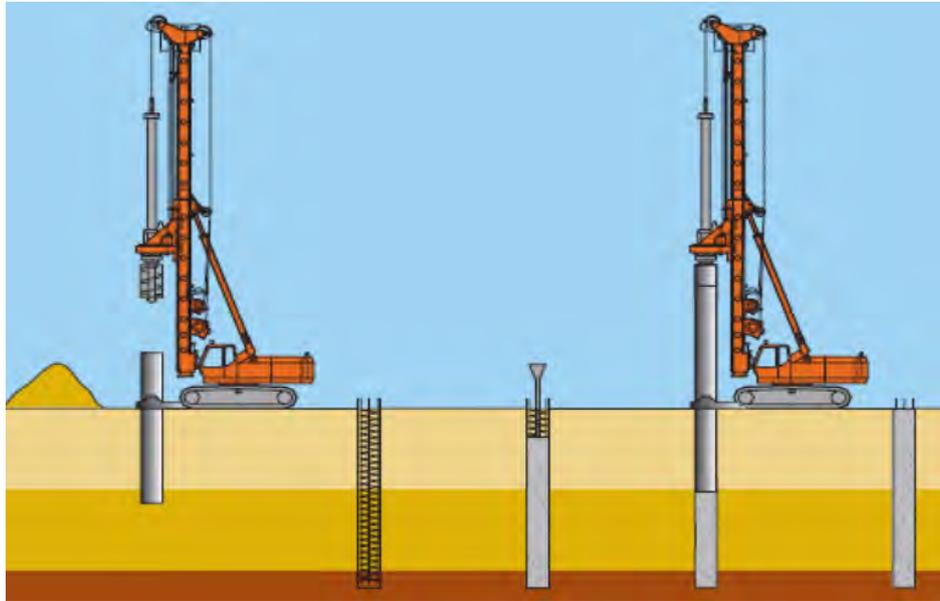


Figura 31. Proceso constructivo con camisa metálica. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001)

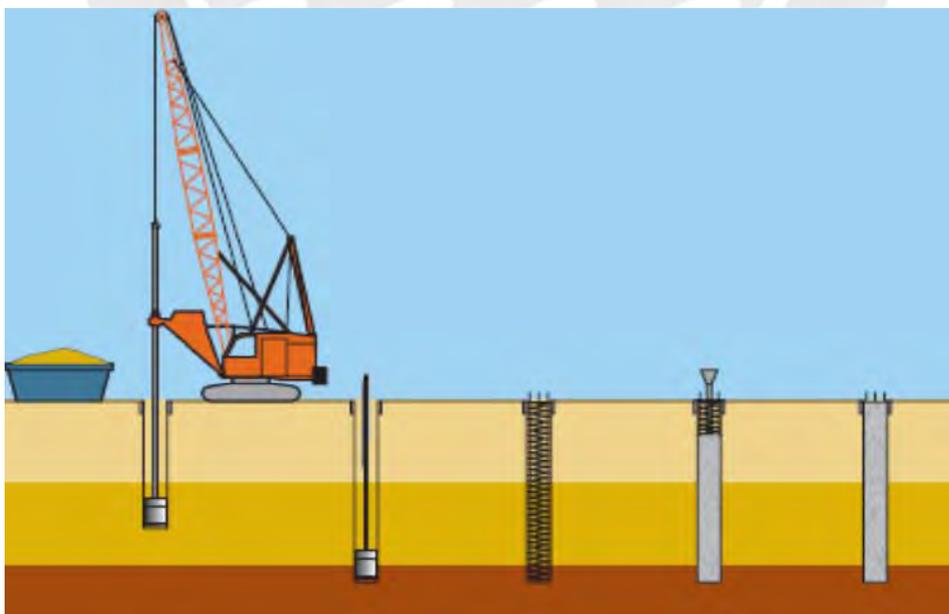


Figura 32. Proceso constructivo pilotes utilizando lodo bentonítico. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001)

Adicionalmente a la utilización de camisa metálica y lodo bentónico, se puede realizar la perforación con una hélice continua. Este procedimiento se realiza cuando el suelo es inestable con tendencia a desmoronamiento de las paredes y orificios perforados.

Este proceso constructivo es utilizado mayormente en pantalla de pilotes discontinuos y tangentes, debido a que la hélice no ejerce gran fuerza en la punta.

La hélice continua perfora en una sola etapa alcanzando el nivel requerido de diseño. Asimismo, esta hélice brinda soporte lateral debido a la geometría. De esta manera, al momento de vaciar el concreto, la hélice se retira lentamente.

El armado de acero se procede a colocar luego de que el pilote este llena de concreto. Para ello, se utiliza maquinas vibratoras de accionado hidráulico y cables auxiliares en la perforadora para permitir un buen ingreso al concreto.

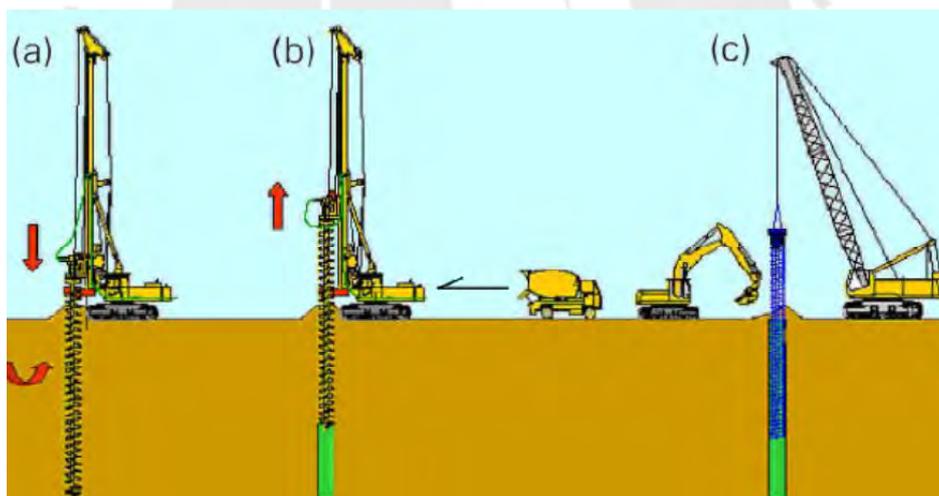


Figura 33. Proceso constructivo utilizando hélice continua. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001)

- **Construcción de pilas**

Se realiza una excavación alternada con una pareja de trabajadores, en el cual, uno procede a excavar con martillo vibrador ubicado en el interior y el otro ubicado fuera de excavación ayudando al retiro de escombros. Cada 3.2 metros de profundidad se instala la entibación de madera en las paredes para evitar el desprendimiento del suelo. Finalmente, se procede con la

instalación de la armadura de la pila (elaborado con anticipación o in situ) y vaciado del concreto. Asimismo, es posible realizar una viga continua de concreto armado como refuerzo a las pilas que no presentan una resistencia adecuada.

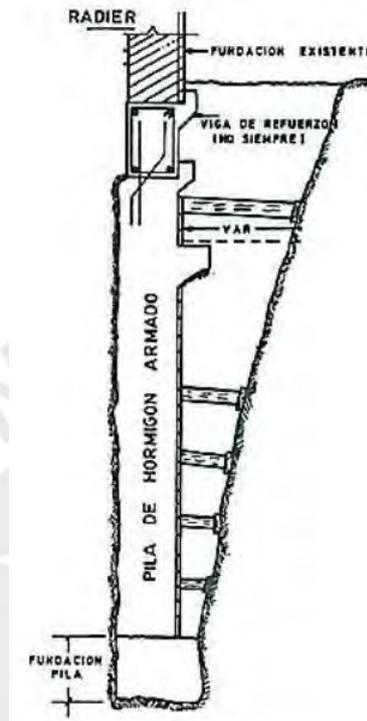


Figura 34. Proceso constructivo de pila de refuerzo. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001)

- **Construcción de pantallas**

Existen tres diferentes formas de pantallas de pilotes, tales como la pantalla de pilotes discontinuos, tangentes y secantes.

