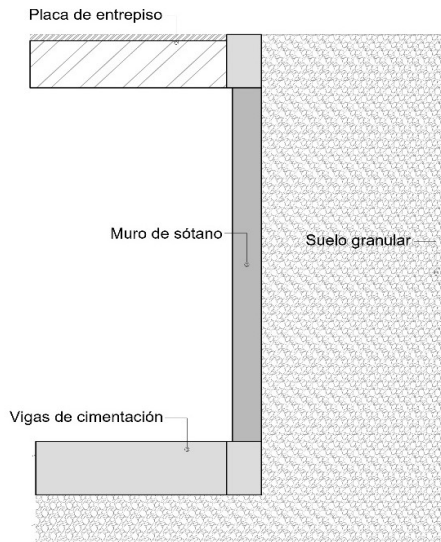


TIPOLOGÍA DE MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención son estructuras diseñadas para soportar y contener masas de tierra u otros materiales, impidiendo su desplazamiento y garantizando la estabilidad de taludes y otras construcciones. La elección de la tipología adecuada de muro de contención depende de varios factores, incluyendo las características del terreno y la configuración del muro. A continuación se describen algunas tipologías

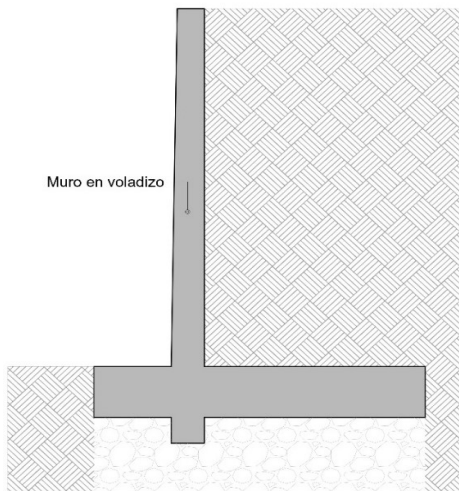
Muro de sótano

Cuenta con al menos dos apoyos, uno en su base y otro en la placa de entrepiso. En este documento se abordará en detalle este tipo de muro.



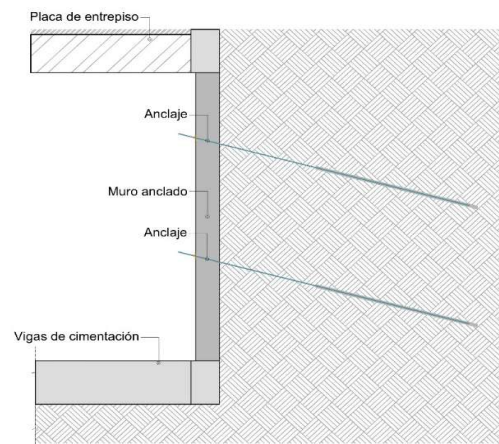
Muro en voladizo

Cuenta con un único apoyo en su base. Consisten en un cuerpo delgado y una losa de base.



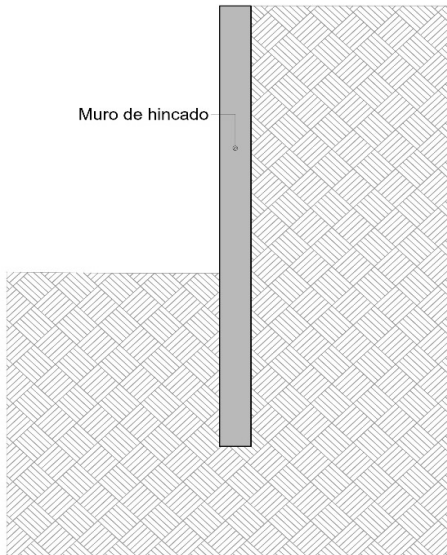
Muro anclado

Es usualmente usado en excavaciones profundas. Utiliza tirantes de anclaje que tienen la capacidad de soportar las fuerzas que se ejercen sobre el muro.



