UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

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

Autor
Cristian Felipe Bravo Guzmán
Osmar Adrián Rodríguez
Diego Forero

Asesor de Orientación
Msc. Milton Mena Serna

Universidad Distrital Francisco José De Caldas
Especialización en Interventoría y Supervisión de Obras de Construcción
Bogotá, Colombia
2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mis padres quienes me impulsan a ser mejor cada día y me ayudan a levantarme en cada caída. Espero que este trabajo pueda de alguna manera retribuir todo lo que han hecho por mí.

Cristian Felipe Bravo Guzmán

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al ingeniero Milton Mena, mi director de tesis, por su invaluable contribución al brindarme retroalimentación constructiva y sugerencias que han enriquecido significativamente este trabajo. Asimismo, no puedo pasar por alto el agradecimiento hacia mis padres, cuya paciencia, amor y dedicación incansable han sido pilares fundamentales a lo largo de esta especialización. Este logro no sería posible sin su apoyo constante, y espero que sientan un profundo orgullo por él.

Cristian Felipe Bravo Guzmán

CONTENIDO

Resumen 6

Palabras Clave 6

Introducción 7

1. Planteamiento del caso de estudio 10

2. Objetivos 13

2.1 Objetivo General 13

2.2 Objetivos Específicos 13

3. ALCANCES Y limitaciones 15

4. Marco Teórico 16

4.1 nORMATIVA NACIONAL 16

4.1.1 nsr-10 16

4.1.2 Codigo colombiano de puentes ccp-14 19

4.1.3 *NC-MN-OC07-08 – Normas de construcción de muros de contención - empresas públicas de Medellín* 21

4.1.4 *Resolución Número 4561 de 29 de noviembre de 2022 – Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 – Ministerio de Transportes _ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.* 23

4.2 nORMATIVA INTERNACIONAL 26

4.2.1 *Departamento de Transporte de los Estados Unidos Administración de Carreteras Federales - Publicación N.º FHWA-NHI-14-007 FHWA GEC 007 febrero de 2015.* 26

5. Metodología 30

6. Aportes y recomendaciones 33

7. Conclusiones 36

8. Bibliografía 38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 12

Tabla 2. 20

Tabla 3 24

.

RESUMEN

La ingeniería geotécnica engloba el diseño y la construcción de estructuras en contacto con el terreno, como túneles, cimentaciones y vías, incluyendo las estructuras de contención que resisten el empuje generado por las diferencias de niveles en el terreno. La creciente demanda de obras de contención se atribuye al crecimiento urbano, la necesidad de infraestructura vial en terrenos complicados y la rigurosidad normativa. A pesar de la disponibilidad de manuales, estos se centran principalmente en el diseño y carecen de información clara sobre aspectos constructivos y criterios de aceptación. Por consiguiente, se plantea la necesidad de una estrategia para la supervisión técnica de las estructuras de contención durante su construcción, integrando los criterios de diseño de las normativas colombianas y extranjeras; esta estrategia se enfocará en muros estructurales en voladizo, muros anclados y pantallas de pilotes. Esta iniciativa dotará al interventor de las herramientas necesarias para determinar si una obra geotécnica cumple con los requisitos mínimos de cumplimiento de estándares durante la construcción y decidir sobre la aceptación final de la estructura terminada.

PALABRAS CLAVE

Ingeniería geotécnica, muros estructurales en voladizo, muros anclados, pantalla de pilotes y supervisión técnica.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería geotécnica es una disciplina que se ocupa de diseñar y construir estructuras en contacto con el terreno, como lo son túneles, cimentaciones, vías y estructuras de contención, entre otras. Estas últimas se ocupan de contener y soportar el empuje producto de una diferencia de niveles en terreno. Este tipo de estructuras se pueden utilizar en cualquier obra civil que lo requiera, ya sean edificios, obras hidráulicas u obras viales. Estas estructuras pueden desarrollarse con una gran cantidad de sistemas constructivos, algunos de los más conocidos son los muros de gravedad (gaviones o concreto masivo), pantallas compuestas por módulos de concreto o pilotes y muros estructurales en voladizo o anclados.

En la actualidad, hay una demanda importante de obras de contención geotécnica debido a diversos factores, entre los cuales está el crecimiento urbano, la necesidad de construir infraestructura vial que atraviesa por montañas y zonas de difícil acceso (vías 4G y 5G), la estabilización de taludes aledaños a diferentes tipos de estructuras, la rigurosidad en el cumplimiento de las normas para la obtención de permisos de construcción y la construcción de sótanos para edificios cada vez más altos o desplantados en zonas de alta pendiente.

Este aumento de la demanda hace necesario tener herramientas prácticas que permitan tanto al constructor como al ingeniero interventor evaluar de manera clara y eficiente los criterios de aceptación y rechazo de las obras de contención geotécnica, así

como tener una guía que permita establecer las actividades requeridas para la construcción apropiada de las estructuras de contención.

En Colombia existen diversos manuales que brindan información general para el diseño y la construcción estructuras de contención, entre ellos se encuentran la norma sismorresistente NSR-10, el Código Colombiano de Puentes CCP-14 y algunos manuales propios de entidades públicas como la Norma de construcción de muros de contención de EPM. Sin embargo, el enfoque utilizado en estos manuales es principalmente dirigido hacia el diseño, ya que incluyen lineamientos con respecto a estados límite de falla y servicio y algunos métodos admitidos para la determinación de las acciones al respaldo de los muros; sin embargo, no brindan información clara acerca de valores tolerables de desplazamientos, tampoco una descripción de los procesos constructivos a utilizar, lo cual es de gran importancia al momento de supervisar la construcción de estas estructuras.

