	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(80)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Andrea Lorena Vergel Romero Noyber Andres Cortes Cardona
FACULTAD	De Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Especialización Interventoría de Obras Civiles
DIRECTOR	Hernando Villota Posso
TÍTULO DE LA TESIS	Criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero, en la construcción de muros de contención utilizados para el mejoramiento de vías.
TITULO EN INGLES	Criteria for monitoring and technical, administrative and financial control, in the construction of retaining walls used for the improvement of roads.
RESUMEN (70 palabras)	
<p>El siguiente documento relaciona los criterios mínimos necesarios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero en la construcción de muros de contención en voladizo, teniendo en cuenta que son el tipo de muros que requieren de estudios especializados para llevar a cabo su ejecución, de igual forma contempla las generalidades de los muros convencionales más utilizados clasificándolos en estructuras rígidas y estructuras flexibles.</p>	
RESUMEN EN INGLES	
<p>The following document lists the minimum criteria necessary for technical, administrative and financial monitoring and control in the construction of cantilever retaining walls, taking into account that they are the type of walls that require specialized studies to carry out their execution. In the same way, it contemplates the generalities of the most used conventional walls, classifying them into rigid structures and flexible structures.</p>	
PALABRAS CLAVES	Muro de contención, Fuerza lateral, muro flexible, muro rígido, presión hidrostática.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Muro de contención, Fuerza lateral, muro flexible, muro rígido, presión hidrostática.
CARACTERÍSTICAS	
PÁGINAS:	80
PLANOS:	
ILUSTRACIONES:	28
CD-ROM:	



Criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero, en la construcción de muros de contención utilizados para el mejoramiento de vías.

Andrea Lorena Vergel Romero

Noyber Andres Cortes Cardona

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Especialización en Interventoría de Obras Civiles

Esp. Hernando Villota Posso

01 Febrero del 2022

Índice

	Pág.
Capítulo 1. Criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero, en la construcción de muros de contención utilizados para el mejoramiento de vías	9
1.1 Tipo de monografía.....	9
1.2 Elección del tema.....	9
1.3 Delimitación de tema	12
1.4 Desarrollo del argumento.....	13
1.5 Metodología	15
Capítulo 2. Generalidades de los muros de contención utilizados para el mejoramiento de vías rurales y urbanas en Colombia.....	18
2.1 Clasificación de muros de contención	18
2.1.1 Estructuras rígidas.....	18
2.1.2 Estructuras Flexibles	26
2.1.3 Estructuras Ancladas	34
2.2 Fallas típicas en muros de contención	37
2.2.1 Patologías más comunes en muros de contención.....	38
Capítulo 3. Marco referencial sobre la construcción de muros de contención para el mejoramiento de vías rurales y urbanas.....	41
3.1 Antecedentes.....	41
3.2 Marco Teórico.....	44
3.2.1 Teoría de Coulomb (1776).....	44
3.2.2 Teoría de Rankine	46
3.2.3 Método de Mononobe-Okabe (M-O)	47
3.2.4 Tipos de empujes en muros de contención.....	48
3.3 Marco Conceptual.....	48
3.4 Marco legal	51
Capítulo 4. Controles técnicos para la construcción de muros de contención en el mejoramiento de vías rurales y urbanas.....	55
4.1 Estudios previos	55

4.2 Localización y replanteo de la cimentación.....	56
4.2.1 Verificación de equipos topográficos	57
4.2.2 Excavaciones y compactación del área de cimentación.....	57
4.3 Control técnico del acero de refuerzo	58
4.3.1 Acero de refuerzo para la cimentación.....	58
4.3.2 Acero de refuerzo para el vástago del muro.....	58
4.4 Control técnico del concreto	60
4.4.1 Cemento	60
4.4.2 Agregados	60
4.5 Control técnico de encofrado del muro.....	61
4.6 Control técnico de juntas	61
4.7 Ensayos de laboratorio.....	62
4.8 Control técnico de drenajes.....	62
Capítulo 5. Controles administrativos y financieros necesarios para la construcción de muros de contención en el mejoramiento de vías rurales y urbanas.....	64
5.1 Controles administrativos	64
5.2 Controles financieros	66
Capítulo 6. Lista de criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero, en muros de contención para el mejoramiento de vías rurales y urbanas.....	68
Conclusiones.....	71
Referencias.....	73

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Muros de gravedad	19
Figura 2 Muros en concreto simple y ciclópeo.....	20
Figura 3 Muro en concreto reforzado	21
Figura 4 Tipos de muro de contención en concreto reforzado.....	22
Figura 5 Tipos de muro de contención con talón y sin talón	23
Figura 6 Análisis de muro de contención con talón y sin talón.....	24
Figura 7 Uso recomendado de dentellón en muros de voladizo	25
Figura 8 Muros De Contención Con Contrafuertes	26
Figura 9 Muros de estructura flexibles	27
Figura 10 Amarres para muros en gavión.....	28
Figura 11 Estructura de muro en Criba.....	28
Figura 12 Muro en criba construido.....	29
Figura 13 Diagrama de muro con llantas relleno con tierra y postcompactado.....	30
Figura 14 Diagrama de muro trabado y asegurado con amarras de plástico	31
Figura 15 Esquema de un muro anclado a un “peso muerto” enterrado.....	32
Figura 16 Esquema de un muro mecánicamente estabilizado	33
Figura 17 Sección transversal de un muro mecánicamente estabilizado	33
Figura 18 Esquema de muro con anclaje pasivo.....	35
Figura 19 Esquema de muro con anclaje Activo	36
Figura 20 Partes de un anclaje Activo	37
Figura 21 Estados límites de falla en muros de concreto.....	38
Figura 22 Colapso de muro construido con llantas.....	39
Figura 23 Falla de muro con fisuración excesiva	40
Figura 24 Cuña de falla supuesta por Coulomb.....	45
Figura 25 Esquema de drenajes en muros.....	49
Figura 26 Distribución de acero principal en un muro de contención.....	59
Figura 27 Juntas en muros de contención.....	61
Figura 28 Tipos de drenajes en muros de contención.....	63

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1 Criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero	68
--	----

Resumen

El siguiente documento, relaciona los criterios mínimos necesarios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero en la construcción de muros de contención, utilizados para el mejoramiento de vías, en donde a través de una investigación compilativa, se describen las generalidades de los muros de contención más utilizados en el territorio colombiano, la normatividad vigente que rige el diseño y construcción de muros de contención bajo la jurisprudencia colombiana; y se obtiene como resultado de la investigación una lista de criterios que se enfocan especialmente en la construcción de muros de contención en voladizo, siendo estos los muros más comúnmente utilizados, que requieren de estudios especializados para su diseño y construcción.

Introducción

La construcción de muros de contención para el mejoramiento de vías, es una práctica que en muchos casos puede parecer costosa, pero debido a la necesidad se vuelve indispensable para el desarrollo de una región. Los muros de contención son estructuras necesarias para dar solución a terrenos o zonas de ladera que son susceptibles a deslizamientos, el cual se hace imprescindible cuando estos deslizamientos ocurren en las vías, impidiendo el paso de vehículos.

Actualmente existen diversas metodologías para la construcción de muros de contención en el que pueden ser demasiado costosas o a precios asequibles, pero el uso de cualquier metodología está condicionada a las condiciones del terreno, altura del talud, entre otros, es por eso que mediante el presente trabajo, se dan a conocer cuáles son los muros de contención más comunes y utilizados en el territorio colombiano dividiendo el estudio de muros en dos grandes grupos que son: Estructuras Rígidas y Estructuras compuestas.

A continuación, se contempla una investigación de compilación de información en donde se desarrollan los muros de contención más usados y los criterios mínimos necesarios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero de muros en voladizo. Los muros en voladizo son estructuras rígidas que requieren de estudios previos para la supervisión técnica.

Capítulo 1. Criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero, en la construcción de muros de contención utilizados para el mejoramiento de vías

1.1 Tipo de monografía

El desarrollo de la investigación contempla un tipo de monografía de compilación, ya que se requiere de la recopilación de información de diferentes autores con relación a la construcción de muros de contención para el mejoramiento de vías, con el fin de determinar cuáles son los criterios más relevantes que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la supervisión en la ejecución de este tipo de obras.

1.2 Elección del tema

Hoy en día la infraestructura de transporte, juega un papel importante dentro del territorio colombiano para el desarrollo social y económico, pero debido a la topografía tan variable que existe en el país, se presentan muchas dificultades para el transporte terrestre, sobre todo con fenómenos de remoción en masa, que al momento de ocurrir un derrumbe puede llegar a dejar incomunicado a toda una región. No obstante, las entidades nacionales como INVIAS, DPS, entre otras, invierten recursos para la construcción de estructuras de contención que ayudan a mitigar el riesgo de fenómenos de remoción en masa, en aquellas zonas donde lo ameritan; para hacer esto posible se hace mediante la contratación pública, la cual requiere de una interventoría para que la ejecución de los trabajos se realice conforme a

los estudios previos y se cumplan los lineamientos y normas técnicas que aplican para la construcción de muros de contención.

En este orden de ideas, esta investigación busca brindar un apoyo mediante la recopilación de criterios para la ejecución de proyectos de muros de contención en vías, con el fin de que los profesionales de la ingeniería que se dedican a la supervisión técnica, administrativa y financiera desde el punto de vista de la interventoría, cuenten con las herramientas necesarias que permitan comprender las distintas etapas de los procesos constructivos. Por consiguiente, por medio de la recopilación de criterios para la supervisión de obras de muros de contención en el mejoramiento de vías, se facilita el trabajo a profesionales con poca experiencia en el tema.

Según Ledesma y Garrido (2018), en su investigación Titulada: Diseño Y Propuesta De Implementación De Un Muro De Contención En La Vía De Acceso A La Vereda San Lorenzo, nos dice que:

Las aguas lluvias no canalizadas, una excesiva humedad en la zona y la alta variación geológica del terreno -entre otros factores-, han sido algunas de las causas que generan una inestabilidad estructural en la vía de acceso a la vereda San Lorenzo. Así mismo, la ausencia de medios de contención para el barranco de esta vía, y los hundimientos, limita tener la capacidad suficiente para soportar el tránsito de vehículos de carga, siendo estos el medio más utilizado para transportar los productos agrícolas cultivados en los terrenos de esta vereda. A esto, se suma que los agricultores deban pagar altas tarifas para enviar sus cosechas a zonas de venta, o arriesgarse a asumir la pérdida total

por vencimiento de los productos, tal como es manifestado por los funcionarios de la personería municipal de Fómeque. (p.37)

Con relación al tema objeto de la presente propuesta, es importante resaltar, el trabajo de pregrado realizado por Ochoa y Quiñones (2020), el cual se Titula: “Elaborar una guía práctica para el cálculo, diseño y control de muros de contención en mampostería confinada y concreto reforzado en voladizo, calibrando resultados con el software SAP 2000”, en donde en dicha investigación solo se basan en el análisis teórico para dimensionar un muro de contención, y el resultado es una guía de procesos que evalúa un muro de contención en el software SAP 2000, por consiguiente no relaciona parámetros de cumplimientos normativos con respecto a sus procesos constructivos como también a criterios de diseño con relación a la distribución de aceros de refuerzo.

Por lo anterior, en vista de que no existen estudios que contemple los principales parámetros para la supervisión técnica, administrativa y financiera en la ejecución de muros de contención para mejoramiento de vías dentro del territorio colombiano, la presente investigación tiene como principal objetivo dar a conocer cuáles son los criterios necesarios para el desarrollo de este tipo de proyectos de acuerdo al marco normativo colombiano. Además, se recopilan conceptos mínimos que pueden ser muy útiles para el entendimiento de la etapa constructiva de un muro de contención y los tipos de muros más comunes utilizados para el mejoramiento de vías.

1.3 Delimitación de tema

Delimitación Conceptual: La presente monografía contempla conceptos como: Muros de contención, muros en gravedad, mejoramiento de vías, fenómenos de remoción en masa, concreto reforzado, sobrecarga de muros, entre otros.

Delimitación Geográfica: De acuerdo al tipo de investigación, la delimitación geográfica corresponde a todas las vías por mejorar y en mejoramiento que se encuentren dentro del territorio colombiano y zonas donde aplique el marco normativo colombiano.

Delimitación Temporal: Las actividades se desarrollarán en un tiempo estimado de seis (06) semanas contadas a partir de la aprobación de la propuesta.

Delimitación Operativa: Para el desarrollo de los criterios necesarios para la supervisión técnica, administrativa y financiera desde la Interventoría, es necesario realizar una compilación con respecto a los muros de contención más utilizados en Colombia para el mejoramiento de vías rurales o urbanas. Posteriormente luego de identificar y relacionar conceptualmente los tipos de muros más comunes para el mejoramiento de vías en Colombia, se realiza un compendio de los factores que influyen en el seguimiento técnico, administrativo y financiero, y por último se investiga y relaciona los parámetros normativos más relevantes de acuerdo a las Normas NTC, NSR-10, entre otras aplicables, para dar como resultado una lista de criterios de acuerdo al orden de los procesos constructivos que contempla la construcción de muros para el mejoramiento de vías, facilitando el trabajo de seguimiento y control.

1.4 Desarrollo del argumento

Con el desarrollo de los criterios para la supervisión técnica, administrativa y financiera en la ejecución de proyectos de muros de contención en mejoramientos viales, se busca dar a conocer cuáles son las actividades que se deben realizar a la hora de enfrentarse a la supervisión de la etapa de obra desde el punto de vista de la interventoría, en donde es importante comprender de qué forma y en qué tiempo se manejan cada uno de los procesos constructivos necesarios para la construcción de muros. Por lo general los muros de contención más utilizados corresponden a muros en gravedad, y en voladizo.

Con relación a la importancia que representa una guía metodológica, según Cortes y Rivera (2004), en su investigación Titulada: “Manual de procesos constructivos y diseño de muros de retención” nos dicen que:

La construcción de muros de retención se realiza sin información suficiente de las condiciones particulares de los casos a resolver y sin el apego a métodos ni técnicas establecidas, y es frecuente que su diseño y construcción se haga empíricamente basados en la experiencia del albañil o maestro de obra y en algunos casos basados sólo en la experiencia de la práctica de algunos ingenieros que han construido muros de retención, lo que acarrea problemas que afectan a las construcciones y a la población.

Según Álvarez y Saurith (2010), en su investigación realizada, comparan las técnicas de dos sistemas de muros de contención presentes en la actualidad que difieren en su frecuencia de uso, materiales y procesos constructivos, además, nos dice que: “siendo los muros de

contención, estructuras tan importantes en el desarrollo de la ingeniería, debe recibir la calidad y el análisis pertinente para tomar decisiones en cuanto a qué clase de muro de contención se debe usar.”

Con relación al avance en investigaciones sobre muros de contención, vale la pena mencionar, el estudio realizado por Zavala (2017), la cual se basa en el Desarrollo de una aplicación basada en Matlab para el cálculo de muros a gravedad, muros en volado o cantiléver, muros con contrafuertes, en el cual, según el autor nos dice que: “se realizó la codificación y la interfaz gráfica de una aplicación para el cálculo y el diseño de muros de contención utilizando la aplicación del programa MATLAB, el cual permite obtener resultados de forma rápida y segura.”

Dentro de las obras contempladas para garantizar la estabilización de taludes en proyectos de mejoramiento de la red vial terciaria, con base en la Cartilla guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuestos para la construcción de obras de la red terciaria y férrea INVIAS 2016, se incluyen las siguientes: Muros de contención en concreto de corona, Muros de contención en concreto de dentellón en base o de pata, Muros de tierra estabilizada mecánicamente con paneles de concreto, Muros prefabricados en gavión. (Departamento Nacional de Planeación [DNP],2018)

Según Báez y Echeverri (2015), dicen que: Debido a que todavía existen muchas dudas sobre la interacción suelo-estructura y los esfuerzos producidos a partir de esta interacción en condiciones estáticas o dinámicas, el análisis y diseño de muros de contención que se realiza

actualmente puede subestimar las cargas y se corre el riesgo de que las estructuras de contención diseñadas puedan fallar o no sean estables. Es por esto que su investigación se basó en el comportamiento y diseño estructural de distintas estructuras de contención bajo las mismas condiciones de suelo, considerando interacción suelo-estructura.

Según la investigación realizada por López (2017), Titulada “Evaluación del Muro de Contención en la avenida Arequipa, pueblo joven La Primavera, Chimbote 2017 – Propuesta de Mejora” es muy importante porque se evalúa el estado actual de un muro de contención, estableciendo medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo, que comprometen directamente las condiciones de vida de los habitantes.