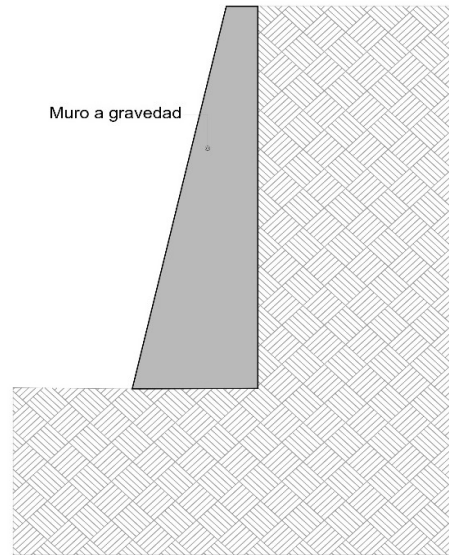
Muro hincado

Son elementos que se incrustan en el terreno a una profundidad considerable mediante maquinaria especializada. Su único apoyo es el terreno.



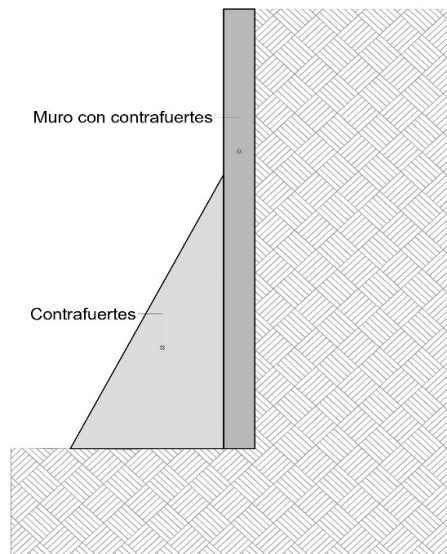
Muro de gravedad

Son elementos más robustos dado que su resistencia depende de su peso propio. Normalmente carecen de cimiento diferenciado. Su ventaja fundamental es que no necesitan ser armados.



Muro con contrafuertes

Consiste en una placa vertical, que se apoya mediante elementos transversales espaciados.



REFERENCIAS

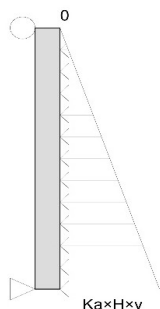
Calavera, J. (1987). Muros de contención y muros de sótano. 169-188. 2da Edición. INTEMAC.

SOLICITACIONES

Cargas estáticas

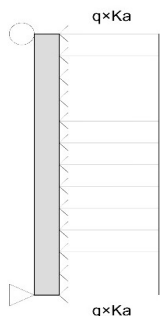
Empuje activo (H)

Se trata de una carga ejercida por el suelo, considerando que el muro se desplaza, lo que permite la expansión lateral del suelo. Representa el valor mínimo del empuje del suelo. Su distribución es triangular y su valor máximo se determina multiplicando K_a (coeficiente de presión horizontal activa), H (altura del muro) y γ (peso específico del suelo). Según la NSR-10, se representa con la letra H .



Sobrecarga (L)

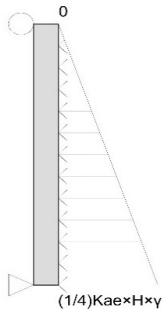
Es la carga adicional que puede actuar sobre la superficie del suelo, la cual se transmite al elemento de contención. Su distribución es rectangular y su valor máximo se determina multiplicando K_a (coeficiente de presión horizontal activa) y q (sobrecarga por unidad de área). Corresponde a cargas vivas y, según la NSR-10, se representa con la letra L .



Cargas dinámicas

Empuje sísmico (E)

Se trata de la carga lateral producto de los movimientos telúricos, los cuales ejercen presión sobre la masa del suelo, la cual se transmite al elemento de contención. Su distribución es triangular y se determinan mediante un análisis pseudo-estático, depende de K_{ae} (coeficiente de presión horizontal activa-sismo), H (altura del muro) y γ (peso específico del suelo). Según la NSR-10 se representa con la letra E.



Combinación de Cargas

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:

Combinación	Sección
1.6(L+H)	(B.2.4.-2)
E+L	(B.2.4-5)
E+1.6H	(B.2.4.-7)

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

REFERENCIAS

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Calavera, J. (1987). Muros de contención y muros de sótano. 169-188. 2da Edición. INTEMAC.