Las pantallas de pilotes discontinuos se construyen con una separación y diámetro de acuerdo con el tipo de terreno, los empujes y capacidad a flexión. Este tipo de pantallas se utilizan mayormente en suelo cohesivos de buena calidad si presencia de aguas. En caso de que exista agua se puede diseñar un sistema de recolección de agua en el trasdós de la pantalla y luego ser bombeada hacia afuera para el uso de jardines o aguas grises. Asimismo, si esta pantalla discontinua se construye para un uso permanente, se coloca un pequeño muro de concreto armado o una lechada de mortero delante de los pilotes para garantizar la estabilidad.

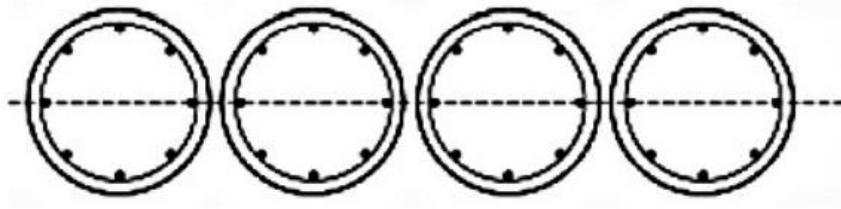


Figura 35. Pantalla de pilotes discontinuos (Fuente: Godavarthi, 2011)

Las pantallas tangentes se construyen después de un muro guía. El cual sirve para disponer la posición de los pilotes a construir. Los pilotes se encuentran ubicados uno a lado del otro repitiéndose el proceso constructivo para la construcción de pilotes hasta completar la pantalla. Este tipo de pantalla se utiliza cuando se ejercen empujes mayores que las pantallas de pilotes discontinuos que no son capaces de asegurar la estabilidad del talud. Sin embargo, no es factible utilizar este método cuando existe presencia de agua, ya que puede aflorar por la línea tangencial generando dificultades dentro de la excavación y estabilidad.

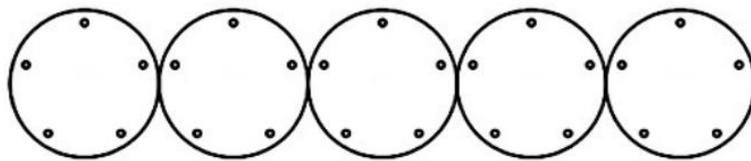


Figura 36. Pantalla de pilotes tangentes. (Fuente: Pilotes Terratest. 2001)

Las pantallas de pilotes secantes son construidas uno sobrepuesto del otro. Esta pantalla tiene pilotes primarios (concreto armado) que resisten esfuerzos y pilotes secundarios (pilotes perforados de concreto simple) que transmiten cargas provenientes del suelo hacia los pilotes primarios. Este tipo de pantallas se utilizan en terrenos duros bajo el nivel freático, donde se tienen empujes elevados. Debido a la superposición de pilotes, se genera estanqueidad que impide el paso del agua.

Durante su proceso constructivo, se tienen cuatro fases. En la primera fase se construyen pilotes secundarios alejados. Seguidamente, en la segunda fase se construyen pilotes secundarios

vecinos. La tercera fase se construye los pilotes primarios iniciales y en la cuarta fase los pilotes primarios faltante.

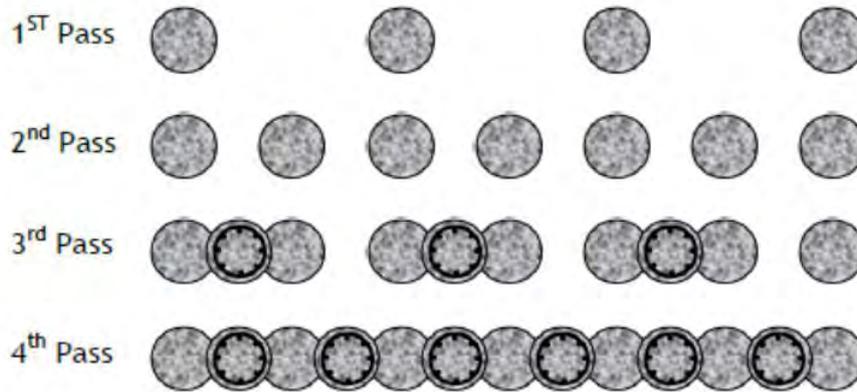


Figura 37. Fases de construcción de pantallas de pilotes secantes. (Fuente: Wharmby, 2010)

Cabe resaltar que la armadura de los pilotes primarios varía de acuerdo con el tipo de suelo. Para pantallas secantes duros/blando y duros/ firme, se utiliza pilotes secundarios de concreto pobre y pilotes primarios con el armado mostrado en la figura 35. Para pantallas secantes duros/duro se utiliza pilotes secundarios con concreto de mayor resistencia pudiendo ser reforzados y el armado de los pilotes primarios se da de acuerdo con la figura 36.

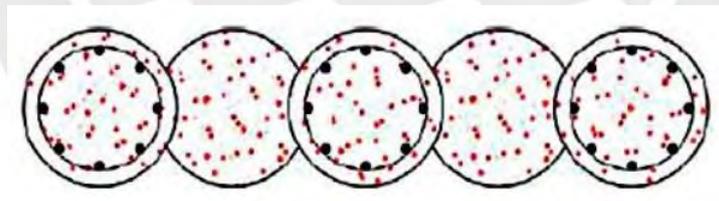


Figura 38. Armado de pilote primarios en pantalla de pilotes secantes duro/blando y duro/firme. (Fuente: Cementation Skanska, 2009)

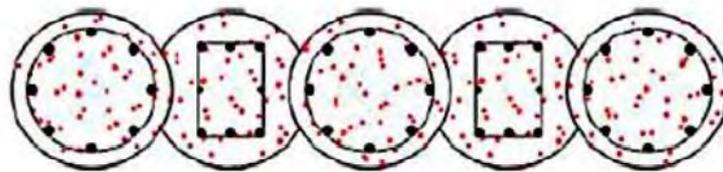


Figura 39. Armado de pilote primarios en pantalla de pilotes secantes duro/duro. (Fuente: Cementation Skanska, 2009)

4.5.4. Ventajas del sistema pilotes

Una de las ventajas más destacadas de este método constructivo es

- Utilizable para todo tipo de suelo, ya que existen varias formas de pantallas de pilotes.
- Ofrece la obstrucción del flujo de agua subterránea cuando se construye una pantalla secante.
- Utilizable en lugares de poca superficie de trabajo, ya que el proceso constructivo no es invasivo.
- Reduce el riesgo a accidentes debido a que las excavaciones se hacen con máquinas perforadoras.

4.5.5. Desventajas del sistema pilotes

- Dependencia de la profundidad de excavación por el tipo de maquinaria utilizada.
- Exige un tiempo para que el concreto se cure para realizar la excavación masiva.
- No es recomendable usar pantallas de pilotes discontinuas y tangentes cuando existe presencia de nivel freático.
- Posible reducción de resistencia cuando no se inyecta correctamente el concreto a los pilotes sostenidos con lodo bentónico.

4.5.6. Ventajas del sistema pilas

Una de las ventajas más destacadas de este método constructivo es

- Reducción de la superficie de trabajo, ya que se trabaja en los linderos de la propiedad.
- Bajo costo monetario debido a su construcción manual.

4.5.7. Desventajas del sistema pilas

- Aumento de riesgo ante accidentes de desmoronamiento e impacto del material sobre el personal dentro de la excavación.
- Dificultad en la excavación manual de la pila.
- Aumento en el tiempo de ejecución.



CAPITULO 5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

5.1 Muro Berlínés

5.1.1. Casino Punta Arenas, Magallanes y la Antártica Chilena, Chile

Casino que se encuentra a escasos metros del borde costero con dos plantas subterráneas, lo cual implicó que se elaborará un diseño especial de agotamiento de napa freática y un sistema de entibación mediante muro berlinés anclado al fondo marino.



