

**Propuesta de un documento de apoyo para la supervisión de la construcción de muros
de contención en sótanos**

Miguel Eduardo Salazar Motta

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Interventoría y Supervisión de
la Construcción**

Director

Homer Armando Buelvas Moya

Magíster en Evaluación y Gerencia de Proyectos

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción

2025

Dedicatoria

Con especial dedicación a la memoria de Amilde Amaya García, quien, aunque físicamente ya no está con nosotros, sigue siendo una luz en mi camino. Su legado, amor y enseñanzas permanecen en mi corazón y me inspiran cada día a ser mejor. Su memoria es el poder que venció a la muerte.

A Natalia Patiño Ramírez, cuyo amor y apoyo han sido fundamentales en este proceso. Agradezco profundamente creer en mí y ser una fuente de motivación constante.

A Cristóbal Salazar López, Smith Motta Amaya y Diego Salazar Motta, quienes han sido mi razón para seguir adelante. Gracias por su confianza y acompañamiento en este camino.

Agradecimientos

Primeramente, agradecer a Dios, por permitir culminar con éxito un nuevo logro, colmando mi vida de fortaleza y sabiduría.

Al Ingeniero Homer Buelvas, por su guía, la cual ha sido determinante para el desarrollo de este trabajo y mi crecimiento profesional.

A la Universidad Santo Tomás Bucaramanga, por brindarme la oportunidad de formarme en un ambiente académico enriquecedor, donde el aprendizaje y el esfuerzo son pilares fundamentales. Gracias por ser un espacio de crecimiento y por contribuir a mi desarrollo como profesional y como ser humano.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas las personas que, de una u otra manera, ayudaron a que este proyecto se hiciera realidad.

Contenido

Introducción	14
1. Propuesta de un documento de apoyo para la supervisión de la construcción de muros de contención en sótanos de edificaciones	17
2. Objetivos.....	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3. Marco referencial.....	18
3.1 Antecedentes	18
3.1.1 Edificio AAO.....	18
3.1.2 Edificio Campestre Towers	19
3.1.3 Universidad Politécnica de Valencia.....	20
3.2 Marco teórico	21
3.2.1 Tipologías de Muros.....	21
3.2.2 Criterios de falla en muros de contención	25
3.2.3 Métodos de diseño estructural	28
3.2.4 Diseño de Muros.....	28
3.2.5 Responsabilidades de los supervisores de construcción de muros	36
3.2.6 Criterios de Inspección.....	37
3.3 Marco conceptual	40
3.3.1 Concreto	40
3.3.2 Acero de refuerzo	41
3.3.3 Especificaciones técnicas	41

3.3.4 Muro de contención	41
3.3.5 Muros de sótano	42
3.3.6 Suelo	42
3.4 Marco legal.....	42
3.4.1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).....	42
3.4.2 Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14).....	44
3.4.3 Instituto Nacional de Vías	45
4. Método.....	46
4.1 Enfoque de Investigación	46
4.2 Diseño de Investigación	47
4.3 Fases Metodológicas	47
4.3.1 Etapa 1	47
4.3.2 Etapa 2	48
4.3.3 Etapa 3	49
4.3.4 Etapa 4	50
5. Resultados.....	50
5.1 Etapa 1	50
5.1.1 Estudios Geotécnicos.....	51
5.1.2 Memorias estructurales.....	52
5.2 Etapa 2.....	52
5.2.1 Juntas	53
5.2.2 Condiciones del Refuerzo.....	55
5.2.3 Materiales	56

5.2.4 Espacios de trabajo	56
5.2.5 Curado	57
5.2.6 Drenajes	57
5.2.7 Impermeabilización del trasdós	59
5.3 Etapa 3.....	59
5.3.1 Tipologías de muros de contención	60
5.3.2 Solicitaciones.....	60
5.3.3 Materiales	60
5.3.4 Resistencia	60
5.3.5 Especificaciones	61
5.3.6 Control de planos.....	61
5.3.7 Supervisión de procesos constructivos	61
5.4 Etapa 4.....	61
6. Conclusiones.....	62
Referencias.....	64

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Parámetros geotécnicos que intervienen en el diseño de los muros de contención</i>	51
Tabla 2. <i>Parámetros estructurales que intervienen en el diseño de los muros de contención</i>	52
Tabla 3. <i>Resumen sobre especificaciones técnicas, constructivas y de supervisión.....</i>	53

Lista de figuras

Figura 1. <i>Muro de sótano</i>	22
Figura 2. <i>Muro en voladizo</i>	23
Figura 3. Muro anclado.....	24
Figura 4. <i>Muro a gravedad</i>	25
Figura 5. Falla por capacidad de soporte.....	26
Figura 6. Deslizamiento en muros de contención.....	27
Figura 7. Falla rotacional.....	28
Figura 8. <i>Distribución de cargas, empuje activo</i>	30
Figura 9. Ángulos de referencia.....	32
Figura 10. <i>Distribución de cargas, empuje sísmico</i>	32
Figura 11. <i>Distribución de cargas, sobrecarga</i>	33
Figura 12. <i>Junta entre cimiento y alzado</i>	55
Figura 13. <i>Tiempos de curado</i>	57
Figura 14. <i>Detalle general de drenajes</i>	58
Figura 15. <i>Detalle de drenajes en casos especiales</i>	59

Lista de apéndices

Apéndice A. *Documento de apoyo*

Nota: ver apéndices en archivos externos.

Resumen

Este documento tiene como objetivo elaborar un apoyo para la supervisión de muros de contención en sótanos, alineándose con los estándares dictados por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Se identifican las variables que afectan la utilización de materiales y parámetros de diseño en la construcción de estos muros, así como un resumen de los factores y especificaciones aplicables. Se realizó una comprensión integral de las características estructurales y normativas, con base en la recopilación y estudio de datos secundarios. Los resultados destacan la importancia de considerar aspectos como el tipo de suelo, la resistencia del concreto y del acero, y las dimensiones de los elementos estructurales. Las discusiones principales giran en torno a la necesidad de un control efectivo en la supervisión de la construcción, proporcionando directrices claras para el manejo de materiales y especificaciones. Las conclusiones subrayan la relevancia de realizar estudios geotécnicos previos y de cumplir con las especificaciones normativas, lo que contribuye a una mejor estabilidad y durabilidad en muros de contención.

Palabras clave: muro de contención, supervisión, construcción, estudios previos, especificaciones normativas

Abstract

This document's goal is to develop support for the supervision of the construction of retaining walls in basements of buildings, aligning with the standards of the Colombian Regulations for Earthquake-Resistant Construction. The variables that affect the use of materials and design parameters in the construction of these walls are identified, as well as a summary of the applicable factors and specifications. The understanding of the structural and normative characteristics, through the collection and analysis of secondary data. The research results highlight the importance of considering aspects such as the type of soil, the resistance of concrete and steel, and the dimensions of the structural elements. The main discussions revolve around the need for effective control in construction supervision, providing clear guidelines for the management of materials and specifications. The conclusions highlight the relevance of carrying out prior geotechnical studies and complying with regulatory specifications, which contributes to better stability and durability of retaining walls.

Keywords: retaining walls, supervision, construction, prior studies, normative specifications

Glosario

Acero de refuerzo: material utilizado para complementar la resistencia en elementos de concreto, esencial en la construcción de muros de contención.

Cimentación: se encarga de transferir las cargas de la edificación al suelo, fundamental para la estabilidad de los muros de contención.

Concreto: mezcla de cemento, agua, agregados y aditivos que se utiliza para construir muros y otros elementos estructurales.

Contención: proceso de retener o sostener tierras o materiales, comúnmente realizado mediante muros de contención.

Diseño estructural: metodología en la que intervienen análisis de estabilidad, resistencia y la rigidez en elementos estructurales.

Especificaciones técnicas: documentos que detallan los requisitos y estándares que deben cumplirse en la construcción de cada proyecto.

Factor de seguridad: relación entre la capacidad de carga de un material y la carga real que soportará, es utilizado para garantizar la seguridad en el diseño.

Geotecnia: apartado de la ingeniería civil, se ocupa en comportamiento de los materiales del suelo y estudia su interacción con los elementos estructurales

Muros de contención: estructuras cuya función es resistir la presión del suelo y otros materiales, evitando deslizamientos y colapsos.

Normativas de construcción: conjunto de reglas y regulaciones que rigen la construcción de edificaciones, asegurando la calidad y esencialmente la seguridad de las obras.

Parámetros de diseño: variables que se consideran en el diseño de estructuras, como cargas, materiales y condiciones del terreno.

Supervisión de obra: actividad que consiste en controlar y comprobar que la construcción se realice conforme a los planos y las especificaciones planteadas.

Introducción

La construcción de elementos de contención, como muros de sótanos, es esencial para la seguridad y estabilidad de las edificaciones. Ignorar las especificaciones técnicas y normativas durante su construcción puede resultar en patologías costosas e incluso en la pérdida de vidas humanas. La supervisión de obra es determinante para el éxito o fracaso de un proyecto (Solís, 2004). El papel del supervisor en el control de la construcción mediante la revisión de diseños y especificaciones de construcción es crucial, ya que implica asegurar la conformidad estricta con los estándares de seguridad, calidad y eficiencia durante todas las fases del proyecto (Solís, 2004). Ignorar y/o desconocer las especificaciones para la construcción de elementos de contención puede resultar en patologías costosas e incluso en la pérdida de vidas humanas.

El papel del supervisor es crucial en el control de la construcción. Sus responsabilidades incluyen verificar la ejecución de las tareas siguiendo las especificaciones planteadas y la utilización de materiales de alta calidad, el supervisor verifica minuciosamente los diseños originales, identificando deficiencias o áreas de mejora, asumiendo una responsabilidad civil, fiscal y penal, solidariamente con el contratista e individualmente por sus acciones y omisiones (Garavito, 2018). En el caso de la construcción de muros de sótanos, surge un desafío crítico relacionado con la interpretación precisa del diseño, incluyendo cargas, análisis y verificación en sitio de las variables asumidas, siendo estas habilidades y competencias esenciales del supervisor (Solís, 2004). Un diseño mal interpretado o una comprensión insuficiente de las cargas a las que están sometidos los muros de contención puede llevar a consecuencias graves, como el colapso de estructuras, deslizamientos de tierra y asentamientos no deseados (Calavera, 1987).

El supervisor debe garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia en la construcción de estas estructuras, apoyándose en conocimientos profundos de la norma de construcción sismo

resistente vigente NSR-10 y la experiencia en el área específica (Solís, 2004). Debe asegurar el cumplimiento riguroso de los diseños y planos realizados, siempre ajustándose a las normativas pertinentes. En Colombia, es esencial seguir la (NSR-10), que establece requisitos mínimos con el fin de garantizar la seguridad y estabilidad de las construcciones frente a eventos sísmicos, protegiendo la integridad estructural y las vidas humanas (Salgado, et al., 2010). La recopilación de información sobre las normativas vigentes, especialmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), es crucial. Estas normativas definen los criterios mínimos para garantizar la seguridad y estabilidad de las construcciones frente a eventos sísmicos. Un conocimiento profundo de estas regulaciones permite a los supervisores asegurar que los proyectos satisfagan con los estándares de calidad y seguridad establecidos (Salgado, et al., 2010).