Con base en lo anterior, surge la necesidad de elaborar una estrategia técnica aplicable a la supervisión de estructuras de contención, en la cual se condensen los criterios de diseño descritos en las distintas normas colombianas que puedan ser aplicados a la supervisión, específicamente a la etapa de construcción, en términos de los materiales a utilizar, ensayos de laboratorio y de campo y límites de servicio y falla de las estructuras de contención. Asimismo, complementar con información dispuesta en normativas extranjeras, libros y artículos que permitan establecer lineamientos para la evaluación de las estructuras de contención.

La estrategia propuesta en este trabajo se concentrará en tres tipos de estructuras de contención: Muros estructurales en voladizo, muros anclados y pantallas de pilotes. Esto debido a que son estructuras que comparten características de funcionamiento y materiales utilizados para su desarrollo, por lo que escapa del alcance de este documento cualquier otro tipo de estructura de contención.

En conclusión, se evidencia la necesidad de una estrategia para la interventoría técnica de estructuras de contención durante la etapa de construcción debido al papel crítico que desempeñan en los proyectos de infraestructura, su complejidad y los desafíos asociados con la construcción, de manera que esta estrategia permitirá establecer las mejores prácticas, los procedimientos y los estándares para garantizar la estabilidad, seguridad y longevidad de estas estructuras, lo que en última instancia contribuirá al éxito general de los proyectos de infraestructura.

1. PLANTEAMIENTO DEL CASO DE ESTUDIO

En la actualidad en Colombia no existe una guía o un manual que permita realizar paso a paso la interventoría técnica de la calidad en la construcción de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes, muros estructurales en voladizo y muros anclados, por consiguiente, no existe una manera fácil de identificar si estas estructuras se están construyendo con la calidad apropiada para perdurar en el tiempo manteniendo su estabilidad y correcto funcionamiento en términos de servicio y seguridad. Para realizar esta verificación, en la actualidad se debe acudir aún sin número de documentos para evaluar aspectos por separado de este tipo de estructuras.

Asimismo, no existe un documento en donde se condense la información correspondiente a la calidad de los materiales a utilizar para la conformación de los rellenos, materiales a utilizar para los concretos y elementos de los anclajes, por consiguiente, no es fácil establecer si estos cumplen con las recomendaciones de las normativas. De igual manera, no se establece una línea clara de las actividades a realizar por parte del constructor, ni cuáles se deben verificar por parte del interventor para los distintos tipos de procesos constructivos.

Todas estas verificaciones se podrían realizar de manera práctica y eficaz si se cuenta con un documento el cual describa que elementos se deben tomar en cuenta para cada una de las actividades a evaluar durante la construcción de una estructura de contención, asimismo, si se cuenta con unos formatos preestablecidos

que le permitan al interventor realizar un chequeo de los principales puntos a tener en cuenta en términos de materiales, ensayos y procesos constructivos.

Con base en lo anterior se justifica la elaboración de esta monografía para la interventoría técnica de estructuras de contención, la cual permitirá incorporar criterios para evaluar la calidad de las estructuras de contención durante su construcción.

El planteamiento de este problema se presenta por medio del método de estado actual y estado ideal, este se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Método estado actual y estado ideal.

Estado actual	Estado ideal
Según la revisión bibliográfica, no existe una guía de interventoría técnica que agrupe los criterios de aceptación y rechazo en la etapa de construcción para estructuras de contención tipo: pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.	Tener una guía de interventoría técnica que agrupe los criterios de aceptación y rechazo en la etapa de construcción para estructuras de contención tipo: pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.
Falta de una guía que incorpore información técnica actualizada con respecto a los avances recientes en temas de construcción de pantallas de	Contar con una guía que incorpore información técnica actualizada con respecto a los avances recientes en temas de construcción de pantallas de

pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.	pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.
Deficiencia en el control del cumplimiento de los criterios de muestreo y ensayos de los materiales utilizados en pantallas de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados, por falta de un documento guía.	Brindar un instrumento que facilite la selección del número de muestras y los ensayos a realizar para pantallas de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.
Malas prácticas en las pruebas de aceptación y rechazo de los anclajes realizados en muros.	Elaboración de una guía práctica que permita realizar de manera apropiada las pruebas de aceptación y rechazo de los anclajes realizados en muros.
Ausencia de formatos de inicio y liberación de actividades, que contengan las especificaciones técnicas de las actividades a realizar para la construcción de pantallas de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.	Creación de formatos para el inicio y liberación de actividades con las especificaciones técnicas de las actividades a realizar para la construcción de pantallas de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.

Nota. Fuente: Autores (2024).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una estrategia para el seguimiento y control de la interventoría técnica en la fase de construcción de estructuras de contención realizadas en Colombia, tipo pantalla de pilotes, muros estructurales en voladizo y anclados, de tal forma que se unifique los criterios de aceptación y rechazo para materiales, procesos constructivos, pruebas de laboratorio, campo, límites de servicio y falla.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar la normativa aplicable a la interventoría técnica de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes, muros estructurales en voladizo y anclados para consolidar en tablas los criterios técnicos de aceptación y rechazo que se puedan utilizar durante la etapa de construcción.

- Desarrollar formularios de verificación que permitan evaluar si las actividades que se realizan en la construcción de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados se ejecutan de acuerdo a los lineamientos establecidos en la normativa aplicable.

