

Una serie de métodos se encuentran disponibles para el sostenimiento de terreno en obras subterráneas. La elección del sistema más apropiado depende del tipo de suelo y las características estructurales de cada proyecto. Un informe de la Mutual de Seguridad entrega recomendaciones prácticas para prevenir accidentes en las faenas de excavación.

CONSUELO ÁLVAREZ A.
PERIODISTA REVISTA BIT

SOSTENIMIENTO DE TIERRA

EXCAVACIONES SEGURAS





LAS CIUDADES DEL PAÍS, en especial Santiago, semejan una gran obra de construcción. Las grúas se apoderan del paisaje, y torres cada vez más altas parecen acariciar el cielo. Claro que estas moles de hormigón, también se extienden bajo tierra. Justamente, allí comienzan los grandes desafíos para la ejecución de un proyecto, en la excavación para las fundaciones. El tema no es tan sencillo como tomar una pala o poner en marcha la máquina excavadora. Para nada, antes de mover un solo terrón se requiere la intervención de profesionales como mecánicos de suelo y calculistas para definir el sistema de sostenimiento que tendrá la excavación, considerando las características del terreno y del proyecto de construcción. Si a esto sumamos el riguroso cumplimiento de medidas de prevención de riesgos, la excavación resultará una faena segura.

Las alternativas de contención abundan, y se puede comenzar por aquellos emprendimientos que no incorporan ningún sistema y el talud se sostiene por inclinación. Generalmente, se trata de cortes de terreno de escasa altura (entre 2 y 3 m) en roca o en maicillo (suelo residual de aspecto rocoso) ejecutados con inclinaciones de 80° a 60°, y salvo en puntos donde se humedece el terreno, se sostienen por sí solos sin necesidad de aplicar un mecanismo de contención.

A medida que el proyecto crece en profundidad y complejidad, se recurre a diversos sistemas de sostenimiento. Veamos.

Muro berlinés

El Muro berlinés consiste en tablestacados fabricados "in situ" con pilares de acero verticales (usualmente vigas HN o perfiles IPE) con longitud igual a la altura de la excavación más un empotramiento en el terreno denominado "ficha".

Estos elementos usualmente se hincan cada 1,20 m a 1,50 m y se instalan entre ellos tablonces de pino de 2" x 10" a medida que avanza la excavación. La estabilidad del muro se logra colocando una o más líneas de anclajes o pernos inyectados, los cuales se ejecutan sobre una viga horizontal perimetral para permitir la re-

partición de las cargas en todos los perfiles.

El muro berlinés atirantado cuenta con aplicaciones variadas como entibación temporal, segura y económica para obras de pequeña a mediana envergadura en suelos compuestos por arena y finos. Se define como un muro flexible, de mayor deformabilidad que los muros pantalla y de pilotes, no aplicable para contener las napas subterráneas por lo tanto se debe ejecutar un sistema de agotamiento de la napa detrás de la entibación (ver Figura 1).

Por otra parte, para sujetar los cortes menores de terreno desmoronable, junto a veredas o terrenos en los cuales una deformación lateral del suelo no es de peligro para el vecino y para alturas de corte inferiores a 4 m, se utilizan los tradicionales tablestacados de madera cuyo concepto presenta similitudes al muro berlinés (ver Imagen 2).

Muro pantalla

Una solución interesante se observa en la técnica del muro pantalla o pared moldeada. El sistema consiste en excavar una zanja en

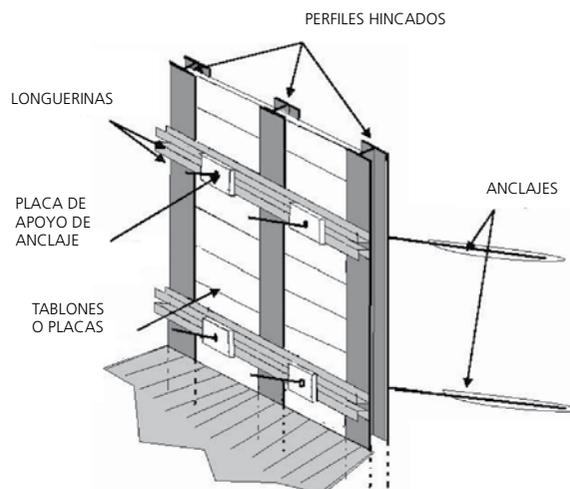


FIGURA 1. ESQUEMA MURO BERLINÉS



Imagen 5. Soil Nailing

el terreno mediante la utilización de cucharas bivalvas, manteniendo la estabilidad de las paredes de la excavación utilizando lodos bentoníticos.

