

EDIFICACIÓN



Tema 3 Cimentaciones y excavaciones

**Tema 3.2 Excavaciones, apuntalamientos
y ademes**

Autores:

Ing. José Alonso Alanís Rojas



ÍNDICE

<i>Introducción</i>	1
3.2.1 <i>Generalidades de las Excavaciones</i>	2
3.2.2 <i>Estabilización de Excavaciones</i>	5
3.2.3 <i>Proceso de Excavación</i>	24
3.2.4 <i>Excavaciones en Áreas Urbanas y Restricciones Adicionales</i>	31
3.2.5 <i>Monitoreo Durante y Después de las Excavaciones</i>	32
<i>Conclusión Capitular</i>	33
<i>Bibliografía</i>	35



Introducción

La realización de excavaciones para la construcción de obras de edificación es un procedimiento que conlleva una serie de desafíos y consideraciones de seguridad. Durante este proceso, se debe garantizar la estabilidad del terreno circundante para prevenir posibles colapsos, deslizamientos de tierra o hundimientos que puedan poner en riesgo la integridad de la estructura en construcción, así como la seguridad de los trabajadores y el entorno. Para abordar los retos que se presentan durante la realización de excavaciones, se recurre a sistemas de soporte diseñados para mantener la estabilidad y proteger contra los peligros asociados con la actividad de construcción.

En este apartado comprenderemos la importancia de los apuntalamientos y ademes en el contexto de la construcción de obras de edificación. Se presentarán los riesgos asociados con las excavaciones, así como los diferentes tipos de apuntalamientos y ademes disponibles, sus aplicaciones específicas y las mejores prácticas para su construcción. En última instancia, destacaremos la importancia de una planificación cuidadosa y la implementación de medidas de seguridad adecuadas en todas las etapas de las excavaciones, así como la normatividad a considerar para garantizar el éxito y la seguridad en la construcción de obras de edificación.



3.2.1 Generalidades de las Excavaciones

Las excavaciones representan una actividad fundamental en el ámbito de la ingeniería civil, abarcando una amplia variedad de aplicaciones que van desde la construcción de cimentaciones para edificaciones hasta la creación de infraestructuras subterráneas como túneles y servicios públicos. Esta fase inicial del proceso de construcción implica la remoción de tierra, roca u otros materiales para crear espacios necesarios para la ejecución de los distintos procedimientos constructivos.

3.2.1.1 Excavaciones en Suelos.

Las excavaciones en suelos son una parte fundamental de numerosos proyectos de construcción en ingeniería civil. Estas excavaciones implican la remoción controlada de las capas de suelo para crear espacios necesarios para la construcción de cimientos (figura 1), excavaciones para servicios públicos, túneles, entre otros fines.

Figura 1. Excavación profunda en la zona urbana de Monterrey



Nota: Adaptada de *Excavación profunda en la zona urbana de Monterrey* [Fotografía], por Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, 2021, SMIG (https://www.smig.org.mx/revista-digital-smig/265/excavacion_profunda.php).

A continuación, se detallan aspectos importantes relacionados con la realización de excavaciones en suelos:

- a) **Estudio geotécnico:** Antes de realizar cualquier excavación en suelos, es crucial realizar un estudio geotécnico detallado del sitio. Este estudio implica la

evaluación de las características del suelo, como su composición, densidad, resistencia, permeabilidad, entre otros factores. El estudio geotécnico proporciona información valiosa para determinar la estabilidad del terreno y las técnicas de excavación más apropiadas.

- b) *Tipo de suelo*: Los suelos pueden clasificarse en diferentes categorías según su composición y propiedades geotécnicas. Algunos de los tipos de suelos comunes son: arcillas, limos, arenas, gravas, suelos mixtos, entre otros. Cada tipo de suelo tiene características únicas que pueden influir en la forma en que se lleva a cabo la excavación y en las medidas de estabilización necesarias para mantener la seguridad del sitio.
- c) *Técnicas de excavación*: Existen diferentes técnicas de excavación que pueden emplearse en suelos, dependiendo de factores como la naturaleza del suelo, el tamaño y la profundidad de la excavación, y las condiciones del sitio. Algunas de estas técnicas incluyen el uso de maquinaria como: excavadoras, palas mecánicas, perforadoras y métodos manuales como el uso de picos y palas.

3.2.1.2 Excavaciones en Rocas.

Este tipo de excavaciones implican la remoción de rocas mediante técnicas como el uso de explosivos, perforadoras y maquinaria pesada (figura 2). La selección de las técnicas adecuadas de excavación en roca depende de factores como la resistencia de la roca, la presencia de fracturas y la geometría del proyecto.

Independientemente del tipo de excavación, existen consideraciones generales que deben tenerse en cuenta para garantizar el éxito del proyecto y la seguridad de los trabajadores; lo anterior, incluye la planificación cuidadosa de la secuencia de excavación, impacto ambiental, monitoreo continuo de la estabilidad del terreno y la adopción de prácticas de seguridad para prevenir accidentes.



Figura 2. *Excavaciones en roca*

Nota: Excavaciones en Roca [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

A continuación, se presentan los aspectos más importantes a considerar para la realización de excavaciones en rocas:

- a) ***Características de las rocas:*** Las rocas pueden variar ampliamente en cuanto a su resistencia, fracturación, dureza y composición mineral. Algunas rocas, como el granito y el basalto, son muy resistentes y difíciles de excavar, mientras que otras, como la pizarra y el yeso, pueden ser más blandas. Es importante comprender las características de las rocas presentes en el sitio para determinar las técnicas de excavación más adecuadas.
- b) ***Técnicas de excavación en rocas:*** Existen varias técnicas de excavación que pueden emplearse en rocas, dependiendo de factores como la resistencia de la roca, la geometría del proyecto y las condiciones del sitio. Algunas de estas técnicas incluyen la perforación y voladura.
- c) ***Consideraciones de seguridad:*** Las excavaciones en rocas pueden ser peligrosas debido a la posibilidad de desprendimientos, caídas de materiales y

exposición a gases tóxicos. Es crucial implementar medidas de seguridad adecuadas, como el uso de sistemas de anclaje, soporte y el monitoreo constante de la estabilidad del sitio durante el proceso de excavación.

3.2.2 Estabilización de Excavaciones

El principal objetivo de la aplicación de técnicas y métodos de estabilización en excavaciones es proporcionar un soporte temporal o permanente a las paredes de la excavación para prevenir su colapso. Esto se logra mediante la instalación de sistemas de contención que pueden ser estructurales o no estructurales, dependiendo de la naturaleza de la excavación y las condiciones del sitio donde se desarrollan los procedimientos constructivos.