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

MATERIALES

Los muros de contención en edificaciones se construyen con concreto armado, una combinación de concreto y acero corrugado que ofrece resistencia y durabilidad. La resistencia de estos muros depende directamente de las características de sus materiales.

Generalidades

Concreto

Es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados, unidos en una masa sólida mediante una pasta de cemento y agua. Similar a las piedras naturales, el concreto posee una alta resistencia a los esfuerzos de compresión, aunque su resistencia a la tracción es aproximadamente un 10% de su resistencia a compresión. En ocasiones, se añaden aditivos para modificar ciertas características del concreto, como la ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado.

Acero de refuerzo

Es un material utilizado en la construcción para fortalecer y dar soporte a las estructuras de concreto. Consiste en barras de acero corrugado que se embeben en el concreto, proporcionando una mayor resistencia a los esfuerzos de tracción. Este material combina las propiedades de alta resistencia a la tracción del acero con la alta resistencia a la compresión del concreto, creando una estructura más robusta y duradera. Además, el acero de refuerzo puede ser tratado y modificado para mejorar su adherencia al concreto y su resistencia a la corrosión

Ventajas del concreto reforzado

- Tiene gran resistencia a las acciones de fuego y el agua
- Tiene una resistencia considerable a la compresión por unidad de costo
- Requiere de poco mantenimiento
- Las estructuras de concreto reforzado son muy rígidas
- Existe la posibilidad de colarlo en variedad de formas
- Usualmente requiere mano de obra de baja calificación para su montaje, en comparación con otros materiales

Desventajas

- Se requieren cimbras para mantener el concreto en posición hasta que se endurezca lo suficiente. Además, puede requerirse obras falsas o apuntalamientos para apoyar las cimbras.
- Usualmente conduce a miembros pesados y relativamente grandes
- Sus propiedades varían debido a las modificaciones en su proporción y mezclado

Ensayos

A continuación se listan las normas NTC, del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, para estos materiales

Materiales cementantes (C.3.2- NSR10)

Los materiales cementantes deben cumplir con las normas relevantes así:

Cemento fabricado bajo las normas NTC121 y NTC321, también se permite el uso de cementos fabricados bajo la norma ASTM C150

Cementos hidráulicos adicionales fabricados bajo la norma ASTM C595, excepto los tipos IS

Cemento hidráulico expansivo bajo la norma NTC4578 (ASTM C845).
Cemento hidráulico fabricado bajo la norma ASTM C1157
Ceniza volante, puzolana, natural y materiales calcinados que cumplan la norma NTC3493 (AST C618)
Escoria granulada molida de alto horno que cumpla con la norma NTC4018 (ASTM C989)

Humo de sílice que cumple la norma NTC4637 (ASTM C1240)
Cemento blanco que cumple con la norma NTC1362
Se prohíbe el uso de los cementos denominados de mampostería en la fabricación del concreto

Agregados (C.3.3- NSR10)

Los agregados para concreto deben cumplir con una de las siguientes normas:

Agregado de peso normal: NTC 174 (ASTM C33).

Agregado liviano: NTC 4045 (ASTM C330).

Además, el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe ser superior a:

1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.

1/3 de la altura de la losa.

3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

Agua (C.3.4- NSR10)

El agua empleada en mezclas de concreto debe cumplir con las disposiciones de la norma NTC3459 (BS3148) o de la norma ASTM C1602M cuando sean menos exigentes que los de la norma NTC3459.

Acero de refuerzo (C.3.5- NSR10)

El refuerzo debe ser corrugado.

La soldadura de barras de refuerzo debe realizarse de acuerdo con la norma NTC4040.

Las barras de refuerzo corrugado deben ser de baja aleación que cumpla con la norma NTC2289. Se permite el uso de barras de acero inoxidable fabricadas bajo la norma ASTM A955M siempre y cuando cumplan a su vez los requisitos de NTC2289.

La resistencia a la fluencia debe corresponder a la determinada por ensayos sobre barras de tamaño completo. Los esfuerzos obtenidos por medio del ensayo de tracción deben calcularse utilizando el área nominal de la barra.

No se permite el uso de acero corrugado de refuerzo fabricado bajo las normas NTC245, ni ningún otro tipo de acero que haya sido trabajado en frío o en trefilado.