Figura 40. Uso del muro Berlínés en el proyecto Casino Punta Arenas

5.1.2. Edificio Las Heras Concepción, Chile

Para la entibación de la excavación de los dos subterráneos del edificio se utilizó la técnica del Muro Berlínés. Este tiene aplicaciones muy variadas, siendo una solución de entibación temporal económica y segura. En este proyecto se utilizó 1917m² de Muro Berlínés, 212 unidades de perfiles vibrohincado y 2882 ml de anclajes temporales (Pilotes terratest)



Figura 41. Proyecto: Edificio Las Heras Concepción

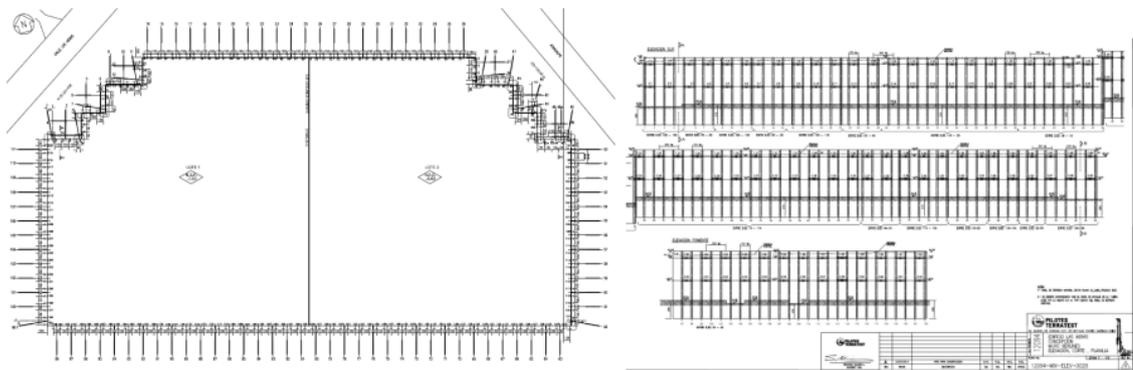


Figura 42. Vista en planta y cortes típico del muro Berlín

5.1.3. Edificio Viana Limache-Chile



Figura 43. Muro Berlínés en el edificio Viana Limache-Chile

5.2 Muros Pantallas

5.2.1. Centro Empresarial Volterra.

El Centro Empresarial Volterra se encuentra ubicado en el distrito de San Isidro, es un edificio que consta de 10 pisos, 570 m² de área y 06 sótanos. El proyecto ha diseñado para sostener la excavación del terreno para la construcción de sótanos por lo cual “utilizó como sistema de entibación la tecnología del Muro Anclado en todo el perímetro de la excavación que consiste en una estructura de contención flexible que implica la construcción de muros por fases” (PilotesTerrates, s/f)



Figura 44. Centro Empresarial Volterra. Pilotes Terrates, s/f.)

5.2.2. Centro Empresarial Derby.

El Centro Empresarial Derby se encuentra ubicado en el distrito de Surco. Es considerado el edificio más profundo del Perú (Profundidad: -37.23 m). Se usó el sistema de muros anclados para la contención de taludes resultantes de la excavación.

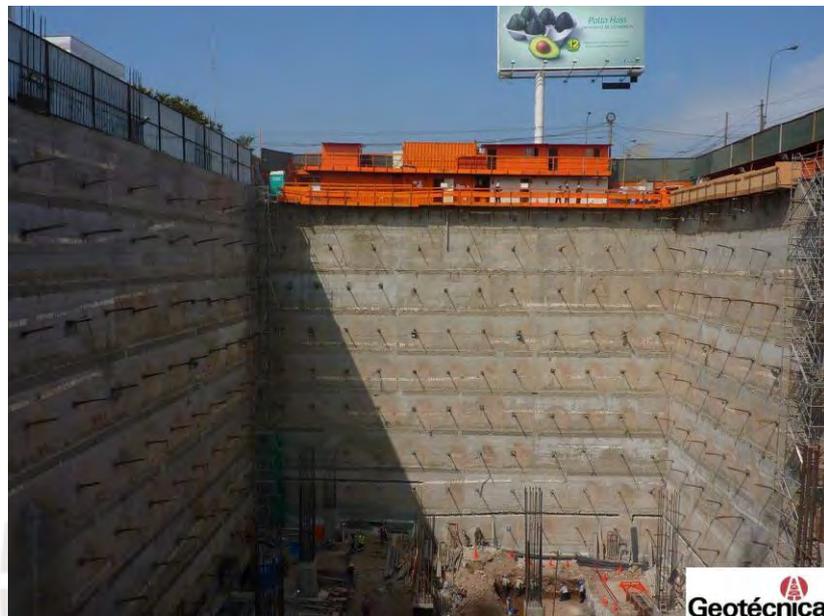


Figura 45. Centro Empresarial Derby. (Geotécnica, s/f.)

5.2.3. Edificio de Oficinas Monte Rosa

El Edificio de Oficinas Monte Rosa se encuentra ubicado en el distrito de Santiago de Surco, Lima – Perú, es un edificio que consta de 3 sótanos, 11 pisos y azotea. Inicialmente, en estructuras “fue aprobada la cimentación con el diseño de calzaduras, pero se tomó la decisión de hacerla con el sistema de Muros Anclados con la empresa Pilotes Terratest del Perú S.A” (Flores, 2019).



Figura 46. Edificio de Oficinas Monte Rosa. (Flores, 2019)

5.3 Soil Nailing

5.3.1. Edificio las Perlas, Reñaca, Villa del Mar, Chile (Perlas & Mar, 1991)

Las normas que se aplicaron en el diseño fueron

- DIN 4084, Recomendaciones Clouterre 1991 y ACI 318-11



Figura 47. Proyecto de Soil Nailing (Terratest, s/f)

Luego se presenta el análisis de la estabilidad del talud

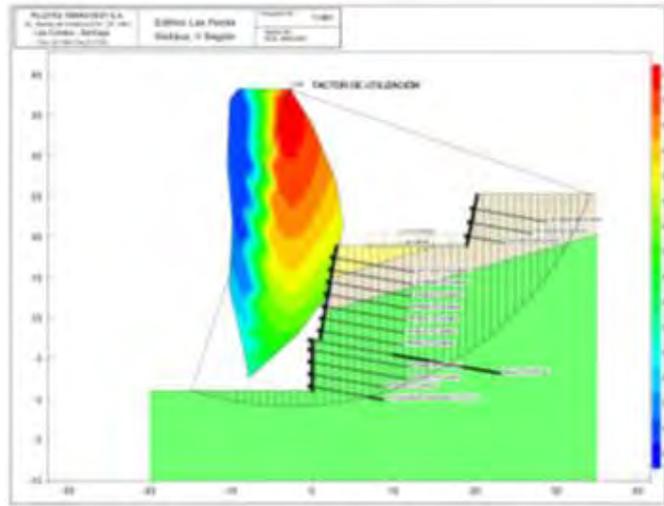


Figura 48. Análisis de estabilidad (Terratest, s/f)

5.3.2. Otros Proyectos



Figura 49. Túnel Santa Rosa Fase II, Perú (Terrajes, s/f)



Figura 50. Hotel Marriot Cusco, Perú (Terratest, s/f)

5.4 Sistema Top-Down

El sistema Top - Down se viene implementando en diversos países. Incluso muchas empresas de ingeniería realizan variaciones a este proceso constructivo. Una de estas empresas es KPPF Consulting Engineers, quienes reemplazaron el proceso de muros pantalla por el uso de tablestacas de acero pesado, los cuales permanecen como las paredes perimétricas de los sótanos. Además, Skyline Steel, proveedor y fabricante de cimientos de acero, presentó una nueva alternativa donde se reemplaza los pilotes de concreto por columnas metálicas llamados “Stanchions”. Esta propuesta permite utilizar de manera productiva el espacio y reducir riesgos de desmoronamientos y deslizamientos (Diaz, 2015).