De acuerdo al desarrollo del argumento de la presente propuesta de investigación, con los criterios para el seguimiento y control de los procesos constructivos de muros de contención en el mejoramiento de vías, se busca generar una herramienta de apoyo para los profesionales que se dedican a la supervisión de este tipo de proyectos en Colombia.

1.5 Metodología

Tipo de investigación: El tipo de investigación corresponde a una investigación de tipo Cualitativa, y explicativa, ya que se realiza la recopilación de datos no cuantificables para luego determinar parámetros que obedecen al seguimiento y control técnico, administrativo y financiero aplicados a la construcción de muros de contención en el mejoramiento de vías.

Recolección de información: La recolección de información se realiza mediante las técnicas de recolección y los instrumentos utilizados.

Técnicas de recolección: Para la recolección de información se aplica la revisión documental de manuales, normas o guías y estudios realizados con relación al tema de investigación, que permita establecer parámetros mínimos necesarios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero en muros de contención.

Instrumentos para la recolección de información: Se utilizan fuentes bibliográficas que suministran algún tipo de información, libros, monografías, tesis, artículos de revista, biblioteca y empresas constructora o de interventoría que se relacionen con la construcción de muros de contención para el mejoramiento de vías.

Procedimiento metodológico: Para el desarrollo de la investigación, se abordan los siguientes capítulos.

Capítulo 1. Criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero, en la construcción de muros de contención utilizados para el mejoramiento de vías.

Capítulo 2. Generalidades de los muros de contención utilizados para el mejoramiento de vías rurales y urbanas en Colombia.

Capítulo 3. Marco referencial sobre la construcción de muros de contención para el mejoramiento de vías rurales y urbanas.

Capítulo 4. Controles técnicos para la construcción de muros de contención en el mejoramiento de vías rurales y urbanas.

Capítulo 5. Controles administrativos y financieros necesarios para la construcción de muros de contención en el mejoramiento de vías rurales y urbanas.

Capítulo 6. Lista de criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero, en muros de contención para el mejoramiento de vías rurales y urbanas.

Capítulo 2. Generalidades de los muros de contención utilizados para el mejoramiento de vías rurales y urbanas en Colombia

Los muros de contención son estructuras que pueden ser rígidas o flexibles y sirven para soportar cargas laterales ejercidas por la presión en un determinado lugar. La finalidad de un muro de contención es contener los suelos susceptibles a fenómenos de remoción en masa o rellenos artificiales. A continuación, se contempla clasificación de muros de contención, como también los tipos de fallas más comunes que se presentan.

2.1 Clasificación de muros de contención

Los muros de contención según el blog Lacuevadelcivil.com, anónimo (2013), se clasifican por su comportamiento como estructuras rígidas, estructuras flexibles y estructuras ancladas.

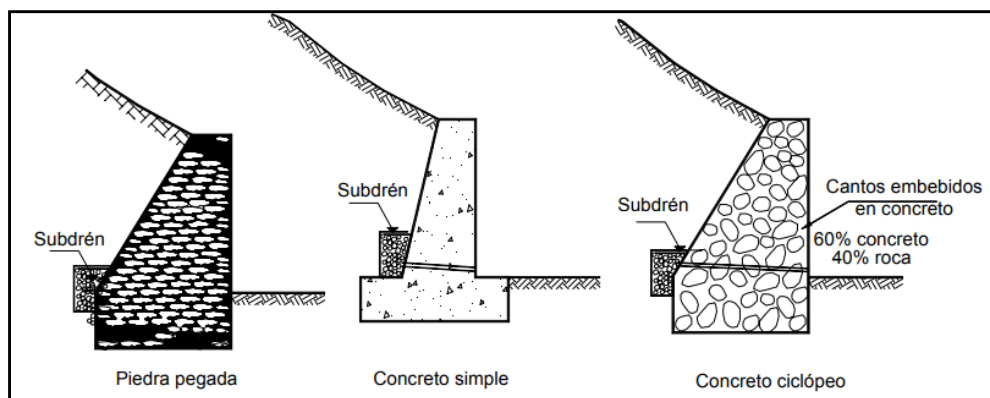
2.1.1 Estructuras rígidas

Los muros clasificados como estructuras rígidas, según Suarez J. (2009), son estructuras de contención que por lo general el material predominante es de concreto, ya que no permiten deformaciones importantes sin romperse. Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta forma generar fuerzas de contención. Los tipos de muros que hacen parte de este grupo corresponden a Muros de gravedad, muros en voladizo y muros contrafuertes. A continuación, se contemplan las generalidades de la tipología de muros correspondientes a estructuras rígidas:

2.1.1.1 Muros de gravedad. Los muros de gravedad son estructuras de contención que pueden ser de concreto simple o concreto ciclópeo y piedra pegada, que obtienen su soporte para resistir cargas laterales por la acción de su peso propio. Según Suarez J. (2009), dice que: “Los muros de gravedad son, con frecuencia, eficientes para estabilizar deslizamientos pequeños, pero es difícil y en ocasiones no es viable, estabilizar movimientos de gran magnitud, especialmente los deslizamientos rotacionales”. A continuación, mediante la siguiente figura 1 se puede apreciar el esquema de los diferentes muros de gravedad.

Figura 1

Muros de gravedad



Nota. La figura muestra los tipos de muro a gravedad. (Suarez J., 2009).

De acuerdo a la figura 1, se puede apreciar que los muros de gravedad tienen un subdrén, lo que significa que para la construcción de este tipo de muros, es primordial contar con un drenaje para evitar que se genere presión hidrostática debido a la acumulación de agua, la cual se refleja en el aumento de las fuerzas laterales que se ejercen hacia el muro, lo que puede ocasionar el colapso del mismo, ya que por lo general este tipo de muros se diseña solo para soportar las cargas laterales que ejerce el suelo en condiciones normales y no en condiciones con saturación de agua.

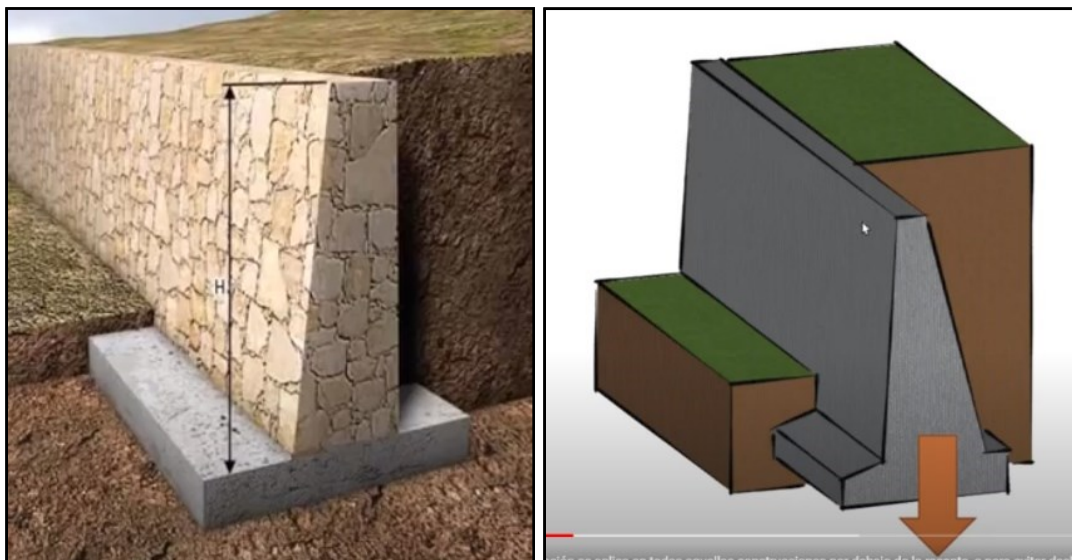
Los filtros más utilizados para que no se acumule el volumen de agua, puede ser filtro francés, una camada triturado o piedra según la disponibilidad de material en obra, los cuales están conectados a tuberías de desagüe mayormente conocidos como lloraderos.

La altura máxima recomendada para la construcción de muros de gravedad, según Suarez J. (2009) “La altura máxima prudente para las estructuras de gravedad es de 8 metros y en algunos tipos de muro hasta 4 metros”, por lo general este tipo de muros no es de gran altura, ya que, a mayor altura, la cantidad en el volumen de concreto sería masivo.

En vista de que los muros de gravedad, no llevan ningún refuerzo, a la hora de su construcción es importante realizar una buena cimentación, la cual contribuye con la resistencia y estabilidad del muro.

Figura 2

Muros en concreto simple y ciclópeo

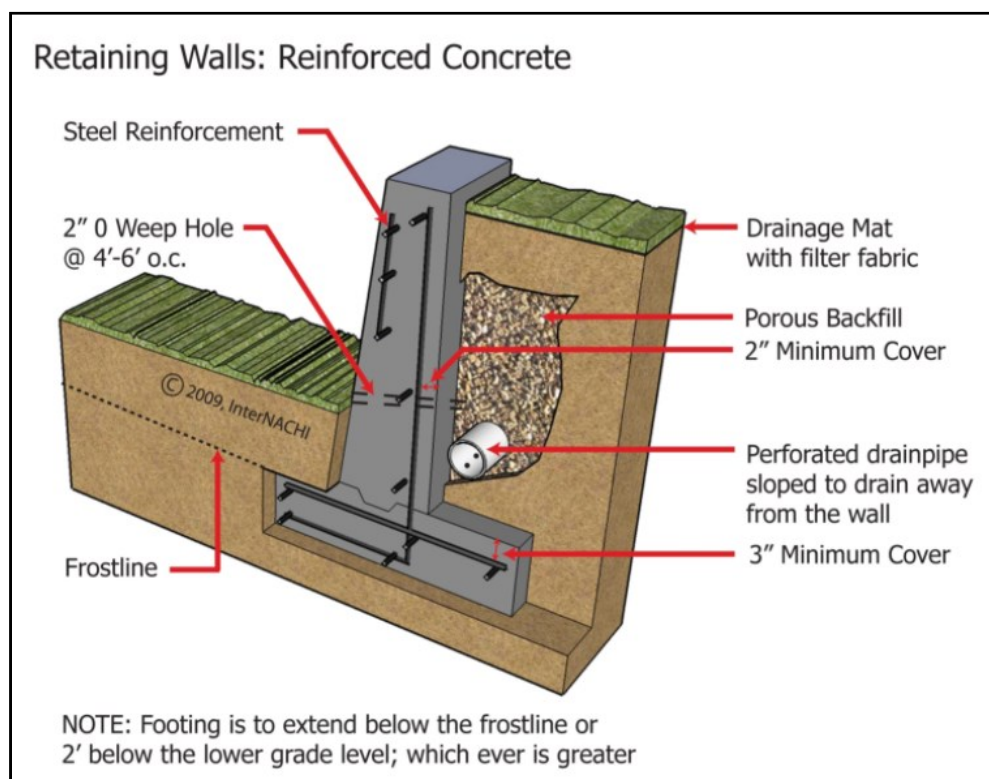


Nota. La figura muestra un muro en concreto simple y ciclópeo. (Gamboa L., 2020)

2.1.1.2 Muros en voladizo. Los muros en voladizo, también pueden ser llamados muros de gravedad, ya que trabajan bajo la acción de su peso propio, pero con la diferencia de que se encuentran reforzados y necesitan de una menor sección transversal, lo cual permite resistir momentos y fuerza cortante. Este tipo de muros es uno de los más utilizados por su facilidad en la construcción, además que permite deformaciones debido al acero de refuerzo. A continuación, en la figura 3, se puede apreciar el esquema del muro típico en voladizo.

Figura 3

Muro en concreto reforzado



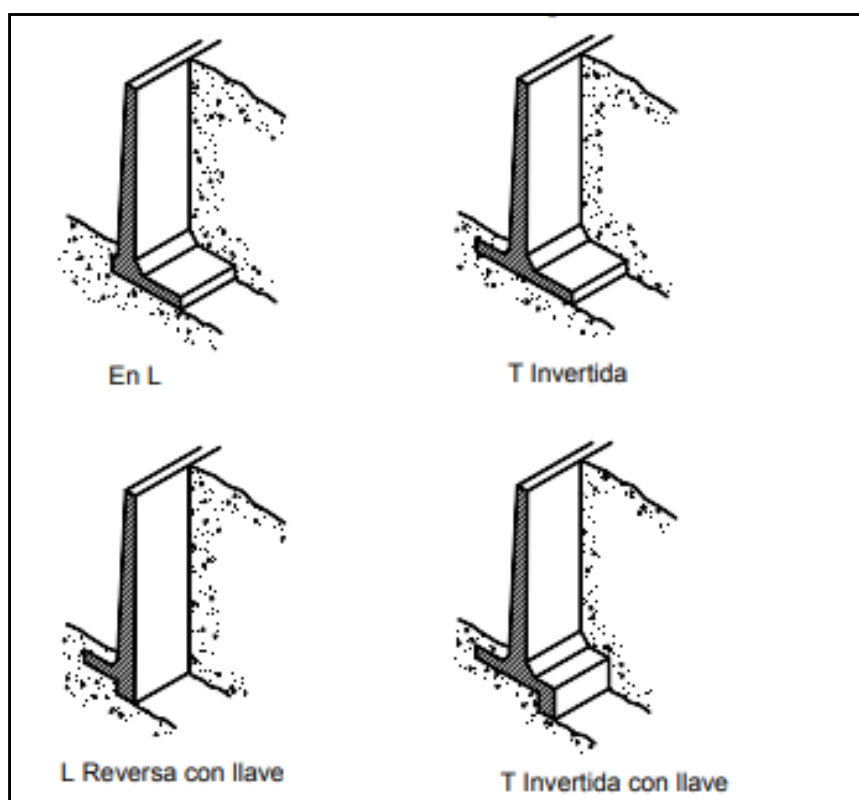
Nota. La figura ilustra un muro reforzado en voladizo. (InterNACHI, 2009)

De acuerdo a la figura 3, al igual que para los muros de gravedad, también es necesario utilizar filtros para evitar la presión hidrostática producto del agua infiltrada.

Los muros en voladizo son también conocidos como muros en concreto reforzado que pueden ser de sección T o L invertida, y pueden incluir además una llave o dentellón que genera una fuerza de fricción que ayuda a resistir los momentos de volcamiento que se generan en este tipo de muros. En la figura 4, se pueden apreciar los tipos de muro en voladizo.

Figura 4

Tipos de muro de contención en concreto reforzado



Nota. La tabla muestra los tipos de muro en voladizo. (Suarez J., 2009)

Teniendo en cuenta que los muros en voladizo son uno de los tipos de muros más usados para distintas obras viales dentro del territorio colombiano, es importante mencionar la diferencia que existe entre los muros en T invertida con los muros en L, ya que a pesar de que ambos son considerados muros en voladizo, el comportamiento mecánico, varía dependiendo de la

estabilidad que ofrece cada estructura. A continuación, en la siguiente figura 5, se puede observar el nombre de cada una de las partes que conforman estos tipos de muros al igual que la distribución típica del acero de refuerzos.

Figura 5

Tipos de muro de contención con talón y sin talón



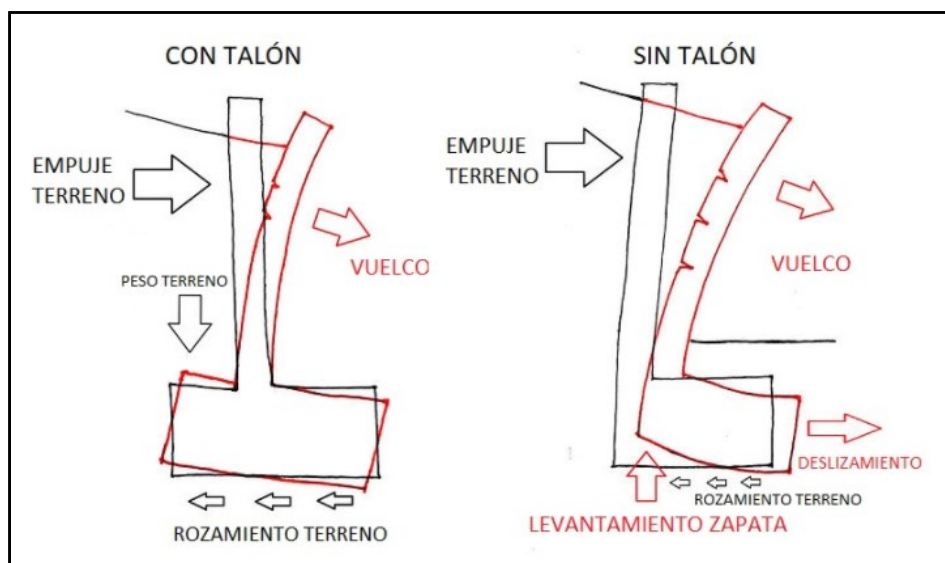
Nota. La figura muestra un muro con talos y otro solo con puntera. (E-Struc, 2019)

Con relación a la figura 5, la palabra intradós, hace referencia a la cara interna del vástago del muro y la palabra trasdós significa cara exterior del muro. Con respecto a la puntera y talón, conforman la cimentación del muro que también se puede considerar como una zapata lineal. En cuanto al arreglo del acero de refuerzo, para este tipo de muros solo se utiliza un acero principal que es el longitudinal y un acero transversal de retracción y temperatura.