- Desarrollar una guía de interventoría técnica que incorpore los criterios de aceptación y rechazo para la etapa de construcción de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados, referentes a materiales, procesos constructivos, pruebas de laboratorio, campo y límites de servicio y falla.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

Esta monografía tiene como alcance el desarrollo de una estrategia para la interventoría técnica de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados, durante la etapa de construcción, en la cual se considerarán los aspectos relacionados con criterios de aceptación y rechazo para materiales, procesos constructivos, pruebas de laboratorio, campo y límites de desplazamientos.

Se realizarán tablas de resumen con la información obtenida de la revisión a las normativas nacionales aplicables a los sistemas de contención objeto de este documento.

Por otra parte, se realizará un formato para cada uno de los procesos constructivos analizados, en los cuales se incluirán las etapas constructivas más relevantes y los criterios de aceptación y rechazo de las labores realizadas para cada etapa junto con la normativa correspondiente. Finalmente, se realizará en este documento se plasmarán los resultados obtenidos.

Escapa del alcance de esta metodología todo lo relacionado con los estudios previos, el diseño, la interventoría administrativa, legal, financiera, social, ambiental y todas las etapas posteriores a la construcción.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 NORMATIVA NACIONAL

4.1.1 NSR-10

La NSR-10 es la Norma Sismo Resistente de Colombia publicada en el año 2010. Esta norma es un conjunto de regulaciones y directrices establecidas por el gobierno colombiano para la construcción y diseño de edificaciones y estructuras con el objetivo de hacerlas más resistentes a los efectos de los sismos, es decir, para garantizar la seguridad de las personas y la integridad de los edificios en caso de un terremoto.

Esta norma está dividida en títulos, los cuales tratan distintos aspectos de las obras civiles, como el concreto, mampostería y supervisión técnica. Uno de ellos es el título H en el cual se establecen los criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, con el fin de proveer las recomendaciones para el diseño y la construcción de obras geotécnicas, entre las que se encuentran excavaciones, rellenos, estructuras de contención y cimentaciones.

De este título se tiene que los materiales utilizados como relleno al respaldo de las estructuras geotécnicas, no pueden ser degradables ni compresibles, además deberán compactarse de tal manera que sus cambios de volumen no causen daños a las estructuras que contienen. También permitió establecer que para materiales con cohesión el criterio para determinar la compactación en campo estará regido por la prueba del Proctor estándar, mientras que para los materiales granulares será el

resultado de compacidad relativa de la misma prueba, asimismo, en el caso de utilizar materiales con un gran tamaño se deberán utilizar métodos que eviten el desarrollo de empujes superiores a los considerados en el diseño.

Por otra parte, establece la necesidad de que en todos los casos en los que exista la presencia de agua, se deberá disponer de un sistema de drenaje que desaloje por medio de uno o varios cárcamos el escurrimiento del agua, cualquier tipo de bombeo que se utilice deberá ser calculado para desalojar al menos 1.5 veces el caudal de diseño. Asimismo, establece la necesidad de un sistema de limpieza para el agua, ya que no se deberá disponer al sistema de alcantarillado agua contaminada.

De igual manera, establece que se deben realizar pruebas sobre el terreno en el que se instalarán anclajes para determinar la resistividad eléctrica, pH, cantidad de sulfuros, sulfatos y cloruros que puedan propiciar la corrosión en el acero, especialmente el que se encuentra fuera de la zona protegida por la lechada, es decir en las placas de apoyo, las cuñas, tuercas y en la zona terminal del anclaje.

Finalmente, la norma indica que cuando los materiales encontrados en el terreno sean distintos a los utilizados para el desarrollo de los análisis, se deberá informar de manera inmediata al Ingeniero Geotecnista para que este realice nuevos análisis antes de continuar con la construcción de la obra.

En cuanto a los criterios de aceptación y rechazo, la norma establece que, para determinar los asentamientos verticales y los desplazamientos horizontales, el diseñador deberá presentar un análisis analítico o numérico en el cual se tome en cuenta el procedimiento constructivo de la estructura de contención, esto permitirá

al ingeniero interventor tener un valor límite de desplazamientos que deberá ser revisado durante la ejecución de la obra.

Por otra parte, brinda unos valores límite en cuanto a la tolerancia de las excavaciones realizadas para pilotes, lo cual será aplicable a las pantallas realizadas con estos elementos, dichos límites son de un 2% para longitudes hasta de 25 m, asimismo establece que antes de fundir estos elementos se deberá verificar que el material de apoyo cumple con los requisitos utilizados para el diseño, asimismo establece la necesidad de utilizar método que limiten la segregación del concreto.

Finalmente, en términos del proceso constructivo, la norma indica que para los muros en voladizo se deberá considerar al menos una profundidad de desplante de 1 m, asimismo, indica que deberá incluir el paso a paso de las actividades a seguir, de manera que el terreno no se vea afectado de manera importante en su rigidez y resistencia. Esto implica que el constructor deberá facilitar antes de iniciar obra el proceso constructivo que seguirá para ejecutar la construcción.

También se deben describir todos los factores que pueden cambiar las propiedades de los geomateriales utilizados, tales como cargas, descargas, humedecimiento o secado, perforaciones, vibraciones e incluso ruidos con el fin de controlarlos.

Finalmente, indica que cuando se proyecten excavaciones con más de 3 m de profundidad, se deberá elaborar un plan de contingencia, en el cual se especifique la estrategia a seguir, en el caso de presentarse una falla de la estructura, este plan debe contener información de los riesgos presentes, los elementos vulnerables, las

rutas de evacuación y el mecanismo de capacitación para afrontar una posible contingencia.

