



# EXCAVACIONES PARA OBRAS AFECTADAS POR EL NIVEL FREÁTICO.

---

Referencia para aseguradores

# EXCAVACIONES PARA OBRAS AFECTADAS POR EL NIVEL FREÁTICO.

## Referencia para aseguradores

### Introducción sobre nivel Freático

El nivel freático es un concepto fundamental en hidrología y geología que describe la superficie del agua subterránea en el suelo, donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica. Esta interfaz entre el suelo y el agua subterránea juega un papel vital en diversos procesos naturales y en la vida cotidiana de las personas.

El nivel freático varía según la estación del año, las condiciones climáticas, la topografía del terreno y la geología subyacente. Durante períodos de lluvias intensas, el nivel freático tiende a aumentar, mientras que en épocas de sequía prolongada, tiende a descender. Esta fluctuación es clave para entender la dinámica hidrológica de una región y puede influir en la disponibilidad de agua para el consumo humano, la agricultura y otros usos.

En áreas donde el nivel freático se encuentra cerca de la superficie del suelo, pueden formarse humedales y pantanos, creando hábitats importantes para la biodiversidad y proporcionando servicios ecosistémicos valiosos como la filtración natural del agua y la regulación de inundaciones.

El conocimiento del nivel freático es crucial para el diseño y la gestión de sistemas de drenaje, riego y abastecimiento de agua. Por ejemplo, en agricultura, conocer la profundidad del nivel freático ayuda a determinar la frecuencia y la cantidad de agua necesaria para regar los cultivos de manera eficiente. Del mismo modo, en la construcción de edificaciones, es importante evitar la excavación por debajo del nivel freático para prevenir problemas de cimentación y filtraciones.

La sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos puede provocar la disminución del nivel freático, lo que puede tener graves consecuencias ambientales y socioeconómicas. La extracción excesiva de agua subterránea puede conducir a la intrusión de agua salina en acuíferos costeros, comprometiendo la calidad del agua potable y dañando los ecosistemas acuáticos. Además, la disminución del nivel freático puede provocar la subsidencia del terreno, lo que aumenta el riesgo de inundaciones y daños a la infraestructura.

Para gestionar de manera sostenible los recursos hídricos subterráneos, es fundamental monitorear el nivel freático y establecer políticas de gestión adecuadas. Esto incluye la implementación de prácticas de conservación del agua, como la recarga artificial de acuíferos, la promoción de tecnologías de riego eficientes y la regulación del bombeo de agua subterránea.



Además, es importante considerar los efectos del cambio climático en el nivel freático. Se espera que los patrones de precipitación y evaporación cambien en muchas regiones, lo que podría alterar significativamente los niveles freáticos y la disponibilidad de agua subterránea en el futuro. Por lo tanto, es crucial desarrollar estrategias de adaptación que permitan gestionar de manera eficaz los recursos hídricos en un entorno cambiante.

En resumen, el nivel freático es un elemento clave en el ciclo hidrológico y desempeña un papel crucial en la vida de las personas y los ecosistemas. Su gestión sostenible es esencial para garantizar la disponibilidad de agua dulce y la salud de los ecosistemas acuáticos en el futuro.

### **Sobre la construcción de obras bajo tierra**

#### Construcción de Obras Bajo Tierra: Desafíos, Técnicas y Aplicaciones

La construcción de obras bajo tierra, también conocida como ingeniería subterránea, abarca una amplia gama de proyectos que van desde túneles ferroviarios y carreteros hasta sistemas de alcantarillado y almacenamiento subterráneo. Este campo de la ingeniería combina conocimientos de geología, geotecnia, diseño estructural y tecnologías de excavación para crear estructuras seguras y eficientes que aprovechan el espacio subterráneo. La construcción bajo tierra presenta desafíos únicos, como la estabilidad del terreno, la gestión del agua subterránea y la seguridad de los trabajadores, pero también ofrece numerosas ventajas, como la conservación del espacio en superficie, la protección contra condiciones climáticas extremas y la reducción de impactos ambientales y visuales. Este tipo de obras juega un papel crucial en el desarrollo urbano y en la infraestructura de transporte, proporcionando soluciones innovadoras y sostenibles para las crecientes demandas de las sociedades modernas. Las obras bajo tierra han sido una práctica ancestral que ha evolucionado junto con la civilización humana. Desde túneles para el suministro de agua hasta sistemas de transporte subterráneo, esta forma de ingeniería civil ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo de las sociedades modernas.