REFERENCIAS

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

McCormac, J., Brown, H. (2018). Diseño de Concreto Reforzado

Sanchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar Editores Ltda.

RESISTENCIA

Según el análisis realizado en la revisión de cargas, un muro de contención está sometido a cargas transversales a él, lo que genera flexión y cortante, usualmente se desprecia el peso propio del elemento. Por lo tanto, la resistencia de estos muros depende directamente de las características de los materiales utilizados en su construcción.

Flexión

Las cargas transversales generan un momento flector que varía a lo largo del elemento. Sin embargo, en el diseño de estos elementos, el objetivo es asegurar que el elemento sea capaz de resistir el momento máximo o último. Este momento produce esfuerzos normales de compresión en la cara interna del muro y esfuerzos normales de tensión en la cara externa. Debido a estas tensiones, es necesario reforzar el muro con acero para garantizar su resistencia.

La NSR-10 establece en su Capítulo C las directrices para el diseño de elementos sometidos a flexión, donde se especifica cómo identificar y calcular el área de refuerzo mínimo.

$$\text{vertical: } \rho_{\lambda} = \begin{cases} 0.0012 & \rightarrow \text{Barras menores a N5} \\ 0.0015 & \rightarrow \text{Otras barras} \end{cases}$$

$$\text{horizontal: } \rho_t = \begin{cases} 0.0020 & \rightarrow \text{Barras menores a N5} \\ 0.0020 & \rightarrow \text{Otras barras} \end{cases}$$

Corresponde a la cuantía mínima, que se utiliza para reforzar transversalmente y la cara interna del muro.

(C.14-3)

Para conocer el área de la cara externa del muro, es necesario calcular A_s de la siguiente ecuación

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

En donde:

- M_u Momento mayorado [N.mm]
- ϕ Factor de reducción de resistencia, según C.9.3.2.7 NSR10 igual a 0.9 para tracción
- A_s Área de acero requerida [mm]
- b_w Ancho de la sección del muro [mm]. Usualmente se analiza por metro de muro
- f_y Resistencia a la fluencia del acero [MPa]
- f'_c Resistencia a la compresión del concreto [MPa]

Luego de obtener A_s , se debe seleccionar un diámetro y una separación de barras que cumplan con este requisito. A continuación se presenta las dimensiones nominales de las barras según C.3.5.3-2 NSR10.

TABLA C.3.5.3-2
DIMENSIONES NOMINALES DE LAS BARRAS DE REFUERZO
(Diámetros basados en octavos de pulgada)

Designación de la barra (véase la nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
		Diámetro mm	Área mm ²	Perímetro mm	
No. 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
No. 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
No. 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
No. 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
No. 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
No. 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
No. 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
No. 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
No. 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
No. 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
No. 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
No. 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

El máximo espaciamiento entre barras corrugadas debe ser el menor entre 300mm y dos veces el espesor del elemento. (C.15.14.4 NSR10)

Se recomienda usar separaciones desde 150 mm hasta 250 mm.

Cortante

Las cargas transversales generan una fuerza cortante que varía a lo largo del elemento. El objetivo es garantizar que el elemento sea capaz de resistir el cortante máximo o último. En estos elementos, generalmente no se utilizan estribos, por lo que todo el cortante debe ser soportado por el concreto.

$$\phi V_c \geq V_u \quad (\text{C.11-2}) \text{ y } (\text{C.11-2})$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{C.11-3})$$

En donde:	V_u	Cortante mayorado [N]
	ϕ	Factor de reducción de resistencia, según C.9.3.2.7 NSR10 igual a 0.75 para tracción
	f'_c	Resistencia a la compresión del concreto [MPa]
	b_w	Ancho de la sección del muro [mm], usualmente se analiza por metro de muro
	d	Distancia desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide del refuerzo [mm]. $b=H-d'$

En conclusión, para resistir la fuerza cortante en el muro de contención, es crucial que el espesor y la resistencia a compresión del concreto sean adecuados, de manera que se cumpla con la ecuación (C.11-2).

REFERENCIAS

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Beer, F. P., & Johnston, E. R. J.; D. (2010). Mecánica de materiales. 5a. ed. México D.F: Mc Graw Hill.

