GUÍA PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA INTERVENTORÍA TÉCNICA EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN, TIPO PANTALLA DE PILOTES, MUROS ESTRUCTURALES EN VOLADIZO Y ANCLADOS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

FACULTAD TECNOLOGICA

BOGOTA D.C.

2024

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

DIEGO FERNANDO FORERO
OSMAR ADRIAN CORDON
CRISTIAN FELIPE BRAVO

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO.....3
INTRODUCCIÓN..... 6
PANTALLA DE PILOTES.....7
MUROS ANCLADOS 17
MUROS EN VOLADIZO 35

GLOSARIO

- **Anclaje:** es el elemento capaz de transmitir esfuerzos de tracción desde la superficie del terreno hasta una zona interior del mismo. (Piqueras, Víctor. Y., s.f.)

- **Asentamiento:** es el desplazamiento vertical relativo del suelo ante la imposición de cargas, la disipación de presiones, la acción del drenaje, etc. Los asentamientos afectan de manera grave la estabilidad de las estructuras. (INVIAS, Manual para la inspección visual de obras de estabilización).

- **Bulbo:** es la parte solidaria al terreno en profundidad, encargada de transferirle los esfuerzos. Tiene características muy distintas dependiendo del procedimiento constructivo empleado. Teóricamente, se trataría de una parte fija, es decir, que no se movería ni durante el tesado ni durante la movilización del empuje activo. En la práctica se puede mover algo, pero no debe despegarse del terreno, pues entonces desaparecería la capacidad del anclaje. (Piqueras, Víctor. Y., s.f.)

- **Concreto tremie:** es un tipo de concreto con características especiales, ya que se diseña con una consistencia fluida y alta cohesividad para que de este modo se disminuya la posibilidad de segregación. Este tipo de concreto es ideal para el vaciado de cimentaciones profundas tales como pilotes, muros pantalla y barretes, entre otros, donde se debe garantizar una mezcla homogénea a grandes profundidades, en elementos delgados y con una densidad

importante de acero de refuerzo. (ARGOS, s.f.)

- **Desplante:** superficie de terreno y compactada o sin compactar en uno o varios niveles sobre el cual se asienta una construcción. (Docsity, s.f)

- **Distanciadores:** elemento de concreto usado para separar el armazón de aceros de refuerzo del suelo y así conseguir que la armadura tenga el recubrimiento deseado. (Universidad de la Salle, 2013).

- **Drenes:** constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en la introducción de tuberías ranuradas o perforadas insertadas transversalmente en los taludes de cortes y, eventualmente, en terraplenes, para aliviar la presión de poros. (INVIAS, Especificaciones generales de construcción de carreteras).

- **Inyección:** proceso de la ejecución de un anclaje, que permite transmitir la carga del tirante al terreno a través de la zona de bulbo. Siempre se efectúa en la perforación, antes del tesado del anclaje. (Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera, s.f.)

- **Lechada de cemento:** son una mezcla de agua y cemento que pueden llevar algún aditivo. Se usan como material de inyección para protección anticorrosión y formación del bulbo en contacto con el terreno (transferencia de cargas) en micropilotes, anclajes y para inyecciones en mejoras del terreno. (Cimenter, s.f.)

- **Lumbreras:** son estructuras auxiliares para la construcción y operación de túneles. (Manual de Diseño de Obras Civiles Cap. B.5.1 Túneles y Lumbreras en Suelos: Sección B: Geotecnia Tema 5: Túneles y Lumbreras, s.f.)

- **Pilote:** cimentación profunda que tiene como función la transmisión de cargas a estratos competentes por medio de fricción o punta o la combinación de los dos. Son elementos esbeltos con diversas formas de sección transversal. (INVIAS, Manual para la inspección visual de obras de estabilización).

- **Retracción:** disminución del volumen de un suelo húmedo o saturado, debido a su desecación. (ABC Geotechnical Consulting, s.f.)

- **Segregación:** separación de ciertas partículas de un material o mezcla, durante su transporte o colocación. (ABC Geotechnical Consulting, s.f.)

- **Sistema de contención:** son estructuras geotécnicas que se realizan para ejecutar excavaciones verticales y que deben soportar los empujes del terreno que sostiene, las posibles fuerzas exteriores (sobrecargas) y su propio peso, por lo que esta estructura deberá ser diseñada para soportar dichos esfuerzos. (Cimenter, s.f.)

- **Torón:** el torón es un cable de acero constituido por un grupo de alambres dispuestos de manera helicoidal, fabricados para trabajar a tensión, introduciendo un esfuerzo de compresión en el hormigón.

- **Voladizo:** tramo de viga prolongado en continuidad de otro, sin apoyo en el extremo. (ABC Geotechnical Consulting, s.f.)

INTRODUCCIÓN

Este documento describe las actividades principales que se deben llevar a cabo para la ejecución de obras tipo pantalla de pilotes, muros en voladizo y muros anclados. Las actividades se plantean de manera secuencial siguiendo el proceso constructivo “tipo” para cada proyecto. Cada una de estas actividades se describe y se hace mención a los aspectos que se deben tener en cuenta para ejecutarla siguiendo los criterios establecidos en la normativa colombiana. Asimismo, se acompaña de los artículos de la normativa aplicable para dicha actividad incluyendo los criterios de calidad y aceptación.

PANTALLA DE PILOTES

La construcción de una excavación con sistema de contención mediante una pantalla perimetral de pilotes es un proceso utilizado en diversos proyectos de ingeniería civil, como la construcción de estacionamientos subterráneos, lumbreras para túneles, vías, entre otros. Este sistema proporciona estabilidad a las paredes de la excavación y evita posibles deslizamientos de tierra; esto lo realiza por medio del empuje en reposo desarrollado en la parte inferior del pilote, el cual resiste el empuje activo que se produce en la parte del muro que se encuentra en voladizo. El mecanismo por medio del cual resiste la pantalla es por medio de la flexión que se genera en los pilotes.



Figura 1. Muro con pantalla de pilotes

Este tipo de muros se pueden realizar de dos maneras, la primera es con el método llamado “muro de pilas circulares” en este método las pilas se encuentran espaciadas entre sí, normalmente entre 0.5 y 1.5 veces el diámetro de la pila, para garantizar que el material no se desplace entre las pilas, se instala un muro en concreto que se adosa a las pilas.

El otro método es conocido como muro de pilas tangentes, este consiste en la construcción de unas pilas iniciales, las cuales se encuentran separadas una distancia inferior a un diámetro, posteriormente se construyen las principales, las cuales se sobreponen a las secundarias. En este método solo las pilas principales llevan refuerzo. En la siguiente figura se muestra un esquema de los dos métodos.