La práctica en la ingeniería se concentra en determinar el factor de seguridad para definir si una estructura es segura o no. Estos factores de seguridad, determinados por la experiencia y criterio del ingeniero geotecnista, deben ser evaluados prudentemente considerando las propiedades geomecánicas que influyen en la resistencia de los elementos (Caicedo, et ál., 2011). En este caso, intervienen dos áreas fundamentales de la ingeniería: la geotecnia y las estructuras. Esta colaboración interdisciplinaria puede dar lugar a malas interpretaciones de las características del suelo o a una falta de coordinación en la integración de datos geotécnicos y estructurales, afectando el factor de seguridad del elemento (Caicedo, et ál., 2011). El supervisor debe verificar en obra que no se hayan producido estas malas interpretaciones o descoordinaciones, revisando minuciosamente los informes geotécnicos y los cálculos estructurales, asegurándose de que ambos estén alineados y sean coherentes con las condiciones reales del terreno (Solís, 2004).

Las patologías que afectan los elementos de contención, como oquedades, cárcavas, bulbos, separación excesiva entre juntas y aceros sin recubrimiento adecuado, comprometen

significativamente la resistencia, servicio y durabilidad de los elementos (Becerra, et ál., 2022). Estas deficiencias no solo disminuyen la capacidad de carga y la estabilidad de los muros, sino que también incrementan la susceptibilidad a daños por factores ambientales y carga dinámica. La reparación de muros de contención afectados puede implicar el uso de materiales especializados, técnicas avanzadas de restauración y, en algunos casos, la necesidad de reforzar o incluso reconstruir secciones del muro. Este proceso implica altos costos económicos y tiempos prolongados de intervención, afectando el uso y funcionalidad de la estructura afectada. Por tanto, es fundamental realizar inspecciones regulares y mantener un riguroso control de calidad durante la construcción para prevenir estas patologías y garantizar la durabilidad y seguridad de los elementos de contención (Duque y Valencia, 2019).

Esta investigación se ha elegido debido a la gravedad de los problemas asociados con la supervisión inadecuada en la construcción de elementos de contención. Un diseño mal interpretado o una comprensión insuficiente de las cargas puede llevar a consecuencias graves, como el colapso de estructuras, deslizamientos de tierra y asentamientos no deseados (Calavera, 1987). Por lo tanto, entender las especificaciones de construcción es esencial para prevenir estos problemas y con esto se pretende generar un documento de apoyo que permita al supervisor

1. Propuesta de un documento de apoyo para la supervisión de la construcción de muros de contención en sótanos

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Elaborar un documento de apoyo a la supervisión de la construcción de muros de contención en sótanos de edificaciones, siguiendo los estándares mínimos establecidos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente y revisión bibliográfica.

2.2 Objetivos específicos

Identificar las variables en relación con el uso de materiales y parámetros que afectan la construcción en muros de contención de sótanos.

Realizar un resumen de los factores y especificaciones de construcción aplicables a los muros de contención en sótanos, facilitando el control sobre las especificaciones y planos.

Proponer un procedimiento de apoyo complementario al supervisor que tenga en cuenta las variables y actividades de construcción de los muros de contención para sótanos.

3. Marco referencial

3.1 Antecedentes

La Patología estructural implica la investigación metódica y organizada de las anormalidades en el comportamiento de una estructura o de sus componentes, cuando estos manifiestan fallos o daños, originados por factores que comprometen su integridad (Duque y Valencia, 2019).

El trabajo del Patólogo reside en realizar visitas técnicas detalladas, con el fin de analizar las fallas que sufre la estructura para definir si la causa de falla se debe a deficiencias en el diseño, materiales usados, cambios de diseño, cambios de uso, fuego, sismo o viento, entre otros (Plazas, 2011).

A lo largo del tiempo, diversas estructuras deterioradas han necesitado análisis patológicos variados para identificar las causas de sus daños y evaluar posibles medidas de refuerzo. Esta sección se centra en estudios patológicos que destacan deficiencias específicas en los muros de contención de sótanos.

3.1.1 Edificio AAO

En el Edificio AAO, se llevaron a cabo análisis y estudios en los sótanos durante la fase de construcción, específicamente en la etapa de estructura. Se detectaron movimientos inesperados y excesivos durante el vertido de los muros, resultando en la formación de bulbos en algunas pantallas. Además, se observó que en varios puntos no se aplicó el recubrimiento necesario, exponiendo el acero de refuerzo. Estas condiciones dieron origen a problemas como humedad, corrosión y crecimiento de musgo. Se realizaron actividades de inspección visual, extracción y

rotura de núcleos, escaneos de refuerzos, medición de potenciales de corrosión y resistividad eléctrica.

Las deformaciones identificadas facilitaron la entrada de agua del nivel freático, provocando corrosión del acero de refuerzo y la formación de musgo. Las áreas afectadas por la humedad se ubicaron en la zona inferior y en la superior de los muros. La falta de recubrimiento del acero causó daños de tipo químico en el refuerzo. Aunque se verificó que el diseño estructural coincidía con la construcción realizada, se evidenció un deficiente proceso constructivo que afectó los muros de los sótanos, resultando en separaciones excesivas en las juntas, falta de recubrimiento, humedad y proliferación de musgo.

Las propuestas para la intervención de la situación generaron un sobre costo en la obra de más de \$500.000.000 (Becerra et al., 2022). En vista de lo mencionado anteriormente, es fundamental seguir las especificaciones de construcción para evitar errores costosos.

3.1.2 Edificio Campestre Towers

Este edificio fue originalmente concebido para una torre de 12 pisos más cuatro niveles de sótanos. El estudio patológico se llevó a cabo con el edificio en pleno funcionamiento. Se identificó que la construcción se realizó en dos fases: inicialmente, la cimentación, muros de contención y sótanos se llevaron a cabo en 1998. Luego, en 2005, se retomó el proyecto finalizando la estructura.

En los análisis realizados, se evidenció un deterioro moderado en los sótanos, manifestado a través de lesiones como fisuras, grietas y oquedades, además de la presencia constante de humedades. La existencia de niveles freáticos elevados contribuyó a la aparición de lesiones por humedad en los muros. Además, se observó que los espesores y recubrimientos propuestos

generaron afectaciones en los aceros debido a procesos de carbonatación y corrosión (Herrera y Monsalve, 2018).

Con base en lo anterior, es importante destacar que los procesos constructivos de muros de contención deben tener en cuenta la durabilidad de los materiales y la presencia de niveles freáticos, ya que estos factores pueden generar problemas a largo plazo.

3.1.3 Universidad Politécnica de Valencia

La construcción del proyecto Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón se realizó en el año 2012. Sin embargo, cuando se finalizó, se empezaron a identificar fisuras en los sótanos, afectando tanto las losas como los muros. A pesar de que se diseñaron muros perimetrales con un espesor de 40 centímetros, estos presentaron fisuras notables que atravesaron completamente el grosor del muro, siguiendo una dirección de 45° en sus extremos. El origen de estas fisuras se remonta al proceso de curado de los elementos de hormigón y su etapa constructiva (Pardo, 2017).

La aparición de fisuras en los sótanos del edificio, indica problemas significativos en el proceso de curado del hormigón y en la etapa constructiva. Las fisuras que atraviesan completamente el grosor del muro y siguen una dirección de 45° en sus extremos sugieren que no se prestó la debida atención a los detalles técnicos y de calidad durante la construcción y el curado del hormigón. Es crucial asegurar un adecuado curado y seguir procedimientos constructivos precisos para evitar defectos estructurales de este tipo.

3.2 Marco teórico

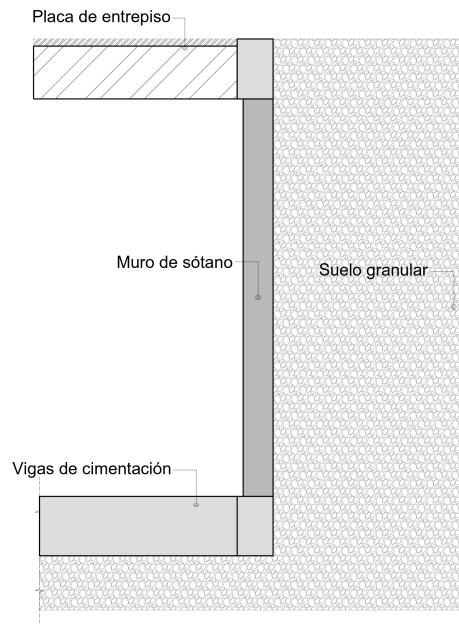
3.2.1 Tipologías de Muros

Muros de sótano. No recibe cargas verticales aparte de su propio peso. La construcción de estos muros puede ser encofrados o mediante procedimiento como muros de pantalla. Hacen parte de la estructura de las edificaciones que, por estar enterrada y en contacto con el terreno, se encuentran sometidos a acciones laterales (Calavera, 1987). Posee un apoyo en la base y en el entrepiso. El presente documento se centra en este tipo de muros.

Como parte de la verificación en obra, es fundamental asegurar que los muros de sótano estén correctamente apoyados sobre las vigas de entrepiso, garantizando su estabilidad estructural y evitando desplazamientos o asentamientos indeseados. Además, los muros deben ser continuos, sin interrupciones, para asegurar su integridad y capacidad de carga.

Se recomienda instalar un sistema de drenaje perimetral alrededor del muro de contención para prevenir la acumulación de agua, lo cual podría generar presiones hidrostáticas que afecten la estabilidad del muro. Este sistema ayudará a reducir riesgos de humedad y posibles filtraciones, contribuyendo a la durabilidad de la estructura.

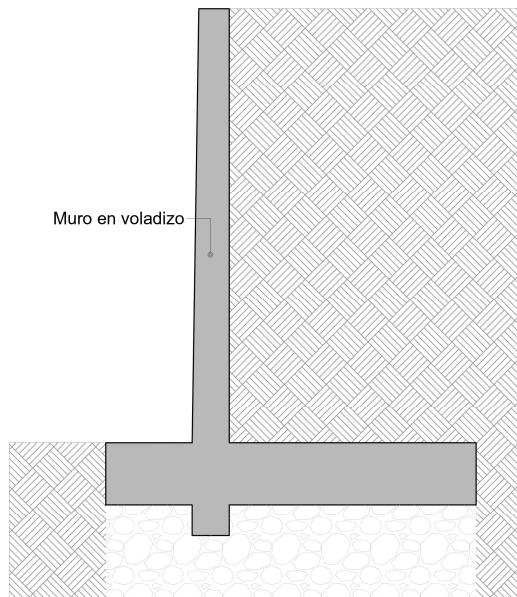
Si el muro tiene una extensión considerable, es esencial instalar juntas de dilatación según lo especificado en los planos.

Figura 1. Muro de sótano

Nota. La figura representa la tipología de muro de sótano.

Muros en voladizo. Son usados a menudo, y su campo de aplicación depende de los costos asociados a la excavación, hormigón, acero, encofrado y relleno, puede llegar a ser una solución económica para elementos de altura de 10 o 12 metros. Usualmente usados en vías, dado que, requieren un solo apoyo en la base del terreno (Calavera, 1987).

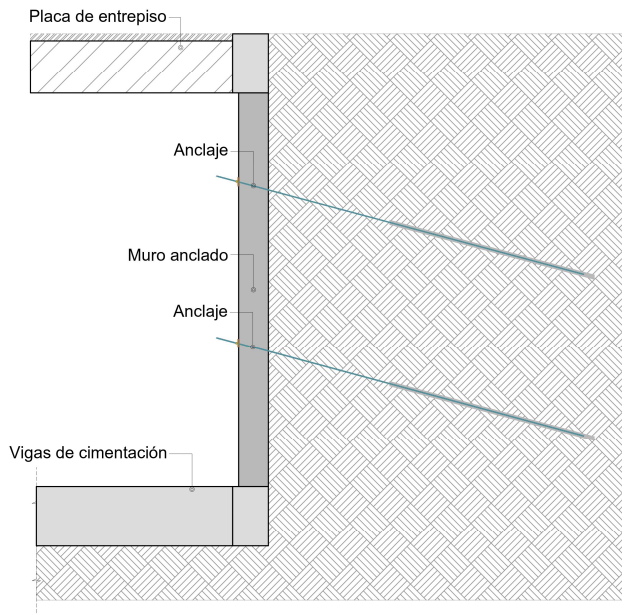
Este tipo de muros depende de un único punto de apoyo, por lo que es crucial verificar minuciosamente que se construyan conforme a las dimensiones y forma especificadas en los planos. La estabilidad del muro está directamente relacionada con su forma, cualquier alteración puede afectar su factor de seguridad de diseño.