Calavera, J. (1987). Muros de contención y muros de sótano. 169-188. 2da Edición. INTEMAC.

McCormac, J., Brown, H. (2018). Diseño de Concreto Reforzado

ESPECIFICACIONES

Especificaciones construtivas

Juntas

NSR 10 C.6.4.1

La superficie de las juntas de construcción del concreto deben limpiarse y debe estar libre de lechada

NSR 10 C.6.4.2.

Las juntas de construcción deben estar situadas donde causen el menor debilitamiento de la estructura

CCP 14 11.6.1.6

En los muros de contención convencionales y estribos deben proveerse juntas de retención a intervalos no mayores de 9000 mm y juntas de expansión a intervalos no mayores a 27000 mm. Todas las juntas deben rellenarse con un material que asegure su funcionalidad.

Norma de Construcción de Muros de Contención - EPM

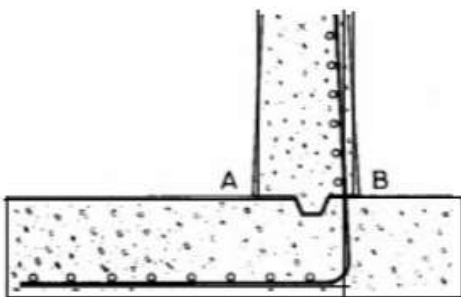
Los muros deben contar con juntas de contracción, expansión o aislamiento (según lo que indiquen los planos estructurales) para compensar los esfuerzos y deformaciones resultantes por cambios volumétricos y de geometría causados por la retracción de fraguado, las variaciones en la temperatura, y los asentamientos diferenciales. Adicionalmente deben existir juntas de construcción según lo indiquen los planos con las separaciones y detalles allí presentados.

ACI 318

La separación entre juntas será de 8 a 12 metros. Para alturas de muro menor o igual a 2.4 metros, la distancia entre juntas será 3 veces la altura, para alturas de muro entre 2.40 y 3.60 metros, la distancia entre juntas será 2 veces la altura y para muros con alturas mayores a 3.60 metros, la distancia entre juntas será la altura.

Junta entre cimiento y Alzado. Calavera, 1987.

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.



Condiciones del refuerzo

NSR 10 C.7.6.5.

En muros y losas, el refuerzo principal por flexión no debe exceder 3 veces el espesor del muro, ni de 450 mm.

NSR 10 C.7.7.1(a).

El recubrimiento para concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él es de 75 mm.

Materiales

NSR 10 C.7.1

El material cementante y agregados deben almacenarse de tal manera que se prevenga su deterioro o la introducción de materia extraña.

NSR 10 CR4.1.1 Durabilidad

Para elementos expuestos a suelos, se pueden requerir relaciones máximas de agua-material cementante de 0.40 a 0.50, valores típicos para concretos con resistencias cercanas a 28 a 35 MPa.

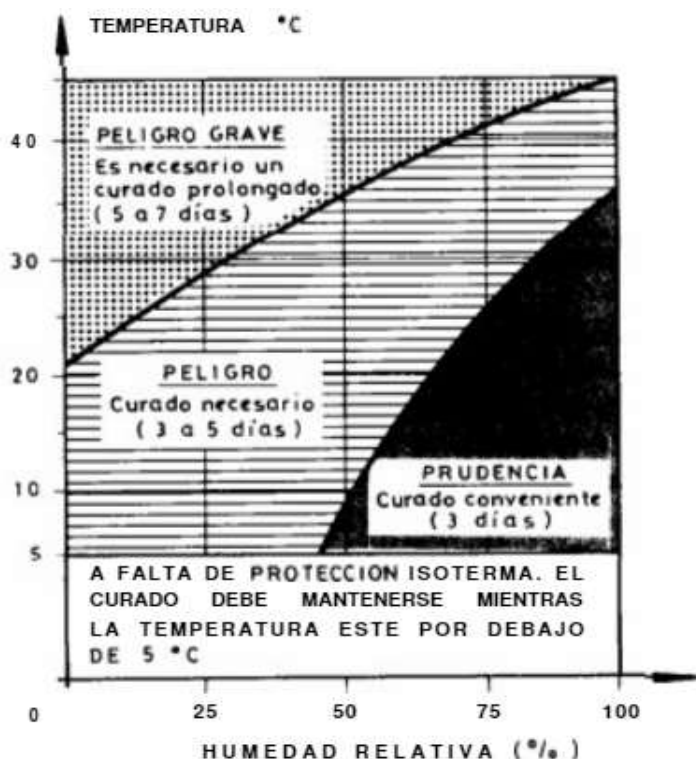
Norma de Construcción de Muros de Contención - EPM 5.3.