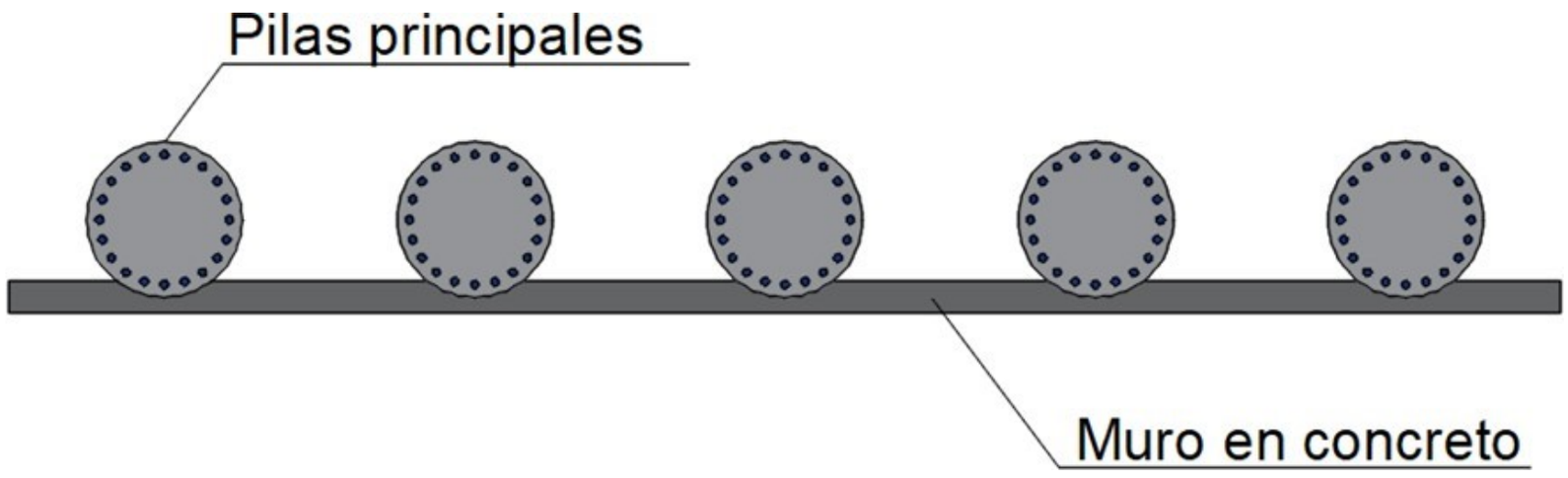


Figura 2. Muro de pilas circulares

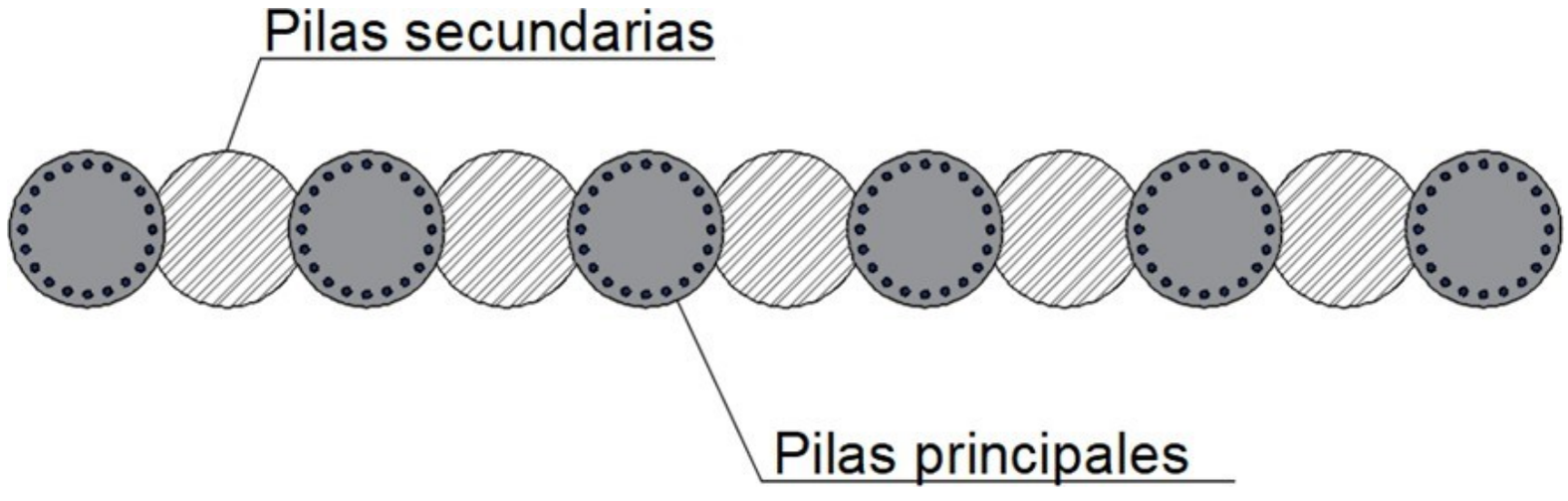


Figura 3. Muro de pilas tangentes

El proceso constructivo para la ejecución de este tipo de muros se describe a continuación:

Primero se debe realizar la limpieza de la zona de interés, cuando el terreno tiene una topografía plana, solo es necesario realizar un descapote, en caso de que el terreno tenga una forma irregular se deben realizar excavaciones para descubrir la zona de trabajo y dar acceso a la maquinaria, materiales y equipos necesarios para realizar la construcción.



Figura 4. Descapote y limpieza

Para esta etapa la normativa aplicable es la siguiente:

- ***Resolución 910 de 2008 / resolución 762 de 2022****:* esta resolución brinda los lineamientos para las emisiones producidas por fuente móviles, se debe cumplir con el límite permitido de opacidad, el cual es inferior al 35%.

- ***Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Resolución 472 del 28/02/2017:*** esta norma reglamenta la disposición de residuos de construcción, brinda los lineamientos para seleccionar el depósito final y establece un sistema de calificaciones para tomar la decisión que brinde mayores beneficios al proyecto.
- ***Resolución 4561 29-11-202 INV. CAP 6 art 600.5.2:*** en este apartado se brindan los límites para la localización del replanteo, en ella se indica que el valor máximo de variación del nivel de la superficie es de 3 cm y la pendiente debe ser inferior al 0.5%.

Una vez realizado él descapote se procede con el replanteo de las estructuras, para ellos se deben utilizar equipos topográficos y la ubicación de los pilotes, estos ítems están establecidos en la siguiente normativa:

- ***NTC 6271:*** la cual reglamente las tolerancias y los periodos de vigencia de la calibración de los equipos.
- ***Resolución 4561 29-11-202 INV. CAP 6 art 621.5.2.5:*** la cual indica que el desplazamiento horizontal de los pilotes debe ser inferior al 10% del diámetro o 7.5 cm en cualquier dirección conrespecto al nivel proyectado para la cabeza del pilote.

Posteriormente, se procede con la excavación de los pilotes, esto se puede realizar mediante métodos manuales o mecánicos. En el caso de los métodos manuales se deberá garantizar la seguridad del personal que ingresa a la excavación, considerando turnos no mayores de 30 minutos.

Al realizar la excavación con método mecánico se debe revisar que la maquinaria cuente con los mantenimientos necesarios y que garantice que la emisión de gases y fugas de aceite cumplan con lo establecido en la norma (norma ambiental), asimismo con los permisos necesarios para la disposición final del material, la normativa aplicable, para estos temas se describió en él descapote.

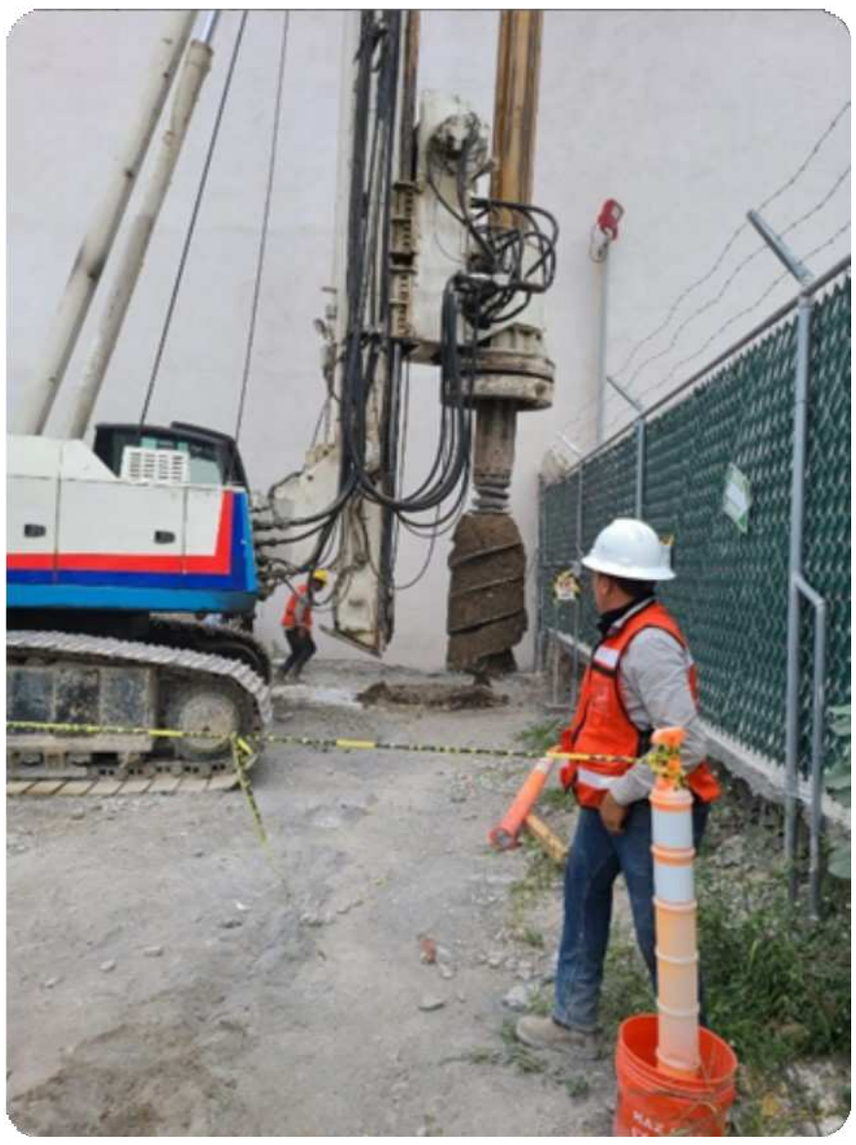


Figura 5. Perforación de pilotes por medios mecánicos

En cuanto al alineamiento vertical de la excavación y la profundidad de desplante de los pilotes, se deberá considerar la siguiente normativa:

- ***Resolución 4561 29-11-202 INV. CAP 6 art. 621.5.2.5:*** esta norma indica que la variación del alineamiento vertical de la excavación <2% del proyectado perpendicular del fondo de la excavación y no menor a 6 cm/m del diámetro del pozo, por otra parte, el nivel superior del pozo no debe variar 2.5 cm del nivel especificado.
- ***NSR-10 H.8.4.2.1:*** Este apartado de la norma sismorresistente indica que se debe verificar que las características del estrato de apoyo son satisfactorias y que todos los materiales derrumbados han sido removidos.

Una vez realizada la excavación, se procede a ingresar la armadura del pilote dentro de la excavación esta armadura se ingresa con ayuda de una grúa, se debe verificar que el recubrimiento que tendrá la armadura sea el apropiado, esto se realiza mediante distanciadores.

Para la armadura se debe verificar que el espaciamiento entre los aceros sea el establecido en los planos, asimismo, que se cumple con las longitudes de desarrollo y la calidad del acero. La normativa aplicable para esta etapa es la siguiente:

- **NTC 161 (Propiedades) y ASTM A615 (Grado 420):** esta norma establece las propiedades, la resistencia, composición y las tolerancias para acero estructural.
- **NSR-10 C.7.7.2:** establece que el recubrimiento para refuerzo del concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él no debe ser menor a 7.5 cm.
- **Resolución 4561, 29-11-202, INV. CAP 6 art 621.2.2 y NTC 4040:** en caso de utilizar soldadura para la armadura se tiene que para armaduras con longitud superior a 10 m los amarres entre acero longitudinal y transversal deben estar soldados al menos en el 50% de los puntos de contacto; para soldadura constructiva debe ser de electrodos 70XX o 60XX. Para soldadura estructural: según diseño la soldadura no reemplaza la longitud de traslapo ni los ganchos.

Posterior a la instalación de la armadura se debe realizar el llenado del pilote mediante la instalación de concreto tipo tremie. La instalación se debe realizar mediante métodos que garanticen que no habrá segregación del material, se deberán tomar las muestras de manera apropiada y se deberá prestar atención al curado del concreto.

Los equipos que se utilicen para la instalación del concreto deben cumplir con la Resolución 910 de 2008 / resolución 762 de 2022, la normativa adicional a considerar en esta etapa es:

- ***NSR-10 C.5.10:*** la cual establece los criterios a considerar para la colocación del concreto en obra.
- ***NSR-10 C.5.11:*** en este apartado se establecen los criterios pararealizar el curado del concreto en obra.

Los ensayos a realizar para el concreto están establecidos en las siguientes normas:

- NTC 396 (ASTM C143): asentamiento
- Resistencia a la compresión NTC 673 (ASTM C39)
- Retracción NTC 5640
- Fraguado inicial NTC 890 (ASTM C 403)
- Fraguado final NTC 890 (ASTM C 403)

La frecuencia con la que deben realizarse los anteriores ensayos está especificada en la NSR-10 C.5.6.2

Una vez terminado de fundir los pilotes se procede a realizar el descabezado de los mismos, este procedimiento consiste en demoler la parte superior del pilote de manera que se retire todo el concreto contaminado por el material de la excavación. Para este procedimiento se debe considerar lo descrito en:

- ***Resolución 4561 29-11-2022 INV. CAP 6 art 621.4.9:*** esta resolución indica que se debe fundir un excedente no menor al 90% del diámetro del pilote y retirar impurezas de concreto contaminado hasta un nivel no menor de 20 cm arriba de la cota de desplante.

Una vez terminada la demolición se procede a realizar una viga de amarre, la cual garantizará el comportamiento en grupo de los pilotes. Para la construcción de esta viga se debe tener en cuenta la normativa descrita para la etapa de llenado de los pilotes, puesto que la toma de ensayos se realiza de la misma manera.

Una vez terminada la viga, se debe cuidar el curado del concreto con base en lo establecido en el capítulo C.5.11.

Una vez se ha logrado la resistencia de la pantalla de pilotes, se procede a realizar la excavación para dejar al descubierto los pilotes hasta la profundidad máxima de diseño. Para ello se debe considerar lo siguiente:

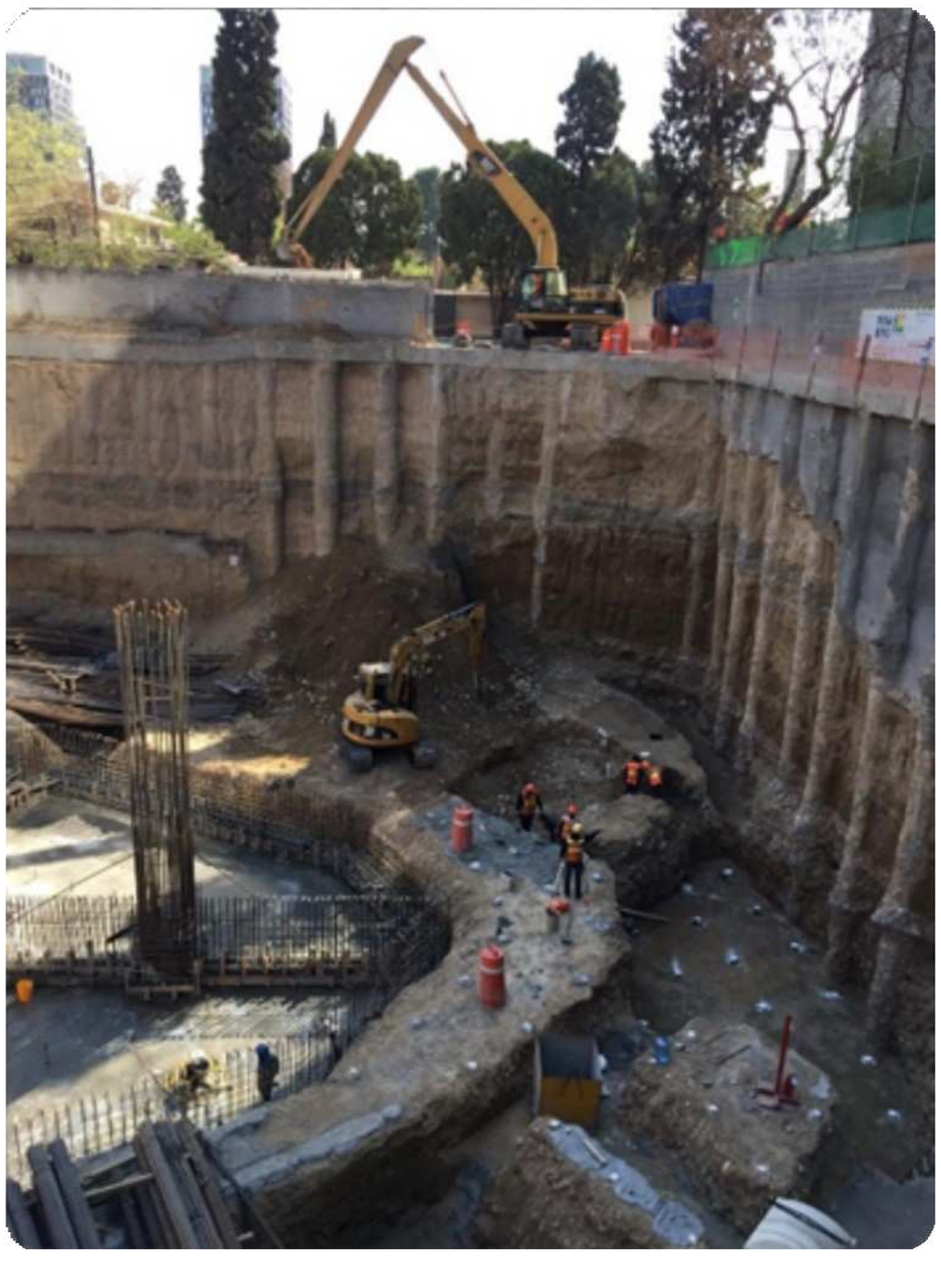


Figura 6. Excavación hasta la profundidad máxima

- ***NSR-10 H.8.2.6:*** para excavaciones de más de 3 m o en bases deladeras, contar con plan de contingencia para determinar elementos vulnerables, riesgos y áreas de influencia
- ***NSR 10 H.5.3.2:*** determinar, mediante análisis analítico o numérico considerando el procedimiento constructivo, los valores de asentamiento esperados debido a la excavación
- ***NSR-10 H5, tabla H.2.4-1:*** se debe cumplir con los factores de seguridad establecidos en la tabla H.2.4-1

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

Tabla 1. Factores de seguridad

MUROS ANCLADOS

Los muros de contención anclados son estructuras diseñadas para resistir las fuerzas laterales del suelo y proporcionar estabilidad en áreas donde se necesita retener el terreno, como en laderas o excavaciones profundas. Estos muros utilizan anclajes o tirantes para transmitir las cargas laterales al suelo detrás de la superficie potencial de falla que tiene el muro, aumentando así su capacidad de retención.



Figura 7. Muro estructural con anclajes

Este tipo de muros se utiliza especialmente cuando el terreno no tiene la capacidad de sostenerse a sí mismo, cuando hay limitaciones de espacio para realizar excavaciones a cielo abierto y cuando no hay limitaciones para el uso de anclas debido a la cercanía con algún proyecto colindante como por ejemplo un sótano.

El procedimiento utilizado para realizar este tipo de muros es conocido como muro descendente y se describe a continuación: Las dos primeras etapas del proceso son iguales a las ejecutadas para la pantalla de pilotes, las cuales consisten en la localización y replanteo del proyecto. La normativa aplicable para estas etapas se describió en el capítulo anterior.

Posteriormente, se procede a realizar el primer nivel de excavación, contrario al caso de la pantalla de pilotes, en este caso la excavación se realizará de manera progresiva.

Para realizar la excavación de la zona central se debe considerar él ángulo de inclinación establecido en el estudio de suelos, se realizan unas bermas, las cuales consisten en hacer excavaciones verticales sobre el perímetro de la excavación, mientras que se dejan las bermas intermedias, tal como se muestra a continuación:

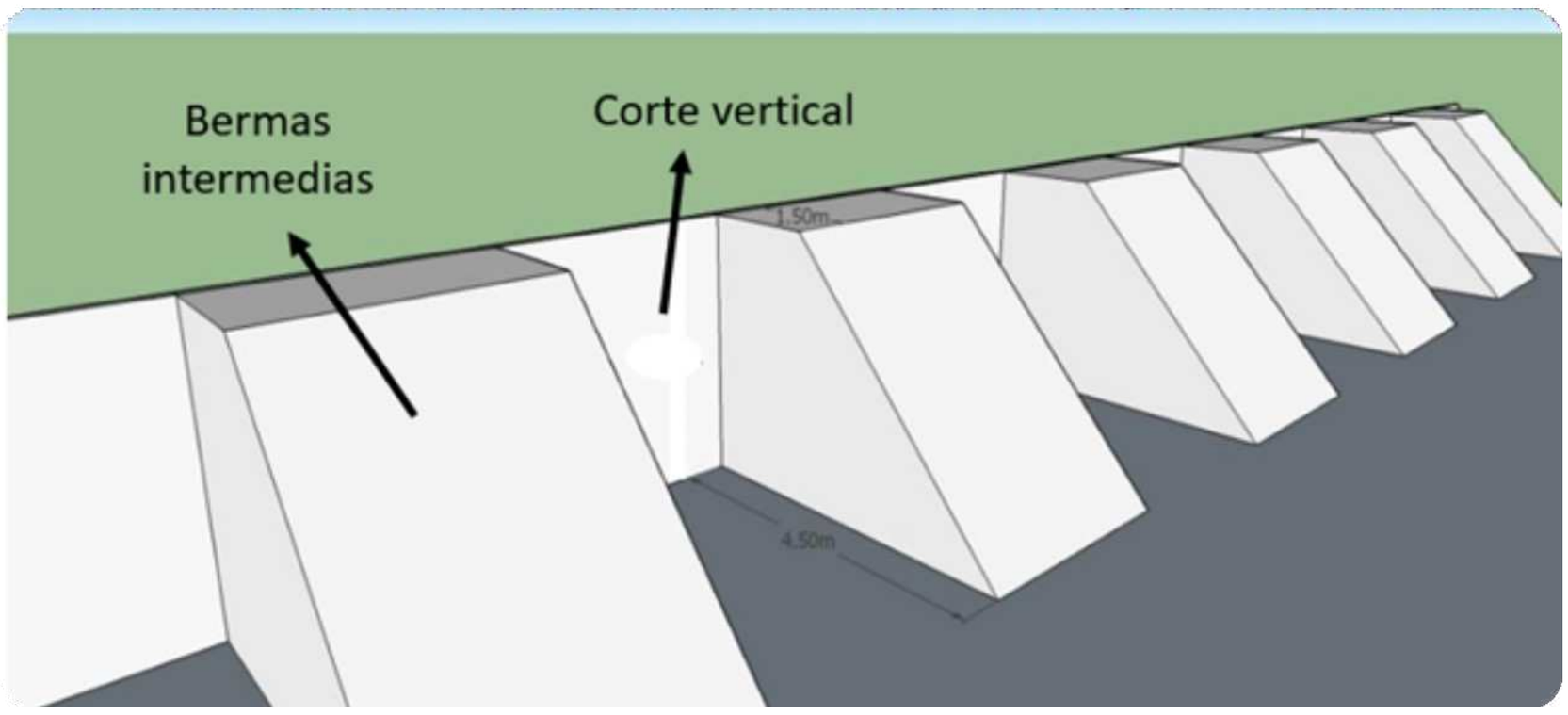


Figura 8. Excavación con bermas

La separación entre las bermas normalmente no excede los 3 m, esto depende principalmente de las propiedades del terreno. La normativa aplicable a esta etapa es la siguiente:

- ***NSR-10 H.8.2.6:*** establece la necesidad de un plan de contingencia, el cual se deberá ejecutar para excavaciones de más de 3 m o en bases de laderas, en este plan se deben determinar elementos vulnerables, riesgos y áreas de influencia.

Asimismo, se deben tener en cuenta los criterios establecidos en NSR 10 H.5.3.2, NSR-10 H5 tabla H.2.4-1.

En el proceso de excavación se debe verificar que el material producto de la excavación se lleve a un depósito certificado, siguiendo lo establecido en la Resolución 472 del 28/02/2017.

Una vez realizado el corte, se procede a realizar la perforación de las anclas y los drenes. La perforación debe efectuarse con un correcto alineamiento y ángulo de inclinación, según el diseño. Es esencial elegir un método de perforación que evite excavaciones excesivas o el colapso del agujero, y la perforación en las filas superiores no debe causar levantamiento excesivo del terreno.



Figura 9. Perforación de anclajes (fuente: TA 2020)

El direccionamiento de las excavaciones debe seguir lo establecido en:
Resolución 4561 29-11-2022 INV. CAP 6 art. 623.4.2.2 y 623.5.2.2:

- (± 3°) del ángulo planificado en la placa de apoyo.
- (± 0,3 m) de la localización planificada en la superficie del terreno (punto de entrada).
- El alineamiento de la excavación del anclaje no debe variar del alineamiento proyectado en más de veinte milímetros por metro (20 mm/m) de profundidad, medidos en cualquier dirección.