Figura 2. *Muro en voladizo*

Nota. La figura representa la tipología de muro en voladizo.

Muro anclado. Se encuentran dentro de las categorías de muros no convencionales junto a los muros entierra armada, muros claveteados y muros hincados. Es usado principalmente para excavaciones profundas en viviendas o para estabilización de taludes en vías. Utiliza anclajes que tienen la capacidad de resistir las fuerzas que se ejercen sobre el muro.

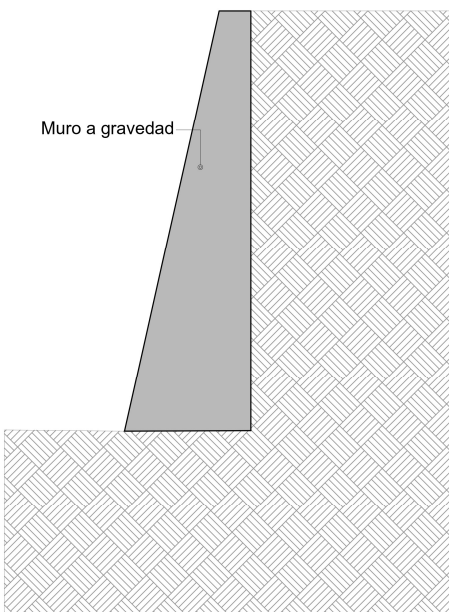
Es fundamental implementar un sistema de drenaje adecuado detrás del muro para evitar la acumulación de agua, ya que esta puede socavarlo, dejándolo en falso. La gestión efectiva del agua es crucial para prevenir este tipo de daños estructurales. Además, es esencial utilizar anclajes de alta calidad que sean capaces de soportar las tensiones generadas durante la carga del muro. Es necesario asegurar que los anclajes estén correctamente instalados y firmemente fijados tanto al muro como al terreno, garantizando su desempeño y seguridad a largo plazo.

Figura 3. Muro anclado

Nota. La figura representa la tipología de muro anclado.

Muro a gravedad. Son muros de hormigón, usualmente masivos, consiguen su resistencia debido al peso propio. Habitualmente no requieren cimentación ni armado de acero, pero siempre el volumen de concreto es importante (Calavera, 1987).

En este tipo de muro es esencial verificar que la base esté adecuadamente protegida contra la erosión, especialmente en áreas expuestas a lluvias intensas o corrientes de agua. Para ello, se recomienda instalar vegetación o revestimientos protectores que ayuden a estabilizar el terreno y evitar el deslizamiento del suelo.

Figura 4. *Muro a gravedad*

Nota. La figura representa la tipología de muro a gravedad.

3.2.2 Criterios de falla en muros de contención

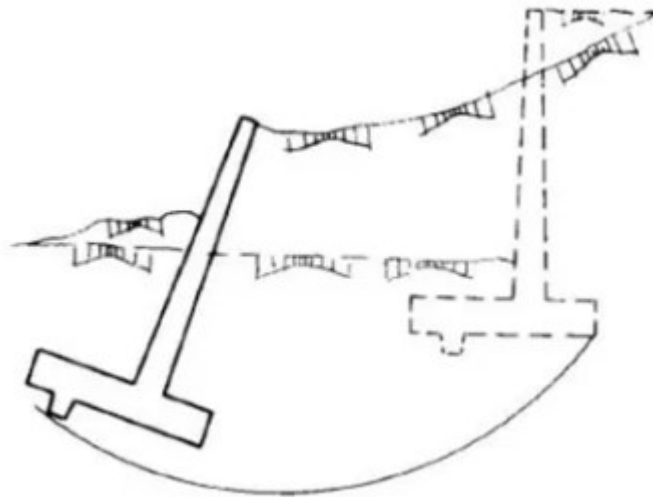
Debido a las cargas actuantes producto del suelo, existen diversas causas por las cuales puede fallar un muro de contención. Estas causas son denominadas criterios de falla: Capacidad de soporte, empuje lateral y falla rotacional.

Capacidad de soporte en suelos. El término capacidad de soporte se refiere a la presión máxima que el suelo puede soportar sin presentar una falla excesiva. Por ello, es considerado un factor fundamental en los estudios geotécnicos, pues afecta el diseño de cimientos, carreteras, puentes y otros proyectos de infraestructura. Existen dos tipos de capacidad de soporte: Capacidad máxima, la cual representa la presión vertical máxima que puede soportar el suelo antes de que ocurra una falla por corte; y capacidad admisible, cuyo valor toma en cuenta un factor que

garantiza la seguridad de las obras de construcción (Lees, 2021). La capacidad de soporte del suelo puede verse alterada por cambios en las propiedades del suelo, realización de obras de cimentación en zonas aledañas a la obra y la pendiente de la carga activa (Uzundurukan y Saplioglu, 2022).

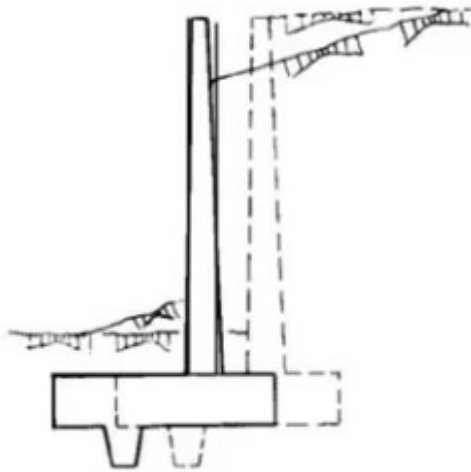
Este tipo de falla se manifiesta típicamente por un desplazamiento del muro en profundidad, lo que resulta en un hundimiento y un giro.

Figura 5. Falla por capacidad de soporte



Nota. La figura representa la falla debido a la capacidad de soporte en suelos.

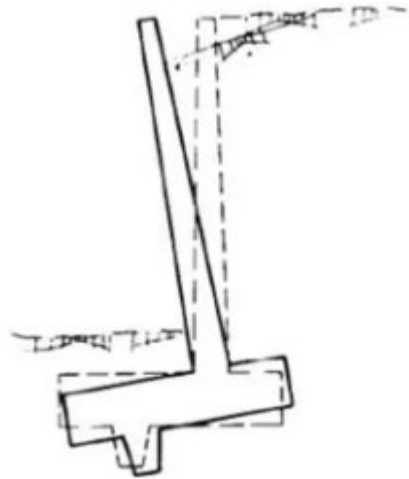
Empuje lateral. Se conciben cuatro tipos de empuje lateral sobre muros: Empuje activo, empuje pasivo, empuje en reposo y empuje sísmico. La falla existe cuando, el muro se desliza a causa de cualquier empuje lateral. Esto se evidencia en la obra a través de la disminución del nivel del terreno natural o la aparición de pequeñas fisuras en los elementos de concreto superiores.

Figura 6. Deslizamiento en muros de contención

Nota. La figura representa el deslizamiento del muro de contención

Falla rotacional. Ocurre por la acción tanto de las fuerzas laterales como las verticales, que pueden generar un momento torsor alrededor de la base del muro. Existen algunas variables que aumentan la probabilidad de que ocurra una falla rotacional, tales como cargas excéntricas, muros con una esbeltez considerable o muy ligeros y suelos con baja capacidad de soporte (Varghese, 2005).

Este tipo de fallas generalmente está asociado a muros de contención en voladizo o muros de sótano mal ejecutados, que carecen de un apoyo doble adecuado. Se identifica principalmente cuando el muro pierde su plomada, lo que indica una desviación o inclinación que compromete su estabilidad y funcionalidad.

Figura 7. Falla rotacional

Nota. La figura representa la falla rotacional dada comúnmente en muros en voladizo.

3.2.3 Métodos de diseño estructural

Diseño por Factor de Carga y Resistencia (LRFD). El método de diseño por factor de carga y resistencia se denomina así porque tiene en cuenta diversas incertidumbres en las cargas y propiedades del material, aplicando diferentes factores de amplificadores carga y reductores de resistencia. De esta manera, se establecen factores de resistencia, permitiendo analizar distintas combinaciones de carga con una aproximación precisa a las cargas que pueden actuar en la estructura durante su etapa de servicio (Ebeling y White, 2021).

3.2.4 Diseño de Muros

Para el diseño de los muros de contención, es crucial llevar a cabo un análisis del suelo en el sitio sobre el cual se construirá. El análisis proporcionará las características fundamentales del suelo, que son determinantes para garantizar la estabilidad y seguridad del muro (Gómez, 2013).

Las características clave del suelo, como el peso específico (γ), el ángulo de fricción (\emptyset) y la capacidad admisible (Q_{adm}), son fundamentales en el análisis de suelos, en suelos granulares. Además, es crucial disponer de datos específicos de construcción, como la resistencia a la compresión del hormigón ($f'c$) y el esfuerzo de fluencia del acero (f_y) (Gómez, 2013).

Cálculo de empujes. La norma NSR10 identifica los empujes activos y pasivos según su estado de desplazamiento (Rios, 2024).

Empuje Activo (H). Se caracteriza por un desplazamiento mínimo del muro en sentido opuesto al banco de tierra que contiene, este desplazamiento se genera debido a una fuerza de presión activa P_a .

El valor máximo de la presión activa está definido por la siguiente expresión

$$E_a = K_a \gamma H \quad (1)$$

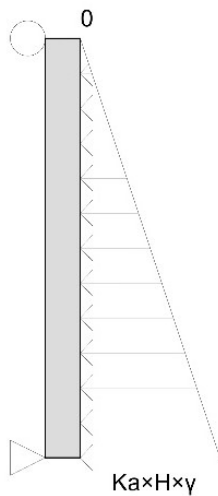
Donde:

E_a = Valor máximo, presión activa [kPa]

K_a = Coeficiente de empuje activo

γ = Peso unitario del suelo [kN/m³]

H = Altura del muro [m]

Figura 8. *Distribución de cargas, empuje activo*

Nota. La figura representa la distribución de carga del empuje activo, sus valores mínimos y máximos.

K_a es un dato del informe geotécnico o en su defecto se calcula mediante la siguiente expresión

$$K_a = \frac{1 - \text{seno}(\phi)}{1 + \text{seno}(\phi)} \quad (2)$$

Donde:

ϕ = Ángulo de fricción del suelo [°]

Las características geotécnicas del terreno tienen un impacto directo en las cargas del elemento estructural. Por lo tanto, es fundamental verificar en el sitio de obra que las condiciones del terreno, como el tipo de suelo y el peso unitario, coincidan con los parámetros establecidos.

Empuje sísmico (E)

Se calcula mediante la presión activa de tierra de Coulomb

Para el cálculo del valor máximo de la presión activa sísmica se utiliza la siguiente expresión

$$E_{ae} = \gamma H(1 - k_v)K_{ae} \quad (3)$$

Donde:

E_{ae} = Valor máximo, presión activa sísmica [kPa]

K_{ae} = Coeficiente de empuje activo sísmico

γ = Peso unitario del suelo [kN/m³]

H = Altura del muro [m]

k_v = componente vertical de la aceleración del sismo. Usualmente igual a 0.