En los diferentes países del mundo como Australia, China, Rusia, México, Chile y otros se está implementado con mayor frecuencia el sistema de construcción Top Down. Este sistema moderno se viene aplicando como solución a múltiples desafíos relacionados al costo y plazo de ejecución en proyectos inmobiliarios, en proyectos de líneas subterráneos y en la construcción de centros comerciales entre otros. Air Taylor Consulting desarrolló ampliamente la técnica de construcción Top Down. La empresa ha participado del diseño y construcción de proyectos de gran envergadura, como el lujoso Hotel Hilton en la Costa de Oro, la Plaza Indo China y la torre de Shanghái, la construcción de la estructura del Centro de teatro de Australia occidental, el túnel de servicio que une el Hotel Duxton y la Sala de Conciertos de Perth (Air Taylor Consulting, 2018)

En el Perú, COSAPI, una empresa constructora, logró adaptar el sistema tradicional Top – Down a la tecnología disponible en el país. Esta técnica moderna se implementó en la construcción de proyectos donde se requería edificar varios niveles de sótanos y niveles superiores en un plazo de ejecución limitado.

En el 2016, COSAPI en cooperación con Estudio Allende Arquitectos de España, Coagite Ingenieros Consultores, SLP de España, Prisma Ingenieros (Perú) y Pilotes Terratest

construyeron el Edificio Primera Visión con el sistema Top - Down. Este moderno edificio cuenta con diecinueve pisos y ocho niveles de sótanos con un área construida de 27'452.12 metros cuadrados. Este se encuentra ubicado en la esquina de las avenidas Juan de Aliaga y Félix Dibos, en el distrito de Magdalena del Mar, en Lima.

Para la construcción de este edificio se realizaron zanjas de casi 28 metros de profundidad donde se construyeron las paredes perimetrales de los sótanos; para ello, se utilizaron estructuras metálicas con concreto armado. En el área central, para la cimentación se instalaron pilotes de concreto armado de más de 32 metros, los cuales serían parte de la estructura del edificio. Posteriormente, se realizaron excavaciones para la construcción de los elementos horizontales del primer sótano, repitiéndose este proceso en cada nivel de sótano, de manera simultánea, se empieza la construcción del primer nivel superior. (COSAPI, 2018)

Este sistema moderno no solo se utilizó en la construcción de edificios, sino también se aplicó para el caso de proyectos de construcción de líneas subterráneas. Pilotes Terratest, incorporó este sistema constructivo moderno en la ejecución de proyecto “Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la red básica del Metro de Lima y Callao”. En la construcción de este proyecto se ejecutaron cuatro soluciones relacionadas a cimentaciones especiales: muros pantalla, pilotes, pilas-pilote y prueba de carga con Celda de Osterberg (Pilotes Terratest, 2020)

5.5 Pantalla de pilas y pilotes

Debido a la similitud de los suelos de Lima y Santiago de Chile, se describirá detalles constructivos de tres proyectos que se aplicaron este sistema de contención. Para ello dividiremos en los siguientes proyectos de aplicación (S:

5.5.1. Pasos a desnivel (By-pass)

El by-pass es el cruce de dos o más ejes de transportes a diferentes alturas, este sistema se realiza con la intención de no interrumpir el tráfico. Para este tipo de proyecto, se detalla los

requerimientos técnicos típicos de los by-pass de Chile. Estos se elaboran con pilotes dispuestos cada 3.5m en la zona libre y cada 3m en la zona de cruce con la vía principal. Estos pilotes cumplen la función de contención del terreno y sustentación de cargas.

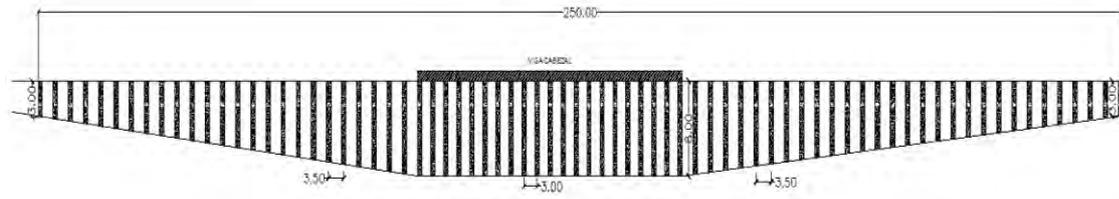


Figura 51. Esquema de procedimiento constructivo de by-pass mediante muros de pilotes. (Fuente: Sulzer)

Aproximadamente, el tiempo de ejecución de una pantalla discontinua de pilotes de 30 m de ancho es de 11 días hábiles para la ejecución de los by-pass.

5.5.2. Líneas y estaciones subterráneas de metro

Mayormente los pozos de inspección en tramos intermedios para el ingreso y salida de máquinas tuneladoras o para retiro de material de voladura y excavación son ejecutadas mediante pantallas de pilas y pilotes. Esto debido a que se requiere de poco espacio para su ejecución; de esta manera, no afecta al flujo de tránsito y deformaciones en el terreno que perjudiquen a las viviendas aledañas,

La aplicación más común de este sistema es el adiconamiento de anclajes. Este es el caso de la estación Bellas Artes en la extensión de la línea 5 del metro de Santiago, Para ello, los pilotes fueron de 17 a 21 m de longitud distribuidos cada 2 m y 3 filas de refuerzo mediante anclajes postensadas hasta 100 Ton. La distribución se observa en la siguiente imagen:

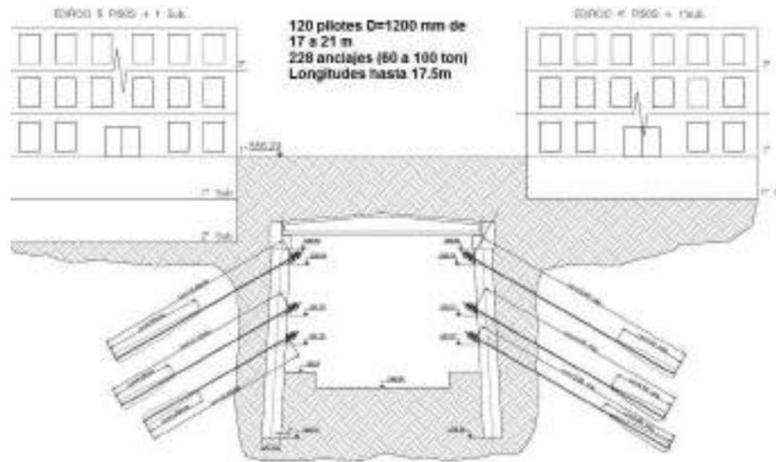


Figura 52. Pilotes anclados en la estación Bellas Artes – línea 5 del metro de Santiago. (Fuente: Sulzer)

5.5.3. Estacionamientos Subterráneos:

Actualmente, uno de los métodos de sostenimiento de taludes en edificaciones en Perú es el muro anclado. Sin embargo, la pantalla de pilas y pilotes también es una forma de solución para la construcción de sótanos. Así como en el muro pantalla, las vigas y losas son colocadas después de llegar a la profundidad requerida y brindar el arrioste horizontal. Asimismo, este muro de pilotes también puede ser anclado.

CAPITULO 6. COMPARACIÓN ECONOMICA

6.1 Muro Berlínés

Para ejecutar un muro berlinés se necesita los siguientes materiales: perfiles de acero, tablonés de madera y anclajes. A continuación, se realizará el costo de la ejecución del muro Berlínés considerando un área de excavación de 2.5m³, el cual es de 2.5mx1m con 1m de profundidad.

Tabla 2. Costo del acero A36 por Kg

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
1 Materiales					
mt07ala000aa	kg	Acero laminado A 36, en perfiles laminados en caliente, según ASTM A 36, piezas simples, para aplicaciones estructurales, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar en obra.	1,000	2,54	2,54
Subtotal materiales:					2,54
2 Mano de obra					
mo047	h	Operario en estructura metálica.	0,015	22,56	0,34
mo094	h	Oficial en estructura metálica.	0,015	15,62	0,23
Subtotal mano de obra:					0,57
3 Herramientas					
	%	Herramientas	2,000	3,11	0,06
Coste de mantenimiento decenal: S/. 0,10 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		3,17

Tabla 3. Costo de ejecución del muro Berlínés espaciado cada 2.5m

Muro Berlínés espaciados cada 2.5m				
	Unidad	Metrado	Precio Unitario	Parcial
Excavación masiva	m3	41.18	2.5	102.95
Perfil de acero H	Kg	2400	2.15	5160
Tablonés de madera clase 4 de 7cm de espesor	p2	26.9	27.85	749.165
Hincado del perfil-perforadora sobre orugas				106.78
TOTAL				6118.895

Según las investigaciones realizadas se tiene que el costo del instalado y ejecución de un muro Berlínés de 2.5m de largo con un metro de profundidad es de 6 119 soles.