Se debe tener en cuenta que la longitud de la perforación se compone de la longitud libre y la longitud del bulbo. La longitud libre debe ir 1.5 m más alláde la superficie de falla considerada para la excavación y nunca menor de 4 m, por otra parte, la longitud del bulbo debe tener longitudes máximas recomendables de 10 m y mínimas de 4 m, esto según los criterios de la Tirants D'Ancrage TA 2020.

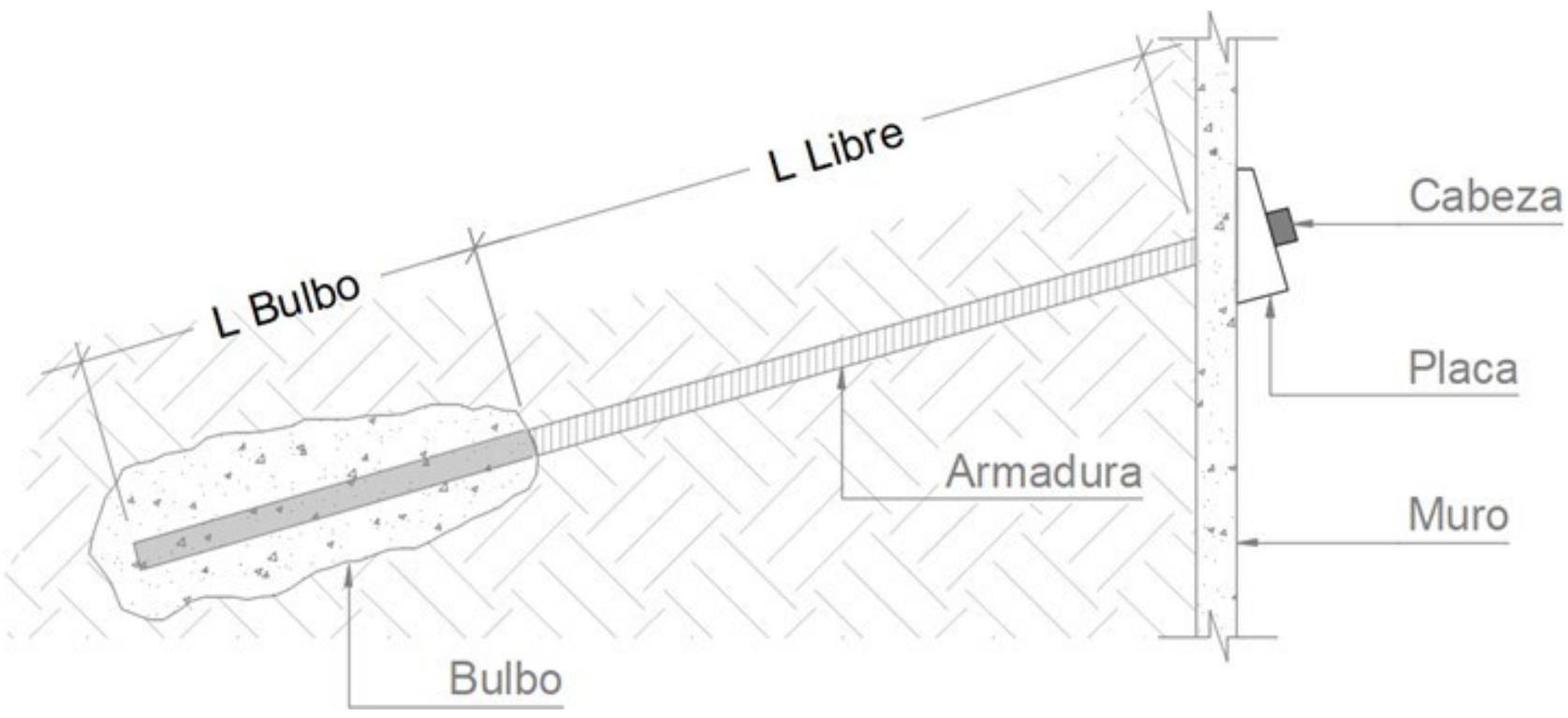


Figura 10. Partes del anclaje

Luego de realizar la excavación de los anclajes se procede a la instalación de los mismos, esta instalación se debe poder realizar de manera sencilla.

El acero utilizado para los torones debe cumplir con lo establecido en:

- NTC 161 (Propiedades)
- ASTM A615 (Grado 420)

Asimismo, la instalación se debe realizar siguiendo los siguientes criterios:

- ***Protección contra humedad:*** se requiere que sean continuos y totalmente impermeables a la humedad. Las juntas deben ser selladas de manera hermética para prevenir cualquier posibilidad de infiltración de humedad.
- ***Condiciones de durabilidad y agresividad del suelo y ambiente:*** cumplir las recomendaciones DC35.1 del Post-Tensioning Institute (PTI).
- ***Grasa inhibidora de corrosión:*** debe cumplir con 6.3.4 de AASHTO LFRD Bridge Construction Specifications.
- ***Especificaciones de encapsulación para longitud no adherida de un anclaje:*** tolerancia de elementos de encapsulación para longitud no adherida de un anclaje - NTC 2935, NTC 2966.
- ***Especificaciones de encapsulación para longitud adherida de un anclaje:*** tolerancia de elementos de encapsulación para longitud adherida de un anclaje - AASHTO M 252, AASHTO M 317.

- Se tomarán precauciones necesarias para proteger los anclajes contra corrosión, con base en pruebas que permitan evaluar la agresividad del terreno, principalmente en cuanto a resistividad eléctrica, PH, cantidad de sulfuros, sulfatos y cloruros. Se prestará particular atención a la protección de los elementos que no se encuentran dentro del barreno y en especial en la zona del brocal (placas de apoyo, cuñas, tuercas, zona terminal de elemento tensor, etc.)
- Calidad de materiales: la diferencia máxima aceptable en el espesor de las cubiertas de protección es de más o menos (± 10 %). El diámetro interno de la cubierta de protección debe ser almenos (0,76 mm) mayor que el diámetro del tendón.

Por otra parte, para la instalación de los drenes se deberá tener en cuenta:

- Que el lote de tubos que llegue a la obra cumpla con las especificaciones exigidas.
- Que ningún tubo presente roturas, aplastamientos o deformaciones.
- Que el diseño y la ejecución de las ranuras o perforaciones de cada uno de los tubos se encuentre de acuerdo con los documentos del proyecto.
- Que la unión de los tubos, a medida que se van introduciendo en el barreno, se ejecute conforme con las indicaciones establecidas en los documentos del proyecto.

Finalmente, se debe considerar que la filtración deberá cumplir los requisitos del numeral 11.8.8 Norma Colombiana de diseño de puentes CC14. sección 11 y que para el control de flujo de agua se debe contar con un sistema de bombeo capaz de evacuar 1,5 veces el caudal estimado en caso de ser requerido, sin embargo, en todos los casos será necesario un sistema de bombeo superficial que desaloje el agua de uno o varios cárcamos en los que se recolecten los escurrimientos de agua. El agua bombeada arrojada al sistema de drenaje público deberá estar libre de sedimentos y contaminantes, esto de acuerdo al capítulo H.8.2.2.

Una vez instalados los drenes y los anclajes, se procede a fundir el bulbo utilizando lechada de cemento, para realizar este proceso se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Resolución 4561 29-11-2022 INV. CAP 6 art 501.5.2: Cemento: cumplir con los requisitos de desempeño enunciados NTC 121
- Resolución 4561 29-11-2022 INV. CAP 6 art 631.2.4: Aditivos: tolerancias de parámetros según NTC 1299(ASTM C494) y la NTC 4023 (ASTM C1017) y no pueden contener iones de cloruro. En cualquier caso, el máximo contenido final de cloruro de la lechada debe ser de cero coma cero ocho por ciento (0,08 %).

- Resolución 4561 29-11-2022 INV. CAP 6 art 631.2.5: Calidad del agua:

1. El agua para la lechada debe ser limpia y sin contaminantes que afecten la calidad, resistencia o durabilidad de las obras.
2. No debe contener más de doscientos cincuenta miligramos (250 mg) de ion cloro por litro de agua.
3. Si se emplea agua potable, no se requiere ningún ensayo para verificar su calidad.
4. Si se emplean aguas subterráneas, se deben realizar pruebas de calidad del agua para concreto.