El coeficiente de empuje sísmico se puede calcular como:

$$K_{ae} = \frac{\text{seno}^2(\phi' + \beta + \theta')}{\text{Cos}\theta' \text{seno}^2\beta \text{seno}(\beta - \theta' - \delta') \left[1 + \sqrt{\frac{\text{seno}(\phi' + \delta') \text{seno}(\phi' - \theta' - \alpha)}{\text{seno}(\beta - \delta' - \theta') \text{seno}(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (4)$$

Donde:

β = Pendiente del muro respecto a la vertical [°]. Usualmente igual a 0°.

ϕ' = Ángulo de fricción del suelo [°]

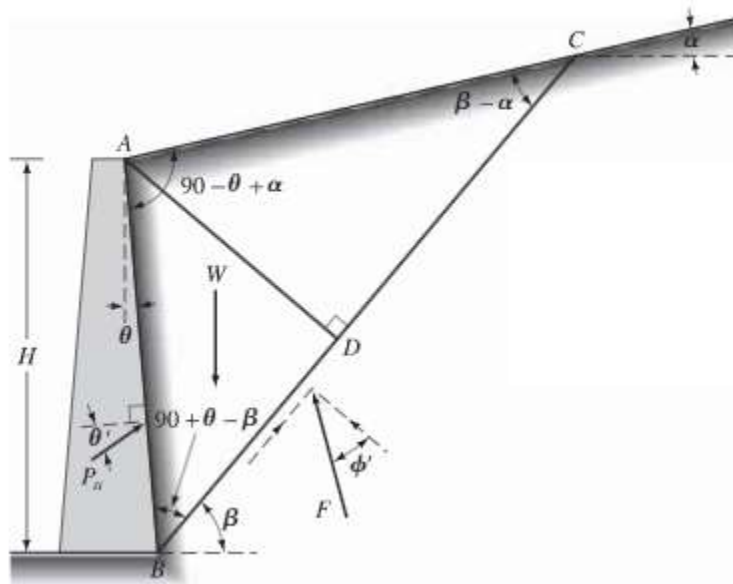
α = Ángulo del terreno respecto a la horizontal [°]. Usualmente igual a 0°.

δ' = Ángulo de interacción suelo estructura [°]

$$\theta' = \text{ArcTan}\left(\frac{kh}{1 - k_v}\right) \quad (5)$$

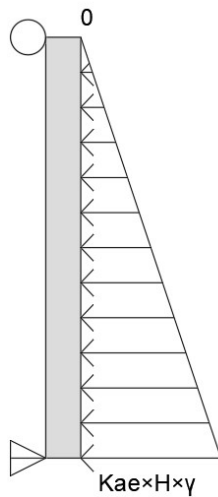
Donde:

kh = componente horizontal de la aceleración del sismo.

Figura 9. Ángulos de referencia

Nota. La figura representa los ángulos tomados en cuenta para el cálculo del empuje sísmico.

Tomado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja, 2001).

Figura 10. Distribución de cargas, empuje sísmico

Nota. La figura representa la distribución de carga del empuje sísmico, sus valores mínimos y máximos.

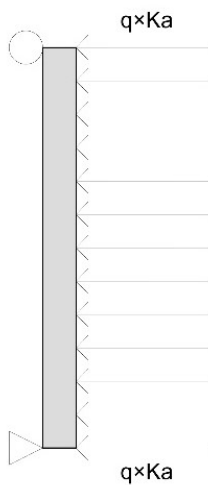
Sobrecarga (L). Representa la carga adicional que actúa sobre la superficie del suelo, cual se transmite al elemento de contención.

$$L = qK_a \quad (6)$$

Donde:

q = Sobrecarga por unidad de área [kN/m^2] corresponde a una carga viva y debe evaluarse según el uso o la ocupación de la edificación. Según Calavera, se ha demostrado que una sobrecarga de 10 kN/m^2 es adecuada para cubrir el caso de tráfico habitual en áreas urbanas, especialmente en muros cercanos a vías. Sin embargo, en muros de edificaciones, la sobrecarga que afecta proviene del tránsito peatonal sobre los andenes, y, según la Tabla B.4.2.1-1 NSR10, esta carga es de 5 kN/m^2 . Es necesario verificar en planos y sitio, que este valor de sobrecarga sea el adecuado.

Figura 11. *Distribución de cargas, sobrecarga*



Nota. La figura representa la distribución de carga de la sobrecarga, sus valores mínimos y máximos.

Combinaciones de Carga. Para su diseño, la NSR-10 en su apartado B.2.4.2 dispone de combinaciones de carga, se resumen las aplicables a muros de contención:

1.6(L+H) en la sección (B.2.4.-2)

E+L en la sección (B.2.4-5)

E+1.6H en la sección (B.2.4.-7)

Es necesario evaluar cada combinación de carga y obtener los valores de Momento y Cortante últimos.

Diseño a Flexión. La resistencia a flexión, M_n , se define como la resistencia nominal del elemento afectada por un factor de reducción (ϕ), el cual varía dependiendo de la sección la cual puede estar controlada por tracción o compresión. Este enfoque de diseño se fundamenta en el equilibrio de fuerzas y en la consideración de las deformaciones. Para el concreto, la deformación unitaria máxima en compresión se asume como 0.003.

Para el cálculo del acero longitudinal, es necesario conocer el momento de diseño M_u , el factor de reducción ϕ (igual a 0.9), la altura efectiva d , la base b , la resistencia del acero f_y , y la resistencia del concreto f'_c .

Usualmente, el diseño se asume por metro lineal del elemento, por lo que la base (b) se toma como 1000 mm. En la ecuación correspondiente, el único valor desconocido es el área de acero A_s . Es necesario despejar esta incógnita y determinar una cantidad de acero que sea igual o superior al área requerida.

$$M_u = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0.59 \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{f'_c \cdot b} \right) \quad (7)$$

El acero de refuerzo juega un papel importante en la resistencia a la flexión del muro. Por lo tanto, el supervisor debe asegurarse de que la disposición del acero de refuerzo y el calibre utilizado cumplan con las especificaciones detalladas en los planos. Si se requiere un calibre diferente por razones constructivas, es imprescindible consultar con el diseñador para su aprobación

Diseño a Cortante. Para cumplir con los requisitos establecidos en la NSR-10, se basa en que la resistencia del elemento debe ser igual o superior a la fuerza cortante que se espera que soporte. Según la norma NSR-10, en la sección C.9.3.2.3, se establece un factor de reducción (ϕ) de 0.75 para el diseño a cortante.

La resistencia nominal (V_n) se define como la suma de la resistencia del concreto (V_c) y la resistencia del acero (V_s). Usualmente, el diseño se asume por metro lineal del elemento, por lo que la base (b) se toma como 1000 mm. En estos elementos, comúnmente no se utilizan estribos, por lo que la resistencia al cortante debe ser asumida principalmente por el concreto.

$$\phi V_c \geq V_u \quad (8)$$

Donde:

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (9)$$

Donde:

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto [MPa]

b = Base de la sección transversal [mm].

d = Espesor de muro menos recubrimiento [mm]. $d = H - d'$.

La resistencia al corte del elemento depende en gran medida del espesor del muro y de la resistencia a la compresión simple del concreto. Por lo tanto, es fundamental realizar inspecciones continuas en obra para asegurar que el espesor del muro sea el especificado en los planos.

Capacidad admisible. Se define como la capacidad de carga última sobre un factor de seguridad a criterio del ingeniero geotecnista, usualmente cercano a 3. Es la presión admisible por área unitaria que puede soportar el suelo para cimentar un elemento y sin que este falle (Das, 2001).

El diseño por capacidad admisible se basa en determinar el ancho de la viga de cimentación que debe soportar el muro. Para esto se debe evaluar la reacción mayor en la base inferior del muro en el análisis por metro lineal de muro.

$$b = \frac{P}{Q_{adm}} \quad (10)$$

Donde:

b = Ancho de la viga de cimentación [m]

P = Máxima reacción en el apoyo inferior del muro [kN]

Q_{adm} = Capacidad de carga admisible [kN/m²]

3.2.5 Responsabilidades de los supervisores de construcción de muros

Los supervisores de construcción de muros de sótano deben asegurarse, antes de dar inicio al proceso constructivo, de que la zona donde se construye se encuentre despejada de lodo, escombros o cualquier tipo de partículas, puesto que, la presencia de estos reduce la unión efectiva entre el suelo y la estructura (CMHA, 2024). De igual manera, deben garantizar la seguridad del espacio de trabajo y de los trabajadores, contando con la prevención de accidentes que podrían ocasionar cualquiera de los criterios de falla y demás factores internos y externos que afecten el

entorno laboral. Asimismo, durante la ejecución de las fases del proyecto, los supervisores deben garantizar el cumplimiento con el cronograma establecido y el presupuesto asignado para la obra, coordinando las cuadrillas para la culminación de las actividades de manera apropiada, verificando la calidad de materiales, herramientas e insumos a utilizar y estableciendo una comunicación activa entre las partes (Newton, 2021).

3.2.6 Criterios de Inspección

El proceso de supervisión no solo se enfoca en la calidad de los materiales, sino también en la correcta ejecución de cada una de las actividades. A continuación, se detalla el control y las inspecciones necesarias en cada una de las etapas del proceso de construcción.

Etapas 1. Inspección del terreno

Antes de iniciar las excavaciones, es crucial que el terreno esté libre de escombros, vegetación o cualquier otro material que pueda interferir con la construcción, este proceso se denomina descapote. Además, se debe verificar que no existan obstáculos subterráneos que puedan afectar las dimensiones del muro.

Es fundamental revisar detenidamente el estudio de suelos, ya que este documento proporciona información clave sobre las características geotécnicas del terreno, incluyendo el tipo de suelo, la presencia de agua subterránea y otros datos cruciales que influyen directamente en los procesos de excavación y estabilidad del terreno.

La inspección debe centrarse en asegurar que la excavación se realice según las dimensiones y profundidades especificadas en los planos. La excavación debe estar nivelada y

alineada correctamente, y se debe verificar que el fondo de la excavación esté libre de agua o humedad excesiva, ya que esto podría afectar la estabilidad y durabilidad de la estructura.

Etapa 2. Cimentación

Una vez completada la excavación, la cimentación es una de las fases más críticas en la construcción de un muro de contención, ya que garantiza la estabilidad de la estructura a largo plazo. Durante esta etapa, se deben llevar a cabo inspecciones detalladas en varios aspectos fundamentales para asegurar que la base del muro sea adecuada para soportar las cargas que se le aplicarán.

En primer lugar, es imprescindible verificar la calidad de los materiales que se utilizarán en la cimentación, como el concreto y el acero. Los materiales deben cumplir con las especificaciones del proyecto, y su resistencia debe ser evaluada de acuerdo con las normativas.

La instalación del encofrado debe ser rigurosamente supervisada. Este encofrado es esencial para darle la forma correcta al concreto y debe estar alineado y nivelado conforme a las dimensiones especificadas en los planos. El proceso de colocación de las barras de refuerzo también debe ser cuidadosamente inspeccionado para garantizar que se ubique en la posición correcta, de acuerdo con los planos estructurales, y que el refuerzo sea el adecuado en cuanto a cantidad y calidad.

En cuanto al proceso de colocación del concreto, este debe realizarse en las condiciones adecuadas, garantizando la compactación y vibrado del material para evitar huecos o vacíos dentro de la cimentación.

Etapa 3. Construcción muro de contención

Se debe verificar la calidad de los materiales que se utilizarán para la construcción del muro; el concreto y el acero de refuerzo especificado en el diseño. Los materiales deben cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos en los planos. Es importante que estos materiales sean inspeccionados tanto antes de la entrega en el sitio como durante su manipulación y colocación.