3.2.2.1 Sistemas de Contención.

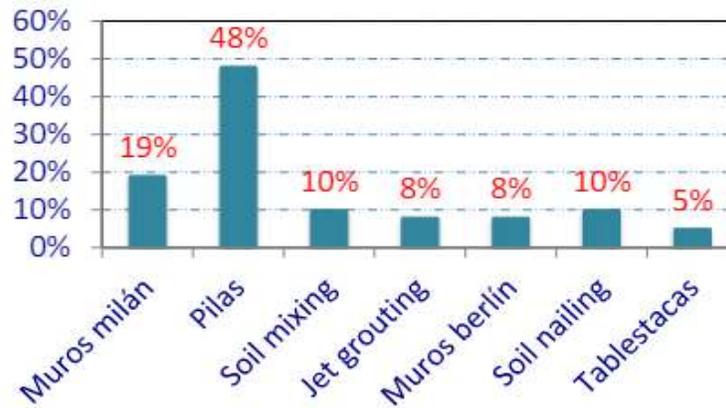
Actualmente, existen varios tipos de sistemas de contención que pueden emplearse en excavaciones, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas. La selección del sistema de contención adecuado depende de factores como el tipo de suelo, la profundidad de la excavación, y las restricciones del sitio.

Algunos de los sistemas de contención comunes incluyen:

- Muros Milán
- Pilas
- Jet Grouting
- Soil Mixing
- Muro Berlin
- Anclajes
- Tablestacas

En la figura 3 se presentan algunos de los sistemas de contención en excavaciones más utilizados en el mundo y su porcentaje de utilización.



Figura 3. *Contención de excavaciones*

Nota: Adaptada de *Sistemas de Contención para excavaciones profundas* [Archivo PDF], por S. Santamaría y W. Paniagua, 2019, Pilotec (https://www.pilotec.com.mx/sites/pilotec.com.mx/files/pdf-publicaciones/art._sistemas_de_contencion_y_apuntalamiento.pdf)

3.2.2.1.1 Muros Pantalla (Milán) Colados In Situ.

El muro Milán o sistema de muro pantalla es una estructura de contención cuya finalidad es resistir las acciones del terreno hacia la excavación. Este sistema constructivo con base en pantallas representa una solución útil para restringir o limitar los movimientos del entorno provocados por la realización de la excavación, reduciendo así el riesgo de daños a las construcciones próximas.

A través de este procedimiento de contención es posible realizar excavaciones profundas dentro de zonas urbanas. Entre sus aplicaciones destacan:

- Sótanos para estacionamientos
- Pasos a desnivel
- Cimentaciones
- Sistemas de transporte (metro)
- Instalaciones especiales

De forma general, el procedimiento para la construcción de un muro Milán es el siguiente:

1. *Construcción de muro guía o brocal*: Es un elemento de concreto armado el cual tiene la función de orientar al equipo de excavación, evitar que el terreno de la parte superior se desestabilice, entre otros.
2. *Excavación*: se realiza con maquinaria pesada de acuerdo con el tipo de terreno, por ejemplo; para suelos blandos un cucharón de almeja guiada, y para suelos duros una hidrofresa, por lo general, la excavación se realiza en distintas secciones y para garantizar su estabilidad se usan lodos bentónicos o polímeros.
3. *Limpieza del fondo de la excavación*.
4. *Introducción del acero de refuerzo y tubo tremie (figura 4)*.
5. *Colado de secciones de abajo hacia arriba por medio del sistema tremie (figura 5)*.

Figura 4. *Construcción de muro Milán (introducción de acero de refuerzo)*



Nota: Adaptada de *Muro Milán* [Fotografía], por Pilotec, 2013, (<https://www.pilotec.com.mx/content/muro-milan>).

Figura 5. Colado de muro Milán por medio de sistema Tremie

Nota: Adaptada de Construcción de Muro Milán, pantalla flexoimpermeable y sistema de bombeo para el Nudo Vial Juárez Serdán [Archivo PDF], por Elvira A., Pineda C. y Paniagua, W. 2015, SMIG. https://www.pilotec.com.mx/sites/pilotec.com.mx/files/pdf-publicaciones/construccion_de_muro_milan_pantalla_flexoimpermeable_y_sistema_de_bombeo_para_el_nodo_vial_juarez_serdan_puebla_pue.pdf

3.2.2.1.2 Pilas.

Las pilas son elementos estructurales de concreto armado (figura 6) las cuales transmiten las cargas a niveles de profundidad considerables, entre sus aplicaciones destacan su utilización como elementos de cimentación, contención de excavaciones y estabilización en laderas y taludes. Las pilas son elementos de cimentación profunda con secciones mayores que las de los pilotes, las cuales transmiten al subsuelo las cargas provenientes de una estructura y de la misma cimentación, con el propósito de lograr la estabilidad de las edificaciones.

Una de las características básicas y primordiales de estos elementos, es que se fabrican directamente en el subsuelo, es decir, no cuentan con elementos de concreto prefabricado, por lo que se les conoce como elementos fabricados in situ.

Figura 6. *Construcción de pilas*

Nota: Adaptada de *Pilas de Cimentación* [Fotografía], por Constructora Villanco, 2021, (<https://www.constructoravillanco.com/post/pilas-de-cimentaci%C3%B3n>).

De forma general, el proceso de construcción de las pilas, haciendo énfasis en la excavación es el siguiente:

1. Limpieza, trazo y ubicación del punto donde se construirá cada una de las pilas del proyecto.
2. Para la realización de la excavación, es importante que el equipo que se utilice tenga la capacidad adecuada y las herramientas de perforación necesarias, para garantizar la verticalidad, se pueden utilizar perforadoras rotatorias con barrenos en espiral u otras dependiendo del tipo de terreno.
3. Izaje y colocación de ademe metálico.
4. Colocación de armado.
5. Colado.
6. Retiro de ademe.