4.1.2 CODIGO COLOMBIANO DE PUENTES CCP-14

El CCP-14 proporciona lineamientos detallados para la planificación, diseño estructural, materiales, métodos de construcción y mantenimiento de puentes en el país. Estas regulaciones tienen como objetivo garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de los puentes, considerando tanto aspectos técnicos como condiciones geotécnicas, de tráfico y otros factores relevantes.

Dentro de la construcción de puentes hay un capítulo relacionado con el alcance de este trabajo, este capítulo se encuentra en la sección 11 y hace referencia a muros, estribos y pilas.

Esta sección brinda alguna información acerca de los materiales a utilizar en la construcción del relleno al respaldo de los muros, en la cual coincide con la NSR-10 en que estos materiales deben ser de tipo granular y permitir el drenaje libre, en caso de que se cuente con materiales cohesivos deberá garantizarse un drenaje eficiente. Esta recomendación se hace principalmente debido a que la mayor parte del conocimiento adquirido en el análisis de muros se ha desarrollado con materiales no cohesivos “ASSHTO LRFD Bridge contruction specifications”

En cuanto a los estados límite, esta norma indica que las presiones utilizadas en el diseño de muros y estribos se deben seleccionar de tal manera que no se tenga un desplazamiento lateral de 40 mm. En el caso de muros de contención

convencionales de concreto reforzado, no se recomiendan asentamientos diferenciales mayores a 1/500, ya que asentamientos de este valor hasta de 1/1000 pueden generar fisuras en los muros.

Asimismo, se recomienda que para muros de contención no se cuente con intervalos mayores a 9 m en juntas de retención y no mayores de 27 m en juntas de expansión, además que todas estas juntas deben rellenarse con un material que asegure el funcionamiento. Adicionalmente, estas juntas deben estar ubicadas entre los elementos longitudinales que se apoyen sobre los estribos o muros.

Por otra parte, se sabe que el desplazamiento desarrollado en los muros de contención está directamente ligado con el tipo de empuje que se desarrolla al respaldo de los mismos, es por eso que tener un control preciso de este valor permitirá determinar si la presión que se está desarrollando al respaldo es acorde al diseño de muro. Estos esfuerzos se relacionan con el nivel de desplazamientos con base en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores aproximados de movimientos relativos requeridos para alcanzar condiciones de presión mínima activa o máxima pasiva.

Tipo de Lleno	**Valores de Δ/H**	
	Activa	**Pasiva**
Arena densa	0.001	0.01
Arena medio densa	0.002	0.02
Arena suelta	0.004	0.04
Limo compactado	0.002	0.02
Arcilla magra compactada	0.010	0.05

Nota. Fuente: Tabla tomada de Clough and Dunca (1991)

Finalmente, en este capítulo se brindan recomendaciones con respecto a los ensayos de carga en los anclajes utilizados en muros de contención. Se recomienda utilizar cargas de hasta el 125 y 150 por ciento de la carga de diseño no mayorada (Cheney 19849). Solo es común utilizar cargas mayores al 150% de la carga no mayorado en el caso de suelos cohesivos, donde se justifica investigar la perdida de tensión debida a la fluencia del terreno. En estos casos es posible que se deba incrementar el área de acero del tendón de anclaje.

4.1.3 *NC-MN-OC07-08 – NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN - EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN*

La NC-MN-OC07-08 es la Norma de Construcción de muros de Contención, establecida por EMP - Empresas Públicas de Medellín, la cual se dedica a la prestación de Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado, Energía, Gas y Telecomunicaciones, con cobertura Nacional e Internacional, quien a su vez por su misma naturaleza se ha consolidado como una Industria del sector Constructivo en procesos de carácter público y privado en obras de Infraestructura y Servicios, es por ello que tiene establecidos procesos debidamente reglamentados los cuales acogen normatividad técnica Internacional y local de los diferentes sectores de intervención, para lo cual a establecidos documentos de control de calidad que le permite tener rigurosidad, seguimiento y control en cada uno de sus proyectos de ejecución.

La norma de Construcción de Muros de contención de EPM, está dirigida para la construcción de estructuras de contención en concreto simple, concreto reforzado, concreto ciclópeo, y gaviones, la cual establece especificaciones puntuales de procesos

constructivos, teniendo en cuenta materiales, técnicas y detalles constructivos aplicables en los procesos de negocio de la misma Empresa, y que a su vez sirve de referencia para el sector.

Esta Norma establece parámetros técnicos establecidos en la NRS 10, la cual deriva seguimiento a procesos constructivos que vinculan los siguientes materiales: concretos, aceros de refuerzo, excavaciones, aditivos, geotextil, agregados y llenos compactados, así como los requisitos mínimos exigidos para los profesionales diseñadores de acuerdo a lo especificado en la Ley 400 de 1997 en su capítulo 2.

Dentro de los aspectos técnicos constructivos determina aspectos constructivos que incluyen, la geometría de los elementos, materiales (Concretos, acero), procesos de encofrado y desencofrado, juntas, curado, compactación del relleno, tipología y caracterización de los terrenos de cimentación, obras de drenaje, espacios disponibles y requeridos para la construcción de la estructura, para Muros en Concreto reforzado ya sean en voladizo y con contrafuertes, muros de gravedad; detallando las actividades generales para la construcción de este tipo de estructuras.

En su estructura, esta norma referencia materiales y procesos de construcción que están caracterizados en documentos técnicos y normas que la misma entidad establece y referencia, las cuales son: la NSR (Reglamento Técnico Colombiano), NC-MN-OC07-01 (Norma de Construcción de concretos), NC-MN-OC07-02 (Norma de Construcción de cimentaciones), NC-MN-OC07-07 (Normas de construcción de acero de refuerzo), NC-MN-OC03-01 (Norma de construcción de excavaciones, NEGC-204-00 (Norma y especificación general de construcción de llenos compactados), NEGC-

424-00 (Geotextil para estructuras de contención), NTC-3318 (Norma Técnica Colombiana de Concretos).