Durante la construcción, es fundamental que se utilicen dispositivos de medición, como niveles y plomadas, para garantizar que el muro esté perfectamente recto y alineado.

Es igualmente importante verificar la colocación y disposición de los refuerzos de acero de refuerzo que se haya especificado en el diseño. Los refuerzos deben estar ubicados en las posiciones correctas dentro del muro, con las separaciones adecuadas y con la cantidad necesaria, tal como se indica en los planos.

Durante la construcción, se debe controlar el proceso de curado del concreto si este es el material utilizado. Es esencial que el concreto se mantenga en condiciones de temperatura y humedad adecuadas durante su curado, ya que esto influye directamente en su resistencia final.

Etapa 4. Revisión y control de calidad

Es esencial realizar inspección visual de todo el muro de contención, verificando que la construcción se haya ejecutado conforme a las especificaciones del diseño. Esta inspección debe incluir la revisión de la alineación, verticalidad y acabados del muro, así como la comprobación de que las dimensiones finales coincidan con lo estipulado en los planos.

Un aspecto clave de esta etapa es la evaluación de la calidad de los materiales utilizados. Aunque se haya supervisado el uso de materiales a lo largo de la construcción, es importante

realizar una revisión final para confirmar que los materiales empleados cumplen con las normativas de calidad y las especificaciones del proyecto. Esto incluye la verificación de los informes de calidad del concreto y el acero de refuerzo.

Finalmente, es crucial contar con un informe final de inspección que documente todas las observaciones realizadas durante la revisión, las correcciones necesarias (si las hubiera) y la aprobación de la obra para su entrega. Este informe debe incluir todos los certificados de calidad, las pruebas de los materiales, y las observaciones finales que demuestren que el muro de contención cumple con las especificaciones técnicas y normativas vigentes.

3.3 Marco conceptual

3.3.1 Concreto

Mezcla de agregados (arena y grava) y pasta (cemento portland y agua). La pasta une los agregados formando una masa similar a una roca (Day, 2012).

Es un material que se obtiene mediante una mezcla proporcionada de cemento, agua, arena y grava u otro agrado. El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de los agregados y conformar una masa sólida. Se puede obtener concreto en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constitutivos (Nilson, 2001). El concreto a utilizar en la construcción de muros de sótano debe ser elaborado con una relación agua-cemento menor, al igual que un agregado más grueso. De igual forma, requiere el uso de cemento Portland resistente a acción moderada de la humedad, seleccionando normalmente el tipo II (Taly, 2010). La causa que hacen del concreto un material universal es diversa. En primer lugar, la facilidad con la cual puede ser depositado y llenar moldes de forma segura es fundamental.

Además, los materiales necesarios están disponibles a un bajo costo, lo cual reduce significativamente los costos de transporte y logística. Su resistencia a la compresión es semejante a la de las piedras naturales, lo que lo hace ideal para elementos sometidos principalmente a compresión. No obstante, el concreto es un material relativamente frágil y posee una baja resistencia a la tensión en comparación con su resistencia a la compresión (Nilson, 2001).

3.3.2 Acero de refuerzo

El acero de refuerzo viene presentado en forma de barras, las cuales varían según el diámetro requerido en el diseño. Generalmente, las barras de acero para refuerzo cuentan con protección contra la corrosión, bien sea recubrimiento epóxico o zinc (acero galvanizado), siendo estas últimas las más utilizadas. Añadido a esta protección, presentan una superficie corrugada, contando con la fricción adecuada para garantizar la unión integral entre el refuerzo y el concreto. Un acero de refuerzo que cumple las características mencionadas otorgará ductilidad, mayor resistencia y durabilidad a la estructura (Taly, 2010).

3.3.3 Especificaciones técnicas

Son los documentos que establecen las normativas, requisitos y procedimientos que deben seguirse y aplicarse en todos los trabajos de construcción, realización de estudios y fabricación de equipos.

3.3.4 Muro de contención

Son elementos verticales cuya función principal es contener masas de tierra y otros materiales. Pueden adoptar diversas formas y materiales. Pueden ser de gravedad, arriostrados, de

contrafuertes, de mampostería, de hormigón armado, entre otros tipos, y su elección se basa en factores como la altura del muro, el tipo de suelo, la carga lateral y las condiciones geotécnicas locales (Nilson, 2001).

3.3.5 Muros de sótano

Son elementos que deben cumplir con dos funciones, siendo la primera contener el terreno y la segunda crear espacios en sótanos que se puedan utilizar (Vicente, 2012).

3.3.6 Suelo

Sedimentos u otras acumulaciones de partículas minerales producidas por la desintegración física y química de las rocas, el suelo inorgánico no contiene materia orgánica, mientras que el suelo orgánico contiene materia orgánica (Day, 2012).

3.4 Marco legal

3.4.1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)

En los años setenta, se llevaron a cabo los primeros esfuerzos de traducción del código de California por parte de la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS). Esta traducción se difundió ampliamente. Posteriormente, surgió un documento de gran importancia en el ámbito estadounidense conocido como el ATC 3, que fue publicado en 1977. Inicialmente, la AIS se encargó de traducirlo y promover su divulgación. Luego, se llevó a cabo una adaptación en el marco de un acuerdo entre la Universidad de los Andes y la Universidad de Illinois (García, 2014).

La primera normativa colombiana de construcciones sismo resistentes es del 7 de junio de 1984. En la década de 1990, se iniciaron las gestiones para establecer una ley que supervisara los asuntos relacionados con las construcciones sismo resistentes y que permitiera realizar actualizaciones periódicas sin necesidad de recurrir al Congreso cada vez que hubiese necesidad de actualizar la reglamentación. Finalmente, en 1997, el Congreso de la República promulgó la Ley 400, que regulaba la resistencia sísmica de las edificaciones en Colombia.

Con el poder reglamentario otorgado por la Ley 400 de 1997, se expidió el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-98 por el Decreto 33 del 9 de enero de 1998. Luego, se expidieron tres decretos adicionales que complementaron el Reglamento NSR-98: Decreto 34 de 1999, Decreto 2809 de 2000 y Decreto 52 de 2002. Estos decretos abordaron aspectos cruciales para la correcta implementación del Reglamento NSR-98, afectando solo ciertas partes de él (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

La NSR-10 fue establecida mediante el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, sin embargo, al igual que su predecesora, ha experimentado cambios a lo largo del tiempo a través de los Decretos 2525 del 13 de julio de 2010, 092 del 17 de enero de 2011, 340 del 13 de febrero de 2012 y 945 del 5 de junio de 2017, Decreto 945 de 2017, Decreto 1077 de 2018, Decreto 1230 de 2019, Decreto 1457 de 2020, Decreto 1831 de 2021.

La NSR-10 se compone de 11 títulos, los cuales abarcan un tema; describiendo requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente en su título A, Cargas, combinaciones de servicio y diseño en su título B, requisitos para el diseño de concreto estructural en su título C, mampostería estructural en su título D, casas de uno y dos pisos en su título E, estructuras metálicas en su título F, estructuras de madera y guadua en su título G, especificaciones de estudios

geotécnicos en su título H, supervisión técnica independiente en su título I, requisitos de protección contra incendios en edificaciones en su título J y requisitos complementarios en su título K.

El título C del Reglamento NSR-10 fue elaborado por la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), basándose en su versión equivalente, el ACI 318S-08. Esta sección define los requisitos básicos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural en cualquier clase de estructura.

El Título I del Reglamento NSR-10 establece la obligatoriedad de la supervisión técnica, detallando su alcance y los controles mínimos requeridos. Estos controles incluyen la verificación de planos, la revisión de especificaciones, el control de materiales, la realización de ensayos para garantizar la calidad y el control durante la ejecución.

3.4.2 Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14)

En gran parte de América, la práctica del diseño se ha regido, en gran medida, por las especificaciones americanas AASHTO, que fueron publicadas en 1931 y luego rebautizadas como AASHTO. A lo largo del tiempo, la AASHTO ha llevado a cabo investigaciones sobre las propiedades de materiales y análisis de estructuras, evaluando las especificaciones de códigos extranjeros. En 1994, la AASHTO lanzó especificaciones para el diseño de puentes basado en la metodología de estados límite, la cual fue adoptada como guía en Colombia. Posteriormente, el Gobierno nacional encomendó a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) la tarea de crear un reglamento nacional para el diseño de puentes en el país. En 1995, la AIS, en colaboración con el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), publicó el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes CCP95, fundamentado en las especificaciones AASHTO de 1992. En 2013, en colaboración con el INVIAS, la AIS desarrolló la Norma

Colombiana de Diseño de Puentes CCP14, esta vez basada en las especificaciones de la AASHTO de la sexta y séptima edición, las cuales son ampliamente utilizadas hoy en día en diversos países para el diseño de diversas estructuras (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2014).

El CCP14, se divide por secciones, y al igual que la NSR-10, también relaciona aspectos fundamentales para el diseño de elementos, en este caso puentes, cimentaciones, muros, túneles, entre otros.

3.4.3 Instituto Nacional de Vías

Al igual que la Asociación de Ingeniería Sísmica, el Instituto Nacional de Vías ha contribuido significativamente a la formulación de normativas, específicamente en el caso de la CCP14. Su participación se ha destacado en la redacción de disposiciones clave y la elaboración de manuales que simplifican procesos esenciales, como la Interventoría. Estos documentos abarcan desde la definición de objetivos y alcances del interventor hasta los principios y obligaciones que rigen dicho proceso.

En su manual, se detallan las atribuciones de la interventoría, que incluyen la capacidad de exigir el cumplimiento de las exigencias establecidas en el contrato, así como en las leyes y normativas pertinentes. Además, se destaca la facultad de formular recomendaciones por escrito, orientadas a mejorar la ejecución del contrato con un enfoque tanto financiero como técnico, buscando su optimización integral. Las responsabilidades de la Interventoría abarcan la verificación de que los estudios, diseños y planos se ajusten a las condiciones actuales del proyecto, cumpliendo con las normas y especificaciones vigentes. Asimismo, se le confiere la facultad de

aprobar, si es necesario, los estudios, diseños y planos pertinentes durante la ejecución de la obra (Instituto Nacional de Vías, 2013).

4. Método

4.1 Enfoque de Investigación

Se adoptó un enfoque mixto, combinando los métodos cuantitativo y cualitativo, este último, puede atravesar diversidad disciplinas, participa en una variedad de perspectivas teóricas y engloba numerosos métodos de recogida de datos (Azuero, 2018), lo que permitió abarcar tanto las características estructurales como los aspectos normativos y materiales pertinentes. Su estructura se define mediante la obtención de datos, el manejo de variables y la clarificación de objetivos, generando una descripción de un suceso, donde se planteó de esta forma porque ayuda a aclarar conceptos (Méndez, 2001), lo cual facilitó la captura detallada de información no solo técnica, sino también sobre las prácticas y decisiones involucradas en el proceso de construcción.

Además, los estudios descriptivos identifican las características del universo de investigación, señalando formas de conducta y actitudes del universo investigado, estableciendo comportamientos concretos y comprueba la asociación entre variables de investigación (Méndez, 2001), en este proyecto, las variables de investigación incluyeron el tipo de suelo, la resistencia del concreto y del acero, las dimensiones de los muros de contención, así como las normativas y estándares aplicables.

4.2 Diseño de Investigación

La investigación se fundamentó en el diseño documental, el cual es un proceso basado en la búsqueda, análisis, e interpretación de datos secundarios (Arias, 2006), enfocado en la recopilación y análisis de información relevante procedente de fuentes documentales claves, tales como: “Muros de contención y muros de sótanos” (Calavera, 1987), “Diseño de estructuras de concreto” (Nilson, 2001), Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2013), entre otras.