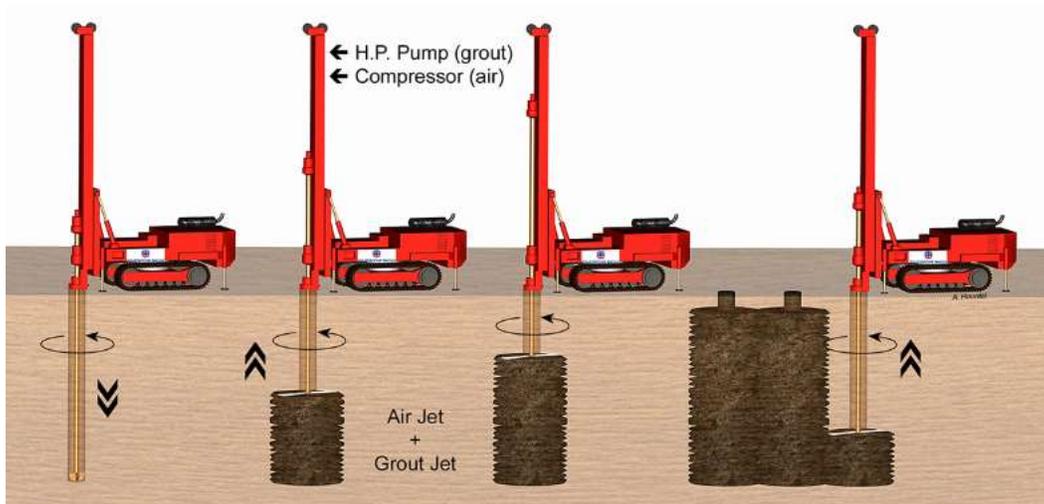
3.2.2.1.3 Jet Grouting.

El Jet Grouting es un sistema constructivo empleado para la contención de excavaciones. Consiste en la inyección en el suelo de un fluido a alta presión. La inyección se realiza a través de dispuestas en una cabeza rotativa en la punta de una sonda.

De forma general, el procedimiento de construcción del jet Grouting se ilustra en la figura 7 y es el siguiente:

1. Introducción de un fluido “Soilcrete” en el suelo a altas presiones.
2. Ruptura del suelo y mezcla con el fluido inyectado
3. Formación de una columna de suelo-cemento consolidado y endurecido.

Figura 7. Colocación de Jet Grouting



Nota: Adaptada de *Columnas de suelo-cemento construidas mediante erosión* [Ilustración], por Soletanche bachy, 2024. (<https://www.soletanche-bachy.com/es/offer-portfolio/jet-grouting/>).

Algunas de las ventajas principales de la utilización del Jet Grouting como sistema de contención en excavaciones son:

- a) Capacidad para adaptarse a diferentes tipos de suelo.
- b) Eficiencia en espacios reducidos.
- c) Capacidad para formar elementos estructurales sólidos y duraderos.

- d) Útil en áreas urbanas donde se requiere minimizar la perturbación del entorno circundante durante la construcción.

3.2.2.1.4 Soil Mixing.

Es una técnica de mejoramiento de suelos (figura 8) que consiste en la mezcla mecánica del suelo in situ incorporando materiales de relleno y aglomerantes ya sean cementos, cal, puzolanas, cenizas, entre otros).

Figura 8. Técnica Soil Mixing



Nota: Adaptada de *Una técnica multiuso* [Ilustración], por Soletanche Bachy, 2024, (<https://www.soletanche-bachy.com/es/offer-portfolio/deep-soil-mixing/>).

Entre sus aplicaciones más comunes podemos destacar:

- Mejoramiento de suelos compresibles
- Prevención del riesgo de licuefacción
- Contención temporal o permanente junto con la instalación de perfiles o pilas.
- Endurecimiento de terraplenes.

3.2.2.1.5 Muros Berlin.

Para el caso de la contención de excavaciones los muros Berlín (figura 9) son efectivos para estabilizar y mantener la integridad estructural del área circundante, garantizando la

seguridad y facilitando la construcción de infraestructuras subterráneas como cimientos, sótanos y túneles. Algunas ventajas de la utilización de este sistema de contención son las siguientes:

- a) Su avance de ejecución es rápido y no requiere de maquinaria pesada.
- b) Puede ser ejecutado en espacios reducidos.
- c) No genera volumen adicional de material excavado ya que el procedimiento es a base de perfiles hincados.
- d) El muro se considera flexible y puede ser permeable (según el tipo de revestimiento), lo que ayuda a liberar la presión hidrostática.
- e) Los perfiles hincados pueden ser rigidizados de diferentes maneras, a base de anclajes o con apuntalamientos

Figura 9. Muro Berlín



Nota: Adaptada de *Muro Berlín* [Archivo PDF], por Gerdau Corsa, 2017, (https://www.gerdaucorsa.com.mx/sites/mx_gerdau/files/PDF/MURO_BERLIN_GERDAU_2_LR-min.pdf).

El procedimiento de construcción depende de las condiciones del entorno, por lo general se define en seis etapas, presentadas a continuación:

1. Trabajos preliminares.
2. Limpieza y trazo.
3. Hincado de Vigas Verticales.
4. Excavación

5. Conformación del suelo de mejoramiento y estructura de cimentación
6. Construcción del muro Berlín.

3.2.2.1.6 Soil Nailing.

Es un procedimiento que se utiliza para reforzar y contener el terreno existente en las excavaciones profundas, estabilizar taludes y prevenir deslizamientos de tierra, además, es útil para reducir el asentamiento del suelo, consiste en la instalación de varillas o barras metálicas (nails) en el terreno a intervalos regulares y en ángulo hacia el talud excavado. Estas varillas (figura 10) se insertan en perforaciones previamente realizadas y se aseguran con un material de refuerzo, como un mortero o concreto lanzado.

Figura 10. Técnica Soil Nailing.



Nota: Adaptada de *Keller Soil Nailing* [Fotografía], por Keller, 2023, (<https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/soil-nailing>).

El objetivo principal del Soil nailing es reforzar el terreno, aumentando su resistencia y mejorando su estabilidad frente a fuerzas de presión lateral causadas por la excavación. Esto ayuda a prevenir el colapso del talud y permite trabajar de manera segura en excavaciones profundas.

El proceso de Soil nailing suele ser rápido y relativamente económico en comparación con otras técnicas de contención de taludes. Es ampliamente utilizado en la construcción de infraestructuras subterráneas como túneles, estacionamientos subterráneos, en proyectos de rehabilitación de taludes y estabilización de laderas.

3.2.2.1.7 Tablestacas.

Las tablestacas son elementos estructurales utilizados para la contención de excavaciones profundas y el control de la estabilidad del suelo. Consisten en placas metálicas largas (figura 11) y delgadas, generalmente de acero, que se insertan verticalmente en el suelo para formar una barrera continua.