El comportamiento estructural de los muros con y sin talón, se pueden apreciar en la siguiente figura 6, en donde se observa de color rojo la deformación causada por el empuje lateral del terreno. El muro que tiene talón presenta una deformación mucho menor a diferencia del muro que solo tiene puntera. Según E-Struc (2019), los muros con talón evitan el vuelco del muro, impiden el levantamiento de la zapata del muro y frenan el deslizamiento en la base, lo cual se puede apreciar en la deformación que generan, independientemente del acero de refuerzo para el cual es diseñado.

Figura 6

Análisis de muro de contención con talón y sin talón



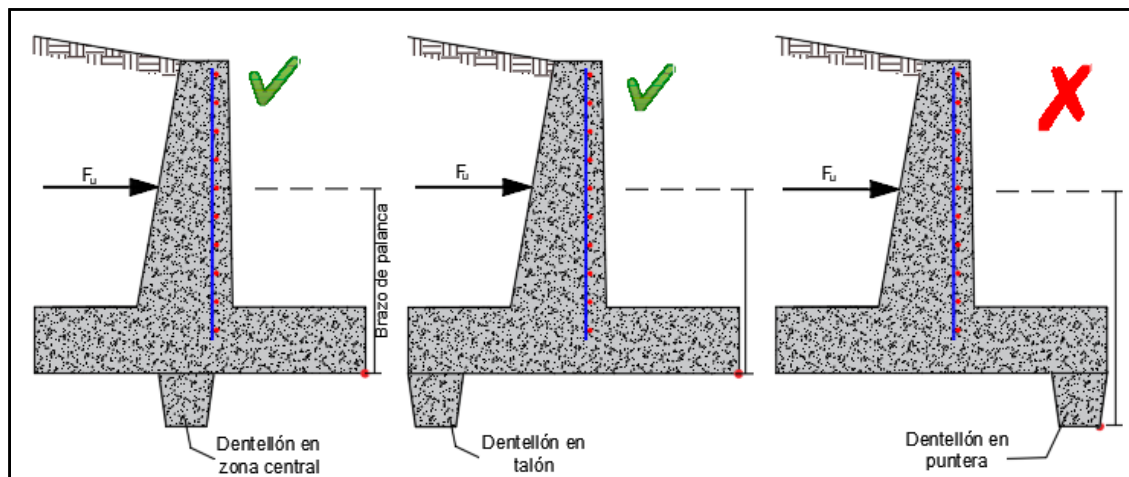
Nota. La figura muestra el análisis de un muro con y sin talón. (E-Struc, 2019)

Los muros en voladizo, también pueden llevar llave o dentellón, la cual genera una fuerza de fricción que impide el fallo por deslizamiento del muro, no obstante, durante su proceso de diseño y construcción dicho dentellón, dentro de su ubicación en la cimentación del muro, se debe utilizar en la zona central de la zapata o en el talón. No se recomienda el uso de dentellón

en la puntera del muro, ya que esto ocasiona un mayor brazo de palanca de las fuerzas laterales de empuje. Ver figura 7.

Figura 7

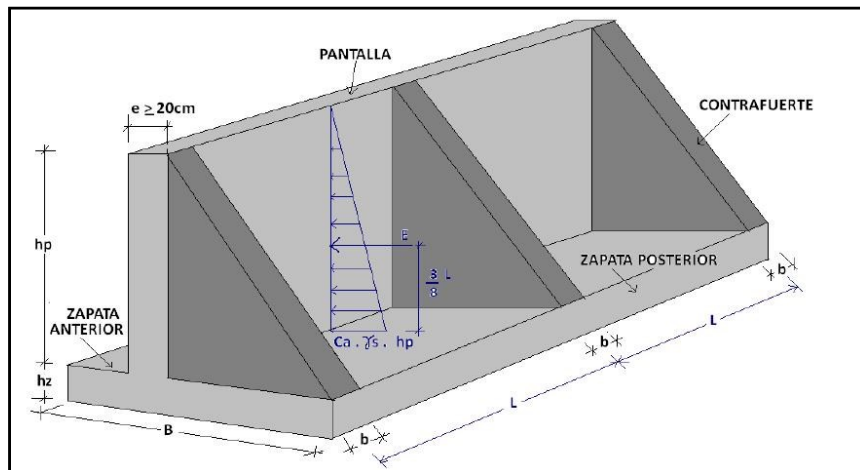
Uso recomendado de dentellón en muros de voladizo



Nota. La figura muestra la forma correcta e incorrecta en donde se debe ubicar el dentellón en muros de voladizo.

2.1.1.3 Muros de contrafuerte. Son utilizados para alturas mayores a 6.00m. Se recomienda usar contrafuertes cada 3m para muros de 9m de altura y cada 2.50m cuando la altura del muro es de 12m, el espesor del contrafuerte varía de 20 a 30 cm. (Reyes S., s.f.).

Este tipo de muros es poco usual debido al costo tan elevado que representa, puesto que los contrafuertes modifican el comportamiento estructural del vástago del muro, causando que las cargas laterales ocasionadas por el empuje del terreno se distribuyan a través del vástago de forma longitudinal y transversal, lo que significa que el acero principal del muro debe ir en ambas direcciones, aumentando así la cantidad de acero necesaria para la construcción del muro.

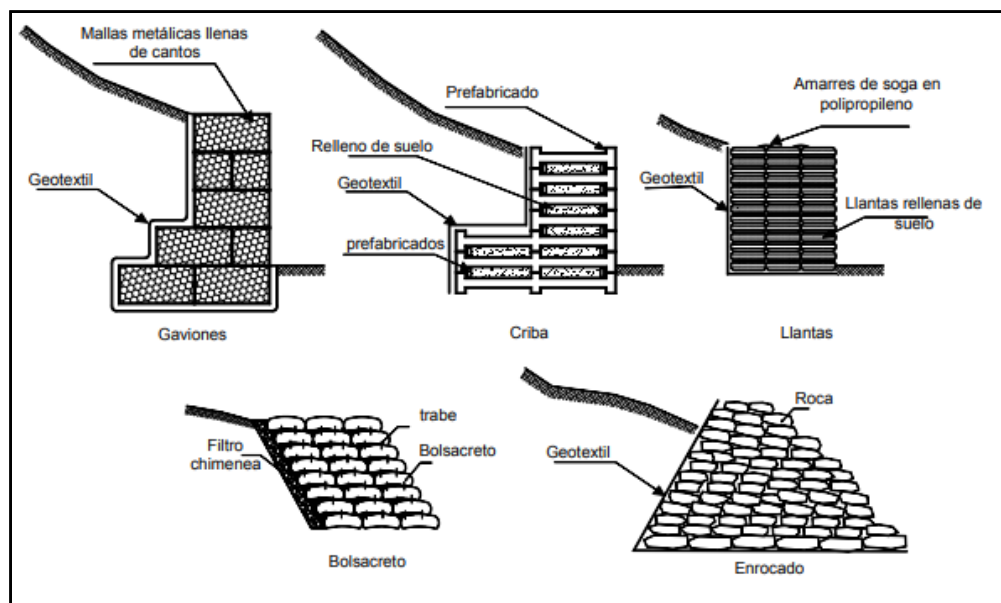
Figura 8*Muros De Contención Con Contrafuertes*

Nota. La figura muestra un muro con contrafuertes. (Reyes S., s.f.).

2.1.2 Estructuras Flexibles

Los muros clasificados como estructuras flexibles se caracterizan porque dependen de su peso propio y de la capacidad de soportar deformaciones sin que se rompa su estructura. Según Suarez J. (2009), los muros flexibles son estructuras que se deforman con facilidad a causa de presiones del terreno sobre ellas o que se amoldan a los movimientos del suelo y generalmente, se diseñan para resistir presiones activas en lo que se refiere a su estabilidad intrínseca. Los muros flexibles más comunes, se aprecian en la figura 9.

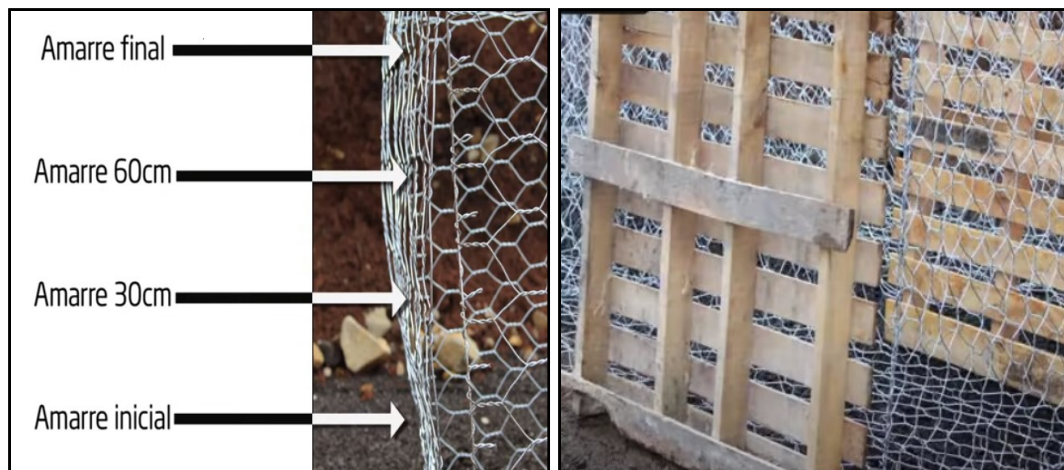
Los muros flexibles tienen una particularidad en general, y es que están conformados por segmentos o estructuras independientes que se colocan y se unen entre sí, para formar el muro sólido.

Figura 9*Muros de estructura flexibles*

Nota. La figura muestra los tipos de muros flexibles más comunes. (Suarez J., 2009)

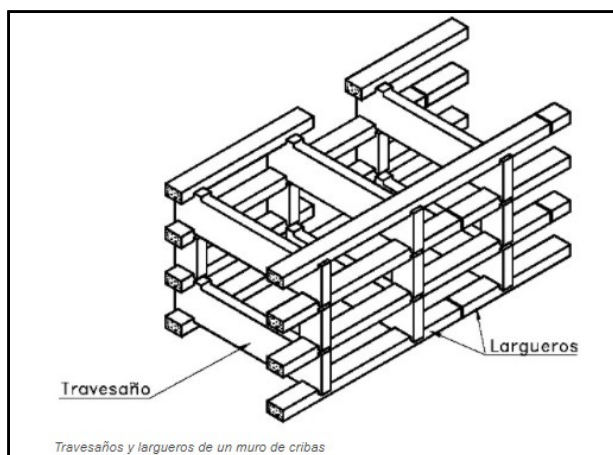
2.1.2.1 Muros en gavión. Los muros en gaviones son cajones de malla de alambre galvanizado que se rellenan de cantos de roca. Es recomendable realizar amarres entre las unidades de gaviones con el fin de evitar el mismo movimiento de dichas unidades aisladas. Este tipo de muros tiene la facilidad de aceptar deformaciones por presión lateral activa y es muy normal encontrarse con deflexiones hasta un rango de 20% de altura. (Trinidad H., 2020)

Para la construcción de los gaviones, se debe estabilizar muy bien el área de cimentación del gavión. El alambre galvanizado para los tirantes o amarres internos, se recomienda utilizar alambre calibre 12 o calibre 10. Se deben realizar amarres cada 30 centímetros, tal como se aprecia en la siguiente figura 10. Es importante mencionar que los gaviones deben contar con formaleta para que su estructura conserve linealidad en cada unidad de gavión; estas formaletas pueden ser metálicas o en madera.

Figura 10*Amarres para muros en gavión*

Nota. Se aprecian los amarres recomendados para muros en gavión. (Grupo DEACERO, 2014)

2.1.2.2 Muros en criba. Los muros de cribas o muros jaula son obras de contención constituidas por unidades prefabricadas de material que por lo general van rellenas de material granular para permitir la filtración y desagüe del agua, se construyen en concreto o madera creando una red espacial que se rellena con suelo (Yepes V., 2016). Ver figura 11.

Figura 11*Estructura de muro en Criba*

Nota. Tomado de (Yepes V., 2016)

De acuerdo a la figura 11, los muros en criba no trabajan monolíticamente, ya que, a diferencia de los muros en estructuras rígidos, los muros en criba están conformados por elementos independientes que se unen para formar la geometría que se requiera. “Los muros de contención segmentales pueden ser utilizados para alturas desde 1.8 metros hasta los 12 metros dependiendo de las propiedades mecánicas del suelo” (Revista P & C, 2009). A continuación, en la figura 12 se observa un muro construido en criba con un relleno en material granular, para garantizar la filtración del agua y que no se genere una sobrecarga por presión hidrostática.

Figura 12

Muro en criba construido



Nota. La figura muestra un muro en criba terminado. (Aguilera E., 2017)

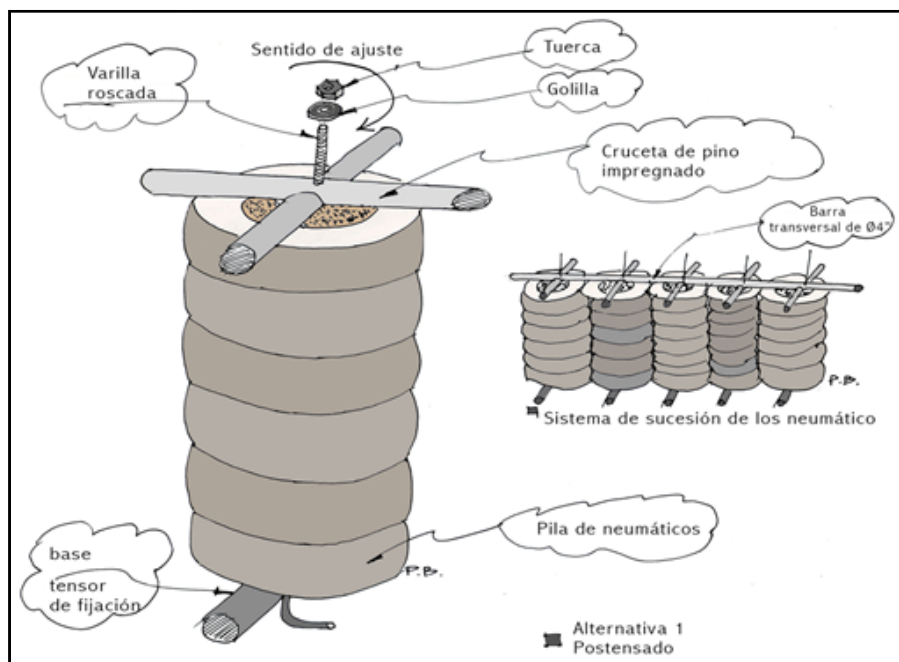
2.1.2.3 Muros en llantas. Los muros en llantas son muros flexibles que se realizan a base de los neumáticos desechados de automóviles, los cuales son reciclados para conformar muros de contención. Según Barros, Sarabia, Valdés, Serrano y Gaytan (2019), dicen que: “Se recomienda para la construcción de muros en llantas una altura de 3 metros, medidos desde el nivel natural del terreno, al igual que el uso de las llantas debe ser del mismo diámetro”.

Con relación al costo que representa la construcción de un muro de contención, el uso de llantas es una forma ecológica y económica para poder realizar este tipo de obras, es por eso que vale la pena mencionar las distintas metodologías para la construcción de muros con llantas recicladas, de acuerdo a lo planteado en la investigación realizada por Barros et al. (2019), en donde se proponen cuatro formas diferentes para construir estos tipos de muros que corresponden a:

Muro de llantas relleno con tierra y postcompactado. Este tipo de muros está conformado por un anclaje vertical, la cual está unida a una barra transversal que confina las llantas recicladas; el anclaje vertical es postensado posteriormente para aumentar la resistencia del bloque de llantas confinado, tal como se aprecia en la figura 13.