El espesor del muro pantalla varía entre 40 a 80 cm según el proyecto y tendrá una profundidad igual a la excavación necesaria para la construcción de los subterráneos más una ficha o empotramiento. En función de la profundidad de la excavación, las características del terreno y el conjunto de esfuerzos actuantes, puede resultar necesario anclar o apuntalar las pantallas en uno o más niveles a medida que progresa la excavación (ver imágenes 3 y 4).

Las pantallas en un principio se empleaban exclusivamente para la construcción de cortinas impermeables en el terreno, y actualmente se utilizan como elementos estructurales definitivos que forman parte del edificio en estacionamientos subterráneos, paredes laterales de pasos inferiores y colectores, entre otros. También, se emplean como elementos de impermeabilización del subsuelo en presas, encapsulamiento de sitios contaminados y barreras impermeables en obras de excavaciones bajo la napa, entre otros.

Soil Nailing

El soil-nailing es un método para contención de cortes de suelo siendo una de las principales soluciones para la contención de taludes. Se basa en el refuerzo del terreno a medida que avanza la



Imagen 2.
Tablaestacado
de madera.



Imagen 6. Soil Nailing

excavación, mediante la perforación e instalación de pernos pasivos los cuales trabajan fundamentalmente a la tracción y secundariamente al corte. La colocación de los pernos se realiza en pozos perforados y posteriormente se inyectan con lechada de cemento. Los pernos se ejecutan en mallas que dependiendo del diseño se distancian entre 1,50 a 2,50 m, y la cabeza de los pernos se une a una malla simple o doble la cual se cubre con shotcrete u hormigón proyectado.

Esta técnica consiste fundamentalmente en mejorar la resistencia al corte del suelo en las superficies potenciales de rotura (deslizamiento), mediante los anclajes pasivos o pernos de refuerzo. Normalmente, el sistema supone elementos de pequeño diámetro que trabajarán de manera pasiva, tomando carga una vez que el terreno intente desplazarse. Aunque el método se usa para reforzar el terreno bajo cimentaciones, la principal aplicación se encuentra en la estructuras de contención in situ, para crear taludes escarpados y reforzar taludes (verticales y sub-verticales) potencialmente inestables.

El sistema se caracteriza por emplear maquinaria ligera, rapidez frente a muros convencionales, estabilización progresiva de la excavación, y no requiere profundizar la excavación para alojar zapatas de estructuras de contención. Sin embargo, necesita que el terreno posea cohesión suficiente para soportar las excavaciones parciales (ver Imágenes 5 y 6).

Pilas y pilotes

Corresponde a uno de los métodos más utilizados para entibación y socialzado en el país, especialmente en la zona central donde existen gravas con alta cohesión. Consiste en la construcción desde la superficie de pilares de hormigón, ya sea manualmente o en



SISTEMA DE ENTIBACIÓN MEDIANTE PILAS ANCLADAS

1. Tras la construcción de las pilas, se realiza la ejecución de anclajes, perforación, instalación de cables e inyección
2. Tensado de anclajes
- 3-4. Excavación masiva hasta la siguiente línea de anclajes
5. Excavación masiva hasta el nivel de fundaciones



forma mecanizada (pilotes preexcavados), los cuales se emplazan separados entre 2,00 y 3,50 m entre ejes.

Una vez construida la totalidad de las pilas se realiza la excavación vertical, gracias al efecto arco del suelo generado entre los elementos. Las pilas o pilotes de hormigón podrán ser apuntalados y/o anclados con anclajes pasivos y/o activos de acuerdo al diseño y altura de excavación.

Por su parte, los pilotes excavados y hormigonados in situ se emplean principalmente en las faenas en que se requiere una mayor seguridad, como por ejemplo excavaciones sobre 16 m de profundidad. Sus principales características son ahorro de material (menor consumo de hormigón de pilotes vs. pilas); aportan mayor seguridad a la faena; menor plazo, gestión y coordinación de la obra más simple, quedando en manos de un único subcontratista responsable la entibación completa (pilotes y anclajes), permiten la excavación en presencia de napa freática, y finalmente presentan

una mayor facilidad para atravesar los estratos más complejos, entre otros.