Figura 11. *Tablestacas de acero en excavación profunda*



Nota: Adaptada de *contención de excavaciones* [Fotografía], por Ingeniería GCE, 2015, (<https://ingenieriagce.wordpress.com/2015/08/26/contencion-de-excavaciones/>).

Estas placas se introducen en el suelo mediante vibración, impacto o presión hidráulica hasta alcanzar la profundidad deseada. Una vez instaladas, las tablestacas crean una barrera que impide el colapso del suelo circundante, permitiendo así realizar excavaciones seguras.

Entre las ventajas de las tablestacas se encuentran su capacidad para soportar cargas verticales y horizontales, su adaptabilidad a diferentes tipos de suelo y su durabilidad. Además, su instalación es relativamente rápida y no requiere grandes áreas de trabajo, lo que las hace ideales para proyectos en áreas urbanas o con acceso limitado.

Santamaría y Paniagua (2019) presentaron una útil comparativa entre los distintos sistemas de contención que se presenta en la figura 12.

Figura 12. Comparativa entre sistemas de contención de excavaciones

Sistema	Rigidez	Impermeabilidad	Costo relativo	Instalación	Suelos
Muro milán colado en sitio	Muy buena	Sí	Alto	Difícil	Todos
Muro milán prefabricado	Buena	Sí	Muy alto	Difícil	Todos
Tablestaca de concreto	Media	Sí	Alto	Media	Cohesivos blandos Granulares sueltos
Tablestaca de acero	Buena	No	Alto	Fácil	Cohesivos $N < 15$ Granulares $N < 40$
Pilas secantes	Buena	Sí	Alto	Difícil	Todos
Pilas tangentes	Media	No	Medio	Fácil	Todos
Pilas separadas	Baja	No	Bajo	Fácil	Cohesivos Granulares $F > 12\%$
Concreto lanzado	Baja	No	Medio	Fácil	Cohesivos Granulares $F > 12\%$
Soil mixing	Buena	Sí	Medio	Difícil	

Nota: Adaptada de *Sistemas de Contención para excavaciones profundas* [Archivo PDF], por S. Santamaría, y W. I. Paniagua, 2019, Pilotec (https://www.pilotec.com.mx/sites/pilotec.com.mx/files/pdf-publicaciones/art._sistemas_de_contencion_y_apuntalamiento.pdf).

3.2.2.2 Apuntalamientos y Ademes.

- **Apuntalamiento:** Acción y efecto de apuntalar. Como sinónimos: refuerzo, reforzamiento, consolidación, afirmación, entibación, sostén, apoyo.

Los apuntalamientos en excavaciones son estructuras temporales diseñadas y construidas para proporcionar soporte y estabilidad a los bordes de una excavación.

- **Ademes:** Cubierta o forro de madera u otro material con que se aseguran y resguardan los tiros, pilares y otras obras en los trabajos subterráneos.

3.2.2.2.1 Tipos de Apuntalamientos.

3.2.2.2.1.1 Apuntalamientos Verticales.

- a) **Pilares o torres de soporte:** Utilizan puntales verticales que se extienden desde la base de la excavación hasta el borde superior.
- b) **Montantes o riostras:** Son estructuras diagonales que conectan los puntales verticales para redistribuir las cargas y aumentar la estabilidad.

Los sistemas de troquelamiento (figura 13) son elementos de retención de muros, formados por tubos metálicos, perfiles rolados, secciones armadas o celosías para tener mayor capacidad.

Figura 13. Sistema de troquelamiento



Nota: Adaptada de *Sistemas de troquelamiento* [Fotografía], por Cimesa, s.f., (<https://www.cimesa.net/offer-portfolio/sistemas-de-troquelamiento/>).

3.2.2.2.2.2 Apuntalamientos Horizontales.

- a) **Vigas horizontales:** Se colocan horizontalmente a lo largo del borde superior de la excavación para proporcionar apoyo adicional y redistribuir las cargas.
- b) **Anclajes:** Se utilizan para anclar los apuntalamientos al suelo firme detrás del borde de la excavación (figura 14), aumentando la resistencia y estabilidad.

Figura 14. Muro con anclajes

Nota: Adaptada de *Muros anclados, una visión general* [Fotografía], por A. Velasco, 2020, Konstrutecnia (<https://konstrutecnia.com/blog/muros-anclados-una-vision-general>).

3.2.2.2 Materiales Utilizados.

- a) **Acero:** Es el material más común debido a su resistencia y capacidad para soportar cargas elevadas.
- b) **Madera:** Aunque menos común en aplicaciones modernas debido a la durabilidad y resistencia limitadas en comparación con el acero, sigue siendo utilizado en algunas situaciones.
- c) **Compuestos y polímeros:** En casos específicos donde se requiere resistencia a la corrosión u otras propiedades especiales.

3.2.2.3 Propósito y Función.

- a) **Revestimiento de excavaciones:** El principal propósito de los ademes es revestir las paredes de una excavación para prevenir el colapso del suelo y asegurar la estabilidad durante la construcción.
- b) **Protección de trabajadores:** Proporcionan un entorno de trabajo seguro al evitar el desprendimiento de materiales

3.2.2.2.4 Tipos de Ademes.

a) Ademes metálicos

- *Acero*: Los ademes metálicos de acero son comunes debido a su resistencia y durabilidad. Pueden ser prefabricados en forma de paneles.

b) Ademes de concreto

- *Concreto armado*: Utilizado en excavaciones más grandes o donde se requiere una mayor resistencia estructural. Se construyen in situ y proporcionan un revestimiento robusto y duradero.

c) Ademes de madera

- *Tabla formada*: Paneles de madera colocados en la excavación para proporcionar un revestimiento temporal (figura 15). Aunque menos comunes en aplicaciones modernas debido a la durabilidad limitada en comparación con otros materiales.

Figura 15. Ademe de madera



Nota: Adaptada de *Excavaciones*, [Archivo PDF], por J. Gómez, s.f., Educarte weebly (https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/16_excavaciones.pdf).

En relación con los sistemas de apuntalamiento Santamaría y Paniagua (2019) presentaron una comparativa (figura 16) donde mencionan las características, ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas disponibles en la actualidad.