Los muros en voladizo y los muros con contrafuertes deben ser en concreto reforzado, los espesores, la resistencia a la compresión, y las especificaciones del concreto del muro deben ser las especificadas en los planos estructurales.

Curado

Calavera, 1987.

El curado del muro es de vital importancia, especialmente en obras lineales donde 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 humedad relativa y la temperatura.



Drenajes

CCP 14 11.6.6

Debe proveer drenaje para los rellenos detrás de los muros de contención. Si no fuera posible, se debe diseñar con las cargas debidas al empuje del suelo más la presión hidrostática total debida al agua en el relleno.

Calavera, 1987.

Es fundamental asegurar que se poder 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.



Espacios de trabajo

Norma de Construcción de Muros de Contención - EPM 5.2.10

En las excavaciones previas a la construcción del muro de contención debe preverse los espacios requeridos para poder realizar las labores de armado del acero de refuerzo, encofrado y vaciado del concreto. Como mínimo se debe contar con una distancia de 0,50 m desde el borde del muro hasta el inicio del corte para tener espacio para las maniobras del personal en la construcción.

Supervisión técnica NSR10 I - Control de Calidad

TEMA	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
Evaluación y aceptación del concreto	C.5.6	Normas y procedimientos para evaluar y aceptar el concreto utilizado en la construcción.
Dosificación de las mezclas de concreto	C.5.2	Requisitos para la dosificación adecuada de las mezclas de concreto.
Requisitos de durabilidad	Capítulo C.4	Normas que aseguran la durabilidad del concreto en diferentes condiciones.
Ensayo de materiales	C.3.1	Procedimientos para realizar ensayos de calidad en los materiales de construcción.
Acero de refuerzo	C.3.5 y C.21.1.5	Normas para la evaluación y aceptación del acero de refuerzo utilizado en el concreto.
Diámetros mínimos de doblado	C.7.2	Especifica los diámetros mínimos permitidos para el doblado del acero de refuerzo.
Doblado	C.7.3	Normas para el proceso de doblado del acero de refuerzo.
Control de calidad	I.2.4-2	Requisitos para ensayos de control de calidad en el concreto estructural.

REFERENCIAS

- American Concrete Institute Committee 318 (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14). Farmington Hills, MI.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- Calavera, J. (1987). Muros de contención y muros de sótano. 169-188. 2da Edición. INTEMAC.
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). (2018). Norma de Construcción de Muros de Contención.
- Fundación MUSAAT. Muros de Sótano y Contención: Procesos de Ejecución
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2014). Código Colombiano de Diseño de Puentes (CCP 14).

CONTROL DE PLANOS Y MEMORIAS

#	Categoría	Elemento a Revisar	Verificado (Sí/No)	Comentarios
1	Información General	Nombre del Proyecto y Ubicación		
2		Fecha del Plano		
3		Escala		
4		Firmas de Aprobación		
5	Dimensiones y Detalles Constructivos	Dimensiones del Muro (altura, longitud, espesor)		
6		Materiales especificados		
7		Tipo de refuerzo		
8		Detalles Constructivos (conexiones, anclajes, detalles especiales, etc.)		
9	Cargas y Fuerzas	Cálculos de Cargas (presión de tierra, agua, sismos, etc.)		
10		Factor de Seguridad		
11		Sistema de Desagüe		
12	Aspectos Geotécnicos	Estudio de Suelo		
13		Condiciones del Terreno		
14		Estabilización del Terreno (si aplica)		
15	Detalles de Construcción	Fundación del Muro		
16		Conexión con Elementos Adyacentes		
17	Control de Calidad y Seguridad	Cumplimiento con Normativas y Estándares de Construcción		