Figura 13

Diagrama de muro con llantas relleno con tierra y postcompactado

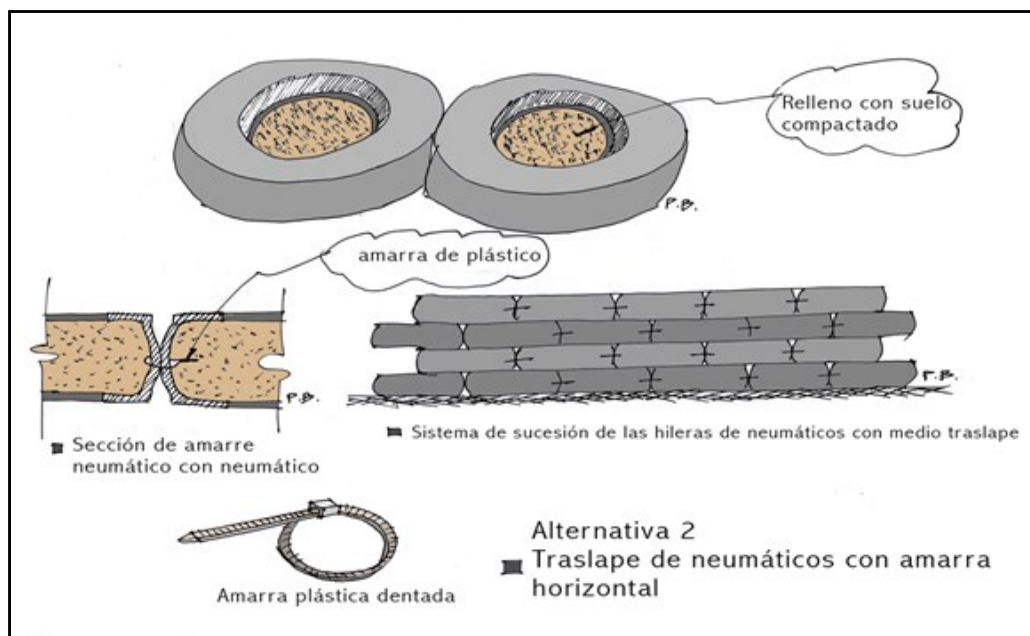


Nota. Tomado de (Barros et al., 2019)

Muro de llantas trabado y asegurado con amarras de plásticas. Este tipo de muros se realiza utilizando amarres plásticos para unir horizontalmente las llantas recicladas conformando hileras, las cuales son rellenas y compactas posteriormente, luego se realiza el mismo procedimiento con cada hilera de muro trabando su posición inicial (ver figura 14), hasta completar la altura deseada o la altura máxima recomendada (3 metros).

Figura 14

Diagrama de muro trabado y asegurado con amarras de plástico

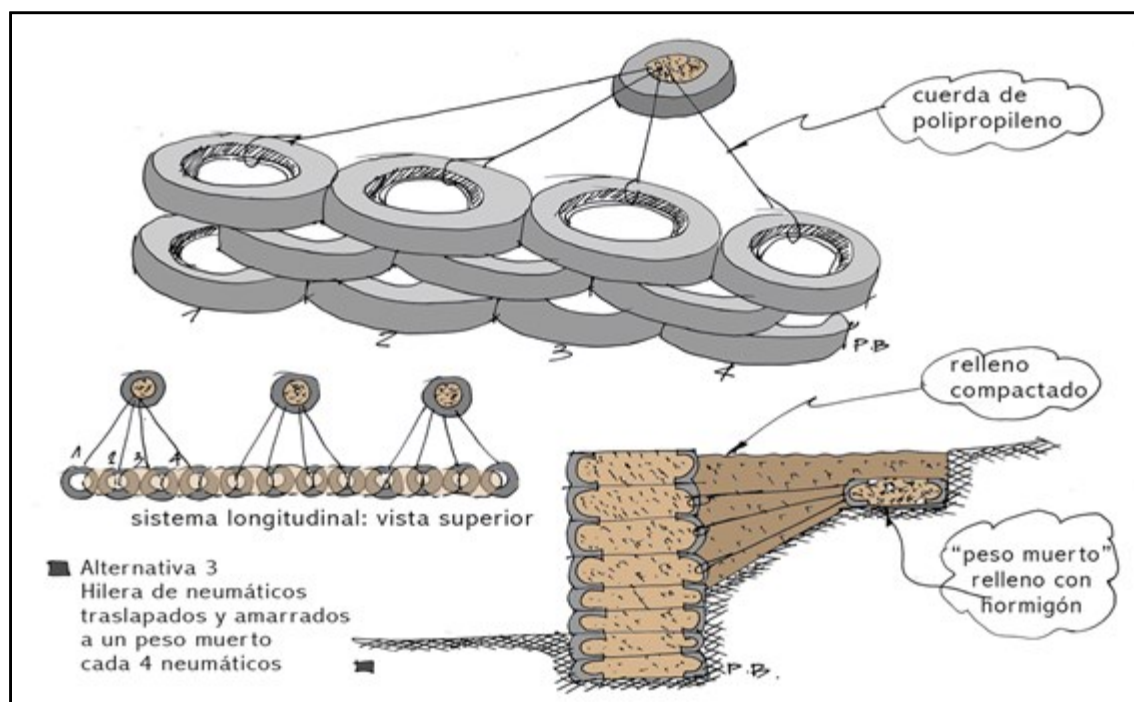


Nota. Tomado de (Barros et al., 2019)

Muro anclado a un “peso muerto” enterrado. Este tipo de muros trabaja con un anclaje pasivo, ya que actúa gracias a la acción del peso muerto. El procedimiento constructivo consiste en unir mediante cuerda de polipropileno a cada cuatro llantas, un peso muro que puede ser una llanta rellena compactada, la cual ayuda a resistir las cargas generadas por el empuje del suelo, tal como se aprecia en la figura 15.

Figura 15

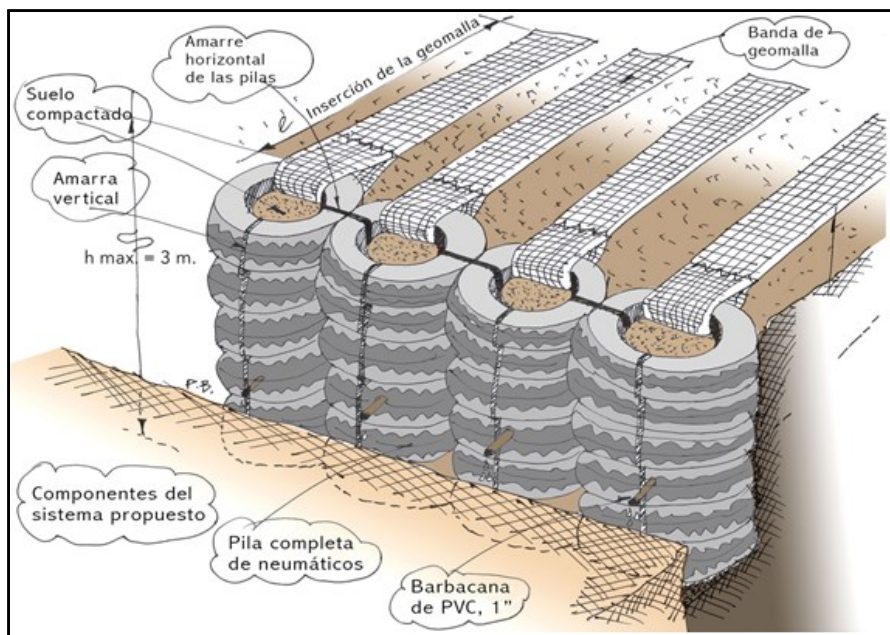
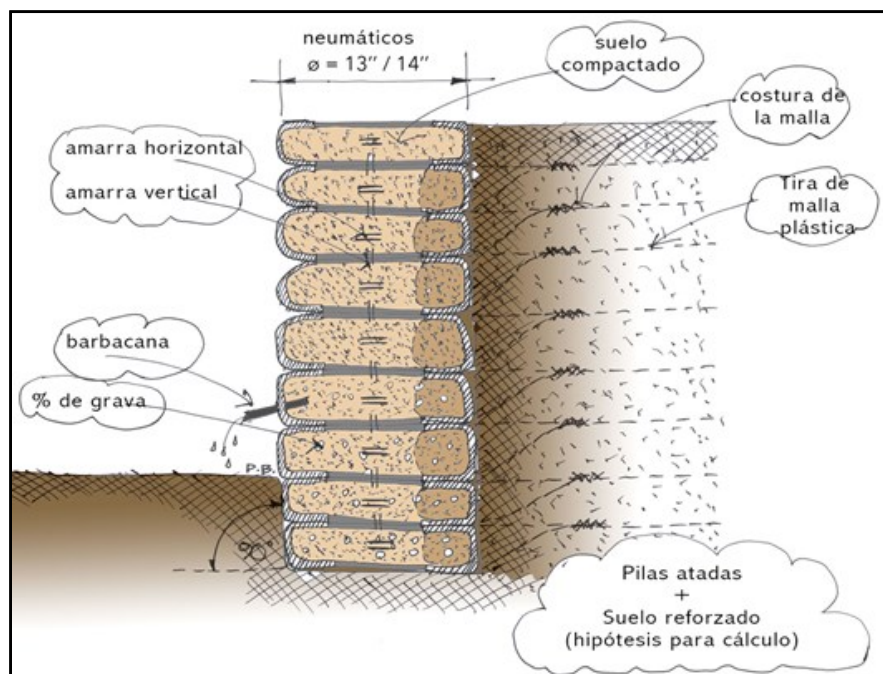
Esquema de un muro anclado a un "peso muerto" enterrado



Nota. Tomado de (Barros et al., 2019)

Muro en llantas estabilizado mecánicamente. De acuerdo a los resultados y conclusiones obtenidas de la investigación de Barros et al. (2019), el muro de llantas estabilizado mecánicamente es el más recomendado, ya que adopta la metodología de tierra reforzada, en donde mediante la unión de llantas con amarres plásticos, junto con bandas de geomalla se conforma un muro de contención reforzado.

A continuación, en la siguiente figura 16 y figura 17, se observa el esquema del procedimiento explicativo para la construcción de muros en llantas estabilizados mecánicamente, en donde se recomienda el uso de geomalla para cada llanta; la altura recomendada para este tipo de muros, no debe superar los 3 metros de altura.

Figura 16*Esquema de un muro mecánicamente estabilizado**Nota.* Tomado de (Barros et al., 2019)**Figura 17***Sección transversal de un muro mecánicamente estabilizado**Nota.* Tomado de (Barros et al., 2019)

De acuerdo a los distintos tipos de muros en estructuras flexibles, existen muchas variedades de sistemas constructivos con materiales innovadores y ecológicos, por lo cual lo descrito anteriormente solo representa algunos de los tipos de muros flexibles más usados. Se recomienda antes de realizar cualquier muro de contención, cuando no existan estudios previos, realizar un estudio geotécnico para conocer las características del suelo y así poder evaluar que opción se adapta mejor.

2.1.3 Estructuras Ancladas

Las estructuras ancladas están conformadas por anclajes o pantallas con anclajes, dichos anclajes según Ucar R. (2002), “introducen tensiones y deformaciones adicionales en la masa de suelos mejorando la estabilidad, en donde el tipo de anclajes, el método de instalación, conjuntamente con los aspectos geológicos más resaltantes juegan un papel preponderante en el diseño del soporte”. Los muros de contención anclados, pueden ser de dos tipos: muros con anclajes activos y muros con anclajes pasivos.

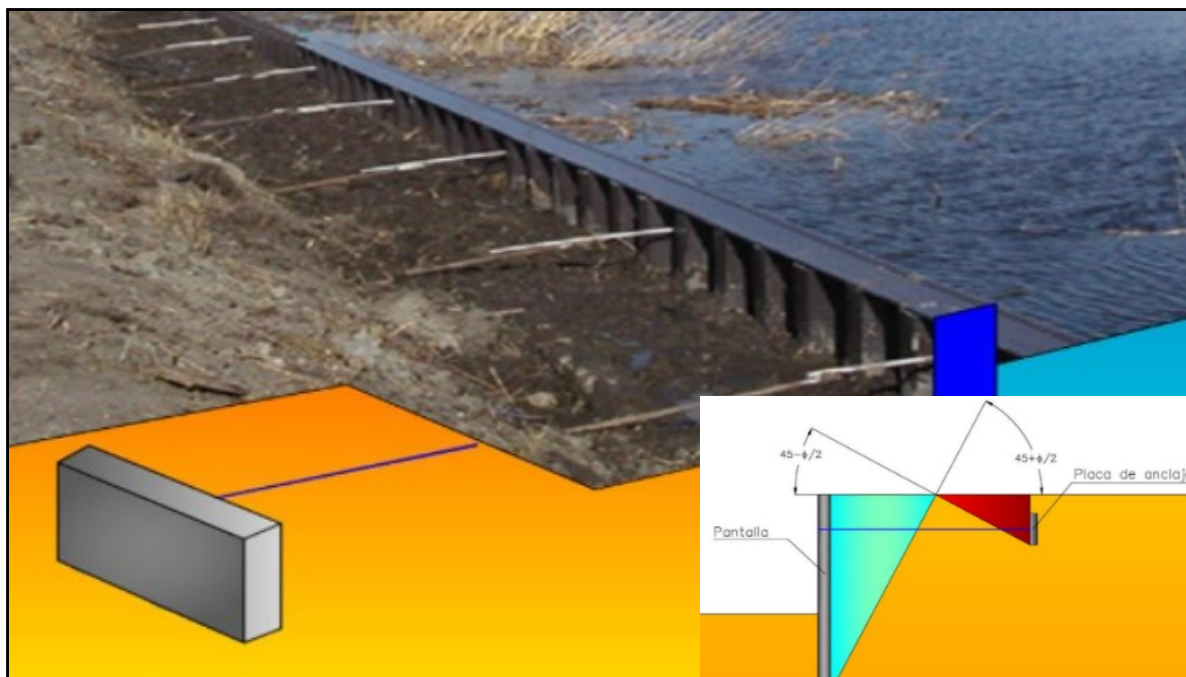
2.1.3.1 Muros con anclajes Pasivos. Los muros con anclajes pasivos se caracterizan por no aplicar una presión inicial de anclaje. Según Agudelo J. (2017), nos dice que:

Se trata de una solución muy usada en pantallas de tablestacas cuando tenemos que disponer de un apuntalamiento cerca de la cabeza de la pantalla. El cual se realiza con una viga o zapata acostada, que mediante tirantes o cables se unen a la pantalla para ofrecer resistencia. La resistencia ofrecida por la zapata acosta o vigas deriva principalmente de la fuerza pasiva del terreno frente a ellas. Es por ello que, a la hora de

definir la posición de estas, no solo deben estar fuera de la cuña activa de deslizamiento de la pantalla (zona de color azul en la siguiente imagen) si no que la cuña pasiva movilizada por la placa (zona de color rojo) también debe estar fuera de esta zona.

Figura 18

Esquema de muro con anclaje pasivo



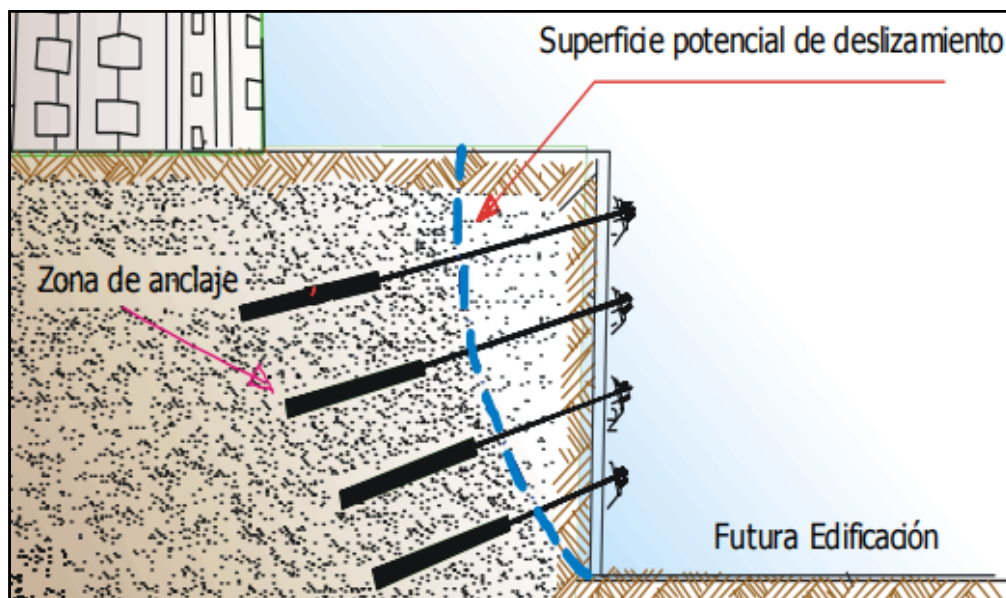
Nota. La figura muestra un muro anclado con un bloque de concreto. (Agudelo J., 2017)

2.1.3.2 Muros con anclajes Activos. Los anclajes activos, se caracterizan porque requieren de una fuerza inicial que genera una fricción en el bulbo de presión para lograr tensionar un cable que ejerce una fuerza resistente sobre los empujes del terreno. Según Coronel y Tavera (2010), su objetivo radica en resistir el empuje activo del suelo mejorando sus condiciones de estabilidad, asociado al peso del terreno que le rodea, reforzando el suelo, aumentando de esta forma su resistencia al esfuerzo constante, actuando como muro de

contención natural y/o artificial, limitado en su dimensión (alto-largo) por la longitud de los anclajes.

