	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(139)	

RESUMEN – PROYECTO DE GRADO

AUTORES	MIGUEL ANGEL RIVAS GONZALES EDISON URIEL RIVAS GONZALES		
FACULTAD	FACULTAD DE INGENIERÍAS		
PLAN DE ESTUDIOS	ESPECIALIZACIÓN EN INTERVENTORÍA DE OBRAS CIVILES		
DIRECTOR	CESAR AUGUSTO LA ROTTA NIÑO		
TÍTULO DE LA TESIS	CRITERIOS DE INTERVENTORÍA PARA LOS CONTROLES TÉCNICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ANCLAJES ACTIVOS		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>ESTE PROYECTO CONSISTIO EN LA DETERMINACION DE LOS CRITERIOS DE INTERVENTORIA PARA LOS CONTROLES TECNICOS EN LA CONSTRUCCION DE ANCLAJES ACTIVOS, INICIANDO POR DEFINIR LOS ASPECTOS TEORICOS REFERENTES A LAS OBRAS DE ESTABILIZACION, Y ASI MISMO SE ESTABLECIERON LOS CONTROLES TECNICOS QUE DEBEN LLEVARSE A CABO EN LAS FASES CONSTRUCTIVAS DEL PROYECTO. FINALMENTE SE DESARROLLO UNA GUIA PARA LOS CONTROLES TECNICOS NECESARIOS EN LA CONSTRUCCION DE ANCLAJES POR PARTE DE LA INTERVENTORIA.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 139	PLANOS:0	ILUSTRACIONES:0	CD-ROM:1



Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

CRITERIOS DE INTERVENTORÍA PARA LOS CONTROLES TÉCNICOS EN LA
CONSTRUCCIÓN DE ANCLAJES ACTIVOS

AUTORES

MIGUEL ANGEL RIVAS GONZALES

EDISON URIEL RIVAS GONZALES

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de Especialista en
Interventoría de Obras Civiles

Director

Ing. CESAR AUGUSTO LA ROTTA NIÑO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN INTERVENTORÍA DE OBRAS CIVILES

Ocaña, Colombia

Junio de 2020

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de grado primeramente a Dios por darnos sabiduría y la fuerza para continuar en los nuevos retos que emprendemos, por guiarnos en el camino correcto y darnos la confianza de enfrentar nuevas situaciones en nuestro campo laboral. Agradecemos a la Universidad Francisco de Paula Santander Sede Ocaña, a los jurados, director de la tesis, profesores, colegas y compañeros quienes, con sus conocimientos, sus experiencias y motivaciones han logrado en nosotros culminar los estudios de posgrado como especialista en interventoría de obras civiles y así alcanzar un culmen de éxitos.

Hnos. Rivas G.

Tabla de contenido

Capítulo 1. Criterios de interventoría para los controles técnicos en la construcción de anclajes activos	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivo Específicos.....	3
1.4 Justificación	3
1.5 Delimitaciones	5
1.5.1 Delimitación Temporal.....	5
1.5.2 Delimitación Geográfica.....	5
1.5.3 Delimitación Operativa.....	5
1.5.4 Delimitación Conceptual.....	5
Capítulo 2. Marco Referencia.....	7
2.1 Marco histórico.....	7
2.1.1 Antecedentes	8
2.2 Marco Contextual	12
2.3 Marco conceptual	14
2.3.1 Métodos determinísticos.....	23
2.3.2 Métodos probabilísticos.....	23
2.3.3 Factores que influyen en la estabilidad.....	24

2.3.4	Parámetros geotécnicos necesarios para el diseño.	27
2.3.5	Aspectos generales de los anclajes.	30
2.4	Marco Teórico	39
2.5	Marco Legal.....	44
Capítulo 3.	Diseño Metodológico.....	51
3.1	Tipo de Investigación	51
3.1.1	Población.	52
3.1.2	Muestra.	52
3.2	Técnicas de recolección de información	52
3.3	Análisis de información.....	53
Capítulo 4.	Resultados	54
4.1	Establecer los fundamentos teóricos, conceptuales y legales necesarios para el desarrollo de obras de estabilización.....	54
4.1.1	Teoría de los anclajes.	56
4.1.2	Principios básicos en el diseño de anclajes.	62
4.1.3	Diseño de anclajes.	63
4.1.4	Aspectos legales.	66
4.2	Identificar los aspectos de interventoría técnica requeridos para la construcción de anclajes activos.....	71
4.2.1	Fundamentos y obligaciones del interventor.	71
4.2.2	Proceso de interventoría para el desarrollo de anclajes.	72

4.2.3 Medidas de control en la ejecución.	96
4.3 Elaborar una guía de interventoría técnica para la construcción de anclajes activos en obras de estabilización.	102
Conclusiones.....	104
Referencias.....	107

Lista de figuras

Figura 1. Tipos de taludes.	15
Figura 2. Partes de un anclaje.	19
Figura 3. Cabeza y placa de apoyo.	22
Figura 4. Componentes del anclaje.	31
Figura 5. Principales tipos de anclajes.	33
Figura 6. Diagrama de presiones de tierra de Terzagui y Peck.	40
Figura 7. Diagrama de presiones recomendado para arenas.	42
Figura 8. Diagrama de presiones recomendado para arcillas duras fisuradas.	44
Figura 9. Componentes del anclaje.	57
Figura 10. Componentes del anclaje.	62
Figura 11. Distribución de la carga en el ancla de suelo en la carga final.	66
Figura 12. Plano de levantamiento topográfico tramo 1 vía Cúcuta-pamplona.	80
Figura 13. Verificación del cuadro de coordenadas.	81
Figura 14. Planta estructural de ubicación de elementos de superestructura y anclajes.	81
Figura 15. Vista frontal de la superestructura y los anclajes.	82
Figura 16. Dimensiones del anclaje e información adicional.	83
Figura 17. Detalle del anclaje.	83
Figura 18. Especificaciones técnicas del proyecto.	84
Figura 19. Procedimiento de inyección para in tipo de inyección repetitiva (IR).	85
Figura 20. Procedimiento de inyección para in tipo de inyección repetitiva (IR)..	86
Figura 21. Localización de anclajes.	88
Figura 22. Diámetro de perforación.	88
Figura 23. Inclinación de perforación.	89
Figura 24. Perforación del anclaje.	90
Figura 25. Prueba de fluidez.	91
Figura 26. Inyección del anclaje.	91
Figura 27. Instalación del anclaje.	92
Figura 28. Armado del anclaje.	93
Figura 29. Proceso de instalación del anclaje.	93
Figura 30. Toma de muestras de inyección.	94
Figura 31. Armado y proceso de fundida de dado de apoyo.	95

Lista de tablas

Tabla 1 Resistencia media al deslizamiento de bulbos inyectados	20
Tabla 2 Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes	24
Tabla 3 Tipos de Discontinuidades	25
Tabla 4 Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes	48
Tabla 5 Aspectos legales de los anclajes	66
Tabla 6 Aspectos a evaluar en antes de iniciar las obras	76
Tabla 7 Diámetros mínimos en cables	97
Tabla 8 Diámetros mínimos en barras	98
Tabla 9 Consolidado de los resultados obtenidos	102

Introducción

Debido a la inestabilidad que presentan muchos de los taludes naturales es necesario modificarlos para lograr estabilizarlos y de esta manera poder proyectar y ejecutar obras de ingeniería. Hoy en día, los anclajes representan un medio clave para sostener y fortalecer las pendientes formadas por suelos inestables y rocas fracturadas, y para garantizar la estabilidad de varios tipos de estructuras gravitacionales.

Esta alternativa constituye un medio de protección de pantallas ancladas, las cuales “Fijan” la estructura del terraplén, con esto se evitara los posibles deslizamientos en el pie del talud. A través de estas pantallas ancladas se logra una estabilidad del todo el conjunto, mediante tensores que se anclan a una masa de concreto confinado en el interior del subsuelo, con el cual se pretende estabilizar los empujes, y posibles superficies de rotura.

Los anclajes son ampliamente utilizados en obras de ingeniería, como lo son vías de primer, segundo y tercer orden, en la construcción de edificios y puentes, básicamente cualquier obra en la que se requiera desarrollar una estabilización de taludes. Los anclajes son una solución que se aplica en casos preventivos o correctivos y mediante este documento se realizó una recopilación de la documentación existente, que sumada a las experiencias evidenciadas por los autores se logra hacer una amplia descripción de estos elementos, enfatizando los controles que se deben realizar para asegurar la integridad y calidad de las obras.

Finalmente, con este proyecto se pretende brindar al lector conjunto de herramientas prácticas para que pueda desarrollar un seguimiento técnico a las obras de construcción de Anclajes Activos, en los tres periodos fundamentales de todo proyecto, antes, durante y después de la ejecución.

Capítulo 1. Criterios de interventoría para los controles técnicos en la construcción de anclajes activos

1.1 Planteamiento del problema

Asegurar la estabilidad de taludes o pendientes naturales o artificiales es un problema recurrente en la ingeniería geotécnica, algunos deslizamientos son resultado de fallas en el ejercicio de la ingeniería y a menudo dichos deslizamientos resultan en daños extensos a la propiedad y en ocasiones en pérdidas de vidas humanas. En general no existe un método universalmente aceptado para la prevención o corrección de deslizamientos de tierra, cada uno es único y debe considerarse en función de sus propias características individuales (Corominas y Caminos, 2004).

Como parte de las consideraciones previas al desarrollo de un proyecto de construcción es necesario realizar el análisis del terreno en el que se desarrollaran dichas obras, procurando evitar zonas con potencial de deslizamiento, sin embargo cuando las condiciones del proyecto no lo permiten se puede optar por: mejorar la geometría de la pendiente cambiando su ángulo al excavar el suelo en la corona o realizar una pendiente compuesta mediante terraceo, así mismo se pueden proporcionar drenajes superficiales y subterráneos (Valiente et. al, 2016) (Forrester, 2001). No obstante, cuando estas medidas no son suficientes para asegurar la estabilidad o por las condiciones del terreno no se pueden llevar a cabo, es necesario recurrir a estructuras de retención o contención.