Figura 16. Comparativa entre sistemas de apuntalamiento

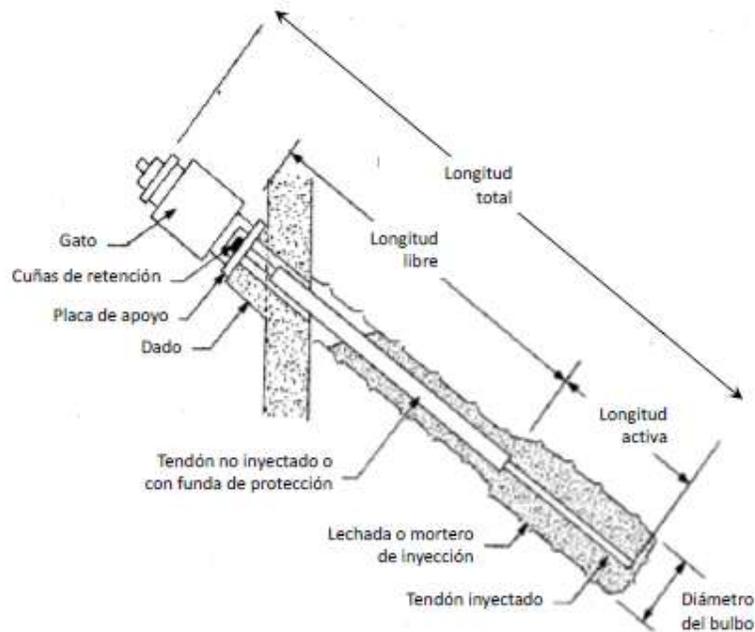
Sistema	Condiciones de proyecto	Ventajas	Desventajas	Costo relativo	Instalación	Suelos
Anclas	Colindancias subterráneas libres	Excavación de núcleo a cielo abierto	Afectación a colindantes	Medio	Media	Granulares Roca $F < 40\%$
Puntales	Ancho de excavación pequeño	Limitación en desplazamientos horizontales	Pocos usos Pandeo horizontal/vertical	Alto	Media	Todos
Bermas	Dimensiones en planta amplias	Bajo costo	Flexible Excavación lenta al final	Bajo	Fácil	Cohesivos
Top-down	Dimensiones amplias No es posible utilizar anclas	Limitación en desplazamientos horizontales Compresión del programa	Excavación núcleo lenta y costosa	Medio	Difícil	Todos
Autosoportados	Geometría de la estructura circular	No requiere apuntalamiento	No permite otra geometría en el perímetro	Bajo	Difícil	Todos

Nota: Adaptada de *Sistemas de Contención para excavaciones profundas* [Archivo PDF], por S. Santamaria y W. I. Paniagua, 2019, Pilotec (https://www.pilotec.com.mx/sites/pilotec.com.mx/files/pdf-publicaciones/art._sistemas_de_contencion_y_apuntalamiento.pdf).

3.2.2.3 Sistemas de Anclaje.

Los sistemas de anclaje son utilizados para proporcionar estabilidad en taludes, túneles, excavaciones o galerías subterráneas, pueden utilizarse solos o complementando otros sistemas de contención como el muro Milán, tablestacas, entre otros. Su mayor rango de aplicación en zonas urbanas es para la estabilización de grandes excavaciones para cimentaciones.

Por principio de funcionamiento (figura 17), los anclajes se utilizan para la aplicación de fuerza en una masa de suelo o roca con el objetivo de proporcionar estabilidad al elemento estructural y al entorno. Las anclas son elementos alargados que transmiten esfuerzos a una lechada o mortero que la empaca y que a su vez debe resistir el suelo circundante.

Figura 17. Ejemplo de sistema de anclaje

Nota: Adaptada de *Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal* [Archivo PDF], por Gobierno de la Ciudad de México, 06 de noviembre de 2023, Consejería Jurídica y de Servicios Legales: Gaceta Oficial de la Ciudad de México (https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf).

De acuerdo con la Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Cimentaciones (2023), por diseño y para garantizar su capacidad total es importante considerar lo siguiente:

- a) Cada una de las anclas, deberá tener una separación mínima de 4 veces el diámetro del bulbo, o 2 m, lo que resulte mayor.
- b) Para alcanzar la carga de diseño del ancla, la longitud de anclaje deberá ser de cuando menos 4.5 m, y la longitud libre de cuando menos 4.5 m.

En virtud de lo anterior, es importante revisar los mecanismos de falla que se pueden presentar dentro del sistema, por ejemplo:

- a) Fallas locales por falta de resistencia del suelo: extracción del bulbo, en la masa de suelo, rotacional.
- b) Falla general: rotacional, generalizada por volteo y por deslizamiento.

- c) Fallas estructurales: adherencia entre el tendón y mortero de inyección, tensión en tendón, placa de apoyo, dado de apoyo.

De acuerdo con la Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Cimentaciones (2023), es recomendable realizar ensayos de desempeño en por lo menos el 2% de las anclas del proyecto, además se deben realizar pruebas de carga en todas las anclas del proyecto con excepción de las que se les realizaron ensayos de desempeño. Entre las pruebas que deben realizarse, destacan: dos pruebas de deformación bajo carga constante (creep), cuyos bulbos se desarrollan en estratos que tengan un índice de plasticidad mayor a veinte.

La construcción de anclajes (figura 18) se puede resumir de manera general en 4 fases:

1. *Perforación de pozo*: Perforación de pozo entre 100 y 200 mm de diámetro utilizando herramientas y un fluido de perforación adaptado al terreno.
2. *Taladrado de lechada e instalación de anclajes*: se reemplaza el fluido de perforación con una lechada con alta dosis de cemento. Colocación del anclaje en el pozo.
3. *Inyección y sellado*: Tras aplicación de lechada de sellado, se debe inyectar la longitud sellada con una lechada de cemento.
4. *Tensar el anclaje*: Se tensa el anclaje y se procede a proteger la cabeza del anclaje.

Figura 18. *Construcción de anclajes en paredes de excavación*



Nota: Adaptada de *Un dispositivo esencial para la estabilidad de sus obras* [Fotografía], por Soletanche bachy, s.f., (<https://www.soletanche-bachy.com/es/offer-portfolio/anclaje/>).

3.2.2.4. Lodos Estabilizadores.

Para controlar algunas condiciones que pueden ser desfavorables durante el proceso de excavación se recurre al empleo de lodos estabilizadores los cuales son mezclas de fluidos que combinan agua con aditivos como polímeros, bentonita o cemento para mejorar la estabilidad del terreno y el medio circundante a la excavación.