6.2 Muros Pantalla

Para poder obtener el costo por profundidad de los muros pantalla se cuenta con el análisis de los precios unitarios de las partidas importantes. A partir de esto, considerando un muro pantalla de 1 metro de profundidad se obtiene el costo por profundidad.

Partida	05.07.01	MUROS PANTALLA CONCRETO F'C= 280 KG/CM2				Rend:	56.0000 m3/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio		Parcial
Mano de Obra							
47 00006	CAPATAZ	HH	0.100	0.0143	16.000		0.23
47 00007	OPERARIO	HH	1.000	0.1429	21.920		3.13
47 00008	OFICIAL	HH	3.000	0.4286	17.570		7.53
47 00009	PEON	HH	4.000	0.5714	15.840		9.05
							19.94
Materiales							
00 09138	ADITIVO CURADOR	kg		0.1000	3.000		0.30
00 09137	CONCRETO PRE MEZCLADO f _c =280 Kg/cm ² CEM. TIPO 1P	m ³		1.0500	301.500		316.58
							316.88
Equipo							
00 09140	BOMBA PARA CONCRETO	hm	1.050	0.1500	200.000		30.00
00 09139	VIBRADORA DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	2.000	0.2857	12.000		3.43
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		10.0000	19.940		1.99
							35.42
Costo Unitario por m³ :							372.24

Figura 53. Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuana, M, 2019)

Partida	05.07.02	MAYOR VOLUMEN DE CONCRETO F'C=280 KG/CM2 POR PERFILADO IRREGULAR				Rend:	56.0000 m3/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio		Parcial
Mano de Obra							
47 00006	CAPATAZ	HH	0.100	0.0143	16.000		0.23
47 00007	OPERARIO	HH	1.000	0.1429	21.920		3.13
47 00008	OFICIAL	HH	3.000	0.4286	17.570		7.53
47 00009	PEON	HH	4.000	0.5714	15.840		9.05
							19.94
Materiales							
00 09138	ADITIVO CURADOR	kg		0.1000	3.000		0.30
00 09137	CONCRETO PRE MEZCLADO f _c =280 Kg/cm ² CEM. TIPO 1P	m ³		1.0500	301.500		316.58
							316.88
Equipo							
00 09140	BOMBA PARA CONCRETO	hm	1.050	0.1500	200.000		30.00
00 09139	VIBRADORA DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	2.000	0.2857	12.000		3.43
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		10.0000	19.940		1.99
							35.42
Costo Unitario por m³ :							372.24

Figura 54. Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuana, M, 2019).

Partida	05.07.03	MURO PANTALLA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO				Rend:	11.0000 m ² /DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio		Parcial
Mano de Obra							
47 00006	CAPATAZ	HH	0.050	0.0364	16.000		0.58
47 00007	OPERARIO	HH	1.000	0.7273	21.920		15.94
47 00008	OFICIAL	HH	1.000	0.7273	17.570		12.78
							29.30
Materiales							
00 09141	DESMOLDANTE	gln		0.1200	28.200		3.38
00 09142	ENCOFRADO METALICO	m ²		1.0000	7.000		7.00
02 00092	CLAVOS CON CABEZA PROMEDIO	KG		0.0500	3.400		0.17
43 00020	MADERA TORNILLO	P2		0.2500	4.000		1.00
							11.55
Equipo							
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	29.300		1.47
							1.47
Costo Unitario por m² :							42.32

Figura 55. Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuana, M, 2019).

Partida	05.07.04 MURO PANTALLA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO (TAPAS)				Rend:	14 0000 m ² /DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
47 00006	CAPATAZ	HH	0.100	0.0571	16.000	0.91
47 00007	OPERARIO	HH	1.000	0.5714	21.920	12.53
47 00008	OFICIAL	HH	1.000	0.5714	17.570	10.04
						23.48
Materiales						
02 00117	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 8	KG		0.1000	3.400	0.34
02 00092	CLAVOS CON CABEZA PROMEDIO	KG		0.2000	3.400	0.68
43 00020	MADERA TORNILLO	P2		3.5000	4.000	14.00
						15.02
Equipo						
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	23.480	0.70
						0.70
Costo Unitario por m² :						39.20

Figura 56. Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019).

Partida	05.07.05 MURO PANTALLA ACERO fy=4200 Kg/cm ²				Rend:	200.0000 kg/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
47 00006	CAPATAZ	HH	0.100	0.0040	16.000	0.06
47 00007	OPERARIO	HH	1.000	0.0400	21.920	0.88
47 00008	OFICIAL	HH	1.000	0.0400	17.570	0.70
						1.64
Materiales						
00 09143	ACERO CORRUGADO FY=4,200 Kg/cm ² GRADO 60	kg		1.1000	2.300	2.53
02 00123	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 16	KG		0.0400	3.400	0.14
						2.67
Equipo						
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.640	0.08
						0.08
Costo Unitario por kg :						4.39

Figura 57. Análisis de costos unitarios de muro pantalla. (Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019).

Descripción	Unidad	Precio unitario	Metrado	Parcial S/
MUROS PANTALLA CONCRETO F'C= 280 KG/CM2	m3	372.24	9.72	3618.33
MAYOR VOLUMEN DE CONCRETO F'C=280 KG/CM2 POR PERFILADO IRREGULAR	m3	372.24	1.94	723.67
MURO PANTALLA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	42.32	32.40	1371.23
MURO PANTALLA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO (TAPAS)	m2	39.2	4.22	165.36
MURO PANTALLA ACERO fy =4200 Kg/cm ²	kg	4.39	293.97	1290.54
				7169.13

Figura 58. Precio del muro pantalla por metro de profundidad. Elaboración propia.

6.3 Soil Nailing

En cuanto a los precios y a los plazos del sistema Soil Nailing se tienen de acuerdo a la investigación “Evaluación Técnica y Económica Entre Sistemas de Sostenimientos de Excavaciones Abiertas en Suelos” (Riveros, 2008).

Para el caso de los plazos de construcción en días efectivos (sin contar sábados y domingos) se tiene, para diferentes alturas y diferentes ubicaciones:

Tabla 4. Días de ejecución de Soil Nailing de acuerdo con la altura y ciudad” (Riveros, 2008).

Altura (m)	Santiago	Punta Arenas	La Serena	Viña del Mar	Concepción
3	43	44	44	44	44
6	98	146	128	128	128
9	143	271	239	239	248

Esta tabla puede dar una idea en general del plazo de ejecución, con respecto a los precios depende de la ubicación y de la zona en la que se encuentra

En el caso del costo del Soil Nailing dependerá mayormente de la calidad del suelo en la que se realiza la excavación. En este caso se presentan los costos dependientes de la cohesión y el ángulo de fricción del suelo para Soil Nailing.

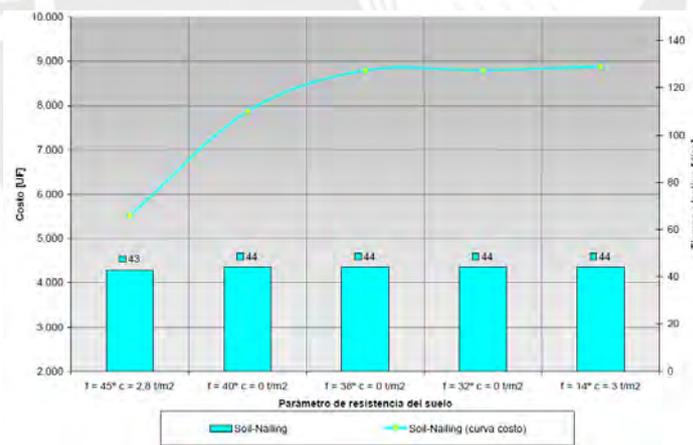


Figura 59. Costos de construcción y tiempo de ejecución de Soil Nailing, H = 3m (Riveros, 2008).