#### Desafíos de la Construcción Subterránea

La construcción subterránea presenta una serie de desafíos únicos que requieren un enfoque cuidadoso y especializado para garantizar el éxito del proyecto. Estos desafíos van desde cuestiones geológicas y geotécnicas hasta consideraciones de seguridad y gestión ambiental. La estabilidad del terreno, la gestión del agua subterránea, la ventilación, la seguridad de los trabajadores y la minimización de impactos en el entorno son solo algunos de los aspectos críticos que deben abordarse en la construcción bajo tierra. Además, la complejidad de los sistemas de excavación y el acceso limitado pueden aumentar la dificultad y los costos del proyecto. A pesar de estos desafíos, la construcción subterránea ofrece numerosas ventajas, como la conservación del espacio en la superficie, la protección contra condiciones climáticas extremas y la reducción de impactos ambientales y visuales. Superar estos desafíos requiere una combinación de experiencia técnica, innovación y gestión eficiente para garantizar la seguridad, la durabilidad y la viabilidad económica de las obras subterráneas. La construcción de obras bajo tierra en

comparación con las construcciones sobre la superficie tiene varios retos significativos entre ellos la necesidad de garantizar la estabilidad estructural y la seguridad de los trabajadores durante el proceso de excavación.

La presión del suelo circundante, la presencia de agua subterránea y la posibilidad de fallas geológicas son factores que deben ser cuidadosamente considerados y mitigados.

Otro desafío importante es la gestión de los riesgos ambientales y la protección de recursos naturales durante la construcción. Las obras subterráneas pueden afectar los ecosistemas subterráneos, la calidad del agua y la estabilidad del suelo, lo que requiere un enfoque cuidadoso para minimizar el impacto ambiental.

### Técnicas de Construcción Bajo Tierra

La construcción bajo tierra requiere el empleo de diversas técnicas especializadas para excavar, estabilizar y construir estructuras en el subsuelo. Estas técnicas han evolucionado a lo largo del tiempo para abordar los desafíos únicos que presenta trabajar en entornos subterráneos. Desde métodos tradicionales como la excavación manual hasta tecnologías avanzadas como el tunelado con tuneladoras de escudo de presión de tierra, la construcción bajo tierra se beneficia de una amplia gama de enfoques y herramientas. Estas técnicas pueden incluir el uso de pilotajes, micropilotes, pantallas de hormigón, sistemas de inyección de cemento y refuerzos de acero para garantizar la estabilidad del terreno durante y después de la construcción. Además, la construcción bajo tierra a menudo requiere sistemas de ventilación, drenaje y gestión de aguas subterráneas para mantener un entorno de trabajo seguro y funcional. En conjunto, estas técnicas forman un conjunto diverso y especializado de herramientas que permiten la construcción exitosa de una amplia variedad de obras subterráneas, desde túneles y galerías hasta estaciones de metro y sistemas de alcantarillado.

Para abordar estos desafíos, los ingenieros civiles han desarrollado una variedad de técnicas innovadoras para la construcción de obras bajo tierra. Una de las técnicas más comunes es la excavación mediante túneles, que puede realizarse utilizando métodos tradicionales como el método de perforación y voladura, así como tecnologías modernas como el tunelado con tuneladoras de escudo de presión de tierras.

Otra técnica importante es la construcción de estructuras subterráneas utilizando métodos de excavación poco profunda, como el método de corte y cubierta. Este enfoque es común en la construcción de sótanos y estacionamientos subterráneos, donde la excavación se realiza a poca profundidad y se utiliza una estructura de soporte temporal para mantener la estabilidad del suelo.

Además de estas técnicas de excavación, la construcción de obras bajo tierra a menudo requiere el uso de sistemas de impermeabilización y drenaje para proteger las estructuras contra la infiltración de agua

y la acumulación de presión hidrostática. Estos sistemas pueden incluir membranas impermeabilizantes, sistemas de drenaje francés y bombas de achique para controlar el nivel de agua subterránea.

### Aplicaciones de la Construcción Subterránea

La construcción de obras bajo tierra tiene una amplia gama de aplicaciones en diversos campos. En el ámbito de la infraestructura urbana, las obras subterráneas son fundamentales para la construcción de sistemas de transporte subterráneo, como metros y túneles de carretera, que ayudan a aliviar la congestión del tráfico y mejorar la movilidad en las ciudades densamente pobladas.

Además, las obras subterráneas son utilizadas en la industria minera para la extracción de minerales y recursos naturales. Los túneles mineros permiten acceder a depósitos subterráneos de manera segura y eficiente, minimizando el impacto ambiental y maximizando la productividad.

En el ámbito de la energía, la construcción de obras bajo tierra también desempeña un papel importante en la generación de energía geotérmica y almacenamiento de energía, aprovechando el calor natural del subsuelo y la capacidad de almacenamiento de cavernas subterráneas para proporcionar energía renovable y estabilidad en la red eléctrica.