Estas estructuras que pueden ser muros en tierra armada, muros de gaviones, muros de contención de gravedad en concreto ciclópeo o reforzados y anclajes de tipos activos o pasivos, se diseñan bajo un factor de seguridad que logran asegurar la estabilidad de las obras (Low, 2005), sin embargo es necesario realizar controles y seguimientos a la construcción de dichas estructuras para asegurar la calidad de las mismas, y aquí es donde cobra relevancia la figura del interventor como el responsable de la supervisión en la correcta ejecución de las actividades, llevando el control de la documentación en general, los procedimientos, equipos, materiales entre otros.

Adicionalmente la construcción de anclajes activos como parte del proceso de estabilización de taludes con muros de contención, los cuales se emplean ampliamente en proyectos viales, es de gran complejidad, por lo cual necesario contar con formatos previamente establecidos con los criterios técnicos de interventoría, que facilite y agilice el trabajo de supervisión, garantizando el antes, durante y después del proceso constructivo y que contribuyan a asegurar la calidad de las obras (Terzi et al. 2011). En esta medida con este trabajo de grado se busca desarrollar un manual o guía para el seguimiento técnico a obras de este tipo, que sea de fácil comprensión y formatos de fácil aplicación, puesto en ocasiones los interventores o ingenieros a cargo de realizar los controles desconocen gran parte de los procedimientos y mecanicismo que deben controlarse principalmente.

1.2 Formulación del problema

¿Existe una guía o manual para el control y seguimiento a la construcción de anclajes activos que contenga los principales criterios técnicos que deben realizarse, antes, durante y después del proceso constructivo?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General. Determinar los criterios de interventoría para los controles técnicos en la construcción de anclajes activos.

1.3.2 Objetivo Específicos.

- Establecer los fundamentos teóricos, conceptuales y legales necesarios para el desarrollo de obras de estabilización.

- Identificar los aspectos de interventoría técnica requeridos para la construcción de anclajes activos.

- Elaborar una guía de interventoría técnica para la construcción de anclajes activos en obras de estabilización.

1.4 Justificación

En proyectos de ingeniería es común verse enfrentado a problemas asociados con la estabilidad de taludes, ya sean naturales o artificiales, dichos problemas consisten en deslizamientos, erosión, hundimientos y meteorización, siendo el primero uno de los más comunes. Dada las condiciones geográficas de gran parte del país, además de las condiciones climáticas, es necesario diseñar y construir diferentes sistemas de estabilización, que logren asegurar la integridad de las estructuras y salvaguarda la vida de las personas (Sancho, 2018).

Dentro de los métodos de estabilización existente, los sistemas de anclajes han demostrado tener un correcto funcionamiento, y son frecuentemente utilizados en proyectos viales y de edificaciones verticales, controlando los deslizamientos y caídas de material (Xanthakos, 1991). No obstante, el correcto funcionamiento de los sistemas de anclajes depende en gran medida de diseños adecuados, correcta ejecución de procesos constructivos, y el mantenimiento oportuno.

En este sentido el interventor juega un papel fundamental, puesto que es el llamado a velar por la integridad de las obras, y el encargado de realizar la supervisión y seguimiento de los diferentes procesos que se desarrollan en el marco del proyecto, por ende de él dependerá que se validen los diseños correctos, asegurar adecuados procesos constructivos, control de materiales, ensayos de laboratorio y en general todas aquellos aspectos de carácter técnico que le son delegados por la entidad contratante.

Con el presente proyecto se plantea implementar una guía metodológica que permita al interventor realizar un seguimiento de carácter técnico sobre las obras que se desarrollan como parte de este sistema de estabilización, tanto en los diseños, construcción y puesta en

funcionamiento de los sistemas de anclajes, poniendo a disposición del lector un conjunto de formatos que faciliten y especifiquen los principales aspectos que debe controlar en proyectos de este tipo.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Temporal. Este proyecto se desarrollará en el período que comprende desde febrero de 2020 hasta Mayo del 2020.

1.5.2 Delimitación Geográfica. Se incluirá en la guía de interventoría técnica los criterios necesarios para realizar controles en la construcción de anclajes activos en obras de alta complejidad de vías en el departamento de Norte de Santander en el proyecto de la vía Cúcuta pamplona.

1.5.3 Delimitación Operativa. Este proyecto contempla los aspectos relacionados con la interventoría técnica tales como la interpretación de los planos, marco legal, control de calidad de los materiales, de pruebas o ensayos existentes para los anclajes activos, priorizando el desarrollo de los objetivos específicos y con ello la recopilación de material bibliográfico, análisis de experiencias en campo y finalmente el desarrollo de un manual.

1.5.4 Delimitación Conceptual. Para este proyecto se tendrán en cuenta los siguientes términos: guía de interventoría técnica, interventoría técnica, anclajes activos, planos constructivos, talud, tendones, torones, separadores, forros plásticos, inyección, insumos, equipos, gato hidráulico, perforación, lechada de cemento, tubo de inyección, longitud del anclaje, longitud libre, zona de bulbo, cuña, porta cuñas, obturador, lafeta, tubería de perforación, martillo de fondo, bomba de inyección.

Capítulo 2. Marco Referencia

2.1 Marco histórico

Históricamente, el origen de los anclajes se remonta a finales del siglo pasado. Frazer (1874) ha descrito pruebas en anclajes de hierro forjado para el soporte de un banco del canal a lo largo del ferrocarril Londres-Birmingham. Anderson (1900) ha documentado el uso de pilotes de tornillo para restringir las losas de piso contra la flotación. Una de las primeras y más impresionantes aplicaciones fue el fortalecimiento de la presa Cheurfas en Argelia, iniciada por Coyne en 1934. Esta estructura gravitacional, que fue construida con materiales de mampostería convencionales en 1880, pero fue parcialmente destruida en 1885. Después de una inundación grave.

La presa fue reconstruida en 1892, pero a principios de la década de 1930 mostró signos de inestabilidad en los cimientos. La integridad estructural fue restaurada mediante el uso de anclajes verticales de capacidad de 1000 atones colocados a intervalos de 3.5 m tensados por gatos hidráulicos entre la cresta de la presa y la parte inferior de la cabeza del cable. Los anclajes transfieren la tensión a la arenisca, aproximadamente 15 m debajo de la base de la presa. Durante la perforación de los agujeros y la orientación de los cables se encontraron dificultades debido a la mala calidad de la estructura de mampostería, la presencia de hinchazón en el suelo y la presencia de agua en el cuerpo de la presa. Estas condiciones contribuyeron al inicio del ataque de corrosión, y en 1965 varios de los anclajes tuvieron que ser reemplazados.

Después de la demostración de Coyne, la fabricación de alambres y alambres de acero de alta resistencia confiables junto con las mejoras en los métodos de lechada y perforación condujeron al desarrollo de anclajes al suelo en la posguerra, principalmente en Francia, Alemania, Suecia y Suiza, y más tarde en Inglaterra. Durante los años noventa, los anclajes se utilizaron por primera vez para soportar excavaciones profundas. Hoy en día, la práctica del anclaje es común en la mayoría de las partes del mundo, incluidas las Estados Unidos, tanto para rocas como para suelos, y los métodos actuales pueden producir anclajes de alta capacidad en arcillas rígidas, así como en arenas finas y limos.

2.1.1 Antecedentes

Son diversos los trabajos que se han desarrollado respecto a los diferentes métodos de estabilización, incluyendo aquellos que consideran la construcción de pantallas ancladas, o métodos de estabilización con anclajes activos o pasivos, dependiendo de los requerimientos específicos del terreno y las obras. En este sentido a continuación se mencionan algunos de los principales trabajos considerados en este trabajo.

A nivel internacional

En Turquía, los autores Terzi, Daldal y Yildirim (2011). Lograron la publicación de un trabajo titulado MONITORING A GROUTED ANCHOR IN A REINFORCED STRUCTURE, en el cual describen los principales aspectos en el diseño de anclajes, incluyendo las diferentes ecuaciones que suelen emplearse. Adicionalmente profundizan en los métodos de transferencia

mecánica, mecanismo con el cual se logra transmitir las cargas de los tendones al terreno. Finalmente describen los aspectos constructivos necesarios para la construcción de anclajes en estructuras de concreto reforzados. En este estudio, se evaluó una investigación de campo que involucraba el rendimiento y las pruebas de carga repetidas en un ancla agrupada, en base a los resultados de la prueba a gran escala de una estructura de pared reforzada construida en el suelo de arcilla rígida del distrito de Kozyatagi en Estambul.

En Paris, los autores Vukotic, Gonzales y Peña (2013), presentaron en el evento Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, los avances desarrollados de su investigación titulado THE INFLUENCE OF BOND STRESS DISTRIBUTION ON GROUND ANCHOR FIXED LENGTH DESIGN. FIELDTRIAL RESULTS AND PROPOSAL FOR DESIGN METHODOLOGY. En dicho trabajo se presenta un breve análisis y comparación de diferentes recomendaciones para un diseño de longitud fija de anclaje a tierra y una capacidad de transferencia de carga en la interfaz de lechada-tierra, comparándola con los resultados de las pruebas a escala completa llevadas a cabo recientemente en España. Se propone una metodología simple para el diseño de rutina de anclaje al suelo, incorporando el factor de eficiencia como un control conceptual de la capacidad de anclaje y criterios de longitud fija para determinar el rango de aplicación de los anclajes convencionales, con una unidad de longitud fija única, o anclajes múltiples de un solo orificio (SBMA). Los anclajes al suelo que se analizan en este documento están agrupados a presión de cemento, formados por tendones de filamentos pretensados que se instalan en el suelo o en la roca.