18		Control de Calidad en Materiales		
19		Seguridad en Obra		
20	Planos Adjuntos	Planos de Detalles Específicos (cortes, anclajes, etc.)		
21		Planos de Instalación de Drenaje		
22		Planos de Ejecución de Obra		
23		Observaciones y Correcciones		

SUPERVISIÓN PROCESOS CONSTRUCTIVOS

#	Elemento a Revisar	Fecha de Inspección	Responsable	Cumple con Especificaciones (Sí/No)	Observaciones
1	Preparación del Terreno				
1.1	Limpieza y descapote del terreno				
1.2	Excavación con las dimensiones correctas				
2	Cimentación				
2.1	Materiales de cimentación aprobados				
2.2	Fundación nivelada y dimensionada correctamente				
3	Muro de Contención				
3.1	Materiales de construcción aprobados				
3.2	Alineación y verticalidad del muro				
4	Instalación de Drenaje				
4.1	Sistema de drenaje instalado correctamente				
5	Inspección Final				
5.1	Revisión general de la calidad de la ejecución				
5.2	Revisión final de la calidad de los materiales				
5.3	Ausencia de signos de alarma, como desplazamientos, hundimientos o rotaciones				

CHEQUEO MURO DE CONTENCIÓN

e= 0.25

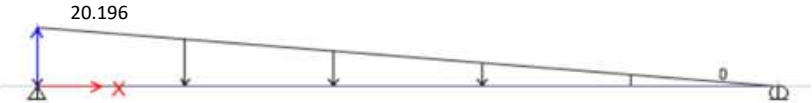
Datos

Carga muerta

Ka	0.3300
H [m]	3.4
γ [kN/m ³]	18.0

e [m]	0.25
f'c [MPa]	21

FUERZA DE EMPUJE [kN] 20.196 Ka·h· γ



Carga viva

q [kN] 5.0

SOBRECARGA [kN] 1.65 q·Ka

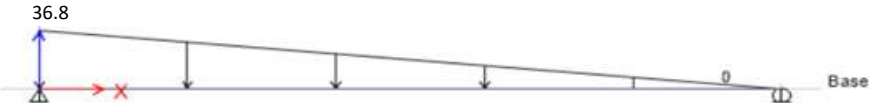


EMPUJE SÍSMICO (Mononobe-okabe)

0.60	K_{AE} = seismic active earth pressure coefficient (dim)
18 kN/m ³	γ = unit weight of soil (kcf)
3.4 m	H = height of wall (ft)
3.0 m	h = height of wall at back of wall heel considering height of sloping surcharge, if present
27.7 °	ϕ_f = friction angle of soil (degrees)
16.0 °	θ_{MO} = arc tan [$k_h/(1 - k_v)$] (degrees)
0.0 °	δ = wall backfill interface friction angle (degrees)
0.3	k_h = horizontal seismic acceleration coefficient (dim.)
0.0	k_v = vertical seismic acceleration coefficient (dim.)
0.0 °	i = backfill slope angle (degrees)
0.0 °	β = slope of wall to the vertical, negative as shown (degrees)

PAE 62.6 kN/mHORIZONTAL

Wae 36.8 kN/m² (ha=H/2 con presión uniforme distribuida)



DISPOSICIÓN DE ACERO

Se propone acero longitudinal-flexión

1	N6 C/ 20
1	N4 C/ 20

As>Asmin

CUMPLE

Se propone acero transversal

As>Asmin

CUMPLE

RESULTADOS DE ANÁLISIS

e [mm]	250				
Recubrimiento [mm]	75				
f'c [Mpa]	21				
Vu 1.6H+E [kN]	78.36	ΦV_n	94.77	$\Phi V_n > V_u 1.6H+E$	CUMPLE
Vu E+L [kN]	44.55				CUMPLE
Vu 1.6H+1.6L [kN]	41.11			$\Phi V_n > V_u 1.6H+1.6L$	CUMPLE
Mu 1.6H+E [kN·m]	67.66	ΦM_n	98.36	$\Phi M_n > M_u 1.6H+E$	CUMPLE
Mu 1.6H+1.6L [kN·m]	27.70			$\Phi M_n > M_u 1.6H+1.6L$	CUMPLE
Mu E+L [kN·m]	29.64				CUMPLE