4.3 Fases Metodológicas

En el transcurso de este trabajo, se estudiaron los componentes de estudio y diseño de para muros de contención de un sótano, resaltando los parámetros esenciales que deben considerarse en cualquier obra que involucre estos elementos. Este estudio servirá como dirección para la supervisión de la construcción, proporcionando las directrices necesarias para un control efectivo de estos elementos, considerando planos, materiales y especificaciones.

Esta metodología se clasificó en cuatro etapas secuenciales:

4.3.1 Etapa 1

En esta primera etapa, se llevó a cabo una investigación y revisión de la información relevante relacionada con los parámetros de diseños de los muros de contención de un sótano, siendo una fase documental. Esto comprendió un análisis detallado de las cargas estáticas como de las dinámicas que inciden sobre estas estructuras.

Además, se realizó un planteamiento de las variables asociadas al análisis estructural preliminar con el propósito de interpretar la distribución de las cargas y comprender su impacto en el diseño de los muros de contención y el cumplimiento de la resistencia requerida. Para llevar a cabo esta etapa se consultaron fuentes clave como “Muros de contención y muros de sótanos” (Calavera, 1987), y “Diseño de estructuras de concreto” (Nilson, 2001).

Asimismo, se profundizó en las consideraciones que influyen en el diseño estructural de los muros de un sótano, focalizando la atención en aspectos vinculados con los materiales empleados. Se exploró la disposición de acero tanto en su orientación longitudinal como transversal dentro de estas estructuras, la elección del espesor y la resistencia a la compresión del concreto. Consultando las fuentes de referencia como “Mecánica de los materiales” (Beer y Johnston, 2010), “Diseño de estructuras de concreto” (Nilson, 2001), y “Cálculo de estructuras de hormigón armado” (Calavera, 1985).

El resultado en esta primera etapa fueron dos tablas que relacionan los aspectos importantes de los materiales con la resistencia del muro de contención y otros parámetros de diseño importantes en la construcción.

4.3.2 Etapa 2

En esta segunda etapa, se identificó y documentaron las especificaciones esenciales requeridas por las normativas y estándares aplicables para la construcción segura de muros de contención de sótanos. No solo se listaron estas especificaciones, sino que también indicaron de manera precisa en qué sección de las normativas se pueden encontrar, permitiendo así a los profesionales consultar a detalle. Para llevar a cabo esta etapa se consultaron las fuentes de referencia como el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Ministerio de

Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), y Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2013).

Con base en la información recolectada, se elabora una lista de control de planos, considerando aspectos clave como la ubicación del proyecto, los materiales especificados, los detalles constructivos incluidos en los planos, así como la verificación del terreno, entre otros. Además, se desarrolla una lista de supervisión de la construcción, que facilita el seguimiento de las actividades a lo largo de las diferentes etapas del proyecto: desde las actividades preliminares hasta la construcción y la aprobación final del muro de contención. Además, se abordaron situaciones no previstas que requieran una solución en el lugar y recomendaciones de construcción. En esta etapa se elaboró una tabla que sintetice la información de las especificaciones a tomar en cuenta, como por ejemplo el recubrimiento del elemento de hormigón armado, juntas de dilatación, recomendaciones para el uso de drenajes y geo sintéticos.

Esta etapa posibilita la implementación de un control riguroso sobre las especificaciones demarcadas en los diseños sobre la construcción, con el propósito de asegurar la durabilidad de estas estructuras.

4.3.3 Etapa 3

Se compiló la información obtenida de cada una de las etapas para elaborar un procedimiento de apoyo en la supervisión de muros de contención para sótanos. Además, se generó un documento de memoria técnica y de especificaciones para la revisión rápida y efectiva de los elementos de contención de un sótano, permitiendo exportar los resultados y observaciones.

El propósito principal es facilitar una revisión ágil de los esfuerzos que inciden en el muro de contención de un sótano, lo que permite evaluar de manera eficiente el cumplimiento de los

estándares y requisitos necesarios. Además, se listaron de manera concisa las especificaciones esenciales para tener en cuenta durante el proceso constructivo, brindando así una herramienta completa y práctica para profesionales que trabajan en proyectos de muros de contención de hormigón sismo-resistentes en sótanos, exportando de manera rápida un reporte de control de planos, control de especificaciones, recomendaciones sobre el control de materiales, sugerencias constructivas y generales.

4.3.4 Etapa 4

Se propuso la redacción de un documento de resultados para la construcción de muros de contención. En este documento de apoyo alternativo se solicitan los parámetros mencionados en el documento de síntesis; tales como resistencia a la compresión simple del concreto, propiedades del acero, espesor del muro, parámetros característicos del suelo, y la distribución de refuerzo transversal y longitudinal, basados en las etapas anteriores y en información de campo obtenida de revisión bibliográfica.

5. Resultados

5.1 Etapa 1

En esta primera etapa se identificó el procedimiento de diseño. Es importante destacar que en este proceso intervienen dos áreas de la ingeniería, por lo que la información proporcionada por ambas debe estar en concordancia. Estos factores seleccionados son aplicables a todos los tipos de muros. Sin embargo, el procedimiento de diseño, los chequeos y las especificaciones varían según el tipo de muro, en este caso se aplican criterios relacionados para muros de sótano.

5.1.1 Estudios Geotécnicos

Estos estudios están reglamentados por el Título H de la NSR-10, y son cruciales, ya que sus parámetros representan las cargas que soporta un muro de contención. Los datos más relevantes para el diseño se presentan en la siguiente tabla

Tabla 1. *Parámetros geotécnicos que intervienen en el diseño de los muros de contención*

Parámetro	Descripción
Peso específico del suelo (γ)	Representa la relación entre el peso unitario del suelo y el del agua en condiciones semejantes de presión y de temperatura. Es un factor fundamental en la determinación del empuje sísmico, que influye en las cargas actuantes sobre el muro.
Ángulo de fricción (ϕ)	Corresponde al ángulo cuya tangente es el coeficiente promedio de fricción entre las partículas de un suelo. Se le utiliza en el criterio de Mohr-Coulomb para hallar el esfuerzo cortante de falla, indispensable para determinar el factor de seguridad e influye en la determinación del coeficiente de empuje activo y cargas actuantes.
Capacidad admisible (Q_{adm})	Es el valor máximo del esfuerzo de contacto aplicable al diseño y construcción de una cimentación. La capacidad admisible de soporte es sólo una fracción de la capacidad última de soporte, y se calcula aplicando a esta última un factor de seguridad. Determina el ancho de la cimentación del muro.
Coeficiente de empuje activo (K_a)	De acuerdo con el capítulo B.5 de la NSR-10, el coeficiente de empuje activo se asigna en los casos donde la estructura posea libertad de giro y traslación. Influye en el empuje activo del suelo sobre el muro, y dependiendo de las características del suelo, se calcula con el método de Rankine o el de Coulomb. Influye en las cargas actuantes del muro.
Coeficiente de empuje activo sísmico (K_{ae})	De acuerdo con el análisis de Mononobe-Okabe, es un factor determinante en cálculo del empuje activo total, siendo parte del componente dinámico. Influye en las cargas actuantes sobre el muro.
Existencia de agua	Aumenta el peso específico del suelo incrementa las cargas sobre los muros. Aunque algunos suelos tienen mejor capacidad de escorrentía que otros, todos pueden saturarse bajo ciertas condiciones. En presencia de agua, es recomendable implementar obras de drenaje e impermeabilización para mitigar los riesgos asociados

Nota. Esta tabla describe los parámetros esenciales del estudio geotécnico que influyen directamente en el diseño de muros de contención.

5.1.2 Memorias estructurales

Contienen información detallada de los requerimientos y la resistencia del elemento. Los datos más relevantes para el diseño se presentan en la siguiente tabla

Tabla 2. *Parámetros estructurales que intervienen en el diseño de los muros de contención*

Parámetro	Descripción
Resistencia a la fluencia del acero (f_y)	Influye en el área de acero de refuerzo del muro, aporta resistencia a la flexión. Usualmente se usan barras con $f_y = 420$ MPa.
Resistencia a la compresión del concreto (f_c)	Influye en su totalidad en la resistencia al corte en el muro. También es indispensable para calcular el refuerzo longitudinal.
Diámetro de barras longitudinales	Influye en la resistencia a la flexión, según su denominación varían las longitudes de los ganchos en los extremos.
Separación de barras longitudinales	Influye en la determinación de la cantidad de acero de refuerzo, el espaciado y el área de la sección transversal.
Espesor del muro	Influye en la resistencia a la resistencia al corte del muro. También es indispensable para calcular el refuerzo longitudinal.
Base de viga de cimentación	Transmite las cargas resistidas por el muro al suelo.

Nota. Esta tabla describe los parámetros esenciales de las memorias estructurales que influyen directamente en el diseño de muros de contención.

5.2 Etapa 2

En esta segunda etapa se compiló una serie de especificaciones técnicas, constructivas y recomendaciones para este tipo de elementos, tal como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 3. Resumen sobre especificaciones técnicas, constructivas y de supervisión

Tema	Descripción	Fuente
Juntas de construcción	Las juntas deben limpiarse y estar libres de lechada. Deben situarse donde causen el menor debilitamiento de la estructura.	NSR 10 C.6.4.1, C.6.4.2, CCP 14 11.6.1.6
Espacios de trabajo	Se debe prever un espacio de al menos 0.50 m desde el borde del muro hasta el inicio del corte para maniobras.	Calavera, 1987, NSR 10 I - Control de Calidad
Control de calidad	Se deben seguir normas y procedimientos para evaluar y aceptar el concreto y el acero de refuerzo utilizado.	NSR 10 C.5.6, C.3.5, C.21.1.5
Drenaje	Es fundamental usar impermeabilizante en el trasdós del muro. También es importante establecer una red de drenaje filtrante en el relleno del trasdós del muro.	Norma de Construcción de Muros de Contención - EPM 5.2.10, Calavera, 1987
Curado	El curado es vital, especialmente en obras lineales. Se deben seguir recomendaciones sobre tiempos de curado según humedad y temperatura.	Calavera, 1987, NSR 10 CR4.1.1
Requisitos de durabilidad	Se deben cumplir normas que aseguren la durabilidad del concreto en diferentes condiciones.	NSR 10 C.4
Doblado de acero de refuerzo	Se especifican los diámetros mínimos permitidos para el doblado del acero de refuerzo.	NSR 10 C.7.2, C.7.3

Nota. Esta figura se ha elaborado con base en las normas de construcción y supervisión técnica establecidas en la normativa colombiana NSR-10 y otras fuentes relevantes.