A nivel nacional

A nivel nacional son diversos los proyectos desarrollados por diferentes autores respecto al tema de los anclajes, entre ellos se encuentran:

Hurtado (2017), desarrollo un trabajo de grado en Ibagué con la Universidad Cooperativa de Colombia, titulado ACOMPAÑAMIENTO EN LOS PROCESOS DE FORMULACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA EMPRESA TAG PERFORACIONES EN PROYECTOS DE ANCLAJES PASIVOS Y ACTIVOS EN EL MUNICIPIO DE IBAGUÉ. Dicho trabajo se enfocó en realizar una descripción de los diferentes controles a la ejecución de las obras para la construcción de anclajes, además de la verificación del cumplimiento de las especificaciones técnicas y los diseños correspondientes.

Otros autores como Cabeza y Sossa (2015), desarrollaron en la Universidad Pontificia Bolivariana en la ciudad de Bucaramanga, un trabajo titulado ELABORACIÓN DE UNA GUÍA CONSTRUCTIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PANTALLAS ANCLADAS. En el cual se realizó una evaluación de los diferentes procesos constructivos empleados en la construcción de pantallas ancladas, además de que se identificaron buenas prácticas en el desarrollo de estos procesos, constituyendo un gran aporte para la identificaron y control de los procesos constructivos en la construcción de anclajes.

A nivel local

A nivel local desde la universidad Francisco de paula Santander Ocaña, se han liderado investigaciones y proyectos encaminados a los métodos de estabilización entre ello se encuentran.

En 2014 se realizó el proyecto de grado titulado ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO BELLAVISTA DEL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER, desarrollado por Álvarez y Conde (2014). Con este trabajo se realizó un análisis de la situación de estabilidad de un talud presente en el sector de bellavista, el cual por sus características representaba un riesgo considerable, para el análisis del talud se requirió de la realización de ensayos de laboratorio y topografías que permitiera la modelación y posterior análisis de dicho talud, con lo que finalmente se plantearon algunas medidas de estabilización.

En 2016 se realizó otro proyecto titulado ANALISIS PROBABILISTICO Y DE SENSIBILIDAD EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES UTILIZANDO LA APLICACION SLOPE/W, desarrollado por Gutiérrez y Vélez (2016). Dicho trabajo considero un análisis de taludes mediante métodos no determinísticos, empleando el software SLOPE/W con el método Montecarlo. Se realizaron varias modelaciones a taludes delimitados por el ángulo de inclinación, altura, y los parámetros resistentes del suelo.

2.2 Marco Contextual

En obras de infraestructura la erosión constituye el contratiempo más común y difícil de controlar, se produce a partir de la acción adversa de factores como el agua, la temperatura, los gases, el viento, entre otros. La precipitación que se infiltra en el suelo genera deslizamiento lo que produce la erosión, lo cual conlleva a cambios en las presiones de poro a través de la rotura del estado normal de las aguas subterráneas (Navarro, 2002).

Para lograr controlar la erosión se han desarrollado diferentes sistemas de contención para contener pequeñas masas producto de deslizamientos y estabilización de taludes para controlar grandes masas inestables propensas a algún fenómeno de remoción. En la aplicación de estos sistemas es necesario optimizar materiales y reducir costos, por lo cual se han ensayado muros anclados, muro en gaviones, en tierra armada, muros de gravedad ya sean ciclópeos o reforzados, pantallas ancladas con pernos o con torones (Valiente et. al, 2016). Es notorio como los anclajes son un medio fundamental para lograr la estabilidad de diferentes estructuras cuando estas son sometidas a un determinado estado de tensiones o esfuerzos.

El principal propósito de las estructuras de contención es la de soportar la fuerza ejercida por la tierra contenida y transmitir dichas fuerzas en forma segura a un lugar por fuera de la masa analizada de movimiento, hacia un punto de la cimentación o el anclaje situado fuera de la zona susceptible de desplazarse (Coronel y Calderón, 2013).

El campo de aplicación para masas rocosas y suelos anclados con elementos pretensados ha estado desarrollando desde los años 1950 y actualmente constituyen un elemento fundamental para asegurar la estabilidad que diferentes estructuras, aprovechando las posibilidades y procedimientos que ofrecen la tecnología actual (Navarro, 2002).

Estos anclajes resultan ser muy ventajosos cuando se quiere aprovechar una determinada masa de suelo para soportar cierto estado de esfuerzos o tensiones, es común el uso de estos elementos en proyectos viales donde la calzada ha colapsado debido a la disminución de la resistencia al corte, esto se logra solucionar satisfactoriamente con el uso de pantallas o muros atirantados. Este tipo de obras se ha empleado también en diferentes construcciones civiles y se usa con mayor frecuencia cada vez más debido al éxito de los anclajes inyectados para sostener muros y absorber momentos de volcamiento como aquellos producidos por torres de alta tensión, grandes presas y otras obras en las cuales la fuerza de tracción soportadas por el terreno de anclaje se transfiere a una zona más profunda y estable y por ende de con mayor capacidad de soporte (Navarro, 2002).

Con respecto a las obras subterráneas como túneles o galerías es de vital importancia asegurar el sostenimiento durante y después del proceso de excavación, puesto que la concentración de esfuerzos circundantes a la excavación puede ocasionar que la roca fracturada se desplace y comprometa la estabilidad del túnel, por ello se emplean anclajes que mediante revestimientos son capaces de asegurar la estabilidad definitiva de la obra.

El desarrollo urbano de grandes ciudades en los que se requieren de edificios cada vez más altos ha propiciado un aumento de la construcción de muros anclados o sistemas de contención por medio de anclajes, ya sean de tipo activo o pasivos, esto debido a los subniveles de los edificios los cuales requieren de cortes de gran altura. El uso de estos anclajes es una gran alternativa al ser una técnica económica y practica para la construcción de muros de contención que se puede combinar conjuntamente con otros procedimientos modernos como el concreto proyectado tanto por vía seca o húmeda (Navarro, 2002).

Sea cual sea el sistema de contención seleccionado, es importante considerar en el diseño tanto la condición estable del talud en el que la fuerza activa adquiere una distribución de presiones triangular, como la condición de deslizamiento, en cuyo caso las fuerzas que actúan realmente sobre el muro son mayores a las fuerzas activas calculadas en la condición inicial.

2.3 Marco conceptual

Taludes: Es un término empleado para referirse a la acumulación de fragmentos de roca, acantilados de montañas, también se refiere a cualquier superficie con una inclinación respecto a un horizontal permanente. Se puede formar por acción natural o intervención humana y en este sentido los taludes pueden dividirse en dos, naturales o laderas y artificiales o terraplenes (Arias, 2014). En la figura 3 se pueden apreciar algunos tipos de taludes.

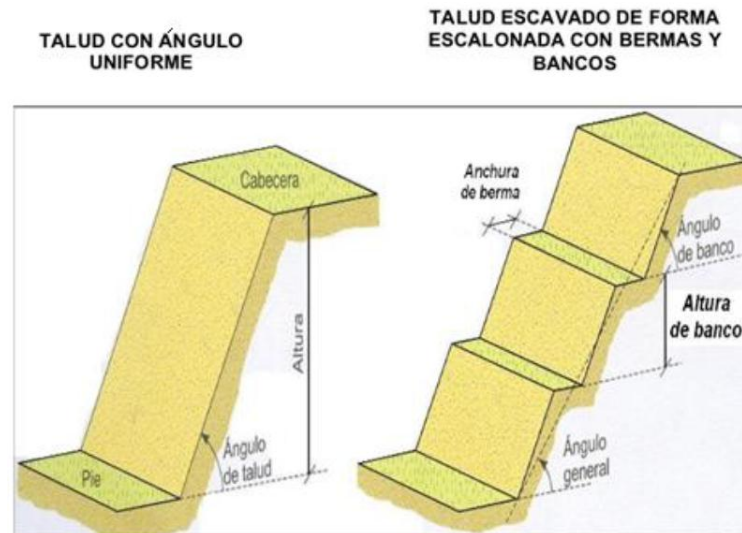


Figura 1. Tipos de taludes. Arias (2014).

Excavaciones: Consiste en la acción de remover o cortar cualquier clase de suelo sin importar su naturaleza o condiciones físico mecánicas, ya sea dentro o fuera de la construcción. Para su realización se requiere de nivelación, evacuación del material excavado y su disposición final (Arias, 2014).

Drenaje Subhorizontal: Es un método efectivo que mejora la condición de estabilidad del talud, básicamente son tubos de 5 cm de diámetro, perforados y cubiertos por un filtro que evita su taponamiento debido al arrastre de material fino. Su instalación se realiza penetrando la zona de nivel freático, con una pequeña pendiente hacia el pie del talud esto permite el flujo del agua por acción de la gravedad. El espaciamiento de los diferentes drenajes varía entre 3 a 8 metros para arcillas y hasta 15 metros para arenas (Arias, 2014).

Drenajes verticales: Este tipo de drenajes son empleados cuando existe un estrato impermeable sobre otro estrato con mayor permeabilidad, drenaje libre y presión hidrostática

menor. Su instalación se realiza atravesando el estrato impermeable, en forma tal que el agua se conduzca dentro de ellos por acción de la gravedad hasta llegar al estrato de mayor permeabilidad, liberando el exceso de presión a los poros de la estructura (Arias, 2014).

Drenaje transversal interceptores: Se ubican sobre la superficie del talud proporcionando una salida al agua infiltrada y que puede ocasionar erosión. Estos drenajes generalmente se ubican en la corona del talud, evitando el paso al resto de la estructura, o al pie de talud, para recolectar el agua que procede de otros drenajes (Arias, 2014).

Pantallas: Se compone por una malla metálica sobre la cual se proyecta concreto, recubriendo la cara del talud. Esta corteza de concreto suele estar armada mediante sistemas de anclajes que atraviesan la superficie de falla y posteriormente son tensados en dirección opuesta al desplazamiento de la falla generando un empuje activo.

Anclaje: Es un dispositivo con la capacidad de transmitir la fuerza de tracción aplicadas a un estrato del terreno con mayor capacidad de soporte.

Anclaje Activo: Consiste en un anclaje sometido a una carga de tensado no inferior al 50% de la máxima prevista en el proyecto después de su ejecución

Anclaje pasivo: Consiste un tipo de anclaje que se somete a una carga inicial baja, que en general oscila entre 10 y 25% de la máxima prevista para el proyecto.