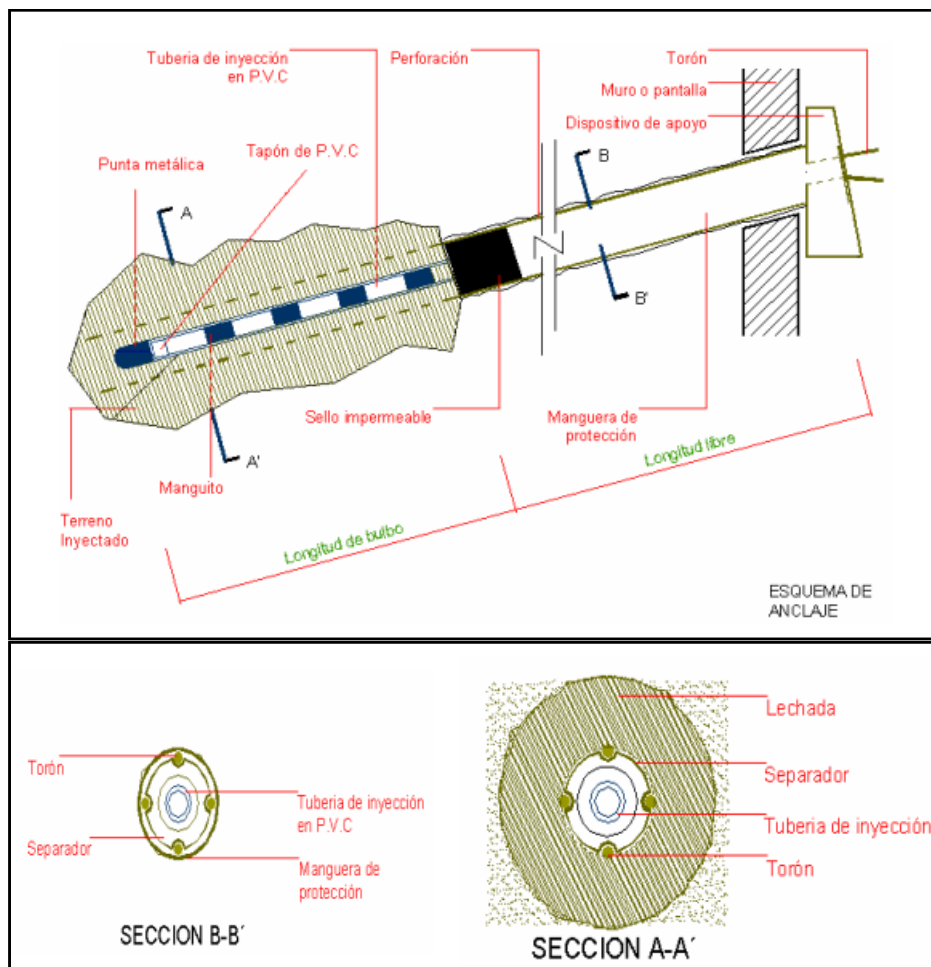
Figura 19

Esquema de muro con anclaje Activo



Nota. Tomado de (Ucar R., 2002)

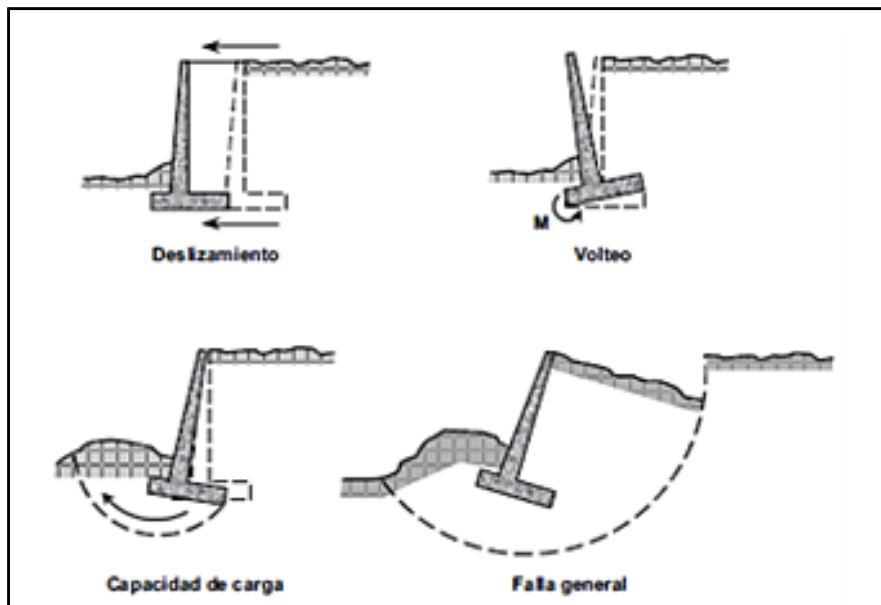
Los anclajes están conformados por una parte anclada, un tendón que son los torones que conforman el cable que se tensiona y un dispositivo de apoyo; el procedimiento para su resistencia, consiste en perforar con maquina la sección del barreno a introducir en el suelo para posteriormente realizar una inyección de lechada de concreto (grouting) a determinada presión para posteriormente conformar el bulbo de presión, según Ucar R. (2002), “se forma un miembro empotrado en el extremo profundo del tirante colocado dentro del barreno, por lo tanto las fuerzas que actúan sobre el anclaje, solo se transmiten al tramo de zona inyectada” Ver figura 20.

Figura 20*Partes de un anclaje Activo*

Nota. Tomado de (Coronel y Tavera, 2010)

2.2 Fallas típicas en muros de contención

Como parte de las generalidades en los muros de contención es importante resaltar los estados límites de falla presentes en los muros que son: falla por volcamiento, por deslizamiento, por capacidad de carga y por falla general; estos tipos de falla dependen directamente de las condiciones del terreno y del análisis estructural que se realice para evitarlos. A cotinuanuación en aprecia en la figura 21 el esquema de cada falla.

Figura 21*Estados límites de falla en muros de concreto*

Nota. Tomado de (Rivas L., 2021)

2.2.1 Patologías más comunes en muros de contención

Debido a que las estructuras de contención están sometidos a cargas y esfuerzos laterales, también se pueden presentar falla estructural, resultado de algunos factores como: sustancias químicas, acciones físicas derivadas de los esfuerzos inducidos por la naturaleza de las fuerzas y errores de diseño o de construcción. (Silva O., s.f.)

Giro excesivo. Según Silva O. (s.f.), “este problema ocurre cuando los momentos actuantes sobre el muro son mayores que los momentos resistentes y superan el factor de seguridad, que oscila entre 2,0 y 3,0 (NSR-10, título H, Tabla H.6.9-1)”.

Deslizamiento. Son ocasionados por la fuerza del empuje activo generado por el relleno y sobrecarga producto a pesos agregados sobre el muro o a la presión hidrostática. Este tipo de fallas se presenta tanto para muros rígidos como para muros flexibles. En la siguiente figura 22, se puede apreciar una falla por deslizamiento en un muro flexible construido con llantas, en donde se observa que no se realizó de acuerdo a las recomendaciones del literal 2.1.2., del presente documento, lo cual al no contar con anclajes o amarres para que las hileras de llantas ofrezcan más resistencia es muy fácil llegar al colapso de este tipo de muros, que se presenta debido a la temporada de lluvias que aumenta la presión hidrostática del terreno.

Figura 22

Colapso de muro construido con llantas



Nota. Tomado de (TV San Jorge, 2018)

Desplazamiento profundo. “Este problema consiste no solo en el deslizamiento del muro, sino también en su hundimiento y giro, inducidos generalmente por la formación de una superficie de deslizamiento profunda, de forma aproximadamente circular”. (Silva O., s.f.).

Fisuración excesiva. Es un fenómeno visible especialmente en las zonas de tracción del muro, es causado debido a las cargas laterales que superan la resistencia máxima del muro, el refuerzo se expone a una acelerada corrosión y en consecuencia se genera una inminente falla por momento flector y cortante. (Silva O., s.f.).

Figura 23

Falla de muro con fisuración excesiva



Nota. Tomado de (Silva O., s.f.)

De acuerdo a la anterior figura 23, se observa que debido a que las cargas laterales que se transmiten al muro bajan hasta la cimentación de forma longitudinal, por lo general este tipo de fallas siempre muestra grietas longitudinales y en algunos casos fisuras diagonales; no es común encontrar fisuras transversales en este tipo de muros.

Capítulo 3. Marco referencial sobre la construcción de muros de contención para el mejoramiento de vías rurales y urbanas

3.1 Antecedentes

Los muros de contención hoy en día se han convertido en una necesidad para poder dar trazabilidad a una vía nueva o existente, ya que debido a la composición geográfica de Colombia las carreteras del país en especial las de montaña, requieren por lo general de estructuras de contención.

En lo que respecta a investigaciones que relacionan el diseño de guías, manuales o material de apoyo para abordar las distintas metodologías en la construcción de muros de contención, a nivel internacional se puede destacar el trabajo de Gallegos C. (2006), titulado Guía multimedia para el diseño de muros a gravedad, muros en cantiléver y muros con contrafuertes. En esta investigación se realiza una descripción muy clara de las teorías de diseño para muros de contención y se obtiene como resultado una guía basada en el lenguaje Visual Basic, la cual facilita el acceso a la información sobre estos tres tipos de muros.

Por otra parte, existen investigaciones que le apuntan a la construcción de muros de contención con materiales reciclables que minimicen los costos de materiales, como es el caso del Manual de Construcción y Mantenimiento de Muros de llantas en Barrios Populares de Tegulcigapa, de autor Antúnez B. (2019), el cual fue realizado bajo el marco del proyecto Planificación de Adaptación de Activos al Cambio Climático en Barrios Populares de

Tegucigalpa, Honduras, financiado con recursos del Fondo Nórdico de Desarrollo (FND), administrado y ejecutado a través del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). La presentación de este manual se realiza de forma didáctica y con conceptos muy sencillos, ya que está dirigida a albañiles, ayudantes de construcción y maestros de obra que requieran o tengan la necesidad de hacer un muro de contención utilizando llantas recicladas como principal material.

Con relación a investigaciones de autores corporativos a nivel mundial, se menciona la realizada por la secretaria de Comunicaciones y Transporte (2014), de los Estados Unidos Mexicanos, titulada Guía de Procedimientos y Lineamientos para la Construcción de Muros Mecánicamente Estabilizados, en donde se describen los procedimientos para la construcción de muros mecánicamente estabilizados utilizando distintos materiales prefabricados, para conformar estructuras flexibles.

A nivel nacional dentro del territorio colombiano, la topografía para la construcción de vías es muy variable, por lo que el Instituto Nacional de Vías [INVIAS] (2017), realiza el documento titulado “Cartilla guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuestos para la construcción de obras de la red terciaria y férrea”, en donde en el Capítulo 3 de dicho documento, presenta los esquemas típicos de los muros de contención en concreto, muros tipo gavión y muros en tierra estabilizada mecánicamente, dando a conocer notas generales de construcción y diseño, que deben ser usadas bajo la aprobación de un profesional en el tema.

Según Guerrero P. (2010), en su trabajo de grado titulado: “Estado del conocimiento en análisis y diseño en estructuras de contención de acuerdo con el Eurocódigo”; en esta

investigación se realiza un análisis comparativo de los parámetros para la construcción de muros de contención de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en comparación con el Eurocódigo-97, calculando el diseño convencional o teórico de cuatro tipos de muros de contención diferentes en un mismo modelo geológico-geotécnico, de tal manera que se logren establecer la diferencia de procedimientos mínimos de obligatorio cumplimiento.

Por otra parte, en el territorio colombiano, también se presentan investigaciones con relación a la construcción de muros de contención con materiales reciclables, como lo es la Tesis de Posgrado titulada Estandarización de Técnicas de Diseño y Construcción de Muros de Tierra Reforzada con Llantas de Desecho, en el cual su autor Rodríguez O. (2016), nos dice que:

Este trabajo describe una técnica para la estabilización de taludes por medio de llantas de desecho mostrando una serie de ejemplos aplicativos que se han desarrollado en diferentes zonas del departamento de Antioquia y los procesos que estos han tenido a través del tiempo; resaltando que esta solución es muy práctica y económica debido a que son fáciles de construir y el 90% de personal que interviene es no calificado, esta alternativa a su vez comparada con otros sistemas constructivos de contención es menos costosa y cumple con los estándares de seguridad que tienen los muros en concreto reforzado, de tierra armada con geotextil, de geomallas y de gaviones.

Con relación a la índole de la presente investigación a nivel regional se destaca como un antecedente importante, la investigación realizada por Ochoa y Quiñones (2020). La cual se

titula “Elaborar una guía práctica para el cálculo, diseño y control de muros de contención en mampostería confinada y concreto reforzado en voladizo, calibrando resultados con el software SAP 2000.”, este proyecto consistió en la elaboración de una guía práctica para el cálculo, diseño y control de muros de contención en mampostería confinada y en concreto reforzado en voladizo, calibrando resultados con el software SAP 2000, para lo cual se analizaron los diferentes aspectos teóricos, se plantearon algunos ejercicios prácticos, se realizó un análisis de costos y se describieron los principales controles y aspectos a tener en cuenta en su construcción.

3.2 Marco Teórico

Dado que la investigación tiene como finalidad dar a conocer criterios para distintos controles técnicos en la construcción de muros de contención, es importante mencionar cuáles son esas teorías que dieron origen al concepto de empujes en el suelo.

3.2.1 Teoría de Coulomb (1776)

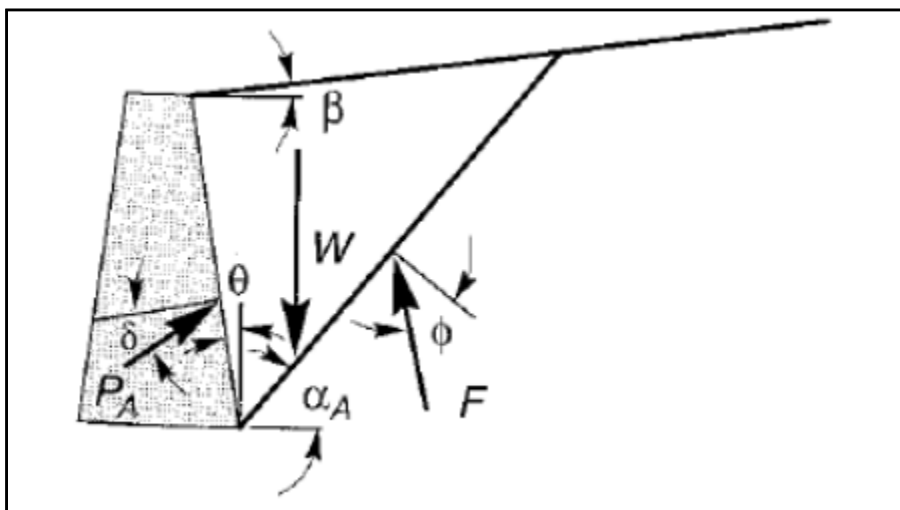
Charles-Augustin de Coulomb (1776), fue el primero en estudiar el problema de presiones laterales de suelos en muros de contención, asumiendo que las fuerzas laterales que ocurren en el espaldar del muro son ocasionadas por una fracción del terreno contenido llama cuña de falla. (Álvarez y Saurith, 2010). Según Nina R. (2017), dice que:

Coulomb presentó una teoría para las presiones activa y pasiva de tierra en muros de retención, en la cual supuso que la superficie de falla era un plano y que existía fricción suelo-muro, además observó que si se retiraba el muro de retención de un suelo granular,

en el relleno se formaba una cuña de falla delimitada por la superficie del suelo, el límite con el trasdós del muro y una superficie de falla curva que para fines prácticos consideró como plana, como se muestra en la figura 24.

Figura 24

Cuña de falla supuesta por Coulomb



Nota. Tomado de (Nina R., 2017)

De acuerdo a la anterior figura 24, (W) es el peso propio de la cuña de falla, (F) es la resultante de la reacción del suelo, (P_A) es el empuje activo sobre el muro, (θ) es el ángulo de inclinación del trasdós del muro, (β) es el ángulo de inclinación de la superficie del relleno respecto a la horizontal, (ϕ) es el ángulo de fricción interna del suelo y (δ) es el ángulo de fricción muro – terreno.