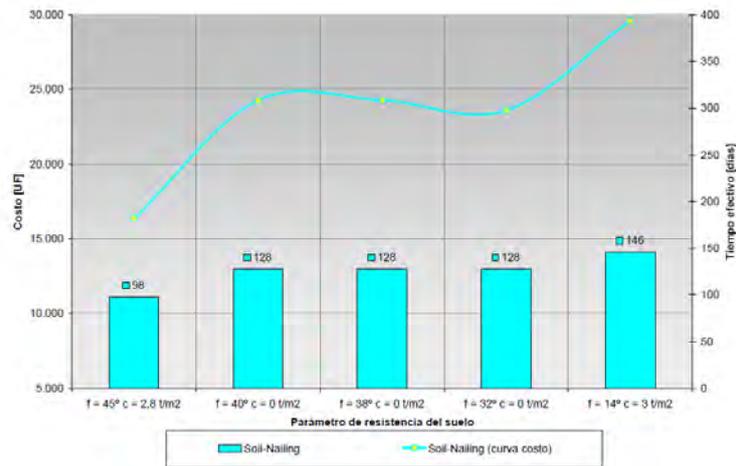


Figura 60. Costos de construcción y tiempo de ejecución de Soil Nailing, H = 6m (Riveros, 2008).

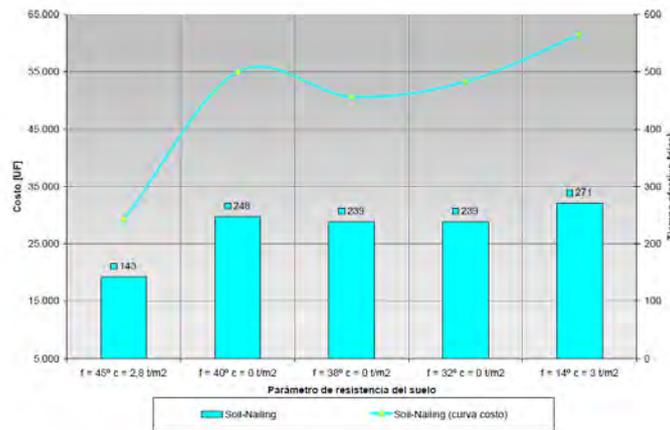


Figura 61. Costos de construcción y tiempo de ejecución de Soil Nailing, H = 9m (Riveros, 2008).

6.4 Sistema Top Down

Los beneficios de la implementación del sistema Top Down en los proyectos de construcción se relacionan a los ahorros en los costos y tiempos que ofrece. Para analizar los costos que implican la construcción mediante este método se presentarán datos y estadísticas de diferentes proyectos.

Por un lado, uno de los proyectos de líneas subterráneas en la cual se implementó este sistema fue en la construcción de las estaciones de la Línea 2 del Metro de Lima. De acuerdo con la información obtenida del análisis de costo realizado por Chiri, L (2021), se detalla los resultados

obtenidos en la construcción de la estación E-23 Hermilio Valdizán de la Línea 2 mediante el sistema Top Down y el método tradicional.

Tabla 5. Presupuesto de construcción de la E-23 mediante el sistema Top Down y el método tradicional (Fuente: Chiri et al. 2021)

ITEMS	DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)		
		TOP DOWN	BOTTOM UP	DIFERENCIA
ESTACIÓN E23 - HERMILIO VALDIZAN				
01	Movimiento de Tierras y Eliminación	3,687,431.15	3,082,320.43	605,110.72
02	Encofrado	250,533.13	185,642.65	64,890.48
03	Acero de refuerzo	3,586,566.81	3,208,431.35	378,135.46
04	Concreto	2,377,313.90	2,284,583.98	92,729.92
05	Anclaje	149,451.51	115,915.72	33,535.79
06	Otros	425,608.92	199,740.06	225,868.86
	TOTAL	10,476,905.42	9,076,634.19	1,400,271.23

En la tabla anterior, se observa que el costo total de construcción utilizado el sistema Top Down es mayor en un 15% con respecto al método tradicional. Esta afirmación puede llevar a pensar que este método no es económicamente viable, sin embargo, esta diferencia en el presupuesto se compensa con los gastos ahorrados debido a la reducción de plazo a raíz de la implementación del proceso constructivo Top Down, el cual permite una construcción en dos direcciones.

Por otro lado, se realizará el análisis de costos en proyectos inmobiliarios que se han construido mediante este sistema. Díaz (2015) realizó un estudio de análisis de costos del proyecto Edificio Real 2, ubicado en el distrito de San Isidro en el departamento de Lima. En este estudio se realiza una comparación de presupuesto en la construcción del edificio mediante el método tradicional y el sistema Top Down.

Tabla 6. Presupuesto de construcción del Edificio Real 2 mediante el sistema Top Down y el método tradicional (Fuente: Díaz, D. 2015).

Item	Descripción	Tradicional	Up Down	Diferencia	Diferencia
		Parcial (S/.)	Parcial (S/.)	(S/.)	%
1.0	Obras Provisionales y Servicios	6,481,853.05	6,009,161.78	-472,691.27	-7.29%
2.0	Estructuras	17,368,178.97	21,492,553.47	4,124,374.50	23.75%
3.0	Arquitectura - Acabados	7,042,212.02	7,042,212.02	-	-
4.0	Arquitectura - Muro cortina	5,588,712.00	5,588,712.00	-	-
5.0	Instalaciones Eléctricas	2,425,953.24	2,425,953.24	-	-
6.0	Instalaciones Sanitarias	1,118,375.00	1,118,375.00	-	-
7.0	Equipamiento	11,053,580.58	11,053,580.58	-	-
	Costo Directo	51,078,864.86	54,730,548.09	3,651,683.23	7.15%
	Gastos Generales	6,085,819.29	5,703,779.38	-382,039.91	-6.28%
	Utilidad	4,970,842.10	5,255,158.91	284,316.81	5.72%
	Subtotal (Sin IGV)	62,135,526.25	65,689,486.38	3,553,960.13	5.72%

Analizando los costos, se aprecia que el costo directo de la partida de estructuras utilizando Top Down es mayor en un 23.75% respecto al sistema tradicional. Sin embargo, se tiene un porcentaje menor de -7.29 % la diferencia de costos directos de obras provisionales. Este valor puede estar atribuido principalmente a la reducción de plazos de ejecución del del proyecto. (Díaz, D. 2015).

En general, se tiene un porcentaje de 5.72% equivalente a S/. 3'553,960.13 adicionales utilizando el método Top Down. Al igual que el proyecto anterior, este valor adicional podría representar que el método constructivo Top Down no tiene ventajas económicas en comparación al sistema tradicional. Sin embargo, este sistema reduce el plazo de ejecución de una edificación. Para este caso de estudio, se tiene que la implementación de este método tiene una disminución del plazo de 22.7 %, lo cual equivale a una reducción de 5 meses de trabajo. (Díaz, D. 2015).

6.5 Pantalla de pilas y pilotes

Para estimar el costo por profundidad de un muro pantalla de pilas y pilotes, se evalúa en un muro con pila discontinuas. Para ello, asumimos una pantalla forma cuadrada de 0.8 metros de largo con pila de 12 metros de largo. Estas se encuentran distanciadas cada 3.5 metros; de esta manera, se dispone un total de 40 pilas.

Finalmente, se tiene el siguiente análisis de costo considerando la maquinaria mano de obra requerida y equipamiento como se muestra en la tabla N°7.