Anclaje Retesable: Las condiciones de este anclaje permiten operaciones que varíen o modifiquen las cargas a lo largo de su vida útil.

Anclaje no retesable: Contrario al anterior, este anclaje no permite ninguna operación que pueda modificar o alterar sus cargas de diseño.

Anclaje Permanente: Es un anclaje con una vida útil estimada superior a los dos años.

Anclaje Provisional o temporal: La vida útil de este anclaje no supera los dos años y, para el caso de ambientes particularmente agresivos este periodo debe reducirse de acuerdo a lo establecido en el proyecto.

Capacidad externa del anclaje: Es la carga producida por el desplazamiento continuo del bulbo bajo una carga constante (Mendoza, 2015).

Capacidad interna del anclaje: Corresponde a la carga al límite de rotura del tirante del anclaje (Mendoza, 2015).

Capacidad crítica de deslizamiento: Corresponde a la carga a partir de la cual se produce un cambio abrupto en la velocidad de deslizamiento (Mendoza, 2015).

Capacidad Nominal: Es la carga de proyecto, normalmente obtenida en los cálculos de estabilidad de la estructura anclada (Mendoza, 2015).

Capacidad de prueba: Corresponde a la carga máxima a la cual se somete un anclaje durante un ensayo (Mendoza, 2015).

Capacidad de referencia o inicial: Es la carga a partir de la cual inicia la deformación o alargamiento, y en general corresponde al 10% de la carga de prueba (Mendoza, 2015).

Carga residual: Es la carga medida en cualquier momento de la vida útil del anclaje, generalmente varía en el tiempo a causa del movimiento de la estructura o de cargas deferidas (Mendoza, 2015).

Capacidad de tensado: También llamada carga de trabajo, corresponde a la carga que se aplica al anclaje después de completar el tensado y una vez bloqueados las cuñas. En general se recomienda que dicha carga sea inferior a la nominal del anclaje (Mendoza, 2015).

Partes de un anclaje: Principalmente un anclaje puede dividirse en tres zonas, inicialmente esta la zona de anclaje, posteriormente la zona libre y finalmente la cabeza y placa de apoyo.

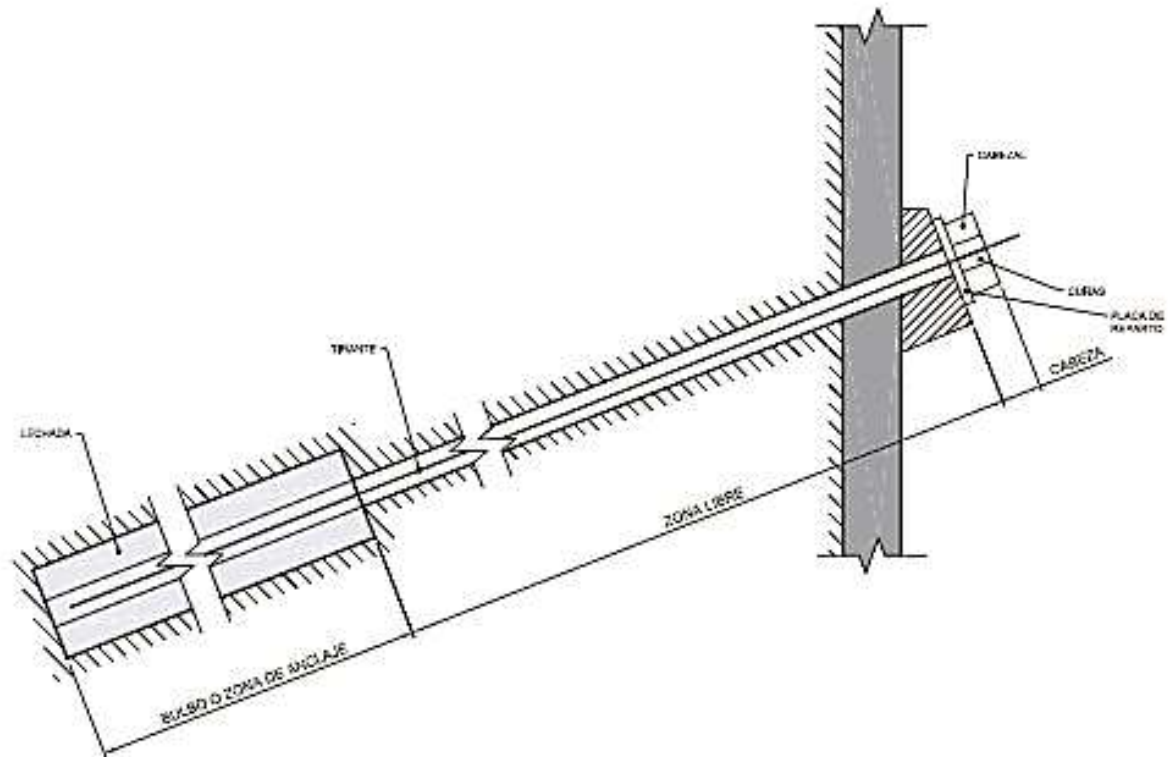


Figura 2. Partes de un anclaje. Mendoza (2014).

La *zona del anclaje* se considera la parte solidaria del terreno además de ser la encargada de transferir los esfuerzos. Para su elaboración se emplean inyecciones de lechada, con relaciones de A/C (agua-cemento) entre 1.8 y 2.0, en ocasiones también se emplean inyecciones de mortero de cemento (Rengifo, 2015).

El proceso de inyección se efectúa mediante tuberías de PVC y frecuentemente se realiza a presión, hasta de 3 MPa. Es importante evitar que la zona libre se cimente con la lechada, adicionalmente cabe resaltar que, si es el caso, se permite el uso de aditivos que aceleren el fraguado y disminuyan la retracción (Rengifo, 2015).

Se llama Bulbo de anclaje al material que recubre la armadura y la unifica con el terreno que la rodea, en general puede ser cemento, mortero o resina. Es de vital importancia lograr una correcta materialización del bulbo de anclaje, la cual se hace muy delicada en el caso de los terrenos sueltos. Esta zona debe protegerse de la corrosión, y como lo plantea Schabel (1982) el mortero juega un papel importante al proteger la armadura ante la acción corrosiva del entorno, formando una película pasiva de hidróxidos ferrosos ($\text{Fe}(\text{OH})$) que evita la corrosión del acero (Rengifo, 2015).

La resistencia de la zona de anclaje depende de la adherencia entre la lechada y el refuerzo, así mismo de la adherencia entre el bulbo y el terreno, estos dos en conjunto determinan la resistencia en si del anclaje.

Tabla 1
Resistencia media al deslizamiento de bulbos inyectados

Tipo de terreno	Resistencia media al deslizamiento (MPa)
Rocas Duras (Caliza, Gneis, Granito)	1.00 a 2.50
Roca floja	0.30 a 1.00
Gravas y arenas gruesas	0.30 a 0.60
Arcillas con resistencia a la compresión	> 0.80
simple:	0.40 a 0.80
≥ 0.40 MPa	0.25 a 0.40
0.10 a 0.40 MPa	
0.05 a 0.10 MPa	

Fuente: Cañizo et al., (1970)

La *zona libre* es la correspondiente a la parte de la armadura metálica que esta independiente del terreno que lo rodea, esto le permite deformarse libremente bajo esfuerzos de tensión. Esta parte se recubre generalmente con una camisa de polivinilo, protegiéndolo de la corrosión empleando algún tipo de relleno o producto protector.

Por razones constructivas es recomendable que la zona libre tenga una longitud mínima de 6 m, esto asegura una adecuada puesta de tensión, y minimiza los efectos producidos por los movimientos de la cabeza.

La cabeza y placa de apoyo (Figura 3), constituyen el sistema de abroche de toda la armadura, en general está compuesto por un sistema de tuercas en el caso de barras roscadas o bien remachadas, también está el caso de conos machos y hembras para alambres y cordones. Estos abroches pueden ser común al conjunto de la armadura, o en forma independiente para varios elementos. La placa de apoyo se sitúa sobre un bloque de concreto, el cual transmite los esfuerzos al terreno. Adicionalmente, la puesta en tensión de los cables se realiza mediante gatos hidráulicos (Rengifo, 2015).

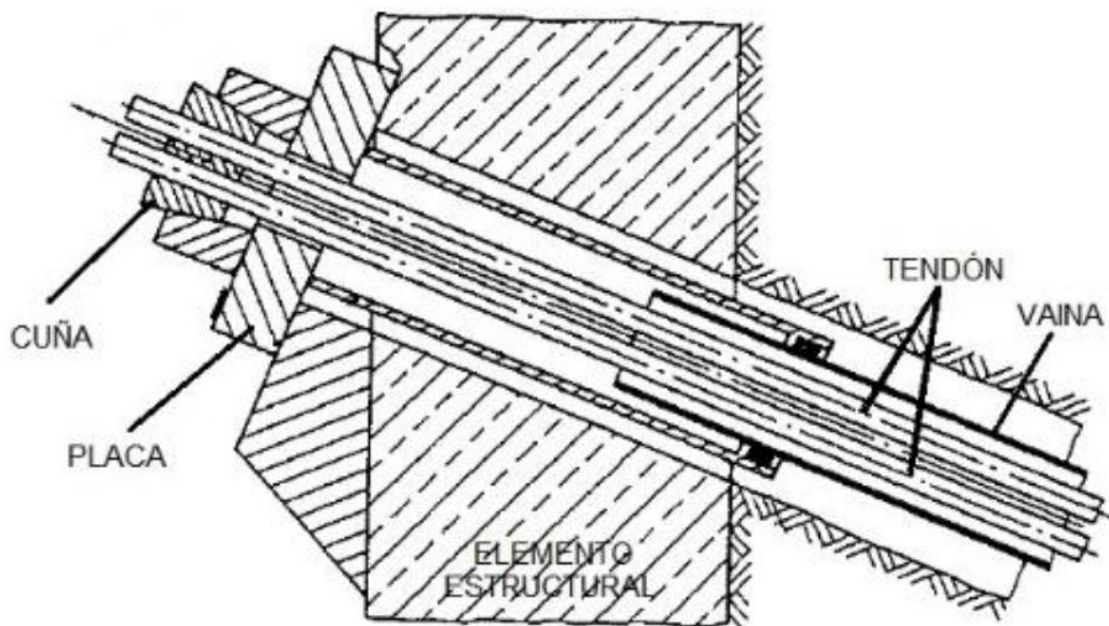


Figura 3. Cabeza y placa de apoyo. Zorrilla (2012)

En general los estudios geotécnicos se realizan considerando dos premisas: el diseño de taludes estables bajo condiciones requeridas, o bien, para la estabilización de taludes inestables (Gonzales de Vallejo, 2004). (En cualquiera de los casos un análisis de estabilidad permitirá diseñar taludes mediante el cálculo del factor de seguridad y establecer el conjunto de medidas correctivas necesarias en caso de roturas potenciales o reales.