La construcción de obras bajo tierra es una disciplina compleja que requiere un enfoque interdisciplinario y tecnologías avanzadas para abordar los desafíos únicos que presenta. Desde la excavación de túneles hasta la construcción de estructuras subterráneas, esta forma de ingeniería civil desempeña un papel crucial en el desarrollo sostenible de las sociedades modernas, proporcionando infraestructura vital, recursos naturales y energía renovable. Con una comprensión continua de los desafíos y avances tecnológicos, la construcción de obras bajo tierra seguirá siendo una parte integral de nuestra infraestructura global en el futuro.

La construcción de obras bajo tierra en los cascos urbanos hace necesaria, en medida creciente, la excavación de profundas fosas de obras, a veces, de gran extensión. Esas fosas sirven para la cimentación profunda de edificios de gran altura con varios sótanos, de garajes subterráneos y para la construcción de vías de comunicación subterráneas, tales como túneles subterráneos de carreteras y ferrocarriles metropolitanos que se ejecutan según el método de construcción a zanja abierta. Hoy en día, por consideraciones de protección del medio ambiente ya no suele autorizarse un rebajamiento del nivel freático. La edificación cada vez más densa en las ciudades no permite bajar el nivel de las aguas freáticas debido al riesgo inherente de hundimiento del terreno. Es por ello que está cobrando creciente importancia la construcción de fosas impermeables.

### 1 Pantallas tablestacadas de las zanjas

Las pantallas tablestacadas son una tecnología crucial en la construcción subterránea, especialmente en proyectos que implican excavaciones profundas como zanjas para cimientos de edificios, túneles o

sótanos. Estas estructuras consisten en paneles metálicos o de hormigón que se colocan verticalmente en el suelo para proporcionar estabilidad a los bordes de la zanja y prevenir el colapso del terreno circundante. Esta técnica es esencial para mantener la seguridad de los trabajadores y proteger las estructuras adyacentes durante la excavación y construcción subterránea.

La utilización de pantallas tablestacadas requiere un conocimiento detallado de la geología del terreno, así como un diseño preciso y una instalación cuidadosa para garantizar su eficacia. Estas pantallas pueden ser temporales o permanentes, dependiendo de los requisitos del proyecto, y pueden estar sujetas a diversas cargas y presiones del suelo. En la construcción bajo tierra, las pantallas tablestacadas son una herramienta indispensable que permite la realización segura y eficiente de excavaciones en terrenos difíciles, contribuyendo al éxito y la durabilidad de las obras subterráneas.

Para la construcción e impermeabilización de las pantallas tablestacadas en fosas se ofrecen métodos fiables y eficientes. En primer término, se emplean muros de pantalla continua, pilotes hincados interseccionados y tablestacados de acero. El método a aplicar depende, en definitiva, de la profundidad de la excavación, de la altura del nivel freático, de las sobrecargas sobre la pantalla debido a obras ya existentes y al tráfico, así como de la logística de la obra a construir.

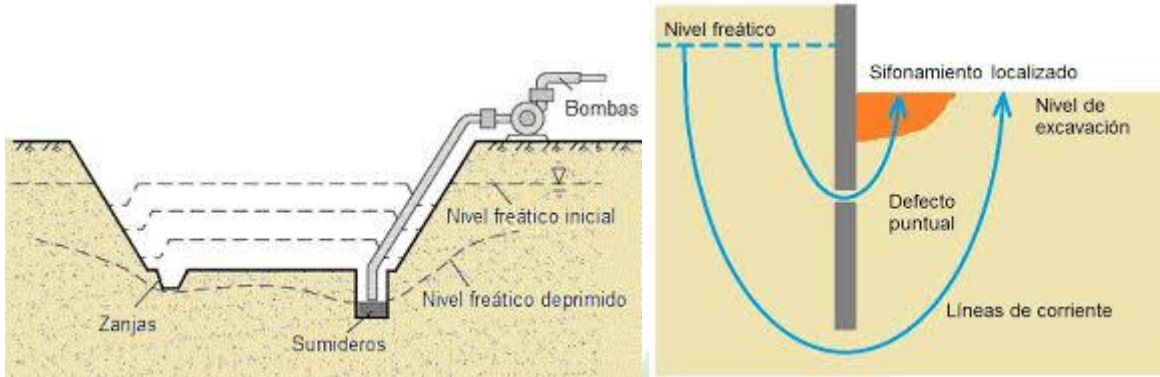
## **2 Disminución del nivel freático**

Una disminución del nivel freático hace necesaria la instalación de pozos de agua fuera del tablestacado de la fosa de obra. La excavación puede ejecutarse en talud o –si no hay espacio suficiente– puede ejecutarse mediante un muro tablestacado permeable (p. ej. tablestacado berlinés). La profundidad de la excavación y la permeabilidad de las capas del subsuelo determinan el tipo y el número de los pozos filtrantes