Los lodos estabilizadores son útiles para prevenir derrumbes y facilitar la extracción de tierra. Su composición y aplicación varían según las características del suelo y los requerimientos específicos de cada proyecto. A continuación, se presentan algunos de los lodos estabilizadores más empleados en la actualidad en el proceso de excavación.

3.2.2.4.1 Lodos Bentoníticos.

Son producto de una mezcla de agua con bentonita (figura 19) la cual es una arcilla formada por minerales del grupo de la esmectita. Para estabilizar una excavación, los lodos bentoníticos forman una especie de costra en las paredes y es de gran aplicación en suelos no cohesivos donde se requiere una alta viscosidad, tal es el caso de las arenas permeables.

Figura 19. *Utilización de lodo bentonítico en excavaciones*

Nota: Adaptada de *Tratamiento de lodos de perforación* [Fotografía], por Sereco, 2024, (<https://sereco.gestion.es/tratamiento-lodos/lodos-perforacion-lodos-bentoniticos/>). Todos los derechos reservados.

En relación con su utilización durante el proceso de excavación, los lodos bentoníticos son reutilizados varias veces en un ciclo cerrado, pero después de cierto tiempo pierden sus propiedades y deben ser sustituidos por lodos nuevos.

3.2.2.4.2 *Lodos de Polímeros.*

Los lodos de polímeros (figura 20) para la estabilización de excavaciones son mezclas de agua y polímeros sintéticos diseñados para mejorar las condiciones del suelo durante trabajos de construcción y excavación. Pueden ser formulados con diferentes viscosidades y propiedades según las características específicas del suelo y los requisitos del proyecto.

Figura 20. Perforación utilizando lodos con polímeros.



Nota: Adaptada de *Geofluid Polímero Perfofluid L.* [Archivo PDF], por Pilotec, s.f., (https://www.pilotec.com.mx/sites/pilotec.com.mx/files/perfofluid_1.pdf).

La utilización de lodos con polímeros mejora de la estabilidad del suelo: debido a que los polímeros aumentan la cohesión del suelo alrededor de las paredes de la excavación, reduciendo el riesgo de colapsos y deslizamientos, estos lodos forman una barrera efectiva contra la infiltración de agua, controlando la presión del agua subterránea y evitando inundaciones en el área de trabajo. De manera general el proceso de utilización de lodos con polímeros es el siguiente:

1. Mezclado del lodo e hidratación
2. Proceso de batido
3. Colocación
4. Recuperación
5. Eliminación del lodo

3.2.3 Proceso de Excavación

El proceso de excavación comprende diversas etapas que deben ser realizadas con estricto apego a la normatividad existente y al control de calidad adecuado con el objetivo de minimizar los riesgos y garantizar la seguridad de la estructura, los trabajadores y el medio circundante a la excavación.

3.2.3.1 Planificación y Diseño de la Excavación.

El objetivo de esta etapa es planificar cada una de las etapas del proceso, así como diseñar dimensiones, profundidades de acuerdo con proyecto, estratos a intervenir, entre otras actividades útiles para la revisión de la seguridad del terreno donde se realizará la excavación.

Tomando como ejemplo un edificio que se pretende construir en la Zona III de la Ciudad de México, a continuación, se resumirá de manera general cada una de las etapas necesarias para planificar y diseñar una excavación:

1. *Recopilación de información, datos del proyecto*: Se debe tener conocimiento de las características de la estructura (usos, niveles, plantas tipo, etcétera) y de la subestructura (niveles de desplante, estacionamientos, espesores de la cimentación, etcétera).
2. *Trabajos de exploración*: Consiste en la realización de sondeos (mixtos de penetración estándar, muestreos inalterados, entre otros) con la finalidad de conocer la estratigrafía, composición y niveles freáticos (NAF).
3. *Pruebas de laboratorio*: Las muestras extraídas de los trabajos de exploración se deben someter a las siguientes pruebas:
 - Contenido natural de agua
 - Clasificación visual y al tacto
 - Granulometría
 - Límites de plasticidad
 - Compresión triaxial no consolidada-no drenada
4. *Elaboración de perfiles estratigráficos*: Con la finalidad de conocer los distintos perfiles que se encontrarán durante el proceso de excavación y para tomar las mejores decisiones sobre la forma de abordar los problemas que se pudieran presentar durante la ejecución de los trabajos.



3.2.3.2 Proceso Constructivo de la Excavación.

Con la información obtenida en las etapas anteriores, se procede a decidir el proceso de excavación a utilizar, así como la maquinaria que se empleará para realizar la ejecución de los trabajos. A continuación, se describen de forma general algunas de las etapas necesarias para la realización de una excavación para cimentaciones:

- a) *Limpieza de la zona a excavar*: se debe liberar el espacio de toda maleza, materiales sueltos, residuos, basura o cualquier elemento que interfiera con el inicio de la excavación.
- b) *Establecimiento de medidas de seguridad*: Se instalan las cercas de protección si es necesario, acordonamiento del sitio, señalamientos, capacitación del personal, entre otras acciones necesarias para minimizar los riesgos.
- c) *Trazado del área a excavar*: De acuerdo con el proyecto, planos de cimentación etcétera, se define la zona a excavar y se realiza el trazado, se pueden emplear sistemas topográficos, GPS u otras tecnologías de actualidad.
- d) *Excavación inicial*: Se realiza la excavación inicial usando maquinaria pesada como excavadoras, retroexcavadoras, dragas, tractores, entre otras dependiendo del tamaño y profundidad de la excavación. Durante este proceso, se remueve el suelo superficial y se llega a la capa de desplante.
- e) *Estabilización de las paredes de la excavación*: Se estabilizan las paredes de la excavación para prevenir deslizamientos y garantizar la seguridad de los trabajadores y del entorno. Lo anterior, implica el uso de lodos estabilizadores como lodos Bentoníticos, de polímeros o técnicas de sostenimiento como el uso de sistemas de anclajes.
- f) *Extracción de material*: Se continúa la excavación retirando el material de acuerdo con el diseño especificado. El material excavado puede ser transportado fuera del sitio para su disposición adecuada o puede ser utilizado para rellenos en otras áreas del proyecto.
- g) *Control de agua subterránea*: Se controla la presencia de agua subterránea mediante el uso de sistemas de bombeo o mediante el manejo adecuado de los lodos estabilizadores para evitar problemas de inundación o filtraciones.



- h) *Terminación y acabado*: Una vez realizada la excavación se procede con la construcción de los elementos que conforman la cimentación dependiendo del tipo de proyecto, diseño y funcionalidad de la estructura a construir.