Ahora bien, dichos análisis parten de un conjunto de teorías planteadas a partir de planteamientos físico-matemáticos que involucran fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras actuantes sobre un determinado talud, condicionando su comportamiento y estabilidad. En general las metodologías existentes se pueden agrupar en dos tipos:

2.3.1 Métodos determinísticos. Inicialmente se parte de una selección adecuada de los diferentes parámetros físicos y de resistencia que describan el comportamiento del talud, posteriormente con las leyes de comportamiento adecuadas, se define el factor de seguridad o estado de estabilidad del talud. Estas consideraciones se emplean en métodos como el equilibrio límite en el cual se analiza una masa potencialmente inestable y se compara las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes a él a lo largo de la superficie de rotura; otro de los métodos es el método de tenso-deformación, que posee la ventaja de considerar las relaciones tensión-deformación que sufre el material durante el proceso de deformación y rotura. Estos métodos se aplican generalmente en taludes en suelos, macizos rocosos masivos, alterados, blandos o poco competentes (Luo et al. 2016).

2.3.2 Métodos probabilísticos. Estos métodos parten de la probabilidad de rotura de un talud bajo determinadas condiciones, inicialmente se requiere saber las funciones de distribución de las variables aleatorias consideradas en el análisis, a partir de ello se realiza el cálculo del factor de seguridad (FS) a través de un proceso iterativo. El resultado final consiste en las funciones de distribución de probabilidad y densidad de probabilidad del FS, y las curvas de estabilidad del talud, junto con el FS asociado con una determinada posibilidad de ocurrencia.

Independientemente de la técnica de estudio o método empleado para el análisis del talud, es fundamental conocer los aspectos geológicos y geomecánicos de los materiales que componen el talud, así como los posibles mecanismos de fallas, que pueden presentarse y los factores involucrados que pueden condicionar o desencadenar dichas inestabilidades (Whittlestone et al. 1995).

2.3.3 Factores que influyen en la estabilidad. La estabilidad de un talud está condicionada a ciertos factores, como los materiales que lo constituyen que son llamados condicionantes o pasivos, y otros factores que dependen del entorno y son llamados desencadenantes o activos. A nivel técnico es posible afirmar que un talud está determinado en cuanto a su estabilidad por factores como la geometría, la geología, la geotecnia y la hidrogeología; la combinación de estos factores puede ocasionar la condición de rotura del talud. En la Tabla 2 se mencionan algunos de los principales factores condicionantes y desencadenantes.

Tabla 2
Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes

Factores condicionantes	Factores Desencadenantes
Litología y estratigrafía	Cargas dinámicas actuantes
Composición geológica	Condiciones de Sobrecarga estática
Condiciones y Comportamiento hidrogeológico de los materiales	Variaciones de las condiciones hidrogeológicas
Características físicas, mecánicas	Aspectos climáticos y ambientales
Estado tenso-deformación y condiciones de tensiones naturales.	Variación de la geometría del talud

Fuente: Gonzales de Vallejo, 2004

2.3.3.1 Estructura geológica y discontinuidades. La composición geológica y su estructura en combinación con las condiciones geométricas del talud (orientación, inclinación y altura) precisas los diferentes problemas que se pueden presentar. En el caso de los macizos rocosos la distribución espacial de las diferentes discontinuidades define la estructura, la

presencia de dichas discontinuidades genera un comportamiento anisotrópico del macizo, y debe analizarse de dicha forma, así mismo también implica la existencia de planos preferenciales para la rotura, en este sentido una configuración de fracturas condiciona el tamaño de los bloques y la dirección del deslizamiento además del tipo de rotura.

Con respecto a las discontinuidades, dos aspectos son fundamentales para tener en cuenta, el primero es el tipo de discontinuidad que se presenta y el segundo son las condiciones y características de dicha discontinuidad en materia de resistencia (Gonzales de Vallejo, 2004).

- a. Tipos de discontinuidades: Las discontinuidades pueden tener un origen tectónico, o sencillamente presentarse por la génesis de la roca, estas se clasifican generalmente en singulares y sistemáticas; las primeras se producen cuando existe un único plano que atraviesa el macizo y las segundas son las que aparecen agrupadas en familias. La Tabla 3 presenta los tipos de discontinuidades que se pueden presentar

Tabla 3
Tipos de Discontinuidades

Discontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	- Planos de estratificación. - Planos de laminación - Diaclasas o juntas - Planos de esquistosidad	- Fallas - Diques - Discordancias

Discontinuidades	Sistemáticas	Singulares
	<ul style="list-style-type: none"> - Intersección de discontinuidades planares - Lineaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Ejes de pliegues

Fuente: Gonzales de Vallejo, 2004

- b. Características de las discontinuidades: La descripción de una discontinuidad debe incluir la abertura, la orientación y espaciado, el relleno, la persistencia, la resistencia y las filtraciones de las paredes.

2.3.3.2 Condiciones hidrometeorológicas. El agua puede considerarse el principal enemigo de la estabilidad, su presencia reduce la resistencia del terreno y provocan un aumento de las fuerzas tendentes a la inestabilidad. La presión ejercida por el agua en el talud es uno de los efectos más relevantes, y se encuentra definida en función de la altura del nivel piezométrico, y para conocer dichas presiones (En magnitud y distribución) es necesario establecer los niveles freáticos o piezométricos, los flujos de agua, el coeficiente de permeabilidad, la transmisividad, el gradiente hidráulico y el coeficiente de almacenamiento (Naranjo, 2009).

2.3.3.3 Propiedades geomecánicas de los taludes. La existencia o no de la condición de rotura en un talud, se relaciona con su capacidad de resistencia al corte, que a su vez dependerá de la cohesión y ángulo de fricción interna del material. En el caso de taludes compuestos por un macizo rocoso su comportamiento mecánico estará en función de la resistencia de las

discontinuidades que presenta y de la propia matriz rocosa. Así mismo la litología, los antecedentes geológicos y demás características del macizo influirán en su comportamiento.

Conocer las condiciones mecánicas para el caso de los taludes, más aun, aquellos compuestos por un maciza rocoso es de suma importancia, puesto que las discontinuidades que se presentan condicionan la aparición de superficies de rotura, y por ende la generación de planos de rotura y movimientos en masa (Naranjo, 2009).

2.3.4 Parámetros geotécnicos necesarios para el diseño. Independientemente de la metodología que se quiera emplear y, previamente al estudio de estabilidad del talud y del mismo diseño en de los anclajes en algún proyecto que los requiera, se deben efectuar inicialmente diferentes estudios para conocer la condiciones físicas y geotécnicas del talud o corte que se va a estabilizar (Prada et al, 2011). Estos estudios comprenden:

2.3.4.1 Estudio topográfico. En todo proyecto que requiera la construcción de anclajes, es necesario contar con levantamientos topográficos que permitan establecer en forma precisa las condiciones del talud. Dicho estudio debe incluir tanto las curvas de nivel, como los perfiles del terreno.

La información que ofrece este estudio es fundamental tanto para el diseño como para el planteamiento constructivo de la obra, ya que posibilita el cálculo de volúmenes de corte, prever la posible necesidad de obras necesarias para transporte de materiales y equipos, además de la localización de los caminos de acceso y la movilización de personal y maquinaria.

2.3.4.2 Estudio Geotécnico. Sea cual sea el proyecto de construcción es necesario la elaboración de un estudio geotécnico, para el caso de proyectos que requieran la construcción de anclajes no es la excepción, más aun, es primordial que en este caso dichos estudios sean tan específicos como sea posible, dentro de los aspectos básicos de los estudios geotécnicos se deben a bordar los siguientes (Rondón y Torrado, 2017):

- **Antecedentes:** Es necesario saber con anterioridad si en el sitio de estudio han existidos problemas previos de estabilidad, el tipo de uso que se ha dado al suelo, si se han realizado más de una construcción, en fin se debe recopilar toda la información necesaria que pueda ser de utilidad en caso de presentarse algún problema o eventualidad (Prada et al, 2011)..
- **Visita profesional:** Es recomendable previo al diseño y construcción de un proyecto de ingeniería conocer las condiciones específicas del terreno, por ende es importante programas la visita de un profesional experto y demás profesionales de la obra para recorrer el sitio del proyecto y lugares circunvecinos, para así establecer junto con los habitantes del sector cuales han sido los problemas que han existido y la forma en que los han afrontado.
- **Marco geológico local y regional:** Un geólogo es un aliado valioso y su colaboración es de gran importancia para conocer el origen de los materiales existentes en la zona de estudio, además de entender los procesos geológicos que puedan afectar el proyecto (Prada et al, 2011).
- **Geología Estructural:** En el caso de anclajes sobre macizos rocosos esta información es de gran importancia, debido a la presencia de discontinuidades, las

cuales como ya se ha mencionado, condicionan la estabilidad del macizo. Un estudio completo de geología estructural permite ubicar las diferentes discontinuidades y definir aquellos bloques potencialmente inestables, así como el probable mecanismo de falla (Prada et al, 2011).