Ya que se ha realizado la lechada se procede con la instalación del acero de refuerzo para el muro.



Figura 11. Instalación de acero

Este proceso debe tener en cuenta lo siguiente:

- ***Resolución 4561 29-11-2022 INV. CAP 6 art 680.2.2:*** tolerancia de requerimientos según NTC 1985 (ASTM A572) y NTC 3320 (ASTM A123).
- ***NSR-10 C.7.7.2:*** el recubrimiento para refuerzo del concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él no debe ser menor a 7.5 cm.

Una vez instalado el acero de refuerzo se procede a realizar la instalación del concreto lanzado.



Figura 12. Colocación de concreto lanzado

El concreto lanzado enfrenta requisitos contrapuestos de "capacidad de disparo" y "capacidad de bombeo". Debe adherirse eficazmente, resistir el desprendimiento y fluir como un fluido viscoso. Este material se proyecta a alta velocidad, asegurando una capa duradera y resistente. La alta capacidad de disparo busca lograrel espesor deseado en un solo paso, sin generar desprendimientos ofisuras bajo el refuerzo de acero. Secciones más gruesas son posibles sin esfuerzo adicional. Los aditivos, como aceleradores, se ajustan según el proyecto.

El equipo de bombeo utilizado debe cumplir con lo establecido en la resolución 910 de 2008 / resolución 762 de 2022, por otra parte, el concreto debe cumplir con lo establecido en:

- ***NTC 396 (ASTM C143):*** Asentamiento: 200 mm ± 40 mm
- ***NTC 673 (ASTM C39):*** Resistencia a la compresión f´c: Desde 3000 hasta 6000 psi (21 a 41 MPa)
- ***NTC 5640: Retracción:*** >0,06 mm/m a 56 días
- ***NTC 890 (ASTM C 403):*** Fraguado inicial: 7 h +/-2 horas.
- ***NTC 890 (ASTM C 403):*** Fraguado final: 10 h +/-2 horas.

- ***NSR 10, Numeral C.5.6.2.3:*** Resistencia: 1. Que los promedios de los conjuntos de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia, donde cada ensayo representa el promedio de resistencia de dos cilindros, deben ser iguales o superiores al valor nominal especificado para la resistencia característica del concreto (f'c). 2. ningún resultado individual de los ensayos de resistencia (un ensayo es el promedio de resistencia de dos cilindros), tenga una resistencia inferior en 3.5 MPa, o más, a f'c

Finalmente, se procede a realizar el tensado del anclaje, esto se realiza después de que el concreto ha alcanzado una resistencia específica, esto se realiza normalmente entre 3 y 7 días, con una fuerza variable de 25 a 35 toneladas. pudiendo llegar en algunos casos hasta 100 toneladas. Esto depende de la especificación de cada muro indicada por los planos estructurales. Cabe mencionar que es un procedimiento rápido de aproximadamente 30 minutos por punto.

Para el tensado se debe cumplir con la siguiente normativa: Resolución 4561 29-11-2022 INV. CAP 6 art 623.4.4 la cual indica que se deben realizar todos los ensayos y pruebas requeridos acorde con el numeral 11.9.8.1 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes y el artículo 6.5.5 de AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications.

Una vez realizado el tensado de los anclajes se procede a realizar el corte vertical de las bermas restantes y se realiza el mismo procedimiento ya descrito. En las siguientes figuras se muestra el proceso para una excavación de cuatro niveles:

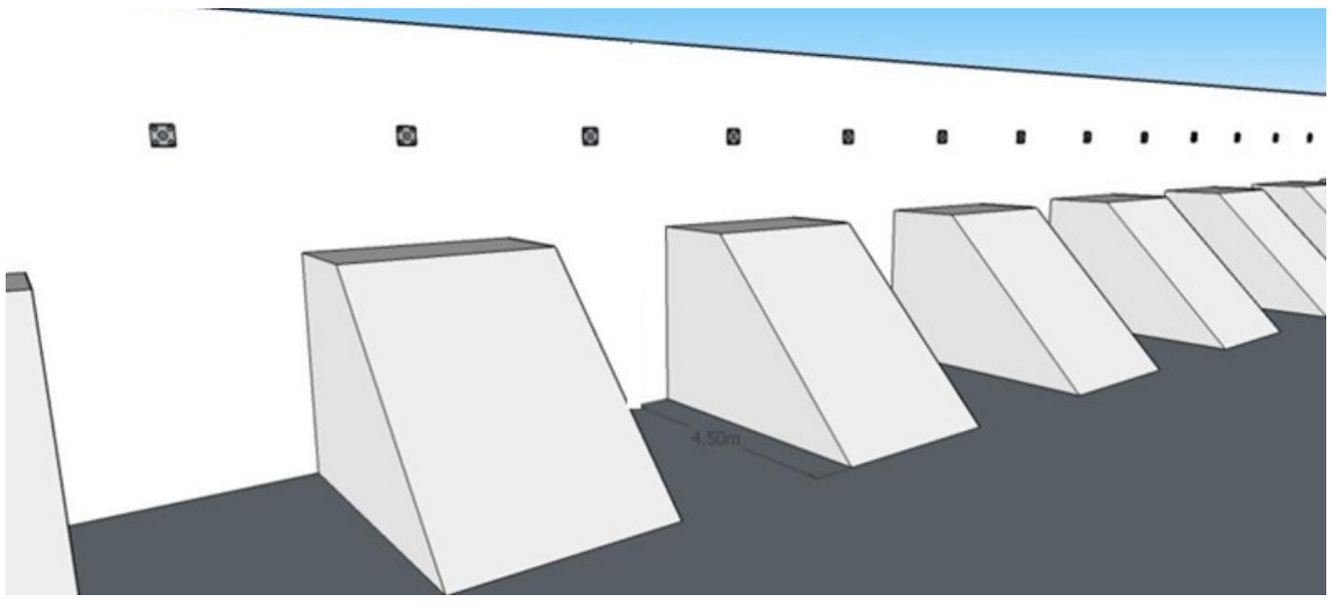


Figura 13. Excavación con bermas para segundo nivel de excavación

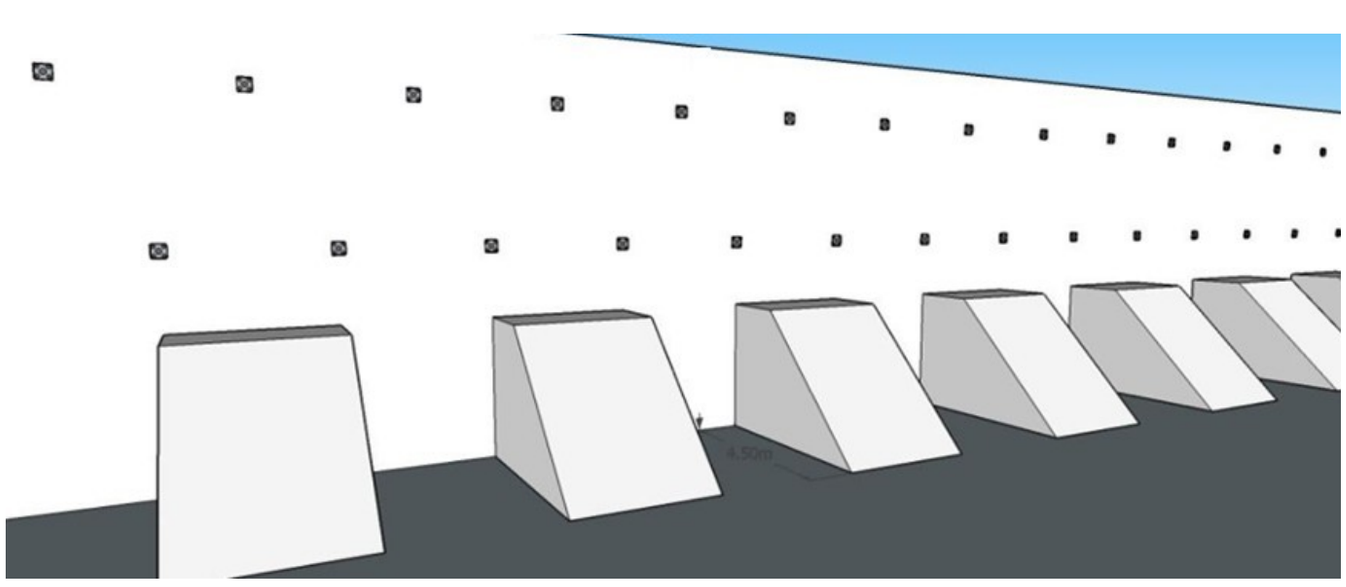


Figura 14. Excavación con bermas para tercer nivel de excavación

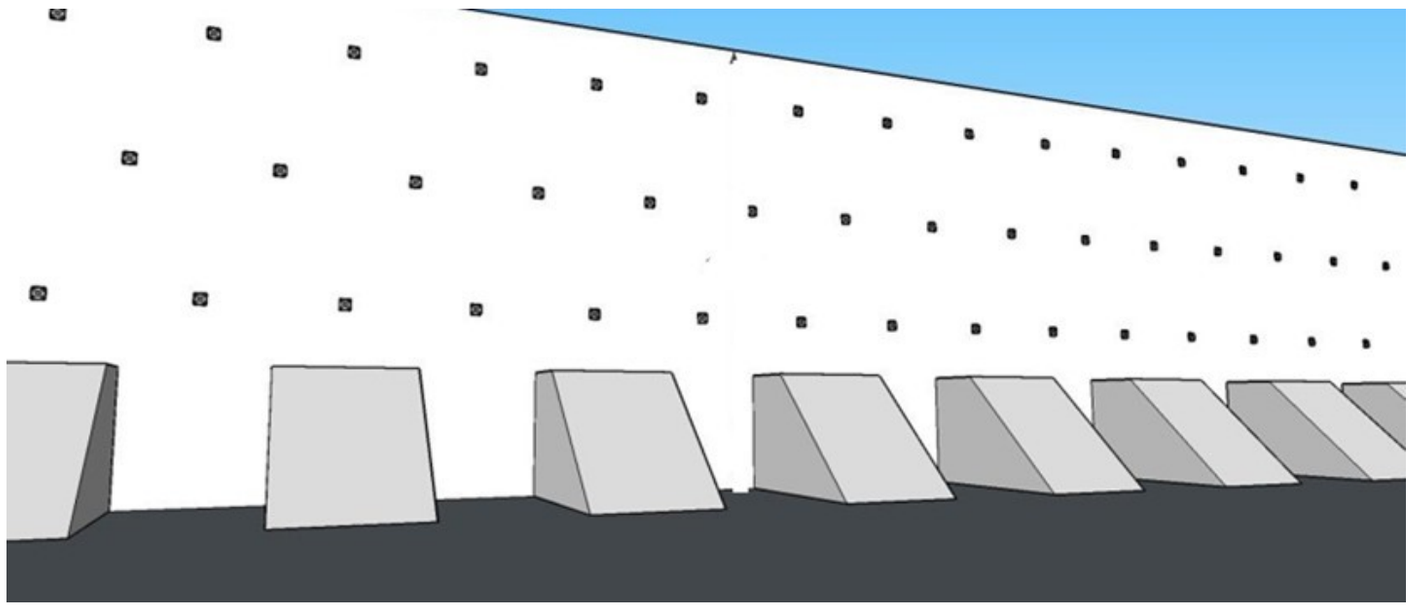


Figura 15. Excavación con bermas para cuarto nivel de excavación

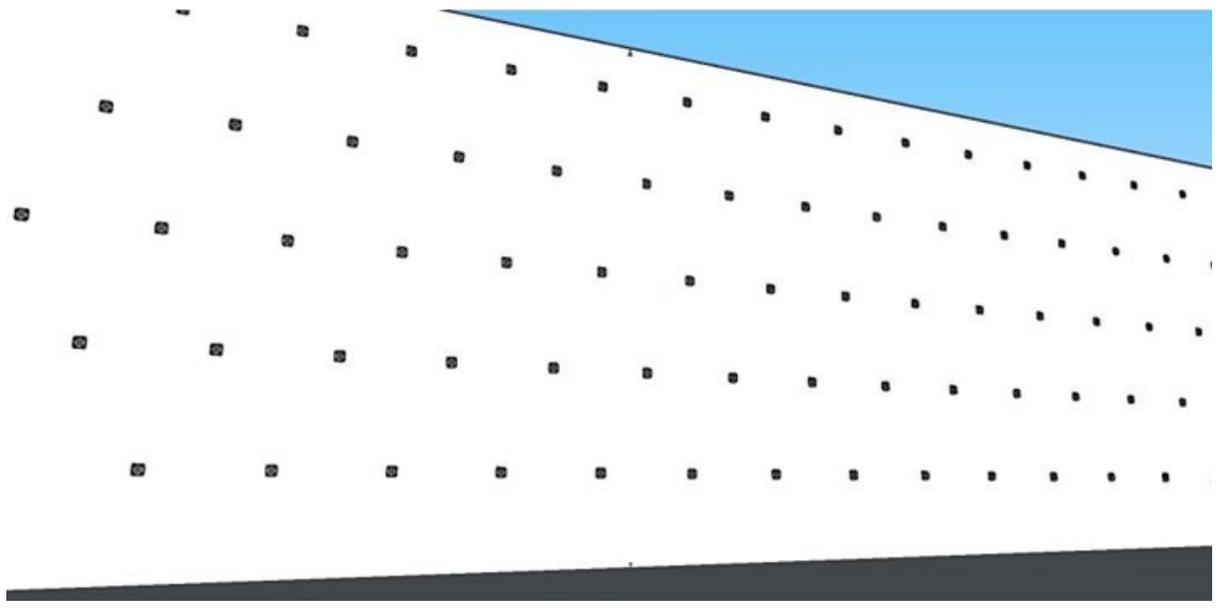


Figura 16. Excavación total

Finalmente, se brindan estas recomendaciones, las cuales se extrajeron de la TA 2020:

Esperar a que la inyección haya logrado el endurecimiento suficiente para dar inicio a la tensión en las anclas, el cual corresponde a una resistencia mínima de 21 MPa medida en pruebas de compresión simple.

Aplicación de la carga de prueba te, en etapas sucesivas (20% te) durante las cuales se miden simultáneamente las presiones del gato hidráulico y las elongaciones de los torones en conjunto. mantenimiento durante un tiempo limitado, la prueba de tensión y medición de las elongaciones correspondientes de acuerdo con los requisitos del modo de funcionamiento de la prueba de tensión estipulada. En el caso de que se cumplan los criterios de aceptación, se tensará el ancla hasta la tensión tb de bloqueo. Relajamiento del gato hidráulico y desmonte del equipo de tensado.

La carga de prueba (te): es la carga máxima a la que el ancla es sometida para verificar que en condiciones de seguridad la carga de servicio podrá ser soportada.

La carga de prueba está en función del tipo de ancla:

Temporal:

sí tb > 1.15 ts, te=tb

sí tb < 1.15 ts, te=1.15 ts

permanente:

te=1.25 ts

Se recomienda que en ningún caso la carga de prueba sea mayor de 1.25 ts.

También se recomienda realizar las siguientes pruebas:
Pruebas de ruptura: para estas pruebas, es necesario contar con dos anclas con las mismas características y realizadas en las mismas condiciones, aplicando a ambas los programas específicos de carga.

El objetivo principal de estas pruebas es:

- Verificar que el ancla pueda ser sometida a una tensión ts
- Optimizar las características de las anclas de la obra.
- Alcanzar la ruptura del bulbo por extracción, siempre y cuando no se haya alcanzado el límite de resistencia a la tensión tb del torón o barra del ancla.

Cabe mencionar que, por ningún motivo, las anclas sometidas a este tipo de prueba podrán ser utilizadas posteriormente como anclas de servicio.

Las pruebas a la ruptura se dividen en pruebas preliminares y pruebas de cumplimiento:

Pruebas preliminares: las anclas sometidas a este tipo de pruebas deben construirse en las mismas condiciones (método de perforación, armadura, método de inyección, longitud libre y de bulbo) que las anclas definitivas. en caso de que el bulbo se encuentre en suelo cohesivo (ip ≥ 20) y pueda llegar a fluir, este tipo de pruebas son obligatorias.