Adicionalmente, es importante realizar las siguientes acciones para garantizar la calidad de la excavación y de cada uno de los procesos que intervienen en su realización.

1. *Inspección*: Se debe realizar inspecciones periódicas de trazo, verticalidad, nivelación, así como de la seguridad de entorno circundante a la excavación.
2. *Monitoreo*: Son acciones encaminadas a garantizar que las deformaciones, asentamientos, movimientos, etcétera, sean medidos y registrados con la finalidad de asegurar la correcta ejecución de los procedimientos y la seguridad de la estructura, del entorno y de los trabajadores.

3.2.3.3 Maquinaria para Excavaciones.

La elección de la maquinaria a utilizar es un paso muy importante durante el proceso de excavación, existen factores que se deben considerar para la elección, entre ellos destacan:

1. Volumen de material a excavar
2. Tipo de material presente en el sitio (suelos, rocas, mixtos)
3. Métodos de disposición del material (manejo de residuos)
4. Tiempo
5. Accesibilidad del proyecto
6. Recursos económicos disponibles

3.2.3.3.1 Tractor.

Se recomienda su uso en terrenos duros, (figura 21) superficies grandes, entre sus aplicaciones destacan excavaciones de bancos de material, construcción de carreteras, excavaciones a cielo abierto, entre otras.



Figura 21. *Tractor CAT*

Nota: Adaptada de *Potencia para trabajo pesado. Precisión para nivelar* [Fotografía], por Caterpillar, s.f., (https://www.cat.com/es_MX/by-industry/construction/dozer-choices.html).

3.2.3.3.2 *Retroexcavadora.*

Es utilizada en excavaciones de poca profundidad (figura 22), por ejemplo: para líneas de servicios de agua potable, drenaje, datos, En cimentaciones se usa como auxiliar en excavaciones debido a que tienen un brazo extensible y una cuchara excavadora en el extremo trasero, lo que facilita la excavación en espacios reducidos o de acceso complicado.

Figura 22. *Retroexcavadora*

Nota: Adaptada de *Retroexcavadoras cargadoras de pivote central*, [Fotografía], por Caterpillar, s.f., (https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/backhoe-loaders/center-pivot-backhoe-loaders/108040.html).

3.2.3.3.3 Excavadora Tipo Almeja.

Es una máquina especializada utilizada principalmente para la excavación de materiales sueltos como arena, grava, arcilla y materiales similares. Se emplea principalmente para la excavación de Muros Milán (figura 23).

Figura 23. Excavadora tipo almeja



Nota: Adaptada de *Geotech Tips* [Fotografía], por Geotech Tips, s.f., (<https://x.com/GeotechTips/status/748154609412218880>)

3.2.3.3.4 Piloteadora.

Se utilizan para la excavación de grandes diámetros (figura 24) los cuales pueden ser utilizados para la construcción de pilas de cimentación a diferentes profundidades, en el caso anterior su uso es mayor debido a la rapidez en su ejecución.

Figura 24. Piloteadora



Nota: Adaptada de *Piloteadora bardas prefabricadas*, [Fotografía], por Copresa, s.f., (<https://copresa.mx/bardas-prefabricadas/piloteadora/>)

3.2.3.3.5 Martillo Hidráulico (Aditamento).

Se utiliza en las excavadoras y las retroexcavadoras para excavaciones de material duro donde el bote de estos equipos no pueda penetrar el terreno, (figura 25).

Figura 25. Martillo hidráulico



Nota: Adaptada de *Martillos de rendimiento* [Fotografía], por Caterpillar, s.f., (https://www.cat.com/es_MX/products/new/attachments/hammers/performance-hammers/18106068.html).

3.2.3.4 Control del Flujo de Agua.

De acuerdo con la Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Cimentaciones (2023) cuando la construcción de la cimentación lo requiera, se controlará el flujo del agua (figura 25) en el subsuelo del predio mediante bombeo, tomando precauciones para limitar los efectos indeseables del mismo en el propio predio y en los colindantes.

Figura 25. Nivel freático en estructura de contención



Nota: Adaptada de *Clasificación de las técnicas de control del agua en excavaciones* [Fotografía], por V. Yepes, febrero de 2020, Blogs.upv (<https://victoryepes.blogs.upv.es/2020/02/28/clasificacion-de-las-tecnicas-de-control-del-nivel-freatico-en-excavaciones/>)

Se escogerá el sistema de bombeo más adecuado de acuerdo con el tipo de suelo. El gasto y el abatimiento provocado por el bombeo se calcularán mediante la teoría del flujo de agua transitorio en el suelo. El diseño del sistema de bombeo incluirá la selección del número, ubicación, diámetro y profundidad de los pozos; del tipo, diámetro y ranurado de los ademes, y del espesor y de la composición granulométrica del filtro. Asimismo, se especificará la capacidad mínima de las bombas y la posición del nivel dinámico en los pozos en las diversas etapas de la excavación.

Cualquiera que sea el tipo de instalación de bombeo que se elija, su capacidad garantizará la extracción de un gasto ampliamente superior al estimado. Además, deberá asegurarse el funcionamiento continuo de todo el sistema.

En suelos de muy baja permeabilidad, como las arcillas lacustres de las zonas II y III, el nivel piezométrico tiende a abatirse espontáneamente al tiempo que se realiza la excavación, por lo que no es necesario realizar bombeo previo, salvo para evitar presiones excesivas en estratos permeables intercalados. En este caso, más que abatir el nivel freático, el bombeo tendrá como objetivo:

- a) Dar a las fuerzas de filtración una dirección favorable a la estabilidad de la excavación.
- b) Preservar el estado de esfuerzos del suelo.
- c) Interceptar las filtraciones provenientes de lentes permeables.