Una vez puestos en operación los pozos de agua, a causa del pendiente hidráulico va formándose un “embudo de captación” cuyo vértice puede conseguirse que quede justo por debajo del fondo previsto de la excavación. La cota del agua dentro y fuera de la excavación deberá registrarse exactamente mediante tubos piezométricos para evitar que suba el nivel freático dentro de la zanja, adoptando sin demora las medidas adecuadas, tales como la conexión de pozos filtrantes adicionales. Una vez terminados e impermeabilizados los muros de la obra, se desconectan los pozos de agua que son retirados. A continuación, el nivel freático va subiendo a su cota original

El método descrito de rebajamiento del nivel freático conlleva amplios perjuicios para las capas del subsuelo. La bajada de las aguas implica graves riesgos en lo que respecta a un eventual hundimiento del subsuelo, causando posiblemente deformaciones en las obras vecinas ya existentes. Habida cuenta de esta circunstancia, hoy en día, el método convencional de rebajamiento del nivel freático está perdiendo importancia continuamente.





### 3 Los fondos de las excavaciones

Los fondos de las excavaciones representan una parte crítica en la construcción bajo tierra, donde la estabilidad y seguridad son primordiales. Estas áreas, ubicadas en la base de zanjas, túneles o pozos, requieren un cuidadoso análisis geotécnico y la aplicación de técnicas especializadas para garantizar su resistencia y durabilidad. La ingeniería de los fondos de excavación aborda desafíos como la estabilidad del suelo, la gestión del agua subterránea y la prevención de movimientos del terreno que podrían comprometer la integridad de la estructura subterránea y la seguridad de los trabajadores. Desde sistemas de drenaje y refuerzos estructurales hasta métodos de excavación controlada, la atención cuidadosa a los fondos de las excavaciones es fundamental para el éxito de cualquier proyecto de construcción bajo tierra. En esta introducción, exploraremos la importancia de los fondos de excavación y las diversas estrategias empleadas para garantizar su estabilidad y resistencia en el complejo mundo de la ingeniería subterránea.

En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas para poder impermeabilizar los fondos de excavaciones, que permiten, incluso en casos difíciles, construir una artesa impermeable sin tener que rebajar el nivel freático por fuera de la fosa de excavación.

#### 3.1 Impermeabilización natural del fondo

La impermeabilización natural del fondo en construcciones bajo tierra es un aspecto crucial para garantizar la integridad y la durabilidad de las estructuras subterráneas. En proyectos de ingeniería civil, como túneles, pozos de cimentación o estaciones de metro, es fundamental controlar el flujo de agua subterránea para prevenir filtraciones no deseadas que puedan comprometer la estabilidad y funcionalidad de la obra.

La naturaleza del suelo y la roca subyacente desempeña un papel fundamental en este proceso, ya que ciertos tipos de suelos tienen propiedades naturales de impermeabilización que pueden ser aprovechadas para reducir la infiltración de agua. La arcilla, por ejemplo, es conocida por su capacidad para actuar como una barrera impermeable, mientras que las capas de roca sólida pueden proporcionar una protección natural contra la intrusión del agua.

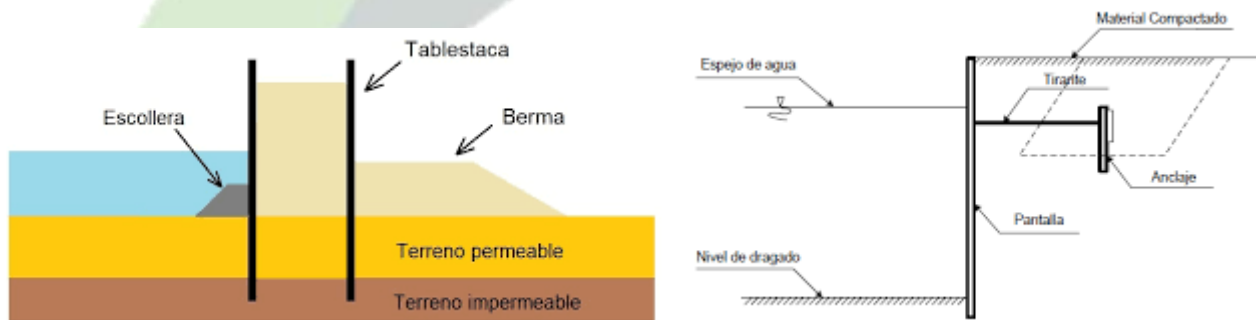
En esta introducción, exploraremos las diferentes estrategias y técnicas utilizadas para aprovechar la impermeabilización natural del fondo en construcciones bajo tierra, destacando su importancia en la preservación de la integridad estructural y la eficiencia operativa de estas obras.