4.1.4 *RESOLUCIÓN NÚMERO 4561 DE 29 DE NOVIEMBRE DE 2022 – ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS 2022 – MINISTERIO DE TRANSPORTES _ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.*

En Colombia, el Instituto Nacional de Vías INVIAS, adscrito al Ministerio de transporte, es la entidad Territorial de nivel central para las entidades centralizadas, descentralizadas públicas de nivel Nacional, Departamental y municipal, así como del sector privado, esta entidad mantiene actualizada y articulada la normatividad legal y técnica colombiana para la ejecución de las obras de infraestructura que en el país se desarrollan, por tal razón, los gremios, asociaciones, establecimientos de educación superior han sido parte activa en la construcción y fortalecimiento de los procedimientos, pautas y demás que esta entidad direcciona, y es así que por medio de la Resolución No. 4561 del 29 de noviembre de 2022 emitida por el Instituto Nacional de Vías, se reglamentan las especificaciones generales de construcción de carreteras 2022, las cuales pesé a su título son aplicables aún sin número de estructuras, esta resolución establece exigencias de diseño, seguimiento, calidad las cuales están referenciadas con normas, métodos institucionales nacionales y extranjeros definidos en la Tabla 3.

Tabla 3. Instituciones o métodos de ensayos de referencia.

Sigla	Institución o método de ensayo
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI	American Concrete Institute
AFNOR	Association Française de Normalization
API	American Petroleum Institute
ASTM	ASTM International (antes American Society for Testing and Materials)
AWS	American Welding Society
BS	British Standard
BSI	British Standards Institution
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (antes Centro de Estudios de Carreteras)
CEN	Comité Europeo de Normalización
FHWA	Federal Highway Administration
GSI	Geosynthetic Institute
GRI	Geosynthetic Research Institute
INCONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
INVÍAS	Instituto Nacional de Vías de Colombia
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación
ISO	International Organization for Standardization
MELC	Método de Ensayo de Laboratorio Central - Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente de España
MT	Ministerio de Transporte de Colombia
EN	Norma Europea
NLT	Normas de Ensayo del Centro de Estudios de Carreteras de España
NTC	Norma Técnica Colombiana
PCA	Portland Cement Association
TRL	Transport Research Laboratory del Reino Unido
UNE	Una Norma Española

Nota. Fuente: Tabla tomada de Especificaciones Invías (2022)

Este documento es de aplicabilidad y responsabilidad para constructores e Interventores, e incluye a otras áreas o aspectos dentro de los procesos de diseño y

construcción, dentro de los cuales encontramos Seguridad y salud en el trabajo, Medio Ambiente, componente Social.

Es importante mencionar que en el artículo 107 -22 _ Control y aceptación de trabajos se establecen los mecanismos, herramientas, procesos para el recibo de las diferentes actividades de los procesos constructivos que se generen en un proyecto.

El capítulo 6, Estructuras y Drenajes, se incluyen la construcción de estructuras de contención, tipo pantalla de pilotes, muros estructurales en voladizo y anclados, las cuales están enmarcadas en el artículo 600 - 22 Excavaciones varias, artículo 620 - 22 Pilotes prefabricados de concreto, artículo 621 - 22 Pilotes pre excavados, artículo 622 - 22 Tablestacados, artículo 623 - 22 Anclajes, artículo 630 - 22 Concreto estructural, artículo 631 - 22 Lechada para ductos de concreto pre esforzado, artículo 640 - 22 Acero de refuerzo, artículo 670 - 22 Disipadores de energía y sedimentadores, en gaviones de alambre de acero entrelazado o en concreto ciclópeo, artículo 673 - 22 Sub drenes con geotextil y material granular, artículo 674 - 22 Drenes horizontales en taludes, artículo 680 - 22 Muros de tierra estabilizada mecánicamente con paneles de concreto, artículo 681 - 22 Gaviones y colcho gaviones de malla de alambre de acero entrelazado, artículo 683 - 22 Muros de tierra estabilizada mecánicamente con geo sintéticos y artículo 690 - 22 Impermeabilización de estructuras.

4.2 NORMATIVA INTERNACIONAL

4.2.1 *DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DE LOS ESTADOS UNIDOS ADMINISTRACIÓN DE CARRETERAS FEDERALES - PUBLICACIÓN N.º FHWA-NHL-14-007 FHWA GEC 007 FEBRERO DE 2015.*

Este documento es un manual de orientación geotécnica (GEC) que proporciona información sobre el análisis, diseño y construcción de muros permanentes con anclajes de suelo (SPW) en aplicaciones viales. El documento se basa en publicaciones previas de FHWA, extrayendo descripciones y datos fundamentales, enfocándose principalmente en las técnicas de anclaje de suelo que se utilizan comúnmente en la práctica estadounidense.

Este manual se ha organizado en una serie de capítulos que engloban una variedad de temas esenciales. Estos abarcan desde aplicaciones y viabilidad, hasta materiales y métodos de construcción. Además de proveer información crucial para el análisis y diseño de muros con anclajes de suelo, el manual también incluye capítulos adicionales que enriquecen el contenido; estos abordan aspectos como la protección contra la corrosión y las especificaciones técnicas, brindando así una perspectiva completa y detallada del tema en cuestión.