Considerando que la cohesión de los suelos es una de las características de los terrenos arcillosos y que está en función de las condiciones de estabilización en las arcillas, y de la cantidad de agua que contienen. Esta característica por lo general no es constante, y es mejor no

tenerla en cuenta para el diseño, y calcular el muro en función de las características constantes del suelo o relleno como son su densidad y el ángulo de talud natural. (Gallegos C., 2006), es por esto que Coulomb desarrolla una ecuación para la superficie de falla crítica del empuje activo sobre un muro de contención de un suelo sin cohesión definiendo un coeficiente de empuje activo para el cálculo de la presión activa que genera el suelo sobre el muro, el cual se aprecia a continuación:

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta * \cos(\delta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \phi)\text{sen}(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \theta)\cos(\beta - \phi)}} \right]^2}$$

$$P_A = 0.5K_A * \gamma * H^2$$

Donde:

γ : Peso específico del suelo.

ϕ : Coeficiente de fricción interna del suelo.

θ : Ángulo que forma la pared interior del muro con la vertical.

δ : Ángulo de fricción entre el muro y el suelo.

β : Ángulo que forma la superficie del suelo con la horizontal.

K_A : Coeficiente de presión Activa del suelo.

P_A : Presión activa del suelo.

H : Altura del muro.

3.2.2 Teoría de Rankine

Según Gallegos C. (2006), en esta teoría Rankine (1857) supone que el suelo es homogéneo, y que se encuentra en un estado de equilibrio plástico, no se consideran fuerzas de

fricción entre el suelo y el muro, y el relleno puede ser inclinado. Con estas consideraciones logro simplificar el problema, y llego a obtener las siguientes ecuaciones:

Presión Activa:

$$K_A = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma * H^2 * \left[\frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi} \right]$$

3.2.3 Método de Mononobe-Okabe (M-O)

Según Nina R. (2017), nos dice que:

Okabe (1926) y Mononobe y Matsuo (1929) desarrollaron las bases del análisis pseudoestático de los empujes producidos por un sismo en una estructura de retención de tierras, lo que se conoce popularmente como el método de Mononobe y Okabe (M-O). Este método, simple y directo, ha sido ampliamente utilizado por los diseñadores debido a que estudios experimentales y teóricos han mostrado que da resultados satisfactorios. Es el método más antiguo utilizado para determinar la presión lateral dinámica de tierras (activa y pasiva) sobre una estructura de retención y a su vez es una derivación del método de Coulomb en donde se le agregan a éste una fuerza vertical y una fuerza horizontal de inercia debidas a la carga sísmica pseudoestático.

3.2.4 Tipos de empujes en muros de contención

Según Gallegos C. (2006), dice que: “el empuje es la presión ejercida por el suelo contra el muro de contención o viceversa y depende de la inclinación del muro, las propiedades del suelo, y la ubicación del nivel freático”. Los tipos de empujes son:

Empuje Activo. Es la presión ejercida por el suelo contra el muro de contención. En este caso, también se incluye al empuje activo las presiones que generan las sobrecargas por vías o construcciones sobre el terreno para el cual se hace el muro.

Empuje Pasivo. Es la presión ejercida por el muro de contención contra el suelo. En este caso ese tipo de presiones pasivas es causada por modificaciones en la estabilización de la base o por cargas sísmicas, ya que según Álvarez y Saurith (2010), “el comportamiento sísmico de los muros de contención depende de la presión lateral total del suelo que se desarrolla durante el movimiento sísmico”.

3.3 Marco Conceptual

A continuación, se relacionan los conceptos más relevantes necesarios para la comprensión de los muros de contención:

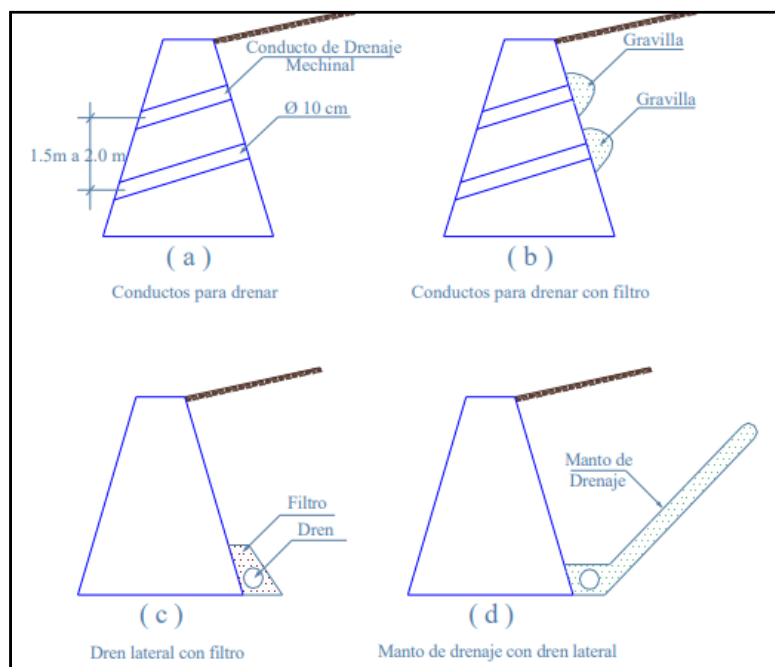
Presión hidrostática. Además de las presiones activa y pasiva del suelo, puede presentarse el empuje o presión hidrostática, la cual se produce por la acumulación de agua en la

masa de suelo que genera un aumento en el peso del muro que no estuvo previsto al inicio del proyecto.

Drenaje. Es la evacuación de agua que se filtra mantener el suelo seco. Existen dos métodos para que se pueden utilizar que son: Sacar el agua del relleno o mantener el agua fuera del relleno. A continuación, en la figura 25 se puede apreciar los tipos de drenaje para muros de contención.

Figura 25

Esquema de drenajes en muros



Nota. Tomado de (Gallegos C., 2006)

Concreto. (Abanto, 2009, pág. 11). "El concreto es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia". Concreto = Cemento Portland

+Agregados+ Aire+ Agua “El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto”. (Rosales A., 2018)

Acero de Refuerzo. (Morales, 2008, pág. 7), “El acero de refuerzo en concreto armado son varillas de sección redonda, las cuales tienen corrugaciones cuyo fin es restringir el movimiento longitudinal de las varillas relativo al concreto que las rodea”. 2.2.2.5 Concreto Reforzado (McCormac & H. Brown, 2011, pág. 01) (16), “El concreto reforzado es una combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a la tensión de que carece el concreto” (Rosales A., 2018)

Muros de Contención. (Morales Morales, 2008, pág. 180) (15), “Un muro de contención es una estructura que proporciona soporte lateral a una masa de material, y en algunos casos soporta cargas verticales adicionales”. (Rosales A., 2018)

Muros en voladizo o en ménsula. (Torres Belandria, 2008, pág. 5) (17). “Este tipo de muro resiste el empuje de tierra promedio de la acción en voladizo de una pantalla vertical empotrada en una losa horizontal(zapata), ambos adecuadamente reforzados para resistir los momentos y fuerzas cortantes a que están sujetos”. (Rosales A., 2018)

Dimensionamiento de muros de retención. (Torres Belandria, 2008, pág. 37) (17), “El redimensionado de los muros de contención en voladizo se hace en función de la altura H del

muro, pueden ser necesarias varias iteraciones si se pretende lograr la estabilidad y la optimización de la estructura. (Rosales A., 2018)

3.4 Marco legal

Con relación a la normatividad vigente que rige la construcción de muros de contención se puede mencionar lo siguiente:

Reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR-10. Debido que los muros de construcción son elementos de concreto reforzado, para su construcción y control técnico se debe tener cuenta el Título B, para la evaluación de cargas y el Título C, para el concreto reforzado, para el diseño del acero de refuerzo, recubrimiento y acero mínimo por retracción y temperatura.

Título C.14 – Muros NSR-10. Las disposiciones del Capítulo C.14 deben aplicarse al diseño de muros sometidos a carga axial, con o sin flexión. C.14.1.2 — Los muros de contención en voladizo se diseñan de acuerdo con las disposiciones de diseño por flexión del Capítulo C.10, con un refuerzo horizontal mínimo de acuerdo con C.14.3.3. Esto quiere decir que el refuerzo vertical de los muros de contención se diseña en base a lo estipulado en el Capítulo C.10 de la NSR-10, y el refuerzo longitudinal de los muros se diseña en base a lo estipulado en el C.14.3.3 de la NSR-10.

Título C.7.12 – NSR-10 — Refuerzo de retracción y temperatura. C.7.12.2.1 — La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero no menos que 0.0014:

- (a) En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 280 o 3500.0020.
- (b) En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 420 o refuerzo electrosoldado de alambre 0.0018.
- (c) En losas donde se utilice refuerzo de una resistencia a la fluencia mayor que 420 MPa, medida a una deformación unitaria de 0.35 por ciento $(0.0018 * 420) / f_y$.

Título C.10.5.4 – NSR-10. Para losas estructurales y zapatas de espesor uniforme, el acero de refuerzo mínimo en la dirección de la luz debe ser el mismo requerido por C.7.12.2.1. El espaciamiento máximo de este refuerzo no debe exceder tres veces el espesor, ni 450 mm. En este caso aplica para construcción de muros, ya que viendo el muro desde otro punto de vista trabaja como una losa o como una viga.

Título C.14.3.3 – NSR-10. La cuantía mínima para refuerzo horizontal, ρ_t , es:

- (a) 0.0020 para barras corrugadas no mayores que No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm) con f_y no menor que 420 MPa, o
- (b) 0.0025 para otras barras corrugadas, o
- (c) 0.0020 para refuerzo electrosoldado de alambre (liso o corrugado) no mayor que MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro).

Resolución No.10133 del 28 de diciembre de 2017. Por el cual se adopta la Cartilla Guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuestos para la construcción de obras menores y de contención de la Red Terciaria y Férrea del Instituto Nacional de Vías. En este manual se contempla el diseño y recomendación de un muro en voladizo incluyendo el despiece del acero de refuerzo. De igual forma también se contempla el diseño tipo de un muro en gavión y un muro estabilizado mecánicamente.

Norma De Construcción De Muros De Contención EPM. Esta norma contiene los parámetros en cuanto a especificaciones técnicas para la construcción de muros en concreto simple y muros en concreto reforzado, al igual que para muros en gaviones.

Norma Colombiana de diseño de puentes CCP-14. En su capítulo 11, trata sobre los parámetros necesarios para el de muros de contención, pilas y estribos. El diseño de los estribos, pilas y muros debe satisfacer el Artículo 11.5.2 para el estado límite de servicio y los criterios especificados en el Artículo 11.5.3 para el estado límite de resistencia.

Norma CCP-14-11.5.3 – Estado límite de resistencia – Los estribos, muros de contención y pilas se deben investigar en los estados límites de resistencia utilizando la ecuación 1.3.2.1-1 para:

- * Falla por capacidad de carga,
- * Deslizamiento lateral,
- * Pérdida de contacto en la base debido a la excentricidad de la carga,

- * Falla por arrancamiento de los anclajes o refuerzos del suelo, y
- * Falla estructural.

Ley 400 de 1997 Capítulo 2. Dice que:

El diseñador debe ser un ingeniero civil cuando se trate de diseños estructurales y estudios geotécnicos, y un arquitecto, ingeniero civil o mecánico en el caso de diseño de elementos no estructurales; éstos deben tener matrícula profesional y acreditar ante la comisión Asesora Permanente para el Régimen de Constructores Sismo Resistentes la experiencia e idoneidad en las siguientes disposiciones.

- Posgrado o 5 años de experiencia en el área de estructuras para diseñadores estructurales.
- Experiencia de 5 años contados a partir de la expedición de la tarjeta profesional en diseño geotécnico o acreditar posgrado en el área geotécnica para ingenieros geotecnias.
- Experiencia de 3 años en una o varias actividades de construcción o acreditar posgrado en el área de estructuras o ingeniería sísmica.

NTC-3318 Producción de Concreto. Esta norma establece las especificaciones para la producción de concreto, considerando que el concreto se entrega a la obra en estado fresco. Los requisitos para la calidad del concreto deben ser los especificados en esta norma o los especificados por el cliente. Cuando existan diferencias entre las dos especificaciones, deben primar las del cliente siguiendo los métodos de evaluación de las Normas Técnicas Colombianas.

Capítulo 4. Controles técnicos para la construcción de muros de contención en el mejoramiento de vías rurales y urbanas

Con relación a los controles técnicos necesarios para llevar a cabo la supervisión técnica a la hora de construir un muro de contención, es importante resaltar que, debido a la gran variedad de muros de contención, el presente capítulo se realiza se enfoca primordialmente para la construcción de muros en voladizo, ya que este es uno de los muros más utilizados que requiere de estudios especializados y de una supervisión para su correcta construcción. A continuación, mediante los siguientes literales se describen desde el punto de vista de la supervisión, los controles técnicos más importantes que se deben hacer seguimiento a la hora de construir un muro de contención en voladizo.

4.1 Estudios previos

Cuando el proyecto se encuentre en la etapa de Preconstrucción es necesario realizar una verificación de los estudios previos. En especial se debe verificar los estudios de suelos realizados. En este caso se debe verificar que la toma de muestras para ensayos de laboratorio se realice en el área del suelo donde se ubicara la cimentación del muro de contención, como también en la masa de suelo a contener.

De acuerdo a lo anterior es importante resaltar que las propiedades físicas y mecánicas de un suelo pueden variar de un lugar a otro por más aproximación que se tenga, por lo que es importante realizar ensayos, tanto para el talud a contener como para la base de cimentación.

Con relación a la realización de los estudios de suelos o geotécnicos, se deben realizar teniendo en cuenta los lineamientos del Título H de la NSR-10, de igual forma se debe verificar la zona de amenaza sísmica donde se localiza el muro de acuerdo a lo estipulado en el Título A de la NSR-10. Cuando la zona donde se tiene prevista la construcción de un muro de contención es de amenaza sísmica alta, se recomienda realizar un estudio geotécnico y solicitar al geotecnista un reporte geológico del sitio de obra, con su respectivo análisis, para poder determinar que cargas externas pueden influir en la resistencia del muro. Es importante resaltar que cuando se realiza un reporte geológico, debe ser un geotecnista quien haga el análisis respectivo de la información, ya que por lo general un ingeniero civil o estructural no está en capacidad de interpretar un estudio geológico.

Con respecto al control técnico en la verificación de los diseños, se deben conocer memorias de cálculo y planos a detalle de las secciones del muro y acero de refuerzo firmadas por un Ingeniero Estructural. Estos diseños y memorias, deben ser realizadas por un ingeniero civil con posgrado en estructuras o que acredite 5 años de experiencia en el área de estructuras para diseñadores estructurales, cumpliendo de acuerdo a lo estipulado en el Capítulo 2 de la Ley 400 de 1997.

4.2 Localización y replanteo de la cimentación

Luego de terminada la etapa de Preconstrucción en donde se verifican todos los estudios previos se procede a la etapa de Construcción y su respectiva supervisión. Para la localización y replanteo de la cimentación del muro de contención, inicialmente se debe limpiar perfectamente el terreno, retirando maleza, plantas y todo obstáculo que impida llevar a cabo el trazo correcto

de los ejes de construcción; se debe localizar el área específica del muro a construir y un área adicional de construcción para el manejo de los trabajadores; esta etapa por lo general incluye excavaciones las cuales pueden ser manuales o mecánicas dependiendo del volumen de terreno a remover.

4.2.1 Verificación de equipos topográficos

Para la toma de niveles y localización del área de terreno que servirá de apoyo para la cimentación del muro, dependiendo de la importancia y magnitud del proyecto se deben utilizar equipos topográficos de medida. Se recomienda utilizar Estación Total, la cual debe estar previamente calibrada, por lo que, en obra, se debe verificar que el equipo cuente con certificado de calibración vigente, el cual para fines de seguimiento técnico se debe corroborar que el número de serie del equipo topográfico que se encuentra en obra coincida con la información suministrada por dicho certificado.

4.2.2 Excavaciones y compactación del área de cimentación

Cuando sea necesario realizar excavaciones para definir los niveles de cimentación del muro de contención se debe verificar en obra que no se realice una sobre excavación, ya que de presentarse se incurre en un sobre costo del proyecto no planeado que deberá ser asumido por el constructor. Por otra parte, de acuerdo a las condiciones del terreno encontradas en obra luego de realizada la excavación para la cimentación, se debe realizar una compactación mecánica utilizando vibro compactadores manuales (rana o saltarín), hasta obtener la resistencia recomendada según el estudio de suelos.