Si las formaciones geológicas son favorables, es posible recurrir a un método razonable de impermeabilización del fondo que no afecte a las aguas freáticas.

Mas para el seguimiento de este método es condición previa que por debajo del fondo de la zanja se encuentre una capa de suelo coherente (limo o marna) que actúe de elemento acumulador natural de las aguas freáticas.

Una vez hincados los tablestacados, las aguas freáticas que se encuentran en el interior de la fosa van achicándose mediante los pozos anteriormente instalados. A continuación, se comienza a excavar la fosa y una vez alcanzada la profundidad prevista, hay que proveer un «desagüe de fundación en abierto»: mediante un drenaje perimetral y sumideros a prever al borde del fondo de la zanja va achicándose de la fosa la cantidad de agua acumulada diariamente, es decir, el agua que va penetrando a través de pequeñas fugas del muro tablestacado.

En este método es de importancia que la cimentación de las pantallas tablestacadas dentro de las capas acumuladoras de las aguas freáticas se efectúe de manera absolutamente impermeable. Habida cuenta de la altura hidrostática entre el nivel freático natural fuera de la zanja y el nivel freático rebajado en su interior, una ejecución deficiente tendría por consecuencia un socavado del muro tablestacado. La erosión de la estructura granular del suelo que causaría tal socavado redundaría, finalmente, en el sifonamiento hidráulico; en el peor de los casos se produciría el derrumbe de la zanja entera. Es por ello que en el proceso de hincado de los muros tablestacados de acero por vía del método de «lavado y vibrado» hay que proceder con sumo cuidado en el momento en que los tablonos penetren en la capa coherente del suelo.



Anclaje trasero de cablestacado

### 3.2 Fondos de hormigón sumergido



La utilización de fondos de hormigón sumergido en construcciones bajo tierra representa una técnica fundamental para asegurar la estabilidad y la resistencia de las estructuras subterráneas. En proyectos como túneles, estaciones de metro o galerías, donde el suelo puede ser especialmente exigente en términos de presión y condiciones ambientales, el uso de hormigón sumergido en el fondo proporciona una solución robusta y duradera.

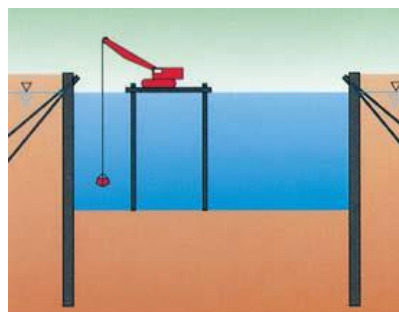
Este enfoque implica la colocación de una losa o capa de hormigón directamente sobre el fondo de la excavación subterránea, proporcionando una base sólida y resistente que ayuda a distribuir las cargas y a mantener la estabilidad estructural. Además de su función estructural, el hormigón sumergido puede actuar como una barrera efectiva contra la intrusión de agua subterránea, contribuyendo así a la impermeabilización y protección de la obra.

En esta introducción, exploraremos en detalle los beneficios y las aplicaciones de los fondos de hormigón sumergido en construcciones bajo tierra, destacando su importancia para la seguridad, la durabilidad y el éxito general de los proyectos de ingeniería civil en entornos subterráneos.

Si el subsuelo no contiene capas coherentes que pudieran servir de fondo impermeable natural, ese fondo impermeable deberá formarse recurriendo a medios técnicos.

La colocación de fondos de hormigón sumergido ha probado su eficacia particularmente en la construcción de ferrocarriles metropolitanos subterráneos, donde es necesario excavar estrechas y largas fosas de obra según el método a cielo abierto.

En primer término, la fosa va circundándose de un tablestacado impermeable. A continuación, se procede a una excavación parcial ligeramente por encima del nivel freático. Acto seguido, se coloca el primer arriostramiento de la zanja o un anclaje trasero. Desde un pontón, se comienza la excavación subacuática. Según la profundidad de la zanja, la composición del subsuelo y la cota del nivel freático natural, será menester anclar el fondo hormigonado hacia abajo para que resista contra el empuje hidroestático. Los anclajes se colocan igualmente desde el pontón. Acto seguido, se coloca el hormigón sumergido. Según las exigencias estáticas, se integran un mallazo o –últimamente fibras de acero. Una vez finalizado el fondo de hormigón sumergido, va achicándose la zanja para poder comenzar los propios trabajos de la obra.