Tabla 7. Costos para pantalla de pilas discontinuas. (Fuente: Gesche, 2016)

Pilas discontinuas					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/)	Total (S/)
1	Ejecución pantalla de pilas				
1.1	Perforación o Excavación	m	400	1.498	599.2
1.2	Uso madera entibación	m	320	1.419	454.08
1.3	Armadura pila	kg	43142	0.024	1035.408
1.4	Bombeo de concreto	m3	256	11.508	2946.048
1.5	Concreto vaciado in-situ	m3	256	2.011	514.816
1.6	Concreto lanzado de protección de pilas	m2	1092	0.05	54.6
2	Anclaje				
2.1	Anclajes 12m	m	480	2.113	1014.24
3	Excavación masiva				
3.1	Excavación	m3	9600	0.197	1891.2
					8509.592

Según datos de investigaciones y datos proporcionados por expertos en la construcción, se puede estimar la duración para desarrollar las etapas de los procesos constructivos más comunes de pantalla de pilas o pilote, el cual se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 8. Plazo para la elaboración de pantallas de pilas y pilotes. (Fuente: Gesche, 2016)

Operación	Tiempo (días)
Excavación masiva	19.2
Ejecución de pilas	21
Ejecución anclajes	10

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

La técnica del Muro de Berlín es muy versátil y se puede aplicar a diferentes proyectos. sus ventajas se encuentran en la economía, la adaptabilidad a las condiciones del proyecto, la facilidad de instalación y la reutilización de perfiles metálicos. El éxito de estos muros depende en gran medida de la calidad del diseño geotécnico y del cuidado que se tenga en el seguimiento del proceso constructivo.

El muro Pantalla es uno de los sistemas más usados en edificios con varios sótanos. Brinda ventajas en ahorro de costos y tiempo de construcción. Asimismo, es una tecnología que puede llegar a cumplir otras funciones como impermeabilizar los paramentos de una excavación y soportar cargas verticales que les pueden transmitir otros elementos estructurales.

Es importante que en los muros anclados se tome en cuenta el proceso constructivo adecuado y planificarlo adecuadamente. Esto debido a que si se busca que el proceso sea secuencial y sin discontinuidades se debe considerar el tiempo de fragua del concreto y el tiempo que le toma a los anclajes para que alcancen la resistencia para ser tensado.

El muro de pantallas de pilas y pilotes es útil al realizar excavaciones masivas en espacios reducidos. Esto se debe a que solo se requiere realizar los pilotes antes de la excavación, ya sea manual o con maquinarias. Por ello, es muy recomendado en proyectos de movilidad urbana, tales como el sostenimiento de taludes para by-pass, pozos de inspección en túneles, etc. De esta manera, no se ve perjudicada el flujo de automóviles y peatonal.

La presencia del nivel freático influye en el sistema de sostenimiento a utilizar. De esta manera, el muro pantalla, pantalla de pilas y pilotes de tipo secante secantes y tangentes se pueden utilizar en presencia de agua; sin embargo, el muro berlines, muro Soil Nailing y pantallas de pilas y pilotes de tipo discontinua no es recomendado.

La implementación del sistema Top Down en la mayoría de los proyectos genera costos adicionales al presupuesto establecido con el sistema tradicional. Esto, en términos económicos, podría significar que este método no es una opción conveniente. Sin embargo, este sistema constructivo permite reducir considerablemente los plazos de ejecución debido a que se logra independizar la construcción de la subestructura y la superestructura. La disminución en los plazos se traduce en ahorros de costos de los recursos de mano de obra y equipos.

La aplicación del sistema Top Down en proyectos es limitado en el país debido a la falta de implementación de nuevas tecnologías. Es importante desarrollar este moderno sistema constructivo porque ofrece ventajas de tiempo y costo respecto a un sistema tradicional de construcción.

El tipo de suelo influye en la elección de sistema de sostenimiento. La pantalla de pilas y pilotes es aplicable a cualquier tipo de sostenimiento, mientras que el muro berlines y el muro pantalla son aplicables en arenas o suelos finos.

De acuerdo con el análisis de costos, se puede concluir que en un metro cubico de excavación realizada, el sistema de sostenimiento más económico es el muro Soil Nailing, mientras que el más costoso es el sistema Top-Down.

No existe una única solución para la elección de un sistema de sostenimiento, ya que este es muy dependiente de las condiciones de suelo, el tipo de proyecto a emplear y el presupuesto requerido. Por ello, las decisiones son en gran medida al análisis de estos tres factores.

CAPITULO 8. RECOMENDACIONES

Se realiza un listado de opciones de elección de sistema de sostenimiento de terrenos para distintos casos.

8.1 Muro Berlínés

- ✓ Se utiliza en excavaciones de cierta importancia que se encuentran entre tres a ocho metros de profundidad con terrenos poco estables.
- ✓ Se puede hacer uso de este sistema en zonas urbanas donde se prohíbe producir o causar ruidos, puesto que la colocación de los perfiles metálicos se realiza después de que se haya ejecutado las perforaciones. Esto disminuye las molestias por ruidos y vibraciones en zonas urbanas.
- ✓ Es una solución de entibación temporal económica y muy segura para obras de pequeña y mediana extensión en suelos de arenas o finos.
- ✓ Son muros permeables, por lo que no se suele utilizar esta entibación por debajo de la Napa freática a menos que se use un sistema de bombeo en su proceso constructivo.
- ✓ Método utilizado en el sostenimiento de excavaciones para obras viales tales como la instalación de alcantarillados, tendidos de tuberías, conductos de electricidad y acueductos de gas.

8.2 Muro pantalla

- ✓ Este tipo de sistema se puede utilizar en zonas con presencia de napa freática alta. La construcción de este muro genera estanqueidad, por lo que impide el paso del agua.
- ✓ Sistema de contención profundo muy utilizada en edificios de altura que se emplea en determinadas circunstancias como un suelo poco estable y nivel freático alto.

- ✓ Se utiliza para el sostenimiento de suelos arcillosos, limosos, arena y suelos con presencia de rocas y bolones.
- ✓ Permite la construcción de una gran cantidad de subterráneos, pues la construcción de estos muros puede llegar hasta una profundidad de 40 metros.
- ✓ Este sistema es utilizado en los siguientes casos:
 - Sótanos de edificios
 - Aparcamientos subterráneos
 - En obras que se encuentran amenazadas por la erosión del agua
 - Obras de canalización para la regularización de los cauces de los ríos
 - Construcción de líneas subterráneas, túneles y en sostenimiento del suelo en grandes excavaciones en centros urbanos
 - Construcción de muelles
 - En obras industriales como la construcción de pozos, silos subterráneos.

8.3 Soil nailing

- ✓ Se utiliza en el sostenimiento de suelos finos y granulares, pero con nivel freático alto.
- ✓ Se utiliza en suelos finos de alta consistencia, en suelos granulares densos y roca meteorizada sin planos de debilidad.
- ✓ En lugares de difícil acceso pues únicamente se necesita un equipo liviano para colocar las inclusiones y un equipo simple de lanzado e inyección de lechada.
- ✓ Se alcanza profundidades altas con este sistema si los anillos se desarrollan de forma correcta

- ✓ Este tipo de sistema se utiliza en los siguientes casos:
 - Estructuras de contención como emboquilles de túneles
 - En cortes verticales de suelos
 - En la reparación y construcción de estructuras existentes como muros de mampostería, muros anclados y muros de tierra armada.
 - En el sostenimiento de taludes potencialmente inestables, taludes en roca y terreno suelto

8.4 Sistema Top-Down

- ✓ Se utiliza cuando el plazo de ejecución de obra es corto, puesto que este sistema permite que la construcción de la superestructura pueda comenzar casi en simultáneo con la construcción de la subestructura.
- ✓ Si se tiene disponible una alta cantidad de personal obrero, staff, obras y servicios provisionales necesarios se puede utilizar este sistema puesto que se tiene dos frentes de trabajo.
- ✓ Este sistema se utiliza en los siguientes casos:
 - Rellenos sanitarios
 - Líneas de metro
 - Excavaciones profundas con suelos blandos
 - Edificaciones de grandes extensiones

8.5 Sistema de Pilas y Pilotes

- ✓ Debido a la existencia de varias formas de pantalla de pilotes se utiliza para todo tipo de suelo.
- ✓ Cuando las obras se realizan en linderos de la propiedad y se desea reducir la superficie de trabajo se utiliza una pantalla de pilas, puesto que este tipo de sistema permite operar en áreas de espacio restringido minimizando las instalaciones.
- ✓ Sistema que se utiliza en excavaciones profundas que se encuentran cerca de edificios colindantes, así como en la estabilización y contención de taludes.
- ✓ Útil en la construcción de una gran variedad de proyectos de infraestructura como túneles, carreteras, puentes, así como la protección contra inundaciones.
- ✓ Si se tiene un terreno con presencia de nivel freático alto se utiliza el sistema de pilotes secantes pues tiene la propiedad de estanqueidad, no permite el flujo de agua.
- ✓ Este tipo de sistema se utiliza en los siguientes casos:
 - Paredes de estribos para puentes
 - Sistema de protección de taludes
 - Sistema de contención para la excavación de cimientos, túneles y pozos de gran diámetro.