Las recomendaciones

Tras repasar algunos de los sistemas de sostenimiento de suelo, la seguridad ingresa a terreno y pone énfasis en las faenas sensibles que requieren mayores medidas de prevención. Hay recomendaciones concretas y estudios especializados. El "Diagnóstico Obras con Trabajos de Excavación", publicado en marzo 2007 por la Mutual de Seguridad de la Cámara Chilena de la Construcción, presenta un análisis detallado de esta faena en 95 obras de la Región Metropolitana. Un material elaborado a raíz de accidentes relacionados con tareas de excavación ocurridos en la Región Metropolitana durante marzo de 2007. Para este diagnóstico se preparó especialmente una lista de verificación basada en la Norma Chilena NCh. 349 of. 1999. Los resultados dejan en

BIT 55 JULIO 2007 ■ 51

Construcción de Soleras In Situ

Soleras tipo A recta
MINVU y MOP

Soleras tipo C
MINVU y MOP

Soleras tipo A
Especiales

Soleras
tipo Manquehue

Soleras
Badén

Soleras
con Zarpa



HORMITEC
INGENIERIA Y CONSTRUCCION LIMITADA

San Martín de Porres 11121 Parque Industrial Puerta Sur
San Bernardo Fono: 854 2026 - Fax: 8542027
www.hormigonestecnologicos.cl



Imagen 3. Muro pantalla

El espesor del muro pantalla varía entre 40 y 80 cm, y cuenta con una profundidad igual a la excavación necesaria para la construcción más un empotramiento.

claro que en excavaciones y pilas de socalzado queda mucho por hacer y por prevenir (Gráficos 6 y 7). Entonces, a tomar nota porque los descuidos en esta faena generan más que un dolor de cabeza.

Consejos en excavaciones

El estudio de la Mutual recomienda que para excavaciones se debe mantener actualizado un procedimiento de rescate, que permita asistir en forma oportuna la ocurrencia de algún incidente en el que se vean afectados los trabajadores de la faena. El plan debe difundirse y evaluarse periódicamente.

Además, se efectuará periódicamente inspecciones, monitoreos y seguimientos a los parámetros de las excavaciones de faena, sello de fundación, humedad, socavamientos, desprendimientos y zonas aledañas a los bordes de la excavación (Puntos Nro 10.1 al 10.5 NCh 349, of. 1999).

Las inspecciones realizadas deben ser debidamente documentadas y archivadas.

Se debe verificar que se mantengan zonas de seguridad respecto del borde de la excavación, cuya distancia aproximada debe ser 1,5 veces la profundidad de la excavación.

Las pasarelas que se habiliten deben contar con doble baranda y rodapiés (Pto. N° 8.5, NCh 349, of. 1999).

El estudio de mecánica de suelo debe estar disponible en obra. Si corresponde, se deberá hacer análisis en laboratorio con el propósito de confirmar las características del terreno.

Finalmente, el equipo de prevención de riesgos de faena debe analizar las indicaciones del estudio de mecánica de suelos. Éstas se considerarán como parte del programa de prevención de riesgos.

La prevención en pilas

El diagnóstico de la Mutual incluye recomendaciones prácticas para la ejecución de pilas de socalzado como mantener actualizado un procedimiento de rescate.