- Perfil geotécnico típico: Establecer la estratigrafía del sitio de estudio es uno de los componentes esenciales en todo estudio geotécnico, en general se emplean sondeos como mecanismo de exploración, ya sea por rotación o de percusión, estos permiten establecer la secuencia y espesores de capas de suelos y/o rocas (Rondón y Torrado, 2017).
- Propiedades índice: como parte del estudio geotécnico es necesario conocer las propiedades fundamentales de los materiales, por mencionar las más representativas se tiene: Granulometría, contenido de humedad, peso específico, límites de consistencia y adicionalmente una descripción y clasificación visual (Rondón y Torrado, 2017).
- Propiedades Mecánicas: Sin lugar a dudas este es un aspecto fundamental en proyectos de construcción de anclajes, puesto que los parámetros de resistencia (c y ϕ) son esenciales en estudio de estabilidad. Su cálculo puede realizarse con ensayos de laboratorio, pruebas in situ o métodos empíricos (Rondón y Torrado, 2017).
- Condiciones hidráulicas: Debido a la influencia del agua en la estabilidad del talud, es necesario conocer a detalle sus condiciones en zona de estudio. Inicialmente es necesario definir el régimen de lluvias de la zona, para conocer las condiciones pluviales y partiendo de ellas diseñar si es el caso medidas para el control de aguas y de esta manera garantizar la estabilidad de la obra (Rondón y Torrado, 2017).

- Sismicidad: En los proyectos de anclajes las condiciones de sismicidad son de suma relevancia, y para poder definir las se puede recurrir a reglamentaciones existentes, manuales, o teorías desarrolladas para tal fin.

2.3.5 Aspectos generales de los anclajes.

Un anclaje es un elemento estructural instalado en el suelo o roca que se utiliza para transmitir una carga de tracción aplicada al suelo (Cabeza y Sossa, 2015). Los anclajes agrupados, referidos simplemente como anclajes de tierra, se instalan en agujeros de perforación rellenos de lechada. Las anclas de tierra agrupadas también se conocen como "amarres". Los componentes básicos de un ancla de tierra agrupada incluyen: (1) anclaje; (2) longitud de tensión libre (sin unión); y (3) longitud de enlace. Estos y otros componentes de un anclaje a tierra se muestran esquemáticamente en la Figura 4.

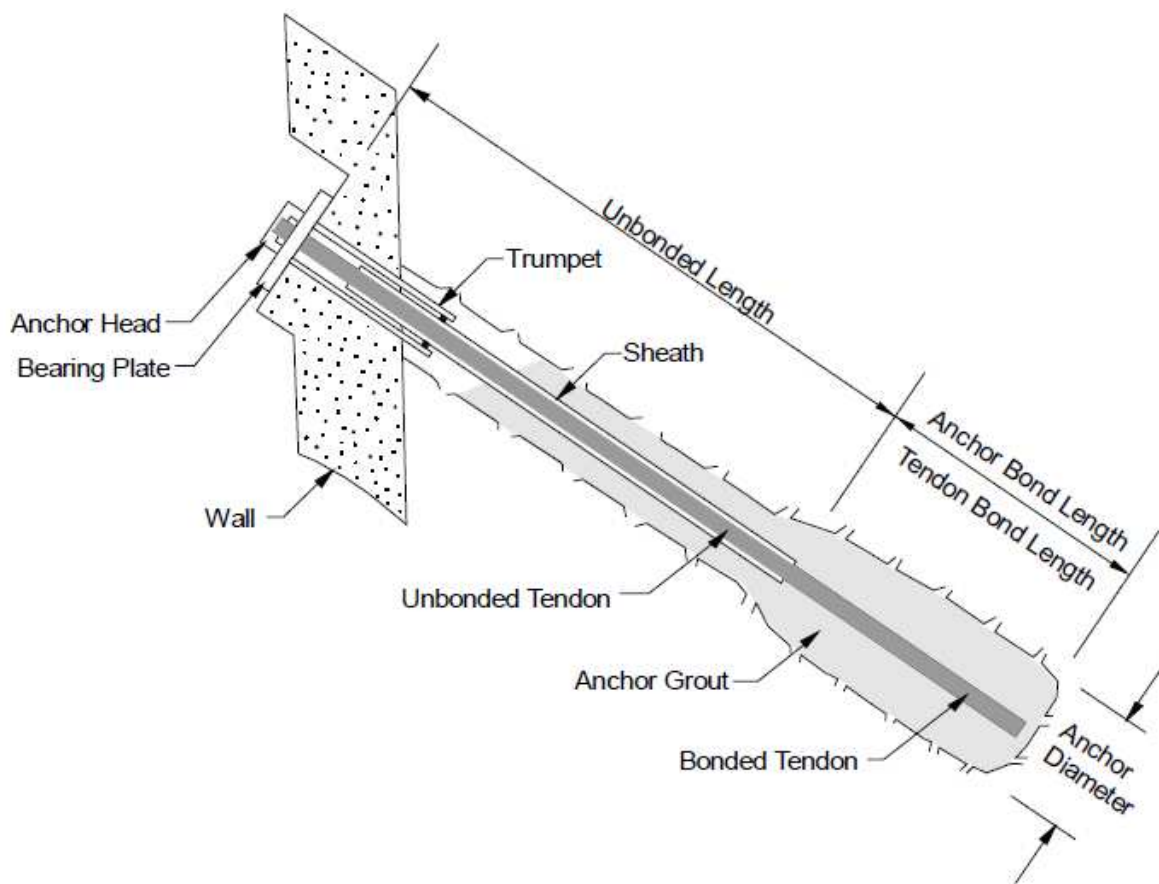


Figura 4. Componentes del anclaje. Sabatini, et al., (1999).

El anclaje es el sistema combinado de cabeza de anclaje (Anchor Head), placa de apoyo (Bearing plate) y trompeta (Trumpet) capaz de transferir la fuerza de pretensado del acero de pretensado (tira o barra) al suelo. La longitud libre (Unbonded Length) es la fracción del acero de pretensado el cual tiene la libertad de alargarse elásticamente y transferir la fuerza de resistencia a la estructura. Un rompe-adherentes es una manga plástica lisa que se emplea para evitar que el acero de pretensado se adhiera a la lechada circundante, permitiendo que el acero de pretensado en la longitud libre se alargue sin obstrucciones durante las pruebas y sometido a el esfuerzo. La longitud de unión del tendón (Tendon Bond Length) es la longitud del

acero de pretensado que está unido a la lechada transmitiendo la carga al suelo. La longitud de la unión del anclaje debe ubicarse detrás de la superficie de falla crítica (Sabatini et al, 1999).

El tendón incluye el elemento de acero de pretensado (hebras o barras), protección contra la corrosión, cubiertas (también denominadas cubiertas), centralizadores y espaciadores, pero excluye específicamente la lechada. La funda (Sheath) es una tubería o tubo liso o corrugado que protege el acero de pretensado en la longitud no unida de la corrosión. Los centralizadores colocan el tendón en el orificio de perforación de modo que la cubierta de lechada mínima especificada se logre alrededor del tendón. Para los tendones de elementos múltiples, los espaciadores se usan para separar las hebras o barras de los tendones para que cada elemento se adhiera adecuadamente a la lechada de anclaje. La lechada (Grout) es una mezcla a base de cemento Portland que proporciona transferencia de carga del tendón al suelo y proporciona protección contra la corrosión para el tendón (Sabatini et al, 1999).

2.3.5.1 Tipos de anclajes. Hay tres tipos principales de anclajes que se usan en la práctica: (1) anclajes a tierra de eje recto con lechada por gravedad (Tipo A); (2) anclajes de tierra de eje recto, lechada a presión (Tipo B); y (3) anclajes al suelo pos-lechada (Tipo C). Aunque no se usa comúnmente en la práctica, otro tipo de ancla es el ancla socavada (Tipo D). Estos tipos de anclaje a tierra se ilustran esquemáticamente en la Figura 5 y se describen a continuación:

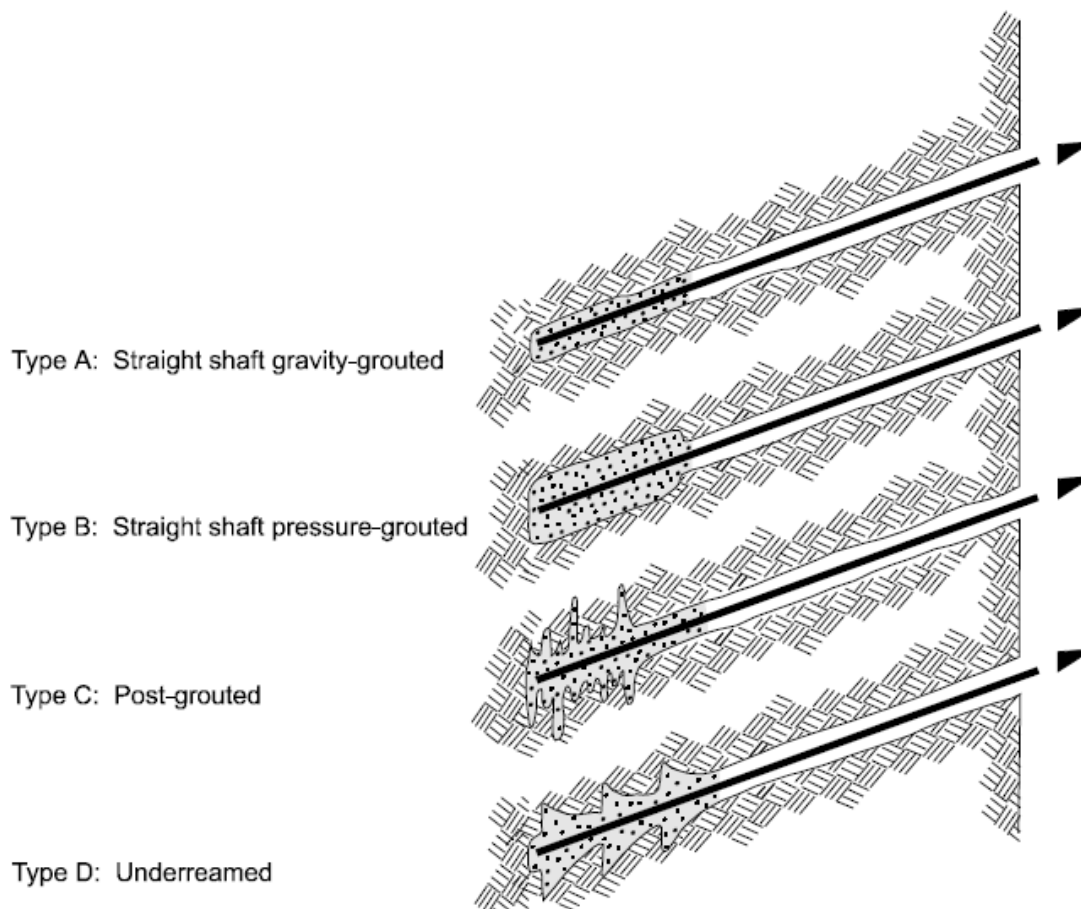


Figura 5. Principales tipos de anclajes. Sabatini, et al., (1999).