5.2.1 Juntas

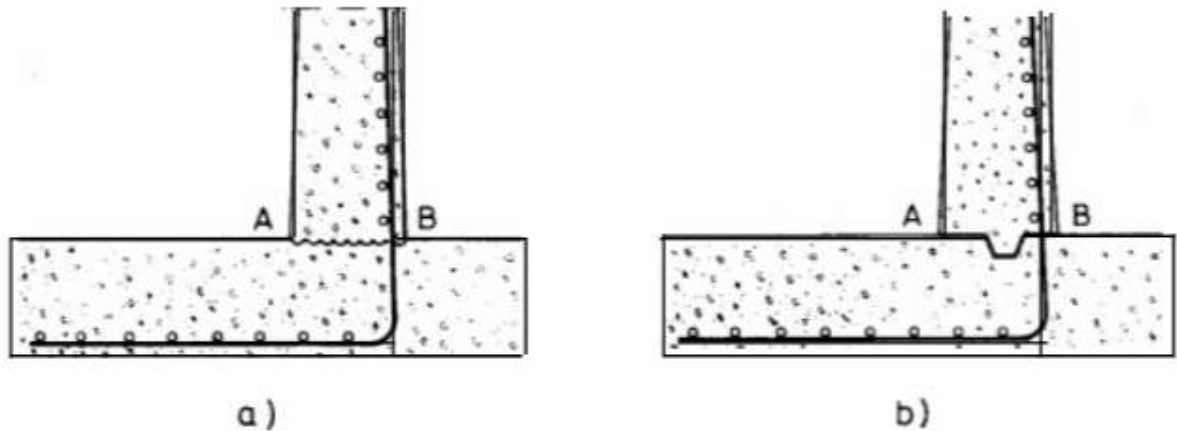
Según NSR 10 (C.6.4.1), es fundamental que las superficies de las juntas de construcción del concreto estén limpias y libres de lechada para asegurar una adecuada adherencia y funcionalidad. A su vez, (C.6.4.2) indica que las juntas de construcción deben situarse en lugares que minimicen el debilitamiento de la estructura, lo que es esencial para mantener la resistencia y estabilidad del muro

Por otro lado, el CCP 14 (11.6.1.6) establece que en muros de contención convencionales y estribos, se deben incluir juntas de retención a intervalos no mayores de 9000 mm y juntas de expansión a intervalos no mayores de 27000 mm. Estas juntas deben ser rellenas con materiales que garanticen su funcionalidad.

La Norma de Construcción de Muros de Contención de EPM resalta la necesidad de juntas de contracción, expansión o aislamiento, según lo indicado en los planos estructurales. Estas juntas son esenciales para compensar los esfuerzos y deformaciones que resultan de cambios volumétricos, variaciones de temperatura y asentamientos diferenciales (Empresas Públicas de Medellín, 2018).

Según El American Concrete Institute ACI (318S-4), la separación entre juntas debe ser de 8 a 12 metros. Para muros de hasta 2.4 metros de altura, la distancia entre juntas debe ser tres veces la altura del muro; para alturas entre 2.40 y 3.60 metros, dos veces la altura; y para muros mayores a 3.60 metros, la distancia debe ser igual a la altura del muro.

Según Calavera, las juntas entre el cimiento y el alzado son inevitables como resultado del proceso constructivo. Esta área es especialmente crítica, ya que es donde se concentran el cortante y el momento máximo del elemento estructural. Por lo tanto, es fundamental implementar un empalme en forma de diente, tal como se ilustra en la figura siguiente.

Figura 12. *Junta entre cimiento y alzado*

Nota. La figura A ilustra la junta que se forma durante el proceso constructivo, mientras que la figura B muestra la forma adecuada en que debe realizarse dicha junta. Tomado de Muros de Contención y Muros de Sótano (Calavera, 1987).

5.2.2 Condiciones del Refuerzo

Según la NSR 10 (C.7.6.5), el diseño del refuerzo principal en muros y losas debe seguir ciertas limitaciones para asegurar la integridad estructural. Se establece que el refuerzo no debe exceder tres veces el espesor del muro, ni ser mayor a 450 mm. Esta regulación tiene como objetivo prevenir la aparición de fallas estructurales que puedan surgir de un exceso o falta de refuerzo, lo que podría generar deformaciones en la estructura o problemas de fisuración.

La NSR 10 (C.7.7.1(a)) establece que el recubrimiento para el concreto que se coloca contra el suelo y que está expuesto permanentemente a él debe ser de al menos 75 mm. Este recubrimiento es vital para proteger el acero de refuerzo de la corrosión y otros agentes agresivos presentes en el suelo, como la humedad y los contaminantes. El recubrimiento actúa como una barrera que ayuda a prevenir la penetración de agua y sales, que pueden deteriorar el concreto con el tiempo.

5.2.3 Materiales

La NSR 10 (C.7.1) establece que el material cementante y los agregados deben ser almacenados de manera que se prevenga su deterioro y la introducción de materia extraña. Este aspecto es fundamental para asegurar que los materiales mantengan sus propiedades físicas y químicas, lo que a su vez garantiza la calidad del concreto producido.

Según la NSR 10 (CR4.1.1), para elementos expuestos a suelos, se pueden requerir relaciones máximas de agua-material cementante de 0.40 a 0.50. Estos valores son típicos para concretos que buscan alcanzar resistencias cercanas a 28 a 35 MPa. La relación agua-cemento es un factor determinante en la durabilidad y resistencia del concreto.

La Norma de Construcción de Muros de Contención de EPM (5.3) establece que los muros en voladizo y los muros con contrafuertes deben ser construidos en concreto reforzado. Además, se especifica que los espesores, la resistencia a la compresión y las especificaciones del concreto del muro deben ser las indicadas en los planos estructurales.

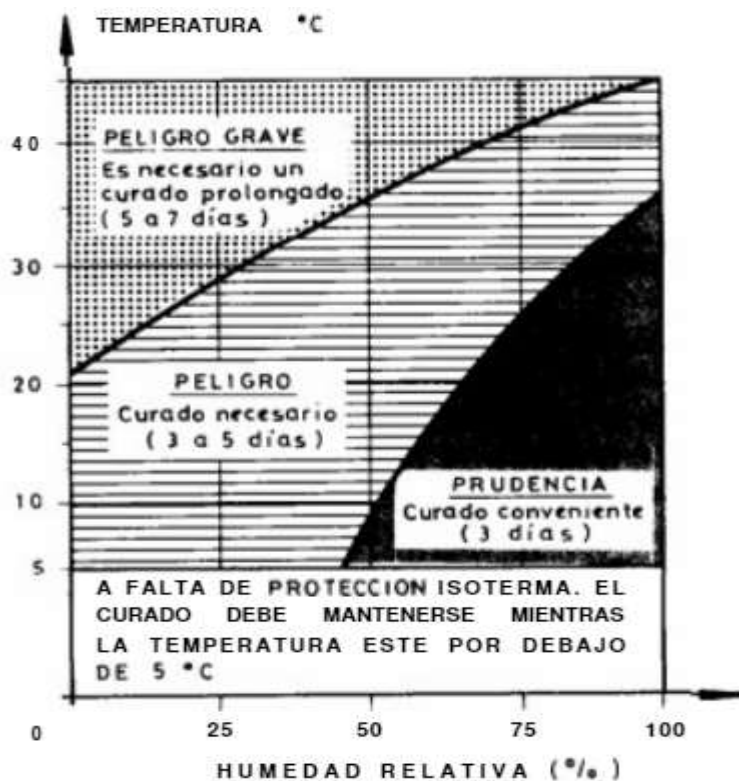
5.2.4 Espacios de trabajo

La Norma de Construcción de Muros de Contención - EPM (5.2.10) establece directrices claras sobre la planificación de los espacios de trabajo necesarios durante la construcción de muros de contención. A continuación, se detallan los aspectos clave relacionados con la preparación de los espacios de trabajo en las excavaciones previas a la construcción. La norma especifica que debe haber, como mínimo, una distancia de 0.50 metros desde el borde del muro hasta el inicio del corte en la excavación. Este espacio es fundamental para permitir las maniobras del personal y el uso de herramientas y equipos necesarios durante la construcción.

5.2.5 Curado

El curado del muro de contención es de vital importancia, el suministro de agua requiere una planificación cuidadosa; a menudo, este proceso se omite o se reduce significativamente. Los daños ocasionados por un curado inadecuado son prácticamente irreversibles. A continuación, se presenta una recomendación sobre los tiempos de curado, teniendo en cuenta la temperatura y la humedad relativa.

Figura 13. *Tiempos de curado*



Nota. La figura muestra los tiempos de curado necesarios en función de la humedad relativa y la temperatura. Tomado de Muros de Contención y Muros de Sótano (Calavera, 1987).

5.2.6 Drenajes

Según CCP 14 11.6.6 Es esencial proporcionar un sistema de drenaje para los rellenos situados detrás de los muros de contención. En caso de que esto no sea factible, se deberá diseñar

el muro considerando las cargas resultantes del empuje del suelo, así como la presión hidrostática total generada por el agua en el relleno.

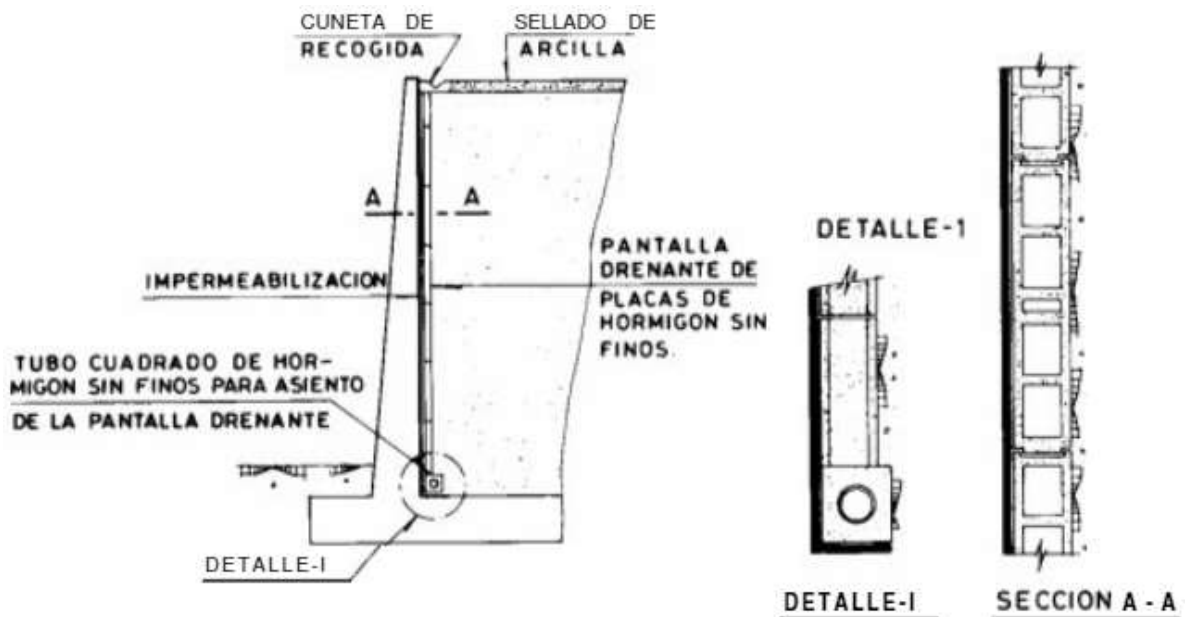
Según Calavera, es fundamental asegurar que se pueda establecer una red de drenaje filtrante en el relleno del trasdós del muro. La solución más común consiste en utilizar tubos de hormigón sin finos, ya que son preferibles a los tubos con agujeros o juntas abiertas, que pueden provocar el arrastre del filtro y requieren el uso de filtros graduados. Los tubos de hormigón sin finos deben estar rodeados de arena limpia, similar a la que se utiliza en la fabricación de hormigón. Además, el propio relleno debe ser permeable para facilitar el drenaje. Se ilustra a continuación

Figura 14. *Detalle general de drenajes*



Nota. La figura muestra la posición del drenaje en la sección transversal de un muro. Tomado de Muros de Contención y Muros de Sótano (Calavera, 1987).

En casos especiales pueden recurrirse a la solución de revestir el trasdós con placas de hormigón sin finos adosadas a la impermeabilización.

Figura 15. *Detalle de drenajes en casos especiales*

Nota. La figura muestra la posición del drenaje en la sección transversal de un muro, junto con detalles constructivos. Tomado de Muros de Contención y Muros de Sótano (Calavera, 1987).