Excavación Subacuática desde pontón

Los trabajos de hormigonado sumergido exigen gran exactitud, una supervisión concienzuda y un control riguroso de la calidad alcanzada en el hormigón. Al ejecutar el fondo de hormigón sumergido, unos buzos deberán supervisar la ejecución reglamentaria de los siguientes trabajos:

- observancia del espesor previsto del fondo,
- ejecución reglamentaria de la unión entre el fondo de hormigón sumergido y el tablestacado vertical de la fosa de obra.

### 3.3 Fondos por inyección

La utilización de fondos por inyección en construcciones bajo tierra es una técnica esencial para garantizar la estabilidad y la integridad de las estructuras subterráneas. En proyectos que involucran excavaciones en terrenos difíciles o inestables, como túneles, pozos de cimentación o estaciones de metro, la inyección de materiales estabilizadores en el fondo de la excavación juega un papel crucial en el fortalecimiento del suelo y la prevención de movimientos no deseados.

Esta técnica implica la introducción controlada de sustancias como cemento, resinas o productos químicos especiales en el suelo subyacente a través de perforaciones estratégicamente ubicadas. Estos materiales se solidifican o se expanden para formar una capa estabilizadora que refuerza el suelo y mejora su capacidad de soporte. Además de proporcionar estabilidad estructural, la inyección puede ayudar a controlar la infiltración de agua subterránea, reduciendo así el riesgo de filtraciones y la corrosión de las estructuras.

En esta introducción, exploraremos en detalle los principios y beneficios de los fondos por inyección en construcciones bajo tierra, resaltando su importancia para la seguridad, la durabilidad y el éxito de los proyectos de ingeniería civil en entornos subterráneos.

Si hay que excavar zanjas muy grandes de proporciones geométricas irregulares y si no se cuenta con capas impermeables del subsuelo, no entrando tampoco en consideración los fondos de hormigón sumergido hay que recurrir a la colocación de los llamados fondos por inyección que sirven de elemento impermeable horizontal.

El método por inyección a elegir depende del análisis de la composición del subsuelo. Si se cuenta con roca suelta viva que se presta a una compactación por inyección, pueden aplicarse las técnicas convencionales de inyección. Sin embargo, si se trata de suelos no homogéneos, no es posible recurrir a dichas técnicas convencionales. Un método especial a aplicar en caso de suelos no homogéneos lo constituye, por ejemplo, el método de inyección por toberas (jet grouting). En esta técnica no van compactándose los espacios entre los poros como es el caso en la inyección convencional— sino que se procede más bien a sustituir el suelo en su totalidad a los efectos de construir un tapón impermeable.

El cronograma de avance preve, en primer término, el hincado de muros tablestacados verticales, al que sigue la construcción del fondo impermeable antes de comenzar a excavar la zanja.

Entran en consideración dos conceptos distintos, a saber:

- En el fondo por inyección de *colocación profunda* es suficiente el peso propio de la sobrecarga ejercida por el suelo y el agua para contrarrestar las fuerzas ascensionales. En este caso, el fondo de colocación profunda actúa como una membrana impermeable.
- El fondo por inyección de *colocación alta* que equivale a la profundidad definitiva de excavación, tendrá que protegerse mediante anclajes de tracción contra las fuerzas ascensionales, de forma semejante a un fondo de hormigón sumergido.
- 

### 3.3.1 Fondos por inyección convencionales

En la técnica convencional por inyección, los poros del suelo van rellenándose completamente de materiales de inyección adecuados. Los materiales de inyección deben penetrar fácilmente dentro de la estructura granular del suelo para alcanzar transcurrido cierto tiempo la necesaria consolidación e impermeabilización.

Como medios de inyección se utilizan las suspensiones naturales, tales como, p. ej., las mezclas de bentonita y cemento y soluciones químicas, como gel de silicatos y resinas sintéticas.

Para la construcción de los fondos convencionales por inyección, se abren perforaciones en forma de módulos a una distancia de 1,3 m. En dichas perforaciones, se colocan tubos inyectoros de plástico que se rodean de un líquido plástico para estabilizarlos.

Estos tubos se hallan perforados en la zona del fondo a inyectar. El material de inyección fluye a través de las perforaciones colocadas según el espesor del fondo, penetrando en el suelo circundante.

Según las exigencias hidroestáticas, los fondos por inyección así realizados presentan, por regla general, un espesor de 1,0 a 1,5mts.

En este método es muy importante la garantía de calidad. Pues, aparte de una concienzuda ejecución de los respectivos procesos, este método comprende también la vigilancia y documentación de la profundidad de las perforaciones, de la composición de los materiales y de la presión de inyección.

Que un fondo impermeable pueda construirse o no según el método convencional por inyección depende de la estructura granular del terreno vivo. Los subsuelos de arena fina y los limos que no presentan la necesaria impermeabilidad no pueden sellarse aplicando este método, dado que el espacio existente entre los poros no permite la integración de los materiales de inyección.