El número mínimo de anclas que serán puestas a prueba se determinará de acuerdo con el número de anclas “n” del proyecto, como se indica en la siguiente tabla.

n	N
1 - 200	2
201 - 500	3
501 - 1000	4
1001 - 2000	5
2001 - 4000	6

Tabla 2. Numero de anclas permitidos según pruebas

- ***Pruebas de cumplimiento:*** se realizan al inicio de los trabajos; las anclas utilizadas en estas pruebas no pueden ser utilizadas como definitivas o de servicio.

La estructura de contención donde se ejecutarán las anclas definitivas operará como el soporte de las pruebas de cumplimiento. tanto el diseño como construcción de esta estructura debe asegurar que las cargas máximas aplicadas sean soportadas y contener las placas de “reservación” donde se instalaran las anclas de prueba.

Si lo anterior se cumple, la prueba se lleva hasta la falla o ruptura del bulbo. por consiguiente, ningún ancla sometida a una prueba de cumplimiento puede ser reutilizada.

Como en el caso de pruebas preliminares, las anclas se clasifican en diferentes categorías según el rol que asumen y el tipo de suelo en el que se encuentran. para cada categoría de ancla, el número

mínimo de pruebas es de 2.

- ***Pruebas de control:*** estas pruebas se efectúan para controlar la calidad de ejecución particularmente del bulbo de las anclas definitivas, limitando las tensiones de prueba a las que estarán sometidas y evitando la falla del bulbo. debido a la necesidad de controlar y verificar la interacción bulbo-suelo circundante, estas pruebas deben ser obligatorias. se debe efectuar una prueba de control por cada 40 anclas y como mínimo 3 pruebas por frente.

Las pruebas consisten en aplicar cargas por etapas sucesivas al ancla hasta alcanzar la carga de prueba te, la cual, está en función de la carga de servicio ts:

te= 1.15 ts (anclas temporales)

te= 1.25 ts (anclas permanentes)

Las anclas deben cumplir la siguiente condición:

La elongación δe medida entre el tiempo en to+ 5 min y to + 60 min no debe exceder:

1.25 mm para anclas temporales

1.0 mm para anclas permanentes

De lo contrario, el ancla se considera inválida para su uso.

Pruebas de aceptación: se refiere a los procedimientos a los que están sujetas todas las anclas de la obra antes de su puesta en servicio y que preceden a la operación de bloqueo; estas pruebas de ninguna forma constituyen una verificación del coeficiente seguridad proporcionada por el ancla.

MUROS EN VOLADIZO

Los muros en voladizo, también conocidos como muros cantiléver, son estructuras que se extienden hacia fuera desde su base, es decir,que el terreno que se va a sostener se depositará al respaldo del muro una vez se haya finalizado la construcción del mismo.



Figura 17. Muro estructural en voladizo

Estos muros tienen diversas aplicaciones en la ingeniería civil, las aplicaciones más comunes son: retención de tierras, construcción de terraplenes, muros de contención en carreteras, estabilización de laderas, muros de sostén para edificaciones, muros de contención en zonas urbanas, defensas contra inundaciones.

La secuencia típica de construcción para un muro en voladizo está concebida con un diseño que hace uso de la estrategia Cantiléver para enfrentar la presión del viento que incide en su parte trasera, adaptándose a una topografía de ladera natural. A continuación, se presenta una descripción secuencial de este proceso constructivo, considerando que son estructuras de hormigón armado diseñadas para contener y resistir cargas laterales del suelo.

- ***Descapote o excavaciones:***

Las operaciones llevadas a cabo en esta fase inicial del proceso son idénticas a las realizadas para la pantalla de pilotes y los muros anclados. Para consultar la normativa pertinente, se recomienda dirigirse al capítulo 1 referente a las pantallas de pilotes.

- ***Localización y replanteo:***

Al igual que la actividad precedente, las labores de localización y replanteo se rigen por los mismos procedimientos y normativa aplicable establecidos para las estructuras de contención tipo, pantallas de pilotes y muros anclados.

- ***Excavación para cimentación:***

Se inicia la excavación de una zanja para la cimentación, garantizando alcanzar la profundidad de desplante del muro según lo especificado en el estudio del suelo. Este proceso requiere seguir los mismos criterios técnicos establecidos en la NSR 10, en los títulos H, numerales H.8.2.6, H.5.3.2 y H.5, previamente descritos en el capítulo dedicado a los muros anclados.

- ***Solado (concreto pobre):***

Después de nivelar la zanja de la excavación, se procede a la regularización del terreno mediante la aplicación de una capa de concreto de baja resistencia para brindar una plataforma de trabajo apta para la instalación del acero de refuerzo de la base del muro a construir. La capa de solado, conforme a los criterios de aceptación especificados en la NSR10 - C.1.1.1 y C4, debe cumplir con una resistencia mínima a la compresión de 17 MPa para ser considerada apta.

- ***Instalación del acero de refuerzo:***

Aplicada la capa de solado, se realiza la instalación de las varillas, dando forma al armado estructural necesario para reforzar la losa de cimentación que sustentará el muro de hormigón.

El acero utilizado para el armado de barras o mallas de acero debe cumplir con lo establecido en:

- NTC 161 (Propiedades)
- ASTM A615 (Grado 420)

Además, con respecto a los requisitos de longitud de desarrollo y recubrimiento para los aceros que se utilizaran, es necesario tener en cuenta la siguiente normativa:

- ***NSR-10 C.12.2:*** Esta norma indica la longitud de desarrollo requerida para desarrollar fy.

- ***NSR-10 C.7.7.2:*** Esta sección de la normativa aborda el recubrimiento para el refuerzo de concreto colocado en contacto con el suelo y expuesto de manera permanente, el cual no debe ser inferior a 7.5 cm.

- ***Encofrado de la losa de cimentación:***

Completada la disposición del acero en las losas de cimentación, se erige el encofrado alrededor del armado de refuerzo, conforme a las dimensiones y formas específicas indicadas en el diseño. Es fundamental adherirse a las instrucciones para garantizar el cumplimiento de los requisitos de velocidad de colocación, según lo establecido en la norma NSR-10, título C, específicamente en los numerales C.6.1 y C.6.2.

- ***NTC 396 (ASTM C143):*** El asentamiento permitido debe oscilar en el rango de 200 mm ± 40 mm
- ***NTC 673 (ASTM C39):*** La resistencia a la compresión permitida debe situarse dentro del intervalo de 3000 hasta 6000 PSI (21 a 41 MPa).
- ***NTC 5640:*** Para la retracción el mismo debe ser de un rango >0,06 mm/m a 56 días
- ***NTC 890 (ASTM C 403):*** El tiempo de fraguado inicial permitido es de 7 horas, con una variación de ±2 horas.
- ***NTC 890 (ASTM C 403):*** El tiempo de fraguado final permitido es de 10 horas, con una variación de ±2 horas.
- ***NSR 10, Numeral C.5.6.2.3: Resistencia:***

1. Que los promedios de los conjuntos de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia, donde cada ensayo representa el promedio de resistencia de dos cilindros, deben ser iguales o superiores al valor nominal especificado para la resistencia característica del concreto (f'c).
2. Ningún resultado individual de los ensayos de resistencia (un ensayo es el promedio de resistencia de dos cilindros), tenga una resistencia inferior en 3.5 MPa, o más, a f'c

Adicionalmente, para complementar los criterios de asentamiento previamente mencionados, se debe satisfacer los requisitos establecidos para el asentamiento de acuerdo con la norma de ensayo INV. E-404/NTC 396.

De otra parte, los equipos que se utilicen para la instalación del concreto deben cumplir con la Resolución 910 de 2008 / resolución 762 de 2022.

- ***Construcción muro vertical:***

Con respecto al proceso de construcción del muro vertical que se levantara sobre la base de cimentación ya conformada, se replicara las fases de instalación de acero, encofrado y colado, como las mismas se describieron para el procedimiento de construcción de losa de cimentación, al igual que para la normativa aplicada.

- ***Relleno y compactación:***

Para terminar, se realiza el relleno del respaldo del muro por medio de capas, hasta llegar a la profundidad de diseño. La normativa aplicable a esta etapa es la siguiente:

1. ***NSR-10 - H.6.6:*** se establece la necesidad de realizar pruebas y controles en el campo para la compactación, utilizando métodos como la prueba Proctor estándar.