- Se verificará que se mantengan protecciones al borde superior

GRÁFICO 6. EXCAVACIONES

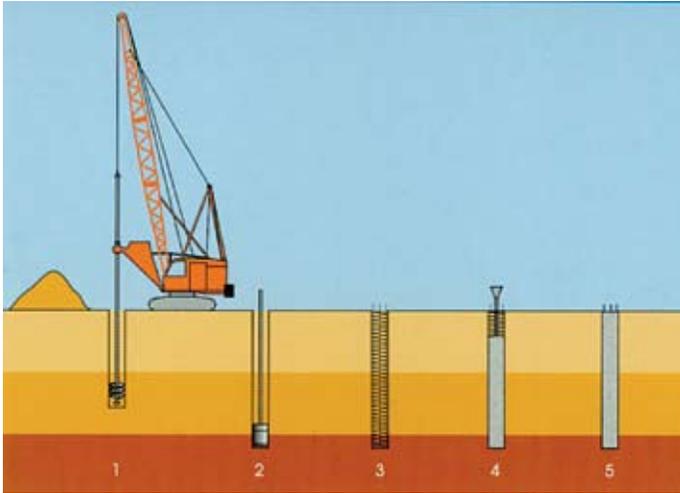
ACTIVIDAD		% de cumplimiento
1	EXCAVACIONES (NCh. 349 of. 1999)	
1.1	Existe un plan de emergencia	38.55
1.2	Existe en obra el documento escrito del estudio mecánico de suelos específico para la faena	91.46
1.3	Existe registro escrito de la recepción de sello de fundación, taludes y rampas por mecánica de suelo	81.16
1.4	Existe registro formal de inspecciones periódicas a parámetros, talud y sello de excavación	51.39
1.5	Existe protección de talud de excavación de acuerdo a lo indicado por informe de mecánica de suelos	80.39
1.6	Verifica que el borde de la excavación se encuentre libre de todo material y obstáculo	79.10
1.7	Existe zona de seguridad de a lo menos 1,5 veces la profundidad de la excavación al boede del talud	58.82
1.8	Existe señalización de advertencia en el perímetro del área de la excavación	79.22
1.9	Se encuentran definidas, demarcadas y protegidas las vías de circulación para el tránsito vehicular	84.72
1.10	Existen accesos seguros a la excavación (rampa acceso, andamio, escala, escalas de mano, etc.)	90.77
1.11	Existen pasarelas con doble baranda y rodapiés	76.92
1.12	Se utilizan elementos de protección personal para tareas con proximidad al borde del corte de terreno	80.00
1.13	Existen registros de capacitación específica de los trabajadores (Charla operacional, procedimiento de trabajo, etc.)	83.33

Fuente: Mutual de Seguridad CCIC

En promedio ninguno de los elementos evaluados califica con el máximo de la evaluación (100%). Entre los aspectos de menor nivel de cumplimiento se encuentran los siguientes:

- Planificación ante alguna emergencia (38,6%).
- Existencia de un registro de inspecciones periódicas a paramentos, talud y sello de la excavación (51,4%).
- Existencia de zonas de seguridad de a lo menos 1.5 veces la profundidad de la excavación, respecto del borde del talud (58,8%).

CONSTRUCCIÓN DE PILOTES



1. Perforación con hélice o cazo en orificio estable.
2. Limpieza del fondo con cazo.
3. Colocación de la armadura.
4. Hormigonado con tubo tremie.
5. Pilote terminado.



de las pilas en excavación, con el objeto de evitar la caída accidental de materiales o herramientas.

- Los baldes utilizados para la extracción de material desde el fondo de la excavación de la pila de socialzado, deben estar reforzados con asas metálicas, tanto en su borde superior que es el lugar desde el que se izan, como reforzando el fondo, para evitar que sufran un desprendimiento o rotura por peso excesivo.
- Se debe evaluar la concentración de oxígeno al interior de la excavación antes de ingresar, debiendo existir como mínimo un 18% de Oxígeno (DS 594 art.58).
- Además se debe verificar la presencia de gases tóxicos, como el monóxido de carbono.
- Es obligatorio el uso de arnés de seguridad durante la excavación, considerando su utilidad en operaciones de rescate.

Conclusiones seguras

Cabe destacar que según el diagnóstico de la Mutual, las falencias detectadas se asocian en gran medida al desconocimiento del personal de terreno sobre los sistemas de entibación existentes para reforzar taludes de excavación. En especial, las diferencias que presentan los distintos tipos de terreno como arena y arcilla, y si existen zonas de grieta y de desprendimiento, pues con estos antecedentes se aplica de mejor manera la técnica de sostenimiento.