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA

Airey Taylor Consulting (2016). Top-Down Construction. <https://atconsulting.com.au/top-down-construction/>

Alarcón, M 2011 Efecto de la variación de las propiedades geotécnicas del suelo en el diseño de un muro berlinés. Tesis para optar al título académico de Ingeniero Civil. Concepción, Chile. Universidad Católica de la Santísima Concepción. pp 11 – 13. <http://www.civil.ucsc.cl/investigacion/memorias/2011MarioAlarcon.pdf>

Allende Arquitectos (2018). Edificio Primera visión, primer Top Down en edificaciones en Perú. <http://www.allendearquitectos.com/noticias/?p=4559>

Alvarado H, 2019. Evaluación de muros pantalla y calzaduras para el control de la estabilidad de excavaciones profundas en la ciudad de Puno. Universidad Andina Nestor Caceres. Consulta: 26 de octubre de 2021. Enlace electrónico: http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/4231/T036_70286609_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Airey Taylor Consulting. (S/f). Top-Down Construction N2. Consulta: 16 de noviembre de 2021. <https://atconsulting.com.au/wp-content/uploads/2014/08/Top-Down-Construction-Sequence-2.pdf>

Cementation Skanska. 2009. Bored Pile Retaining Walls. Revision 7. [descargado] Catálogo Cementation Skanska.

Chiri Reyes, L. A., Mendoza Carreño, P., & Poma Ancasí, E. (2019). Aplicación de la metodología Top Down en la construcción de estaciones de metro. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625560/ChiriR_L.pdf?sequence=13&isAllowed=y

COSAPI. (2018). Cuadrilla Revista Informativa De COSAPI. Consulta: 16 de noviembre de 2021. <https://www.cosapi.com.pe>

COSAPI. (2019). Memoria anual 2018. Consulta: 16 de noviembre de 2021. <https://www.cosapi.com.pe>

Díaz Chávez, D. (2015). “Top Down” y su Aplicación para la reducción del plazo de construcción.

Errázuriz, E 2019 Pantallas de contención métodos de diseño y aplicaciones. Tesis de maestría en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Consulta: 29 de octubre de 2021. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102148>

Flores, M (2019). Proceso constructivo de muros anclados en edificio de oficinas con 3 sótanos del distrito de Santiago de Surco – Lima. Universidad de San Martín de Porres. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/6150>

Fundaciones especiales 2019 Muro Berlinés [videograbación]. Fundaciones videos. Consulta: 30 de octubre del 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=kqr-L4es8gs>

GERDAU CORSA 2017 El futuro se moldea. Muro Berlín. Consulta: 30 de octubre del 2021 https://www.gerdaucorsa.com.mx/sites/mx_gerdau/files/PDF/Manual%20Berlin_.pdf

Gesche, R & González, E. (2016). Estudio de sistemas de sostenimiento de suelo en excavaciones en edificios. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/142449/Estudio-de-sistemas-de-sostenimiento-de-suelo-en-excavaciones-en-edificios.pdf?sequence=1>

Gofavarthi, V.R, Mallavalli, D., Peddi, R., Katragadda, N. and Mulpuro, P. (2011). Contiguous Pile Wall as Deep Excavation Supporting System.

Gonzales, M; Huilahuaña, M, 2019. Análisis, diseño y proceso constructivo del muro pantalla en edificio de 7 niveles y 3 sótanos. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Consulta: 26 de octubre de 2021. Enlace electrónico: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9424>

GRUPO LAC s.f. Muro Berlín [Diapositiva]. Consulta: 26 de octubre del 2021 https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/gerdau-mediacycenter/Documents/Muro_Berlin_MCM%20ok.pdf

INEI. (2021). Producción nacional creció 11.83% en agosto de este año. Consulta: 30 de octubre de 2021. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-154-2021-inei.pdf>

Keller. (2020). Pilotes perforados y muros de pilotes (pilotes "in situ").

Llatas, D; Capuñay, J (2019). Análisis comparativo entre los métodos de equilibrio límite, cuña profunda y software especializado en elementos finitos, para el diseño geotécnico de muros anclados; aplicado a ejecución de sótanos en lima metropolitana. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/4449>

Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo (2021). Notificaciones de accidentes de trabajo, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales. Consulta 30 de octubre de 2021. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2184265/Bolet%C3%ADn%20Notificaciones%20JULIO%202021_.pdf

Mozó, D 2012. Análisis y diseño de muros pantalla en suelos arenosos. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Consulta: 26 de octubre de 2021. Enlace electrónico: <http://www.civil.ucsc.cl/investigacion/memorias/2012DavidEMozo.pdf>

Muñoz A. (2011). Manual para el proceso de diseño y construcción de Muros Anclados de Concreto Lanzado. Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4392>

Perlas, L. A. S., & Mar, V. D. E. L. (1991). *OBRAS SOIL NAILING Descripción Resumen de la Obra.*

Pilotes perforados y muros de pilotes. Consulta: 20 de noviembre del 2021 <https://www.keller.com.es/sites/keller-es/files/2019-04/e-catalogo-pilotes-perforados-muros-pantalla-pilotes-in-situ-keller.pdf>

Rojo, Gonzalo 2016 Estudio de sistemas de sostenimiento de suelo en excavaciones en edificios. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil.

Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Consulta: 31 de octubre de 2021. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142449>

Soil nailing | Keller Cimentaciones. (s/f). Consulta: 31 de octubre de 2021, de <https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/soil-nailing>

Soil Nailing | Tecnologías | Pilotes Terratest S.A. (s/f). Consulta 31 de octubre de 2021, de http://www.terratest.com.pe/tec7_soilnailing.html

Sulzer, M. S. Aplicación de muros de pilotes en obras viales en Lima. Consulta: 20 de noviembre de 2021. Enlace electrónico: <https://www.terratest.cl/wp-content/uploads/2020/02/Pilotes-terratest-Muros-pilotes-obras-viales-mariano-saucedo.pdf>

Pilotes Terratest. (2001). Pilotes de extracción. Catálogo PilotesTerratest

Pons, J. J., Penadés-Plà, V., Yepes, V., & Martí, J. V. (2018). Life cycle assessment of earth-retaining walls: An environmental comparison. *Journal of Cleaner Production*, 192, 411–420. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.04.268>

Rengifo J (2015). Muros anclados en arenas, análisis y comparación de técnicas de anclajes. Pontificia Universidad católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6730>

Riveros, R. (2008). Evaluación Técnico-Económica Entre Sistemas De Sostenedimientos De Excavaciones Abiertas En Suelos.

Tlalolini, A. (s/f). Tarea - Sistemas de Sostenedimiento para Excavaciones a Cielo Abierto. Recuperado el 21 de noviembre de 2021, de https://www.academia.edu/39909136/UNIVERSIDAD_NACIONAL_AUTONOMA_DE_MEXICO_FACULTAD_DE_INGENIERIA_MAESTRIA_EN_INGENIERIA_CIVIL_EXPERIENCIA_EDUCATIVA_SEMINARIO_DE_INVESTIGACION_II_SISTEMAS_DE_SOSTENIMIENTO_PARA_EXCAVACIONES_A_CIELO_ABIERTO

PilotesTerrates, s/f. Anclajes postensados temporales proyecto: centro empresarial volterra. [terratest.com.pe. https://www.terratest.com.pe/obras/centro-empresarial-volterra-san-isidro/](https://www.terratest.com.pe/obras/centro-empresarial-volterra-san-isidro/)

Ugaz, J (2018). Análisis técnico del uso de muros anclados y empotrados para excavaciones profundas en suelos gravosos y rellenos. Universidad San Ignacio de Loyola. <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/8757>

Wharmby, N. and Perry, B. 2010. Development of Secant Pile Retaining Wall construction in Urban New Zealand.