Los métodos de perforación para cada uno de los tres anclajes principales de suelo y roca incluyen perforación rotativa, de percusión, rotativa / percusiva o de barrena. Los procedimientos y métodos utilizados para perforar agujeros para anclajes al suelo generalmente son seleccionados por el contratista, la elección de un método de perforación particular también debe considerar las condiciones generales del sitio y es por esta razón que el ingeniero puede imponer limitaciones al método de perforación.

El método de perforación no debe afectar negativamente la integridad de las estructuras cerca de las ubicaciones de anclaje al suelo o en la superficie del suelo. Con respecto a la

perforación, la pérdida excesiva de tierra en el orificio de perforación y la elevación de la superficie del suelo son las principales causas de daño a estas estructuras.

En suelos o rocas inestables, se utiliza una carcasa de perforación. Se usa agua o aire para enjuagar los recortes de perforación del agujero revestido. Se debe tener precaución al usar la purga de aire para limpiar el orificio, las presiones de aire excesivas pueden provocar la eliminación no deseada de agua subterránea y partículas finas del pozo de perforación, lo que puede provocar un colapso potencial del pozo o estas presiones excesivas pueden dar lugar a levantamiento del suelo (Sabatini et al, 1999).

Anclajes de suelo de eje recto con lechada por gravedad

Los anclajes de suelo de eje recto con lechada por gravedad generalmente se instalan en roca o suelos demasiado rígidos a cohesivos duros, utilizando métodos de perforación rotatoria o de barrena de vástago hueco. Los métodos de tremie (desplazamiento por gravedad) se utilizan para aplicar lechada al ancla en un pozo de pozo de eje recto. La resistencia del anclaje a la extracción del ancla agrupada depende de la resistencia al corte que se moviliza en la interfaz de lechada / tierra (Sabatini et al, 1999).

Anclas de tierra de eje recto, lechada a presión

Los anclajes de suelo de eje recto lechados a presión son los más adecuados para suelos gruesos y rocas fisuradas, este tipo de anclaje se usa también en suelos de grano fino sin

cohesión. La lechada se inyecta en la zona de unión a presiones superiores a 0,35 MPa, el pozo se perfora típicamente usando un sinfín de vástago hueco o utilizando técnicas rotativas con tripas de perforación. A medida que se retira el sinfín o la carcasa, la lechada se inyecta en el orificio a presión logrando agrupar toda la longitud de la unión del ancla. Con este procedimiento se aumenta la resistencia a la extracción en relación con los métodos de lechada tremie al: (1) aumentar la tensión normal en la zona del bulbo debido a la compactación local del material circundante alrededor del bulbo de la lechada; y (2) aumentar el diámetro efectivo del bulbo de la lechada (Sabatini et al, 1999).

Anclajes de suelo postgrouting

Las anclas de tierra “post-lechada” usan inyecciones de lechada múltiple retardadas para aumentar la estructura de la lechada de las anclas de tierra, cada inyección está separada por uno o dos días. El postgrouting se logra mediante un tubo de lechada sellado, el cual cuenta con válvulas de retención en la zona de unión, las válvulas de retención permiten inyectar lechada adicional a alta presión en la lechada inicial que se ha fraguado, la lechada de alta presión fractura la primera lechada y la acuña hacia afuera en el suelo aumentando el cuerpo de la lechada. Se utilizan dos tipos fundamentales de anclajes postgrouting, un sistema usa un empacador para aislar cada válvula, el otro sistema bombea la lechada por el tubo posterior a la lechada sin controlar qué válvulas están abiertas (Sabatini et al, 1999).

Anclas socavadas

Las anclas socavadas consisten en perforaciones agrupadas en forma de tremie que incluyen una serie de campanas de ampliación o socavones, este tipo de anclaje puede usarse en depósitos cohesivos firmes o duros. Además de la resistencia a través del corte lateral, como es el mecanismo principal de transferencia de carga para otros anclajes, la resistencia también puede movilizarse a través del rodamiento final. Es importante tener cuidado para formar y limpiar las capas inferiores (Sabatini et al, 1999).

2.3.5.2 Material de los tendones.

Tanto los tendones de barra como los de cadena se usan comúnmente para anclajes de suelo y roca para aplicaciones en carreteras. Las especificaciones de materiales para los tendones de barra y cadena están codificadas en la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) A722 y ASTM A416, respectivamente (Sabatini et al, 1999). Los tendones de barra están comúnmente disponibles en diámetros de 26 mm, 32 mm, 36 mm, 45 mm y 64 mm en longitudes desacopladas de hasta aproximadamente 18 m. Las cargas de diseño de anclaje de hasta aproximadamente 2.077 kN pueden resistirse con un solo tendón de barra de 64 mm de diámetro. Para longitudes mayores de 18 m y donde las limitaciones de espacio limitan las longitudes de los tendones de la barra, se pueden usar acopladores para extender la longitud del tendón. En comparación con los tendones, las barras son más fáciles de estresar y su carga se puede ajustar después del bloqueo.

Los tendones de hebra comprenden múltiples hebras de siete hilos. El hilo común en la práctica es de 15 mm de diámetro. Los anclajes que utilizan múltiples hilos no tienen limitaciones prácticas de carga o longitud de anclaje. Los aceros tendinosos tienen propiedades de relajación suficientemente bajas para minimizar las pérdidas de carga de anclaje a largo plazo, los acopladores están disponibles para hilos individuales de siete hilos, pero rara vez se usan, ya que los tendones pueden fabricarse en cualquier longitud. No se recomiendan los acopladores de filamento para proyectos de anclaje de rutina, ya que el diámetro del acoplador es mucho mayor que el diámetro del filamento, pero los acopladores de filamento pueden usarse para reparar tendones dañados. Cuando se usan acopladores, se debe verificar la protección contra la corrosión del tendón en la ubicación del acoplador (Sabatini et al, 1999).

Espaciadores y centralizadores

Los espaciadores o centralizadores se colocan determinados intervalos regulares (en general 3 m) en la zona de enlace del anclaje. Para los tendones de filamento, el uso de espaciadores proporciona una separación entre hileras mínimo de 6 a 13 mm y un recubrimiento de lechada externa mínima de 13 mm. Los espaciadores y centralizadores están hechos a partir de materiales que no presenten corrosión y se diseñan permitiendo el flujo libre de lechada (Sabatini et al, 1999).

Otros tipos de anclaje y materiales tendinosos

Además de los anclajes agrupados de cemento que incorporan aceros de pretensado de alta resistencia, se utilizan tipos de anclajes alternativos y materiales de tendón. Los ejemplos incluyen barras de acero agrupadas de grado 60 y 75 grados, anclajes helicoidales, anclajes de placa y anclajes mecánicos de roca.

Actualmente se están realizando investigaciones sobre el uso de tendones de pretensado de plástico reforzado con fibra (FRP). Los tendones de FRP poseen una resistencia a la tracción alta, son resistentes a los procesos de corrosión y además son livianos. No obstante, esto no se utiliza en la práctica actual de construcción. Materiales como el acero y la fibra de vidrio, se han utilizado en forma experimental, pero los problemas de costo y construcción han restringido el uso generalizado (Schmidt et al., 1994).

2.3.5.3 Lechada de cemento.

La lechada para anclajes de suelo y roca es típicamente una lechada de cemento limpia (es decir, lechada que no contiene agregado) conforme a ASTM C150, aunque la lechada de cemento de arena también se puede usar para perforaciones de gran diámetro. La lechada de gravilla, arena y cemento puede usarse para la lechada de anclaje fuera de la encapsulación del tendón. Los mezcladores de lechada de cemento de alta velocidad se usan comúnmente, lo que puede garantizar razonablemente una mezcla uniforme entre la lechada y el agua (Sabatini et al, 1999).

Una relación agua / cemento (a / c) de 0.4 a 0.55 en peso y el cemento Tipo I normalmente proporcionará una resistencia a la compresión mínima de 21 MPa en el momento de la tensión del ancla. Para algunos proyectos, se pueden requerir aditivos especiales para mejorar las características de flujo de fluido de la lechada. Por lo general, no se requieren aditivos para la mayoría de las aplicaciones, pero los plastificantes pueden ser beneficiosos para aplicaciones a altas temperaturas y para largas distancias de bombeo de lechada (Sabatini et al, 1999).

2.4 Marco Teórico

Son diversos los autores que han empleado sus estudios e investigaciones en establecer y ampliar la información referente a la estabilidad de taludes, incluyendo el desarrollo de métodos de estabilización que se emplean para lograr contener masas de suelo, y permitir el desarrollo de proyectos de construcción. En esta medida, a continuación se plantean algunos de los trabajos realizados.

Diagramas de presión de tierra. Los primeros diagramas de presiones de tierra que se emplearon para proporcionar las cargas al diseño de los puntales de excavaciones se atribuyen a Terzaghi y Peck (1967) y Peck (1969). Dichos diagramas fueron desarrollados para un perfil homogéneo de arenas drenadas, uno de arcillas duras fisuradas no drenadas y uno de arcillas blandas/medias no drenadas.