En tales casos, el procedimiento de inyección por toberas constituye una auténtica alternativa.





### 3.3.2 Fondos impermeables construidos según el procedimiento de inyección por toberas.

La implementación de fondos impermeables construidos mediante el procedimiento de inyección por toberas en construcciones bajo tierra representa una técnica avanzada y efectiva para controlar la infiltración de agua y garantizar la estabilidad de las estructuras subterráneas. En proyectos como túneles, estaciones de metro y galerías, donde la presencia de agua subterránea puede ser un desafío significativo, la aplicación de este procedimiento ofrece una solución robusta y duradera.

El proceso de inyección por toberas implica la inserción de toberas de inyección en el suelo circundante a través de perforaciones previamente realizadas en la estructura subterránea. Luego, se bombea un material impermeabilizante, como mortero o resina, a través de estas toberas, formando una barrera continua que sella las posibles vías de infiltración de agua. Esta técnica no solo fortalece el suelo y previene la erosión, sino que también protege las estructuras subterráneas de daños causados por la humedad y la corrosión.

En esta introducción, exploraremos en detalle los principios y beneficios de los fondos impermeables construidos mediante el procedimiento de inyección por toberas en construcciones bajo tierra, destacando su importancia para la seguridad, la durabilidad y el éxito general de los proyectos de ingeniería civil en entornos subterráneos.

En este método de inyección por toberas, se destruye deliberadamente la estructura del suelo mediante un chorro de agua rotativo de elevada presión. A continuación, los componentes del suelo se mezclan con una suspensión adecuada para fines de impermeabilización. El producto final es un «mortero de suelo» que presenta una permeabilidad de unos 10–8 m/s necesaria para lograr el efecto perseguido de sellado. La permeabilidad alcanzada equivale a la de una capa de subsuelo de impermeabilidad natural.

En primer término, un tubo de perforación dotado de toberas laterales va hincándose hasta la profundidad requerida. Durante el subsiguiente embutido, se da al tubo un movimiento rotativo, inyectando a la vez una suspensión de cemento en el suelo circundante a muy alta presión. La mezcla así formada entre suelo/suspensión endurece en forma de columnas y alcanza así la necesaria impermeabilidad.

La construcción de estas columnas interseccionadas que, según la composición del suelo, alcanzan un diámetro máximo de 1,5 m, se efectúa nuevamente en forma de módulos por toda el área de la zanja. En

general, los fondos de zanjas resistentes a las fuerzas ascensionales que se han construido según el método de inyección por toberas, tienen un espesor de 0,5 a 1,0 m.

Durante el subsiguiente embutido, se da la tubo un movimiento rotativo, inyectando a la vez una suspensión de cemento en el suelo circundante a muy alta presión.

En el método de inyección por toberas es sumamente importante que se observen estrictamente todos los criterios relativos al control de la calidad, dado que esta técnica es mucho más complicada que los procedimientos convencionales de inyección, exigiendo la máxima atención también desde el aspecto técnico de la maquinaria.

#### **4 Aspectos del seguro**

Las construcciones subterráneas presentan desafíos únicos para aseguradores debido a la complejidad del entorno, los riesgos geológicos y las posibles repercusiones financieras de cualquier incidente. Para abordar estos desafíos, es crucial llevar a cabo un análisis exhaustivo de riesgos que identifique y evalúe todas las amenazas potenciales. Este escrito ofrece una visión general del proceso de análisis de riesgos para aseguradores en construcciones subterráneas.

##### **Identificación de Riesgos:**

El primer paso en el análisis de riesgos es identificar todas las posibles amenazas que podrían afectar a la construcción subterránea. Esto incluye riesgos geológicos como deslizamientos de tierra, inundaciones subterráneas, y colapso de cavernas, así como riesgos relacionados con la construcción y operación, como fallas en la estructura, fugas de agua o gas, y problemas de acceso y salida en caso de emergencia.

##### **Evaluación de Riesgos:**

Una vez que se han identificado los riesgos, es importante evaluar su probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial en la construcción subterránea. Esto puede implicar el uso de modelos matemáticos y herramientas de análisis de riesgos para calcular la frecuencia y severidad de los diferentes escenarios de riesgo. Además, es crucial considerar la capacidad de recuperación de la construcción subterránea y su capacidad para mitigar los efectos adversos de un incidente.

##### **Mitigación de Riesgos:**

Después de evaluar los riesgos, es importante implementar medidas de mitigación para reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos y minimizar su impacto en caso de que ocurran. Esto puede incluir la mejora de la construcción subterránea para hacerla más resistente a los riesgos geológicos, la implementación de sistemas de monitoreo para detectar problemas potenciales antes de que se conviertan en emergencias, y el desarrollo de planes de contingencia y evacuación para responder rápidamente a cualquier incidente.