En relación con los materiales, el manual subraya la importancia de emplear tendones para los anclajes de suelo con una resistencia nominal de tracción de 60 ksi o 75 ksi. En caso de optar por barras huecas, es necesario que su resistencia a la tracción se sitúe entre 60 ksi y 90 ksi, incluyendo el límite elástico. En el proceso de inyección

de lechada, esta debe alcanzar una resistencia mínima de 1,500 psi a los 3 días, y de 3,000 psi a 4,000 psi a los 28 días. La ejecución de este proceso se realiza a través del método Tremie, utilizando tuberías de plástico resistente con diámetros que oscilan entre 0.75 y 1.0 pulgadas.

Es imperativo evitar el uso de aceleradores que contengan cloruro de calcio en la lechada, dado el riesgo asociado de incrementar la corrosión en las cercanías del tendón. En cuanto a la protección integral de los componentes de los anclajes de suelo, se hace necesario asegurarles una salvaguardia química y/o física contra la corrosión.

En lo que concierne a los materiales empleados en el revestimiento de los muros con anclajes de suelo, se recomienda la aplicación de un mortero o concreto con agregado fino, ya sea mediante proceso húmedo o seco. El concreto proyectado se emplea tanto en la etapa inicial como en la final del revestimiento, presentando similitudes y diferencias en los procesos de refuerzo. Estas diferencias incluyen la consideración de requisitos estéticos para el revestimiento final. Además, es fundamental tener en cuenta el acero de refuerzo, que debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma AASHTO M31/ASTM A615, correspondiente al Grado 420 y de tipo deformado.

Concluyendo este aspecto de los materiales, es relevante destacar que, en los procedimientos de anclaje de suelo, los sistemas de drenaje con tiras geosintéticas suelen cubrir entre un 10% y un 20% de la superficie de la pared, en lugar de abarcar la totalidad. En lo que concierne a las tuberías y sus conexiones en dicho sistema, es imperativo asegurar que cumplan con los rigurosos estándares establecidos para el PVC sólido y perforado de Calibre 40.

En cuanto a los aspectos técnicos, el manual detalla la secuencia estándar para construir una pared de anclaje de suelo en seis pasos fundamentales que abarcan desde la excavación hasta el revestimiento final. Estos pasos incluyen actividades como la instalación de anclajes, drenajes de tiras, aplicación de concreto proyectado y el revestimiento definitivo. Cabe destacar que el manual reconoce la flexibilidad de adaptar esta secuencia según condiciones específicas del proyecto, como la aplicación anticipada de concreto proyectado o el enlechado previo a la colocación del tendón.

Además de lo expuesto previamente, se proporciona información sobre los riesgos que con frecuencia están vinculados a la edificación de estructuras de contención de esta naturaleza. Se ponen de relieve cuestiones tales como la corrosión, la infiltración de agua subterránea, deficiencias en los procedimientos de diseño y la omisión de componentes esenciales en la planificación y ejecución de estos sistemas. Como complemento, se presentan estrategias concretas para el control y la mitigación de estos riesgos. Estas estrategias abarcan desde evaluaciones meticulosas hasta la elección adecuada de criterios de movimiento y diseño, la realización de pruebas en los anclajes, y la colaboración sinérgica entre los ingenieros del Propietario y el Contratista.

En lo que respecta a otros aspectos técnicos, este manual también resalta las limitaciones y desafíos que conlleva la implementación de paredes de anclaje de suelo en una variedad de proyectos de construcción, abordando aspectos cruciales como los movimientos estructurales, la consideración de servicios públicos, el manejo de aguas subterráneas, la necesidad de establecer servidumbres y la posible interferencia con infraestructuras de comunicación.

La presente publicación de la FWHA pone de relieve la importancia de realizar pruebas en campo fundamental al implementar anclajes en el suelo. En este sentido, se subraya la relevancia de llevar a cabo perforaciones de prueba y recurrir al Ensayo de Penetración Estándar del Suelo (SPT), ya que estos métodos resultan decisivos para la evaluación de las propiedades del suelo. Adicionalmente, se destaca la considerable utilidad de los Ensayos de Penetración de Cono (CPT) como herramientas inestimables para obtener perfiles continuos del subsuelo.

Asimismo, en línea con lo anterior, el documento enfatiza la valía de las excavaciones de prueba como medio para analizar la estabilidad de las caras de excavación, así como para recabar información relativa a la filtración de agua subterránea y a las características del suelo.

Por otro lado, este documento también aborda diversas técnicas de pruebas geotécnicas, haciendo hincapié en la importancia de llevar a cabo pruebas de laboratorio que permiten determinar propiedades índice fundamentales para comprender las características del suelo, así como otros aspectos relacionados con la resistencia al corte en suelos cohesivos y condiciones no drenadas. Además, se resalta la evaluación del potencial de corrosión en proyectos de anclajes, detallando propiedades tales como el pH, la resistividad eléctrica, el contenido de cloruro y sulfato, junto con los métodos empleados para medir dichas propiedades tanto en entornos de laboratorio como en campo.

5. METODOLOGÍA

La metodología planteada para el desarrollo de esta monografía es de tipo análisis documental, en la cual se evaluarán distintos textos, entre los cuales se encuentran las normativas colombianas, normativas extranjeras, libros, artículos académicos y tesis relacionadas con la construcción de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes, muros estructurales en voladizo y muros anclados.

De este análisis documental se extraerá la información relevante en términos de calidad de materiales, ensayos de laboratorio y campo necesarios para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en las normas y procesos constructivos a seguir para la construcción apropiada de estas estructuras de contención.