4.3 Control técnico del acero de refuerzo

El acero de refuerzo para la construcción de un muro de contención se puede clasificar en acero de refuerzo para la cimentación y acero de refuerzo para el vástago del muro. El acero de refuerzo desde que se recibe en obra se debe verificar que se encuentre almacenado correctamente, alejado del suelo y cubierto para evitar corrosión. De igual forma se debe verificar que el acero de refuerzo cuente con la certificación de calidad pertinente.

4.3.1 Acero de refuerzo para la cimentación

El acero de refuerzo para la cimentación de un muro de contención es muy similar a la de una zapata común, con la diferencia de que en este caso la zapata es lineal. En obra se debe verificar que el acero de refuerzo se esté colocando de acuerdo a lo dispuesto en los planos de diseño del proyecto, de igual forma es importante verificar constantemente el recubrimiento de protección para concreto, el cual se recomienda de 75 mm, siguiendo los lineamientos del reglamento Título C.7.7 NSR-10. Para los empalmes o traslapos del acero de refuerzo se debe verificar que cumpla con lo estipulado en el Título C.12 de la NSR-10.

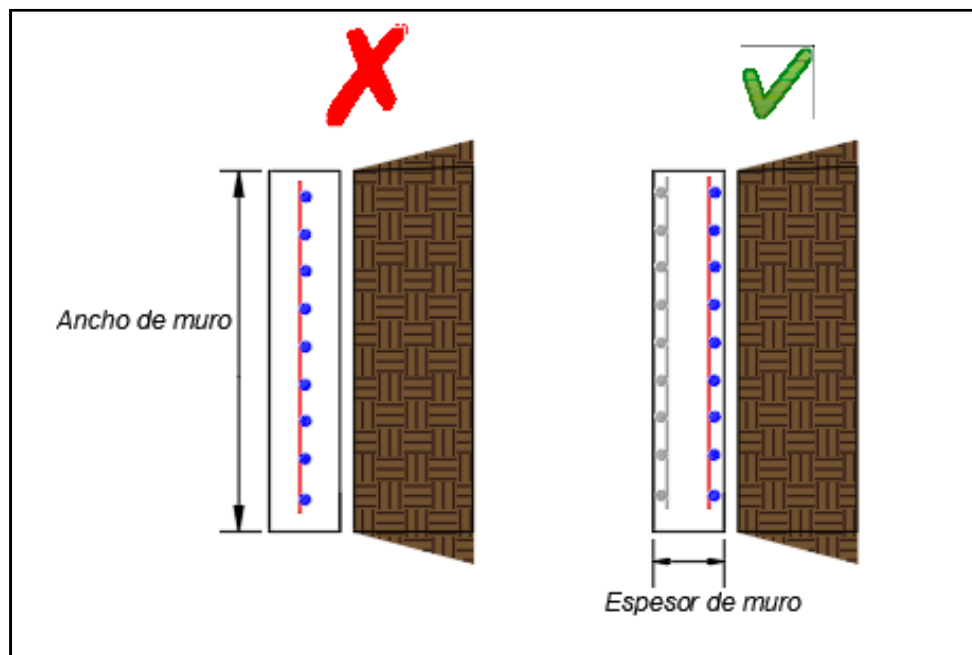
4.3.2 Acero de refuerzo para el vástago del muro

Al igual que para la cimentación se debe conservar un recubrimiento de 75 mm. Se debe verificar que se cumpla en obra la distribución de aceros de refuerzo de acuerdo a lo estipulado en planos. Se debe tener especial cuidado en la longitud de desarrollo del acero principal del muro, ya que esta se mide longitudinalmente paralelo al acero principal.

Con relación a la distribución del acero principal del vástago, cuando este no venga específico en plano de que se debe usar a doble capa, es importante verificar que el acero no se coloque en la mitad del espesor del muro de contención, ya que se pierde brazo de palanca en el acero de refuerzo disminuyendo así la resistencia del concreto del muro, puesto que no va a existir una distribución uniforme de los esfuerzos a compresión según la teoría del bloque de whitney. De acuerdo a lo anterior el acero de refuerzo siempre debe ir en los bordes respetando siempre el recubrimiento de protección del concreto. Para una mayor claridad en el concepto, en la figura 26 se observa la vista en planta de un muro de contención en voladizo, en donde de color azul se representa el acero principal y de color rojo el acero transversal de retracción y temperatura. Se relaciona la forma incorrecta y correcta de colocar el acero.

Figura 26

Distribución de acero principal en un muro de contención



Nota. La figura muestra la forma correcta e incorrecta de la distribución de acero principal en un muro de contención.

4.4 Control técnico del concreto

Para el concreto a utilizar en obra se debe verificar que se cuente con el diseño de mezclas de acuerdo a la resistencia del concreto estipulado en planos según el diseño estructural del muro. Se recomienda usar concreto premezclado producido en planta, en caso de no ser posible se debe utilizar en obra mezcladora para la preparación de la mezcla. Antes de dar aprobación a una mezcla de concreto se debe verificar in situ el asentamiento del concreto mediante cono slump. Antes de dar aprobación para comenzar la fundida del muro, se debe verificar en obra que se cuente con vibrador de concreto.

4.4.1 Cemento

Como parte del control técnico de la mezcla de concreto se debe verificar la calidad del mismo, por lo que el cemento que se recibe en obra debe contar con su respectiva certificación de calidad en donde cumpla con las normas técnicas NTC 121 y NTC 321; su almacenamiento se debe realizar evitándose que el cemento absorba humedad.

4.4.2 Agregados

Se debe verificar en obra que los agregados recibidos cumplan con las especificaciones de acuerdo al diseño de mezcla. Es importante verificar que los agregados sean provenientes de una cantera que cuente con Título Minero y Licencia ambiental vigente.

4.5 Control técnico de encofrado del muro

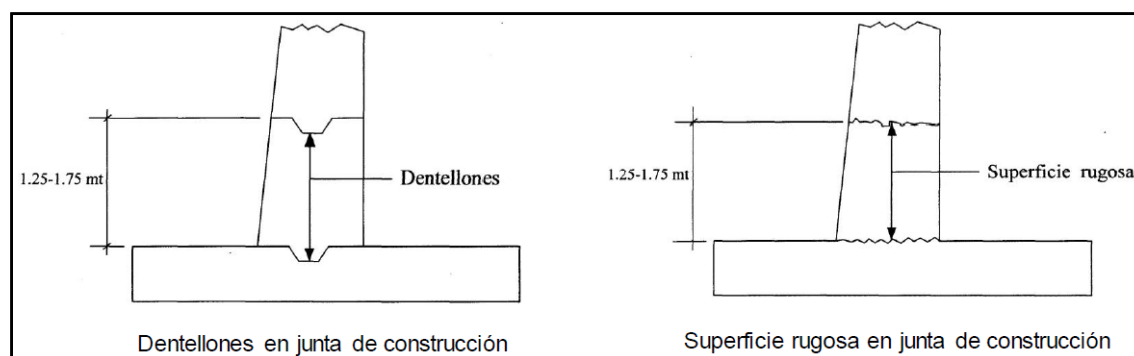
Para las formaletas del muro de contención se recomienda que se utilicen formaletas metálicas. Se debe verificar en obra que las formaletas estén ajustadas a las dimensiones del muro de acuerdo a los planos del proyecto. Las formaletas deben estar lo suficientemente ajustadas, de manera que puedan soportar el concreto sin dar lugar a deformaciones. Cuando se utilicen formaletas metálicas se puede verificar su diseño según lo establecido por la norma ACI-347. Para el uso de formaletas en madera, se recomienda usar madera de primera y no reutilizarla.

4.6 Control técnico de juntas

En vista de que durante el proceso constructivo de un muro de contención debido a los volúmenes de concreto a utilizar es necesario realizarlo en varias etapas, se generan juntas frías para la fundida del vástago del muro, por lo cual se pueden realizar dentellones o dejar una superficie rugosa y usar aditivos epóxicos para las juntas de concreto fresco con concreto seco.

Figura 27

Juntas en muros de contención



Nota. Tomado de (Cortez y Rivera, 2004)

4.7 Ensayos de laboratorio

Con relación al control de ensayos de laboratorio, se deben realizar de acuerdo a lo dispuesto con los requisitos C.5.6.2 a C.5.6.5 de la norma NSR-10. Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 por 300 mm o de al menos tres probetas de 100 por 200 mm, preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo establecida para determinar la resistencia del concreto. (C.5.6.2.4 NSR-10). Se recomienda realizar una muestra de ensayo a compresión cada metro cubico de concreto fundido.

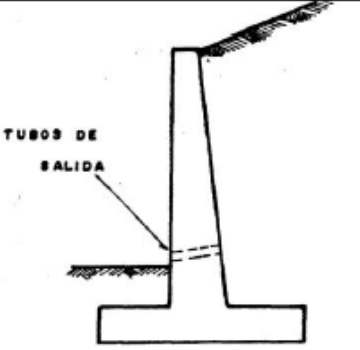
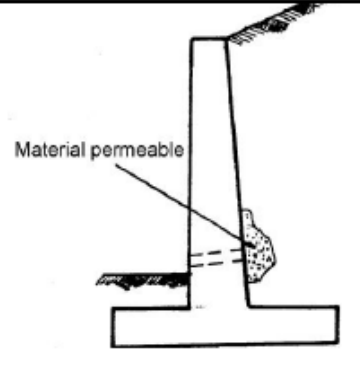
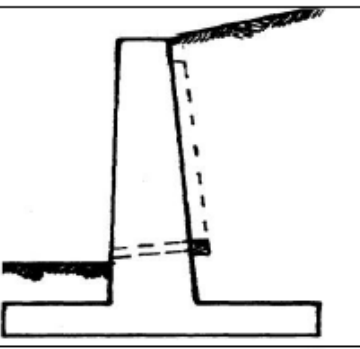
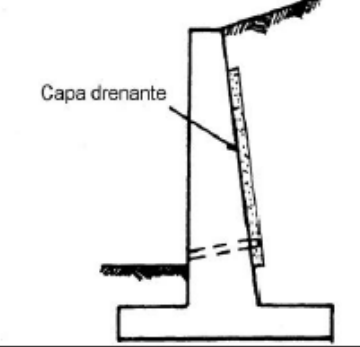
4.8 Control técnico de drenajes

El muro de contención debe contar con drenajes para evitar la sobrepresión del relleno a contener, por lo que se deben usar lloraderos para el desagüe. Se recomienda que el uso de lloraderos y filtros para el muro, sean diseñados por un ingeniero hidráulico. En caso de no contar con el concepto de un especialista hidráulico, se recomienda usar lloraderos de diámetro mínimo 4 pulgadas espaciados a 2 metros tanto horizontal como verticalmente. En el respaldo del muro es importante hacer filtros franceses o colocar una capa de grava para que faciliten el flujo de agua hacia los lloraderos o tuberías de desagüe.

Para obtener una mejor comprensión sobre los tipos de drenajes y el control técnico que se puede aplicar de acuerdo a su descripción y características, se puede apreciar mediante la figura 28.

Figura 28

Tipos de drenajes en muros de contención

Dispositivo de drenaje	Nombre y descripción	Características
 <p>TUBOS DE SALIDA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dren con tubos de salida: son tubos que atraviesan el muro permitiendo evacuar el agua filtrada y su construcción paralela al avance en altura del muro. 	<ul style="list-style-type: none"> • El diámetro de estos es variable, dependiendo del tipo de suelo de relleno, tomando como mínimo 4 pulgadas. • La separación máxima horizontal y vertical es de 1.5m. • Se colocan sin material filtrante para casos en los cuales el relleno es muy permeable (pedacería de roca o grava).
 <p>Material permeable</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de salida con material permeable. Al igual que los anteriores son tubos que atraviesan el muro permitiendo evacuar el agua filtrada y su construcción paralela al avance en altura del muro, con la diferencia, que en la entrada de cada uno de los tubos se coloca cierta cantidad de material granular muy permeable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su construcción es conveniente en rellenos de alta permeabilidad (material granular sin finos). • Tiene el inconveniente que los finos contenidos en el relleno pueden ser arrastrados hasta llenar los huecos del material permeable contaminándolo e inutilizándolo.
	<ul style="list-style-type: none"> • Drenes continuos: consisten en drenes horizontales que unen las entradas de los tubos de salida (o que sustituyen a estos cuando se eliminan o se obstruyen) y que descargan lateralmente afuera del muro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando la descarga se haga lateralmente, afuera del muro, se evita el problema de verter el agua en la base del muro, humedeciendo el suelo en una zona que conviene mantener seca.
 <p>Capa drenante</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Capa continua drenante con capas continuas que se colocan cubriendo todo el respaldo del muro. En la actualidad, se utiliza mucho esta capa, en conjunto, con un colector en la parte inferior. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite que el muro quede impermeabilizado evitando los posibles efectos negativos que el agua le puede ocasionar a la estructura, principalmente aumento de presiones internas que serán más severas durante el invierno.

Nota. Tomado de (Cortez y Rivera, 2004)

Capítulo 5. Controles administrativos y financieros necesarios para la construcción de muros de contención en el mejoramiento de vías rurales y urbanas

En lo referente a los controles administrativos y financieros que son necesarios para la construcción de muros de contención al igual que en capítulo anterior se estiman desde el punto de vista de la supervisión para la construcción de muros de contención en voladizo, toda vez que son el tipo de muros que requieren de estudios especializados, como también de una planeación y análisis de costos previos.

5.1 Controles administrativos

“La Administración, es la integración dinámica y óptima de las funciones de planeación, organización, dirección y control para alcanzar el fin de unidad en los proyectos, de la manera más económica y en el menor tiempo posible” (Cortez y Rivera, 2004). Los controles administrativos mencionados a continuación no representan la totalidad de los parámetros administrativos que se pueden llegar a presentar en un proyecto de construcción, sin embargo, relacionan los parámetros mínimos necesarios para la administración de este tipo de proyectos.

-Programación del proyecto: Como parte del control administrativo, se debe definir en tiempo y alcance la duración de la ejecución del proyecto, tanto para la etapa de Preconstrucción como para la etapa de obra. Para la etapa de obra o construcción se debe verificar el cumplimiento del avance físico de obra de acuerdo a la programación propuesta.

- Personal de obra: Antes de iniciar el proyecto, se debe evaluar y contratar al personal profesional de obra, como también, se debe verificar que el maestro de obra tenga la experiencia necesaria para este tipo de proyectos. El personal de obra se debe verificar una vez se inicie la etapa de construcción, se debe verificar además que el personal de obra maestro y ayudantes de construcción, cuenten con las prestaciones de ley de acuerdo a lo estipulado en el código sustantivo del trabajo.

- Actas de Vecindad: Antes de iniciar la etapa de obra, si la construcción se desarrollara dentro del área urbana, se debe verificar que no sea necesario la realización de actas de vecindad, de ser necesario se deben realizar antes de comenzar actividades en obra.

- Pólizas: A pesar de que el requerimiento de pólizas por lo general se hace necesario para proyectos financiados con recursos públicos, para el sector privado, aunque no es necesario, si es importante asegurar la inversión o alguna eventualidad durante la construcción, por lo que se recomienda la compra de pólizas para el proyecto antes de iniciar la obra.

-Bitácora de obra: Como parte de los controles administrativos de un proyecto de construcción, se debe verificar que existe en obra un libro de actas donde se registran la totalidad de las actividades realizadas diariamente.

-Informes de seguimiento: De acuerdo a la magnitud del proyecto, cuando se trate de muros de contención que tengan previsto en su ejecución más de un mes, es necesario llevar un control mediante informes de seguimiento mensual, quincenal y semanal.

-Registro fotográfico: Se debe verificar que exista un registro fotográfico de cada una de las actividades ejecutadas durante la etapa de obra del proyecto.

5.2 Controles financieros

Con relación a los controles financieros que genera este tipo de proyectos, antes de dar aprobación a la obra, se debe verificar que exista un presupuesto con la discriminación de las cantidades de obra para cada una de las actividades propuestas de acuerdo a la programación planeada para el proyecto.

En este caso con relación al precio de los materiales de construcción si la etapa de obra se realiza mucho tiempo después que la etapa de Preconstrucción, a la hora de comenzar con las actividades y con la compra de materiales, se pueden obtener variaciones en los precios que pueden ser más elevados, ya que al hacer los estudios previos, las cotizaciones de los precios son diferentes a la hora de realizar la compra.

Antes de dar inicio a las actividades de obra, se debe verificar que se encuentren los análisis de precios unitarios APU, firmados por el director del proyecto o constructor.

A pesar de que se contempla una planeación y programación de obra estipulada en los estudios previos, a la hora de comenzar la etapa de construcción, se pueden presentar imprevistos o actividades no previstas, por lo que se debe verificar que se presenten nuevos análisis de precios unitarios, para esas actividades no previstas.