5.2.7 Impermeabilización del trasdós

Es una solución sencilla, se recomienda utilizar una lámina asfáltica, la cual debe estar protegida por una capa de mortero para garantizar su durabilidad y eficacia.

5.3 Etapa 3

Se compiló la información mediante un documento de apoyo en formato Excel, que está subdividido en; Tipologías de muros de contención, Solicitaciones, Materiales, Resistencia, Especificaciones y Chequeos (Ver apéndice A).

5.3.1 Tipologías de muros de contención

Esta sección describe las diferentes clases de muros de contención, que son estructuras diseñadas para soportar y contener masas de tierra u otros materiales. Se mencionan varias tipologías, incluyendo: muros de gravedad, en voladizo, anclados y de sótano.

5.3.2 Solicitaciones

En esta sección se abordan las cargas que actúan sobre los muros de contención, incluyendo el empuje sísmico y las combinaciones de carga según la normativa NSR-10. Se explica cómo se determina la presión lateral ejercida por el suelo y la importancia de realizar un análisis pseudo-estático para evaluar el comportamiento del muro bajo condiciones sísmicas.

5.3.3 Materiales

Se revisan los materiales utilizados en la construcción de muros de contención, destacando la importancia de los materiales cementantes y su cumplimiento con normas específicas. Se menciona el uso de concreto reforzado, que ofrece ventajas como resistencia al fuego y al agua, aunque también presenta desventajas como el peso y tamaño de los miembros.

5.3.4 Resistencia

Esta sección se centra en la resistencia de los muros de contención, enfatizando la necesidad de cumplir con las especificaciones de resistencia a la compresión y durabilidad según la normativa NSR-10. Se presentan recomendaciones sobre las relaciones de agua-material cementante y la importancia del curado adecuado para evitar daños irreversibles.

5.3.5 Especificaciones

Se detallan las especificaciones técnicas que deben seguirse en la construcción de muros de contención, incluyendo el diseño estructural, los espesores requeridos y las características del concreto. Se enfatiza la necesidad de un diseño que contemple las cargas debidas al empuje del suelo y la presión hidrostática.

5.3.6 Control de planos

Lista de chequeo general para este tipo de proyectos, contiene elementos como el nombre y la ubicación, la verificación de los materiales, dimensiones, existencia de detalles constructivos, coherencia de cargas y estudio de suelos, condiciones de chequeo y observaciones y correcciones.

5.3.7 Supervisión de procesos constructivos

Lista secuencial sobre las inspecciones realizadas en este tipo de elementos, contiene actividades desde la preparación del terreno, fundición de cimentación, construcción del muro de contención, instalación de sistemas de drenajes e inspecciones finales.

5.4 Etapa 4

Con base en la información recopilada, se desarrolló la sección denominada "Chequeo" dentro del documento de apoyo. Esta sección está diseñada como una herramienta práctica para facilitar la predimensión de los elementos de contención en sótanos, utilizando los parámetros fundamentales de geotecnia y estructuras.

El objetivo principal de esta sección no es simplemente compilar datos, sino ofrecer una herramienta interactiva que permita evaluar y verificar de manera eficiente el cumplimiento de los

requerimientos técnicos y normativos durante el diseño de los muros de contención. La hoja interactiva no solo integra los datos previos recopilados en las secciones anteriores del documento, sino que también permite analizar cómo estos cumplen con los criterios establecidos, proporcionando una guía para identificar posibles ajustes o correcciones necesarias en las etapas iniciales de diseño.

Esta sección de "Chequeo" aborda los controles y verificaciones esenciales que deben realizarse, como la resistencia estructural y los factores requeridos por la normativa vigente. La estructura del contenido está organizada de manera que el usuario pueda acceder rápidamente a los parámetros relevantes, realizar cálculos preliminares y validar resultados de manera ágil (Ver Apéndice A).

6. Conclusiones

Se identificaron las variables relacionadas con el uso de materiales y los parámetros de diseño que afectan la construcción de muros de contención en sótanos de edificaciones para una mejor comprensión de los factores que influyen en la estabilidad y durabilidad de los muros, destacándose la importancia de seleccionar adecuadamente las especificaciones técnicas del concreto reforzado y de cumplir con las variables de la NSR-10, como del CCP 14 y el ACI 318.

Se realizó un resumen exhaustivo de los factores y especificaciones de construcción aplicables a los muros de contención en sótanos de estructuras de concreto, facilitando una propuesta para el control sobre las especificaciones y elementos de diseño, permitiendo a los supervisores verificar que se cumplieran los estándares requeridos antes y durante la construcción, integrándose las normativas establecidas por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo

Resistente en el proceso de supervisión. Esta integración aseguró que las prácticas de construcción se alinearan con los estándares de seguridad y calidad requeridos.

Se propuso un procedimiento de apoyo complementario para los supervisores del sector privado, el cual tuvo en cuenta las variables y procesos de construcción de los muros de contención. Este procedimiento incluyó directrices sobre la planificación de espacios de trabajo, la implementación de sistemas de drenaje y la verificación de la impermeabilización, contribuyendo a una supervisión del diseño y la construcción de muros, destacándose la relevancia de realizar estudios geotécnicos previos a la construcción de muros de contención. Estos estudios proporcionan información crítica sobre las condiciones del suelo, lo que permite un diseño más preciso y adaptado a las características del terreno, minimizando los riesgos asociados a la construcción.

Referencias

- American Concrete Institute Committee 318 (2014). Building Code Requirements or Structural Concrete (ACI 318-14). Farmington Hills, MI.
- American Society for Testing and Materials – ASTM (2001). *Standard Specification for Grout for Masonry, ASTM C 476-01*.
- Arias, F. G. (2006). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica*. 6ª Edición. Editorial Episteme
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2013). Código Colombiano de diseño de puentes CCP14.
- Azuero, A. E. (2018). *Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación*.
- Becerra, J. M., Gómez, O. A., Mendoza, D. A. (2022). *Estudio Patológico de las pantallas de los sótanos 1, 2 y 3 del Edificio AAO*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Beer, F. P., y Johnston, E. R. J.; D. (2010). *Mecánica de materiales*. 5a. ed. México D.F: Mc Graw Hill.
- Braja, M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. CENGAGE Learning, México
- Braja, M. Das. (2001). *Principios de ingeniería en cimentaciones*. International Thomsom Editores, México
- Caicedo, B., Prada, F., Ramos, A., Solaque, D. (2011). *Confiabilidad aplicada al diseño geotécnico de un muro de contención*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Calavera, J. (1987). *Muros de contención y muros de sótano*. 169-188. 2da Edición. INTEMAC.

Calavera, J. (1985). *Cálculo de estructuras de Hormigón Armado para Edificios*. (Capítulo 48). INTEMAC.

Candia, G., Sanhueza, C., Sitar, N. (2014). *Evaluación del empuje sísmico en muros de contención en base a un perfil de aceleraciones de campo libre*. VIII Congreso Chileno de Ingeniería geotécnica, Santiago de Chile.

Concrete Masonry and Hardscapes Association. (2024). Concrete Masonry Basement wall Construction - CMHA. Concrete Masonry And Hardscapes Association manual.

Congreso de la República de Colombia. (1997, 19 de agosto). Ley 400 de 1997. *Por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes*. Funcionpublica. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=336>

Day, R. (2012). "GLOSSARY." *Chap. A in Geotechnical Engineer's Portable Handbook*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.

Duque, G.A, Valencia, J.D. (2019). *Diagnóstico de las Patologías estructurales de la Institución educativa Liceo Gabriela Mistral Municipio de la Virginia, Risaralda*.

Ebeling, R; White, B. (2021). *Load and Resistance Factors for Earth Retaining, Reinforced Concrete Hydraulic Structures Based on a Reliability Index (β) Derived from the Probability of Unsatisfactory Performance (PUP)*. Engineer Research and Development Center of the U.S. Army – ERDC.

Garavito-Romero, L. (2018). *Responsabilidad jurídica del interventor en los contratos de obra estatales celebrados en Colombia*. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/19343>

García, L.E. (2014). *Desarrollo de la normativa sismo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición*.

Gobierno de Colombia. (1998). *Decreto 33 de 1998.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=33>

Gobierno de Colombia. (1999). *Decreto 34 de 1999.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34>

Gobierno de Colombia. (2000). *Decreto 2809 de 2000.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2809>

Gobierno de Colombia. (2001). *Decreto 092 de 2001.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=92>

Gobierno de Colombia. (2002). *Decreto 52 de 2002.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=52>

Gobierno de Colombia. (2010). *Decreto 926 de 2010.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=926>

Gobierno de Colombia. (2010). *Decreto 2525 de 2010.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2525>

Gobierno de Colombia. (2012). *Decreto 340 de 2012.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=340>

Gobierno de Colombia. (2017). *Decreto 945 de 2017.*

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=945>

Gómez, H. G. (2013). *Metodología de diseño y cálculo estructural para muros de contención con contrafuertes*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Greco, V. (1997). *Stability of Retaining Walls against Overturning*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. Volumen 123, Edición 8.

- Herrera, W., Monsalve, M. F. (2018). *Estudio Patológico a los Sótanos del Edificio Campestre Towers Ubicado en el Barrio Ciudad Jarín de la Ciudad de Cali*.
- Hu, W., Zhu, X., Zeng, Y. et al. (2022). *Active earth pressure against flexible retaining wall for finite soils under the drum deformation mode. Sci Rep*
- Lees, A. (2021). *Bearing Capacity of Soil - Types and Calculations. Tensar UK. Obtenido de <https://www.tensar.co.uk/resources/articles/what-is-the-bearing-capacity-of-soil>*
- López, A.E. (2002). *Metodología de la Investigación Contable*. (3era edición). México: THOMSON.
- Méndez, C. E. (2001). *Metodología, diseño y desarrollo del proceso de investigación*. Tercera Edición. Colombia.
- Ministerio de Transporte – Instituto Nacional de Vías (2013). *Manual de Interventoría de obra pública*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio – MVCT (2019). *Manual de supervisión e interventoría*.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Duodécima Edición. Mc Graw Hill.
- Newton, L. (2021). *Construction Supervisor Job Description*. Betterteam. Disponible en: <https://www.betterteam.com/construction-supervisor-job-description>
- Orozco, J. C. (2018). *El Marco metodológico en la investigación cualitativa*. Experiencia de un trabajo de tesis doctoral. Revista Científica de FAREM-Estelí
- Pardo, (2017). *Estudio de la Patología por fisuración de la estructura del edificio situado en la parcela 4N del campus de vera de la Universidad Politécnica de Valencia*. Valencia.
- Plazas, (2011). *Estudio de factibilidad para daños patológicos estructurales*. Bogotá: Universidad Miliar Nueva Granada.

Rios, S. (2024). *Manual de diseño y cálculo de muros de contención en forma de voladizo.*

Universidad de Antioquia

Salgado, M., Bernal, G., Yamín, L., Cardona, O. (2010). *Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. Actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente NSR-10.* Bogotá: Universidad de los Andes.

Sánchez, A. S. (2020). *Análisis comparativo de empujes en condición sísmica usando modelos inelásticos, elásticos y analíticos.* Bogotá.

Solís, (2004). *La supervisión de obra.* Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

Taly, N. (2010). *Design of Reinforced Masonry Structures.* McGraw-Hill.

Uzundurukan, S., Saplioglu, K. (2022). *Evaluation of the effect of soil bearing capacity on optimum design of retaining wall.* Revista Arab Geosci.

Varghese, P. (2005). *Foundation Engineering.* Prentice-Hall. New Delhi, India.

Weber, R. (2012). *Earth Pressure and Retaining Wall Basics for Non-Geotechnical Engineers.* PDH Center.