Asimismo, se establecerán tablas en las cuales se condensará esta información y con las cuales se tendrán bases para elaborar formatos para cada una de las estructuras a analizar. La metodología planteada se resume en tres partes las cuales se describen a continuación

1. Compilación de criterios técnicos de aceptación y rechazo que sean aplicables para la interventoría técnica de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados aplicable para la etapa de construcción.

- ***Actividades a desarrollar.***

- ***Investigación:*** Revisión exhaustiva de las normas y reglamentos aplicables.
- ***Identificación de criterios técnicos:*** Elaborar una lista de los criterios de aceptación y rechazo para distintas actividades.
- **Organización en tablas:** Organizar los criterios identificados en tablas para facilitar lectura y compresión.
- ***Estandarización:*** Unificar criterios similares y remoción de criterios repetidos.

2. Elaborar formatos de chequeo para las principales actividades que se realizan en la construcción de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.

- ***Actividades a desarrollar.***
  - ***Identificar las principales actividades:*** Realizar una lista con las principales actividades que se llevan a cabo en la construcción de ese tipo de estructuras de contención.
  - ***Identificación de los aspectos críticos de la actividad:*** Realizar una lista con los aspectos críticos que se deben evaluar y que deben ser incluidos en el formato.
  - ***Diseño de los formatos:*** Diseñar un formato para cada tipo de estructura en el cual se pueda verificar los puntos claves de las actividades principales necesarias para ejecutar el tipo de obra de contención.

3. Desarrollar una guía de interventoría técnica que incorpore los criterios de aceptación y rechazo para la etapa de construcción de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados.

- ***Actividades a desarrollar.***
  - ***Revisión de la información previa:*** Seleccionar de la información compilada en el primer objetivo los criterios técnicos de aceptación y rechazo que se consideren relevantes.
  - ***Organización de la información para la elaboración de la guía:*** Organizar la información de manera lógica y fácil de entender.
  - ***Inclusión de la información detallada:*** Incluir información que se considere necesaria adicional a los criterios establecidos en el objetivo 1, la cual permita hacer más clara la guía.
  - ***Redacción del documento final:*** Elaborar el cuerpo del documento manteniendo un lenguaje claro y técnico.

6. APORTES Y RECOMENDACIONES

Con la presente guía se unifican los criterios de aceptación y rechazo en la fase de construcción de estructuras de contención, tipo pantalla de pilotes, muros estructurales en voladizo y anclados disponibles en la normativa del país, estableciéndose como una guía práctica de consulta para garantizar procesos constructivos que cumplan con los estándares normativos y criterios establecidos por la Normatividad Vigente Colombiana, reconociendo la relevancia de contar con una estrategia adecuada y de fácil consulta para el seguimiento y control en obra, asegurando así que se realicen pruebas de laboratorio y campo, con el único fin de garantizar la calidad y seguridad de las estructuras de contención.

Proporciona una referencia clara y objetiva para la interventoría técnica durante la etapa de construcción, permitiendo que se realice una supervisión eficiente y precisa, identificando cualquier problema o incumplimiento de los criterios técnicos establecidos para las principales actividades que se realizan para la construcción de estos tipos de muros, de esta manera, se podrán tomar las medidas correctivas necesarias de manera oportuna, evitando posibles problemas futuros.

El desarrollo de formularios de verificación para evaluar la correcta ejecución de actividades en la construcción de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados según las

normativas aplicables. Estos formularios servirán como herramientas de control y seguimiento durante el proceso constructivo, asegurando que se cumplan los lineamientos establecidos en la normativa correspondiente, de esta manera, se garantiza la calidad y seguridad de las estructuras de contención, minimizando riesgos y posibles incumplimientos legales.

Se sintetiza en una guía de interventoría técnica para la etapa de construcción de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes y muros estructurales en voladizo y anclados, los criterios de aceptación y rechazo relacionados con materiales, procesos constructivos, pruebas de laboratorio y campo, límites de servicio y falla.

Al usar las herramientas establecidas en el documento y sus anexos del presente compendio, se garantiza el cumplimiento de la normatividad vigente colombiana en procesos constructivos en construcción de estructuras de contención, tipo pantalla de pilotes, muros estructurales en voladizo y anclados, más, sin embargo, esta debe ajustarse y adecuarse a la particularidad de cada obra, respetando las recomendaciones y procesos constructivos que se establezcan en el estudio de suelos y las dadas por los diseñadores de la estructura, para lo cual se deberá contar con los planos, memorias de cálculo, memorandos de responsabilidad respectivos.

En casos especiales en los que se incluyan actividades adicionales a las aquí presentadas para cada tipo de construcción, se recomienda que el interventor realice una

investigación bibliográfica de las normas aplicables a dicha actividad, teniendo en cuenta la bibliografía aquí presentada.

Para realizar un uso adecuado de los formatos se recomienda segmentar con la lista desplegable y seleccionar la actividad de interés, esto le permitirá al interventor centrase en las recomendaciones correspondientes haciendo más fácil el uso de los formatos.

Se recomienda que estos formatos se llenen diariamente y sean parte integral del registro documental (bitácora).

El usuario de esta guía y formatos deberá estar verificando la actualización y expedición de nuevas normas técnicas de los procesos constructivos acá mencionados.

7. CONCLUSIONES

Se encontró que los criterios de los documentos analizados están presentados de manera general y que no están relacionados directamente con el proceso constructivo de las obras civiles, por tanto, se refuerza la pertinencia de la presente monografía.