Otra recomendación. Los expertos destacan no colocar sobre los taludes las instalaciones de faena y lugares de carga, que suman pesos no calculados. Además, recalcan que tampoco se deben ubicar los baños en zonas cercanas a los cortes de terreno, porque las infiltraciones incentivan los deslizamientos. La solución se centra en sumar pilas de socialzado con anclajes y puntales para



ENTIBACIONES MEDIANTE PILOTES ANCLADOS



Alonso de Córdova 5151, of. 1401, Las Condes
Fono: 4372900 / Fax: 2127235
E-mail: g_comercial@terratest.cl / www.terratest.cl

GRÁFICO 7. PILAS DE SOCALZADO

ACTIVIDAD		% de cumplimiento
2	PILAS DE SOCALZADO (NCh. 349 of. 1999)	
2.1	Existe un plan de rescate ante situaciones de emergencia	38.46
2.2	Existe supervisión permanente durante la ejecución de las pilas	100.00
2.3	El torno de izaje se encuentra sobre brocal o estructura resistente	83.33
2.4	Existe protección al borde de la pila que evite la caída de material al interior de ella	72.33
2.5	El torno de izaje cuenta con freno para el desenrollamiento accidental del cable	100.00
2.6	La superficie y perímetro de la estructura se encuentran despejados de material	72.33
2.7	La cuerda de izaje se encuentra en buenas condiciones (sin cortes, desilios, etc)	100.00
2.8	Los baldes utilizados cuentan con fondos y asas reforzados con pletina	72.73
2.9	Se hacen mediciones periódicas para asegurar la presencia adecuada de oxígeno y detectar...	11.11
2.10	Se utiliza sistema anticaída para el ingreso y salida del trabajador al interior de la pila	41.67
2.11	Se utilizan de modo continuo elementos de protección personal (calzado, casco, etc.)	91.67

Fuente: Mutual de Seguridad CChC

Los aspectos de menor nivel de cumplimiento son los siguientes:

- Planificación ante alguna emergencia (38,5%).
- Utilización de sistemas anticaída para el ingreso y salida del trabajador al interior de la pila (41,7%).
- Medición de niveles de oxígeno al interior de la pila (11,1%).

incrementar la seguridad.

Los grados de inclinación de los taludes y cortes a nivel de fundación deben ser minuciosamente diseñados, en particular si se sostendrán naturalmente. En ocasiones, estos taludes no cumplen con las especificaciones del estudio de ingeniería básica, posiblemente por escasos controles y profesionales con escasa experien-



Imagen 4. Muro pantalla

cia. Por ello, el estudio resalta la necesidad de capacitar en aspectos de mecánica de suelos, a los responsables de prevención de riesgos.

Además, se tendrá presente que existe un talud de seguridad indicado en la norma chilena, cuya inclinación depende de la altura y calidad del terreno. Atención, porque se han detectado graves fallencias principalmente en las distancias de seguridad en los bordes de excavaciones y en la sobrecarga de los perímetros de excavaciones.

En el diagnóstico se constató que más del 50% de las obras analizadas no cumplen con los seguimientos de control de visualización en el comportamiento de excavaciones, por lo tanto, se podría estar sufriendo una deformación sin que nadie lo hubiese advertido.

Los profesionales, en conjunto con los expertos en prevención de riesgos, deben participar de la totalidad de la ejecución del proyecto. Debe existir un control del cumplimiento de las indicaciones de los expertos, siendo clave la supervisión. Es decir, un buen proyecto a nivel de ingeniería de mecánica de suelos, asociada al tipo de terreno y al tipo de proyecto en particular, se complementará con un programa de control del cumplimiento de estas especificaciones. ■

www.mutual.cl

EN SÍNTESIS

Diversos mecanismos se aplican para el sostenimiento de terreno en obras subterráneas. La elección del sistema más apropiado depende del tipo de suelo y las características estructurales de cada proyecto. Para que la excavación sea una faena segura, un informe de la Mutual de Seguridad entrega recomendaciones prácticas para prevenir accidentes. Entre las medidas de prevención se encuentran mantener actualizado un procedimiento de rescate, efectuar periódicamente monitoreos a los parámetros de las excavaciones de faena y mantener zonas de seguridad en el borde de la excavación, entre otras.

CABLOFIL®

**Olvídense de los tornillos,
tuercas, accesorios y del tiempo.**



CABLOFIL es la bandeja tipo canastillo más segura, flexible, económica, resistente, fácil y rápida de instalar.

Única con borde de seguridad para la protección de los conductores.

Mayor información al teléfono 550.52.17, al e-mail comerciallg.chile@legrand.cl o en www.legrand.cl

 **legrand®**