Se debe verificar que exista un desglose de actividades y precios de costos indirectos que se generan con la realización del proyecto.

Se debe llevar un control de las cantidades de obras ejecutadas para no sobrepasar las cantidades de obra establecidas en el presupuesto general del proyecto, en llegado caso de que sean superiores las cantidades ejecutadas a las cantidades programadas, se debe contar con previa aprobación del supervisor que avale dichas cantidades demás, mediante un documento de balance presupuestal o Acta de modificación de cantidades de obra.

Como parte de los controles financieros propuestos para un proyecto de construcción de muros de contención es importante verificar en obra que los materiales y herramientas a utilizar concuerden con lo establecido en los análisis de precios unitarios, de no cumplir con esta similitud, se procede a rechazar el uso en obra o a modificar los análisis de precios unitarios y posteriormente el valor presupuestal.

Capítulo 6. Lista de criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero, en muros de contención para el mejoramiento de vías rurales y urbanas

Los muros de contención son estructuras que ayudan a contener terrenos en peligro de remoción en masa, dada su importancia es necesario realizar una supervisión para este tipo de construcciones, que garantice su estabilidad en el tiempo. A continuación, se relacionan los criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero en muros de contención en voladizo para el mejoramiento de vías rurales y urbanas. Se hace referencia solo a los muros de contención en voladizo, ya que son los tipos de muros que requieren de estudios especializados y personal capacitado para su construcción. El análisis particular para los demás tipos de muros realizados bajo distintas metodologías, queda abierto a futuras investigaciones.

Tabla 1

Criterios para el seguimiento y control técnico, administrativo y financiero

Muro de Contención en concreto reforzado (voladizo)		
Tipo de control	Descripción	Criterio de supervisión
Control Técnico	Estudios Previos	<ul style="list-style-type: none"> -Verificar que el estudio de suelos se realice en el área de cimentación y en el talud a contener. -Verificar que los planos y diseño estructural sean realizados por un profesional especialista o con experiencia superior a 5 años en diseño estructural.
	Cimentación	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar en obra certificación de calibración de equipos topográficos utilizados para la localización y nivelación del terreno a nivel de cimentación. -Verificar compactación del terreno del suelo de cimentación.

Tabla 1 Continuación

Muro de Contención en concreto reforzado (voladizo)		
Tipo de control	Descripción	Criterio de supervisión
Control Técnico	Acero de refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar traslapos y longitud de desarrollo en cimiento y vástago del muro según Título C.12 NSR-10. -La longitud de desarrollo de acero longitudinal del vástago debe ser vertical o paralelo al acero longitudinal no se incluye ganchos como parte de la longitud de desarrollo, ya que así se garantiza que no se fisure el vástago del muro en la base. - Verificar recubrimiento recomendado de 75mm o lo estipulado en la norma Título C.7.7 NSR-10. Tanto para el vástago como para el cimiento. - Colocar acero de refuerzo a doble capa para el vástago del muro para resistir fuerzas activas y pasivas.
	Concreto	<ul style="list-style-type: none"> - Verificación del diseño de mezclas. - Verificación correcto almacenamiento del cemento. - Debe existir certificado de calidad por parte del proveedor de cemento. - Agregado grueso y fino se debe verificar que cumplan con el diseño de mezclas. - Verificar licencia ambiental y título minero vigente del proveedor de los agregados.
	Encofrado	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que las formaletas en encuentren en buen estado y no estén torcidas. - Verificar durante el armado de las formaletas, que estén bien ajustadas y ancladas.
	Juntas	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el tipo de junta fría si es por dentellón o por superficie rugosa. - Verificar el uso de adhesivo epóxico para empalme de concreto fresco con concreto endurecido. Se recomienda producto Sikadur-32 Primer.
	Ensayos de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar ensayo de asentamiento de cono slump in situ, para ver si cumple con lo establecido en el diseño de mezclas. -Realizar toma de muestras de cilindros diariamente para ensayar en laboratorio.
	Drenajes	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar antes de rellenar el respaldo del muro, que se coloque una camada de grava o filtro para el desagüe del agua. No aprobar ninguna construcción sin drenaje.

Tabla 1 Continuación

Muro de Contención en concreto reforzado (voladizo)		
Tipo de control	Descripción	Criterio de supervisión
Control Administrativo	Aspectos administrativos	<ul style="list-style-type: none"> - Verificación programación de obra. - Verificar experiencia del personal profesional y personal operativo de obra. - Verificar estado de Pólizas vigentes del proyecto. - Para vías urbanas, verificar si es necesario realizar actas de vecindad, antes de comenzar la ejecución del proyecto. - Verificar la existencia de Bitácora de obra. - Verificar la existencia de Registro fotográfico.
Control Financiero	Aspectos financieros	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el presupuesto propuesto para la ejecución del proyecto. - Verificar la existencia de los análisis de precios unitarios. - Verificar en obra que los materiales y herramientas coincidan con lo establecido en el análisis de precios unitario. - Llevar un control semanal de las cantidades de obra ejecutadas para verificar que no sobrepasen las cantidades planeadas.

Nota. La tabla muestra los criterios mínimos necesarios para la supervisión técnica, administrativa y financiera en muros de contención en voladizo, la mayoría de criterios pueden aplicar para muros en general. Fuente: Autores del proyecto.

Conclusiones

En conclusión, los controles técnicos realizados en esta investigación están enfocados primordialmente para muros de contención en voladizo, pero de forma generalizada aplican para la construcción de cualquier muro de contención de estructura rígida. De igual forma los controles administrativos y financieros también aplican para cualquier tipo de muro de contención. Los parámetros establecidos están orientados a la supervisión de obra.

Con relación a las generalidades de los muros de contención se recomienda el uso de llantas como medio económico y sustentable para la realización de muros de contención, puesto que debido a su utilidad se pudo evidenciar que tanto a nivel nacional como internacional existe mucha investigación e información sobre el tema, ya que no requiere de estudios especializados para realizar este tipo de muros, sin embargo queda la duda del cumplimiento de parámetros normativos puesto que de acuerdo a la compilación de información en esta investigación no se registra norma alguna que regule la construcción de muros flexibles con llantas recicladas. No obstante, de acuerdo a las distintas metodologías descritas se recomienda el uso de llantas recicladas y amarradas entre sí, con bandas en geomalla para obtener un muro mecánicamente estabilizado. La ventaja de este tipo de muros es que cualquier persona con poca experiencia y sin conocimientos especializados puede construirlo.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación se establece que los criterios para la supervisión técnica, administrativa y financiera se enfoca en el seguimiento y control de muros en voladizo, ya que son el tipo de muros de contención que requieren de estudios

especializados, y esto se debe a que llevan un determinado acero de refuerzo que debe ser diseñado por un especialista en el tema en base a estudios geotécnicos.

Los muros de contención y en especial los muros en voladizo, son el tipo de construcciones que deben contar con una supervisión técnica permanente, ya que por lo general cuando se construyen este tipo de muros para vías terciarias la mano de obra utilizada corresponde a la disponible en la zona de influencia del proyecto, lo que se puede prestar para cometer errores en el armado y figurado del acero de refuerzo, el cual es el pilar más importante que garantiza la estabilidad y durabilidad de un muro de contención en voladizo.

Los proyectos de construcción de muros de contención son una necesidad latente en muchas de las regiones del territorio colombiano que presentan una topografía con gran variedad de laderas, es por esta razón que se debe realizar más investigación para la innovación de nuevos materiales que tengan las mismas utilidades y que sirvan para mejorar el estado actual de muchas de las carreteras del país que se bloquean a causa de derrumbes o deslizamientos de tierra por falta de muros de contención.

Referencias

- Agudelo J. (2017). *Cómo calcular placas o vigas de anclaje para pantallas en terreno arenoso*. Estructurando.net. <https://estructurando.net/2017/05/17/calcular-placas-vigas-anclaje-pantallas-terreno-arenoso/>
- Aguilera E. (2017). *Estructuras de contención*. DOCPLAYER. <https://docplayer.es/95540692-Estructuras-de-contencion-resistir-las-fuerza-ejercidas-por-la-tierra-contenida-evitar-el-movimiento-lateral-del-suelo.html>
- Álvarez y Saurith (2010). *Estudio comparativo entre sistemas de muros de contención de tierra mecánicamente estabilizada con geosintéticos y muros de concreto reforzado*. [Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional UIS. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/134741.pdf>
- Anónimo (2013). *Muros de Contención: Objetivo y Clasificación*. La cueva del Ingeniero civil. <https://www.cuevadelcivil.com/2013/03/muros-de-contencion.html>
- Antúnez B. (2019). *Manual de Construcción y Mantenimiento de Muro de Llantas en Barrios Populares de Tegucigalpa*. Banco Interamericano de Desarrollo iadb.org. https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Manual_de_construcci%C3%B3n_y_mantenimiento_de_muro_de_llantas_en_barrios_populares_de_Tegucigalpa_es.pdf

Báez y Echeverri (2015). *Diseño de estructuras de contención considerando interacción suelo-estructura*. [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriana.

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21408/BaezLozadaLuisCarlos2016.pdf?sequence=1>

Barros, Sarabia, Valdés, Serrano y Gaytan (2019). Muro de contención construido con neumáticos estabilizados mecánicamente. *SciELO Analytics*.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732019000300252#aff1

Coronel y Tavera (2010). *Lecciones aprendidas en la estabilización de taludes con pantallas ancladas*. [Tesis de posgrado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio Institucional UPB.

https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1237/digital_19981.pdf?sequence=1

Cortez y Rivera (2004). *Manual de procesos constructivos y diseño de muros de retención*.

[Tesis de Pregrado, Universidad del Salvador]. Repositorio Institucional UES.

http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2095/1/Manual_de_procesos_constructivos_y_dise%C3%B1o_de_muros_de_retenci%C3%B3n.pdf

Departamento Nacional de Planeación (2018). *Mejoramiento de vías terciarias - vías de tercer orden*. <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viasterciarias/ptviasterciarias.pdf>

Empresas Públicas de Medellín EPM (2017). *Norma de Construcción de Muros de Contención*. <https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/2017/NC-MN-OC07-08%20Muros%20de%20contenci%C3%B3n.pdf>

E-Struc (2019). *Muros de contención con talón o sin talón*. <https://e-estruc.com/2019/05/28/muros-de-contencion-con-talon-o-sin-talon/>

Gallegos C. (2006). *Guía multimedia para el diseño de muros a gravedad, muros en cantiléver y muros con contrafuertes*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica De Ambato]. Repositorio Institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2206/1/Tesis%20478%20-%20Gallegos%20Campos%20Christian%20Germ%C3%A1n.pdf>

Gamboa L. (2020). *Muros* [Video en línea]. Gamboa L. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=fqE2MB9tGSk>

Grupo DEACERO (2014). *Tutorial Construcción - Instalación de Gavión* [Video en línea]. Grupo DEACERO. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ETvVeTwOvgU>

Guerrero P. (2010). *Estado del conocimiento en análisis y diseño en estructuras de contención de acuerdo con el Eurocódigo*. [Tesis de posgrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional UNIANDES.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/11541/u608019.pdf?sequence=1>

Instituto Nacional de Vías [INVIAS] (2017). *Cartilla Guía para la Evaluación de Cantidades y Ejecución de Presupuestos para la Construcción de Obras de la Red Terciaria y Férrea*.
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/11669-cartilla-guia-para-la-evaluacion-de-cantidades-y-ejecucion-de-presupuestos-para-la-construccion-de-obras-de-la-red-terciaria-y-ferrea/file>

International Association of Certified Home Inspectors [InterNACHI] (2009). *Concrete Retaining Wall*.
<https://www.nachi.org/gallery/general-2/concrete-retaining-wall-1>

Ledesma y Garrido (2018). *Diseño Y Propuesta De Implementación De Un Muro De Contención En La Vía De Acceso A La Vereda San Lorenzo*. [Tesis de Posgrado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio Institucional UNIPILOTO.
<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004834.pdf>

López (2017). *Evaluación del Muro de Contención en la avenida Arequipa, pueblo joven La Primavera, Chimbote 2017 – Propuesta de Mejora*. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/12223/lopez_gc.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Transporte Instituto Nacional de Vías (28 de diciembre de 2017). Resolución 10133 de 2017. Por el cual se adopta la Cartilla Guía para la Evaluación de Cantidades y Ejecución de Presupuestos para la Construcción de Obras de la Red Terciaria y Férrea del Instituto Nacional de Vías. <https://doku.pub/documents/resolucion-10133-del-28-de-diciembre-de-2017-30j8458ywzlw>

Nina R. (2017). *Presiones de tierra en muros rígidos sometidos a cargas sísmicas*. [Tesis de posgrado, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional UPCT. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7962/tfm-nin-pre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Norma Técnica Colombiana (2008). *NTC-3318 Producción de Concreto*. EMCALI. <https://www.emcali.com.co/documents/148832/183512/NTC+3318+de+2008.pdf/7cd64afa-d96f-fd8e-36ac-206a73876a2c?t=1532940932296&download=true>

Ochoa y Quiñones (2020). *Elaborar una guía práctica para el cálculo, diseño y control de muros de contención en mampostería confinada y concreto reforzado en voladizo, calibrando resultados con el software SAP 2000*. [Tesis de Pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional UFPSO. <http://repositorio.ufpso.edu.co/bitstream/123456789/2706/1/34313.pdf>

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (2010). *Título C Concreto Estructural*. Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia.

http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_C.pdf

Revista P & C (2009). Muros de contención ecológicos Criblock. *Revistapyc.com*.

<http://revistapyc.com/Articulos/Grupo46/ART-46-B.pdf>

Reyes S. (s.f.). *Muros De Contención Con Contrafuertes*. UDocz.com.

<https://www.udocz.com/co/apuntes/95391/muros-con-contrafuertes>

Rivas L. (2021). *Cómo Evaluar la Estabilidad de un Muro De Contención*. midasoft.com.

<https://www.midasoft.com/latinoamerica/learning/hub/c%C3%B3mo-evaluar-la-estabilidad-de-un-muro-de-contenci%C3%B3n>

Rodríguez O. (2016). *Estandarización de Técnicas de Diseño y Construcción de Muros de*

Tierra Reforzada con Llantas de Desecho. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín]. Repositorio Institucional UNAL.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57245/71389816.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rosales A., (2018). *Determinación y Evaluación de Patologías del Concreto del Muro de*

Contención del Jirón Puquiales del Distrito de Independencia, Provincia De Huaraz,

Región Áncash - 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Los Ángeles De

Chimbote]. Repositorio Institucional ULADECH.

<http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/5371>

Secretaria de Comunicaciones y Transporte (2014). *Guía de Procedimientos y Lineamientos para la Construcción de Muros Mecánicamente Estabilizados*.

<https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Guias/manualMME-20150615.pdf>

Silva O. (s.f.). *Patologías más comunes en Muros de Contención de Concreto*.

360enconcreto.blog. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/patologias-muros-contencion-concreto>

Suarez J. (2009). *Deslizamientos. Técnicas de remediación* (volumen II). Ediciones UIS.

<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion/>

Trinidad H. (2020). *Análisis comparativo de muros de contención para la estabilización de talud en el centro poblado La Candelaria - Huaral, Lima 2019*. [Tesis de pregrado,

Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/53385/Trinidad_SHG-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

TV San Jorge (2018). *Colapso parte del muro construido con llantas en el Barrio Libardo*

Alonso [video en línea]. TV San Jorge. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=NTs-CkvFkt4>

Ucar R. (2002). *Manual de Anclajes en Obras de Tierra*. Editorial Universidad de los Andes

Mérida, Venezuela. [http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-](http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/manual_anclaje/pdf/librocompleto.pdf)

[electronicos/Libros/manual_anclaje/pdf/librocompleto.pdf](http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/manual_anclaje/pdf/librocompleto.pdf)

Yepes V. (2016). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*.

Editorial Universidad Politècnica de València, 202 pp. Ref. 328. ISBN: 978-84-9048-

457-9. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/09/04/muro-de-cribas-o-de-jaula/>

Zavala (2017). *Desarrollo de una aplicación basada en Matlab para el cálculo de muros a*

gravedad, muros en volado o cantiléver, muros con contrafuertes. [Tesis de pregrado,

Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA.

[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25824/1/Tesis%201138%20-](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25824/1/Tesis%201138%20-%20Zavala%20C%C3%B3rdova%20Luis%20Eduardo.pdf)

[%20Zavala%20C%C3%B3rdova%20Luis%20Eduardo.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25824/1/Tesis%201138%20-%20Zavala%20C%C3%B3rdova%20Luis%20Eduardo.pdf)