### Seguro de Construcción Subterránea:

Basándose en los hallazgos del análisis de riesgos, los aseguradores pueden desarrollar pólizas de seguro específicas para construcciones subterráneas que aborden los riesgos identificados. Estas pólizas pueden incluir cobertura para daños estructurales, responsabilidad civil, interrupción del negocio y gastos de limpieza y recuperación. Es importante que las pólizas sean diseñadas a medida para satisfacer las necesidades específicas de cada proyecto de construcción subterránea y que proporcionen una cobertura adecuada para todos los posibles escenarios de riesgo.

El análisis de riesgos es un componente crítico del proceso de aseguramiento para construcciones subterráneas. Al identificar, evaluar y mitigar los riesgos asociados con este tipo de proyectos, los aseguradores pueden proporcionar una cobertura efectiva que proteja a los propietarios, contratistas y otros interesados de los posibles impactos financieros de cualquier incidente. Al mismo tiempo, un enfoque proactivo hacia la gestión de riesgos puede ayudar a mejorar la seguridad y la viabilidad de las construcciones subterráneas a largo plazo.

#### **4.1 Disminución del nivel freático**

Si en contra de todas las reservas formuladas, se ha proyectado un rebajamiento del nivel freático, los aseguradores deberán tener en cuenta, en primer lugar, el peligro de asentamiento del terreno inherente a la composición del subsuelo. El hundimiento del subsuelo puede conllevar la formación de grietas en los edificios adyacentes o incluso su derrumbamiento; por regla general, ello tiene por consecuencia importantes reclamaciones de responsabilidad civil. En orden a garantizar la transparencia del riesgo, se aconseja que se proceda a una inspección exacta de los edificios existentes antes de comenzar los trabajos de construcción y que se acuerden límites ajustados de responsabilidad y porcentajes adecuados en concepto de franquicias.

#### **4.2 Sellado natural del fondo**

Al analizar el riesgo inherente al sellado natural del fondo de una excavación, habría que tener presente el tipo del tablestacado utilizado. Los métodos exentos de vibraciones, tales como muros de pantalla continua o muros de pilotes hincados, aminoran el riesgo de una unión deficiente entre la pared de la zanja y el fondo natural impermeable y, con ello, el peligro de sifonamiento que, en el peor de los casos, puede conllevar el derrumbe de toda la zanja.

Antes de iniciar los trabajos de construcción, habría que realizar un número suficiente de sondeos. Con ello se garantiza que la capa del suelo impermeable tenga en todo el recinto de la zanja el espesor suficiente, pudiendo descartarse eventuales fugas del fondo que, en caso contrario, pudieran conllevar el sifonamiento de la cimentación.

#### **4.3 Fondos de hormigón sumergido**

Desde el aspecto técnico de construcción, la ejecución correcta del fondo de hormigón sumergido a gran profundidad plantea un gran desafío al contratista. Por este motivo, sería aconsejable que en la



calificación del riesgo se tenga en debida cuenta la experiencia del contratista encargado de la ejecución de tales trabajos.

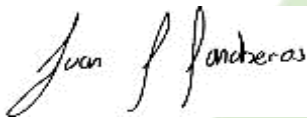
Al excavar una zanja con fondo de hormigón sumergido es inevitable que se forme una vasta área de agua dentro del recinto de la obra. Para contrarrestar la formación de tales lagos, hay que tomar las medidas protectoras adecuadas, tanto en el interés del personal que trabaje en la obra como también en el de terceras personas. Eventuales inspecciones también de parte de los aseguradores pueden contribuir notablemente a que se observen esas medidas de prevención.

#### **4.4 Fondos por inyección**

La ejecución de fondos por inyección constituye una medida especial para obras bajo tierra, que impone exigencias particularmente rigurosas tanto a la técnica de los equipos como a la experiencia del personal de operación. Ante esta circunstancia, hay que prestar atención especial a la calificación de los contratistas encargados de realizar tales trabajos.

Tendrán aplicación las normas de suscripción y los endosos que son usuales para la ejecución de todos los trabajos por inyección, como, p. ej., la exclusión de indemnizaciones en concepto de mermas imprevistas de bentonita.

Al tener que realizarse inyecciones químicas, habría que excluir, de todas formas, de la cobertura los daños medioambientales, tales como contaminaciones de las aguas freáticas y similares.



**Juan Carlos Lancheros Rueda** – CILA, BC's Mech Eng, BC's B.A, M.I.A, P.M.S, F.M.S.  
**C.E.O.**