Se determinaron los criterios más relevantes para la ejecución de estructuras de contención tipo pantalla de pilotes, muro estructural en voladizo y muro estructural anclado, con lo cual se genera una estrategia para abordar la interventoría técnica de manera clara y secuencial, brindándole una herramienta al interventor para el seguimiento de estas estructuras.

Se evidenció la necesidad de realizar más monografías de este tipo ya que facilitarán la tarea del interventor en obras específicas, puesto que, en la actualidad para realizar la interventoría técnica durante el proceso constructivo, es necesario consultar una variedad importante de documentos y normativas.

El Invias, como entidad gubernamental, despliega un papel crucial al mantener, actualizar y regular la normativa legal y técnica para la realización de proyectos de infraestructura en el país. En este contexto, el trabajo actual se fundamenta primordialmente

en las pautas establecidas por la Resolución No. 4561 emitida por el Invias, respaldada por normativas nacionales e internacionales, incluyendo aquellas que sirvieron como base de estudio y análisis en este proyecto, como la NSR 10 y otras regulaciones pertinentes en el ámbito nacional.

La regulación de los procesos constructivos en infraestructura por parte del INVIAS se ve respaldada por la vinculación de estándares de calidad de insumos y procesos a las Normas Técnicas Colombianas en esta guía. La obligatoriedad de cumplimiento de estas normas fortalece la conexión directa entre los procedimientos de ejecución y control de calidad establecidos en este trabajo, asegurando así la excelencia y consistencia en las actividades ejecutadas.

8. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Medellín. (2005). Manual de interventoría municipio de Medellín. https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_0_0/Shared%20Content/pdf%20codigo%20buen%20comienzo/MANUAL%20DE%20INTERVENTORiA.pdf

Comité français de mécanique des sols et de géotechnique (2020). TIRANTS D'ANCRAGE TA 2020 – CFMS. https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/rapport_guide_ta2020_2020-02-05_final_moyenne_definition.pdf

EPM. (2017). Norma de construcción, muros de contención, (pp 1-10). https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/NC_MN_OC07_08_Muros_de_contencion_compressed.pdf?ver=tqbsAB7ZVOVT-dyE_MTKYg%3D%3D

GEO FUNDACIONES DEL PERU S.A.C. (s.f). Procedimiento constructivo de los muros anclados. https://es.scribd.com/document/376972728/106309062-Procedimiento-Constructivo-de-Muros-Anclados-pdf

Geocisa. (s.f). Excavaciones y contenciones: pantallas y anclajes. https://www.coaatz.org/wp-content/uploads/2014/07/Excavaciones-y-contenciones-03-09-10.pdf

Huilahuaña Mamani, M., & Gonzales Guillen, M. A. (2019). Análisis, diseño y proceso constructivo del muro pantalla en edificio de 7 niveles y 3 sótanos. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa-Peru]. https://repositorio.unsa.edu.pe/items/88658506-9ccc-4dae-827f-c61059754ed2

ICONTEC. (s.f). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

ICONTEC. (s.f). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 6271 - Información geográfica, estudios topográficos. https://tienda.icontec.org/gp-informacion-geografica-estudios-topograficos-ntc6271-2018.html

Keller Group Plc. (s.f). Catálogo pilotes perforados muro pantalla pilotes in situ keller. https://www.keller.com.es/sites/keller-es/files/2019-04/e-catalogo-pilotes-perforados-muros-pantalla-pilotes-in-situ-keller.pdf

Martínez Vera, Eder. H (2008). Construcción de muros de contención en zonas urbanas: Análisis comparativo de costos para las soluciones más usadas.

[Tesis de grado, Universidad Austral de Chile].
http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcim385c/doc/bmfcim385c.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, Reglamento Colombiano de Construcción, Sismo Resistente (2010). NSR-10-Título C "Concreto Estructural" y Título H "Estudios Geotécnicos" https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf

Ministerio de Transporte Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2022). Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022-Capítulo 6: Estructuras y Drenajes. https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/14480-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-2022-1/file

Ministerio de Transporte Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2006). Manual para la inspección visual de obras de estabilización. https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/977-manual-para-la-inspeccion-visual-de-obras-de-estabilizacion/file

Ministerio de Transporte Instituto nacional de vías [INVIAS]. (2013). Norma colombiana de diseño de puentes – LRFD – CCP 14 "Capítulo 11-Muros,

estribos y Pilas". https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14

Morales Vargas, Jimmy. A (2016). Informe de pasantías realizadas en la interventoría de obras de estabilización con la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas). http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24849

Muños Beltrán, Andrés. J (2011). Manual para el proceso de diseño y construcción de muros anclados de concreto lanzado [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional de Quito]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4392/1/CD-4006.pdf

Pineda Bonivento, Enrique. D. (2018). Influencia de estructuras colindantes en la concepción, análisis y diseño de un sistema de muros anclados para sótano de una edificación [Tesis de grado, Universidad de Cartagena] https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/7336/TRABAJO%20DE%20GRADO%20-%20PINEDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rivas Gonzales, M. A., Rivas Gonzales, E.U. (2020). Criterios de interventoría para los controles técnicos en la construcción de anclajes activos

[Tesis de especialización, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña] http://repositorio.ufpso.edu.co/jspui/handle/123456789/2727

Ruiz Galeano, Edward. E. (2021). Guía para interventoría técnica en contratos de obra de estabilización mediante anclajes activos en tierra [Tesis de especialización, Universidad Distrital Francisco José De Caldas] https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/30195/RuizGaleanoEdwardEstid2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (2015). Geotechnical engineering circular no. 7 Soil Nail Walls - Reference manual. National Highway Institute. https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/nhi14007.pdf