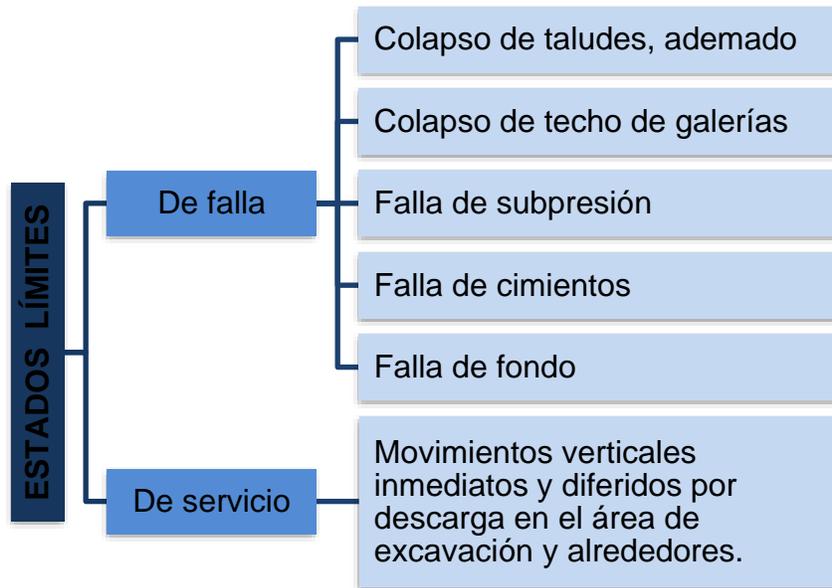
3.2.4 Excavaciones en Áreas Urbanas y Restricciones Adicionales

Las excavaciones en zonas urbanas requieren una atención especial a la seguridad debido a la proximidad de estructuras existentes, la presencia de servicios subterráneos, el personal involucrado en la ejecución de los trabajos y el entorno circundante al lugar de la obra.

3.2.4.1 Normatividad.

Según la norma técnica, se deberá de revisar la seguridad de las excavaciones de acuerdo con los estados limite que se presentan en el diagrama de la figura 27.



Figura 27. *Revisión de seguridad en excavaciones*

Nota: Adaptada de *Normas Técnicas Complementarias para Cimentaciones* [Mapa conceptual], por Gaceta de la Ciudad de México, 2023. Corporación Mexicana de Impresión, S.A de C.V.

3.2.5 Monitoreo Durante y Después de las Excavaciones.

Para efectos de monitoreo de las excavaciones se deberá cumplir con los valores mostrados en la tabla 1 para los desplazamientos máximos tolerables en el borde superior en porcentaje de H (profundidad de excavación).

Tabla 1. *Desplazamientos tolerables en el borde superior de la excavación*

Zona	Horizontales %	Verticales %
I	0.2	0.1
II	0.8	0.6
III	1.0	0.8

Nota: Considérese H = Profundidad de excavación. Adaptada de las *Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal* [Archivo PDF], por Gobierno de la Ciudad de México, 2023. (https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf)

De igual forma se espera que los valores máximos en las estructuras vecinas sean los mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Valores máximos tolerables en diferentes zonas geotécnicas (A/L)

Estructura	Zonas I, II y III
Marcos de acero, hasta cuatro pisos.	0.006
Marcos de concreto, hasta cuatro pisos.	0.004
Muros de carga de ladrillo, casas de una o dos plantas.	0.003

Nota: Considérese A = Asentamiento diferencial entre dos puntos de la estructura vecina y L = Distancia entre los dos puntos mencionados anteriormente. Adaptada de las *Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal* [Archivo PDF], por Gobierno de la Ciudad de México, 2023. (https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf)

3.2.5.1 Consideraciones Adicionales de Seguridad en Excavaciones.

Excavaciones Suspendidas

Como lo señalan los artículos 222 y 223 del reglamento Capítulo IX, Título séptimo (de la construcción), cuando se interrumpa una excavación, se ejecutarán las obras necesarias para evitar que se presenten movimientos que puedan dañar a las edificaciones y predios colindantes o a las instalaciones de la vía pública y evitar que ocurran fallas en los taludes, elementos de contención o fondo de la excavación, por intemperismo prolongado, descarga del terreno o por cualquier otra causa.

En caso de que esté operando un sistema de bombeo de agua en el suelo, se tomarán las precauciones necesarias para que al continuar su operación o presentar una interrupción no se generen afectaciones a las edificaciones y predios colindantes.

Se tomarán también las precauciones necesarias para impedir el acceso al sitio de la excavación mediante señalamiento adecuado y barreras para evitar accidentes, asimismo se deberá cumplir con lo indicado por las Normas Oficiales

Conclusión Capitular

La realización de excavaciones para la edificación representa un proceso complejo que conlleva diversos riesgos y retos que deben ser abordados de manera eficiente. Mantener la estabilidad de las excavaciones es de gran importancia para garantizar la seguridad de la estructura, construcciones del entorno circundante y de los trabajadores.



Los sistemas de contención, apuntalamientos y ademes deben ser diseñados y colocados adecuadamente para lograr mitigar los riesgos propios de una actividad como lo es la excavación. La elección y construcción dependen de varios factores, incluyendo las características geotécnicas del terreno, la profundidad de la excavación, y las normativas de seguridad vigentes.

Cumplir con la normatividad y estándares de seguridad establecidos no solo asegura la protección de los trabajadores y del entorno, sino que también contribuye a la eficiencia y calidad de la obra en construcción, por lo anterior es importante apegarse a lo establecido en reglamentos y normas técnicas complementarias.

La gestión adecuada de las excavaciones mediante el uso de sistemas de soporte apropiados y el cumplimiento riguroso de las normativas de seguridad son pilares fundamentales para asegurar la estabilidad, integridad y seguridad en la construcción de obras de edificación, lo anterior con la finalidad de garantizar el éxito y la sostenibilidad de los proyectos constructivos en el largo plazo.



Bibliografía

Gobierno de la Ciudad de México. (08 de mayo de 2024). *Reglamento de Construcción es para el Distrito Federal* [Archivo PDF]. Disponible en Consejería Jurídica y de Servicios Legales: https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/reglamentos/RGTO_DE_CONSTRUCCIONES_DEL_DISTRITO_FEDERAL_8.pdf

Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal* [Archivo PDF]. Disponible en Instituto para la Seguridad de las Construcciones de la Ciudad de México: https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf

Paniagua Zavala, W. I. (Ed.). (2017). *Ingeniería de Cimentaciones Profundas 1*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.

Santamaria, S. y Paniagua, W. I. (2019). *Sistemas de contención para excavaciones profundas. Procedimientos constructivos* [Archivo PDF]. Disponible en https://www.pilotec.com.mx/sites/pilotec.com.mx/files/pdf-publicaciones/art._sistemas_de_contencion_y_apuntalamiento.pdf



Este trabajo fue desarrollado por académicos y alumnado adscrito al Departamento de Construcción de la División de Ingenierías Civil y Geomática con recursos del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME PE101724).

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Facultad de Ingeniería (FI)

**Dirección General de Asuntos
del Personal Académico
(DGAPA)**