Los diagramas de Terzaghi y Peck parten de los siguientes enunciados:

- Los diagramas se corresponden a taludes verticales.
- El nivel freático en las arcillas no es relevante, no obstante, para las arenas se considera por debajo de la base de la excavación. La carga del agua no es considerada en este análisis.
- Se consideran cargas solo a corto plazo, es decir, se asume una masa homogénea cuyo comportamiento durante el corte es drenante en el caso de arenas y no drenante para arcillas.
- Los diagramas solo aplican a la porción expuesta del muro y no a aquella debajo bajo el terreno.

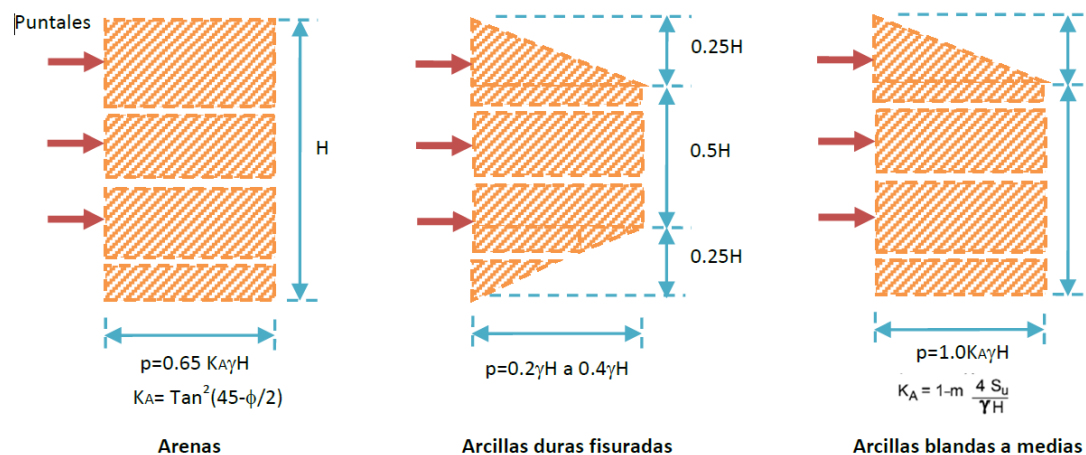


Figura 6. Diagrama de presiones de tierra de Terzagui y Peck. Sabatini, et al., (1999).

Desde los trabajos realizados por Terzagui y Peck se han introducido importantes cambios en los diagramas de presión, que consisten en:

Henkei (1971) logró modificar la ecuación para calcular la presión máxima en arcillas blandas a medias no drenadas. Esto asumiendo un mecanismo de falla consistente con los

movimientos profundos de estas arcillas en las excavaciones, esto incidió en que el método de Henkei predijera en forma eficiente el coeficiente de empuje activo (Flórez, y Hernández, 2012).

Posteriormente La FHWA-RD-97-130 (FHWA: Federal Highway Administration – U.S. Department of Transportation) desarrollo una variación para el caso de presiones en arcillas fisuradas no drenadas. La presión de tierra en muros anclados es influenciados por el tensado y posterior bloqueo de los respectivos anclajes, debido a que la presión se concentra en la ubicación de un determinado anclaje, es por ello que es de gran relevancia las ubicaciones del anclaje inferior y superior (Flórez, y Hernández, 2012).

Diagramas de presión aparente para arenas. El coeficiente de empuje activo (K_a) para arenas está determinado por la ecuación 1:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\Phi}{2} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde Φ es el ángulo de fricción de la arena.

El diagrama de presiones está representado en la figura 7

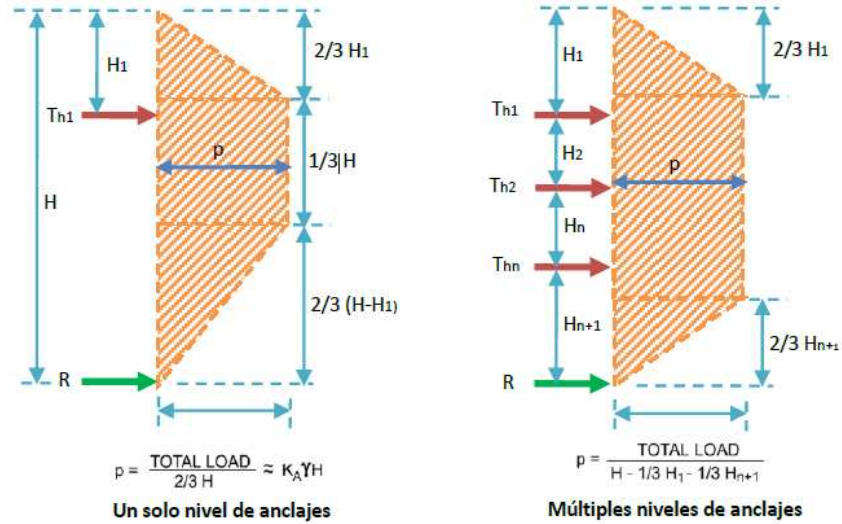


Figura 7. Diagrama de presiones recomendado para arenas. Sabatini, et al., (1999).

Dónde:

H_1 : es la distancia de la superficie superior al terreno anclado

H_{n+1} : es la distancia desde la base de la excavación inferior al terreno anclado

T_{hi} : carga horizontal en el terreno anclado i

R : fuerza de reacción que debe ser resistida por el subsuelo

p : Máxima ordenada del diagrama

$$\text{Carga total} = 0,65 K_a \gamma H^2 \left[\frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

Este diagrama de presiones en arenas es válido tanto para corto plazo (temporal), como para largo plazo (permanente).

Diagramas de presión aparente para arcillas fisuradas. En el caso de las arcillas, la presión de tierra está relacionada con el número de estabilidad N_s , el cual se expresa como:

$$N_s = \frac{\gamma H}{s_u} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

γ : Es el peso unitario del suelo [kN/m³]

s_u : Es la resistencia promedio al corte sin drenaje de la arcilla

H: Es la profundidad de la excavación

Valores bajos de N_s , indican que hay presencia de arcillas fisuradas por el contrario valores alto denotan la presencia de arcillas blandas a medias (Flórez, y Hernández, 2012).

Para el diseño de los diagramas de presiones para este tipo de arcillas se parte de la experiencia de excavaciones previas que se han realizado en suelos de este mismo tipo. Estas presiones están fuertemente influenciadas por la configuración de la arcilla o la unión de estas, y una potencial disminución en el tiempo de la resistencia.

Terzagui y Peck (1967) indican que el valor máximo de la ordenada se ubica en el rango de $0,2 \gamma H$ a $0,4 \gamma H$ y por ende la carga máxima correspondería al rango de $0,15 \gamma H^2$ a $0,30 \gamma H^2$. Como se dijo anteriormente la base de dichos diagramas corresponde a experiencias a partir de excavaciones previas, por ende, otros autores varían los rangos de cargas totales. La expresión empleada por Terzagui y Peck corresponde a:

$$\text{Carga total} = 3H^2 - 6H^2 \left[\frac{KN}{m^2} \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

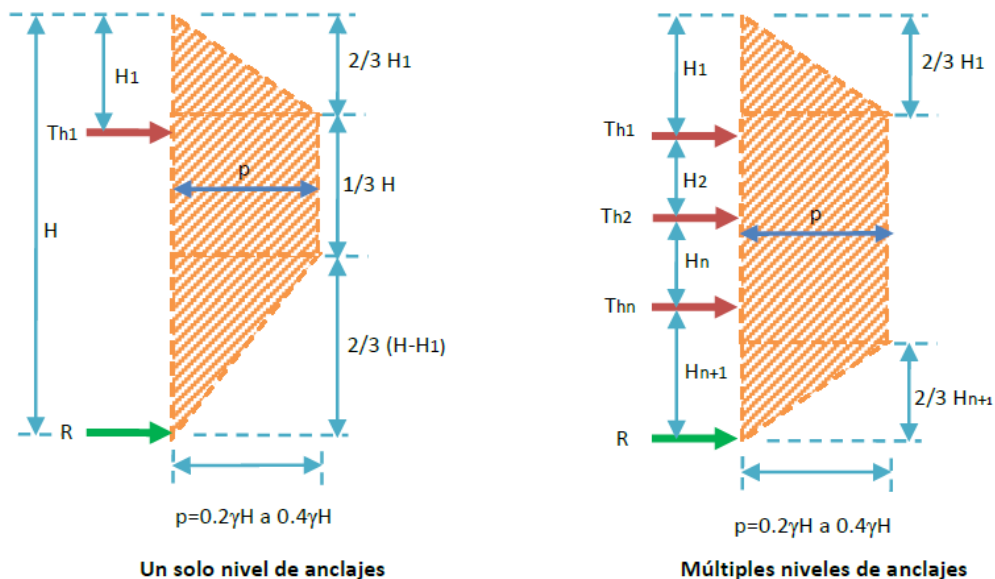


Figura 8. Diagrama de presiones recomendado para arcillas duras fisuradas. Sabatini, et al., (1999).

Dónde:

H_1 : es la distancia de la superficie superior al terreno anclado

H_{n+1} : Es la distancia desde la base de la excavación inferior al terreno anclado

T_{hi} : Carga horiozntal en el terreno anclado i

R. Fuerza de reacción que debe ser resistida por el suelo.

P: Máxima ordenada del diagrama

2.5 Marco Legal

El soporte jurídico y normativo del proyecto se divide en dos aspectos fundamentales, por un lado se encuentran la normatividad referentes a las obras de estabilización y medidas de estabilización, y por otro lado está la normatividad que regula el ejercicio de la interventoría en Colombia.

Ley 99 de 1993. Mediante la cual se constituye el Ministerio del medio ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, Sina, y se dictan otras disposiciones.

“La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento” (Art.1, numeral 9).

Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 3 de 1991, y se dictan otras disposiciones.

El ordenamiento del territorio como función pública debe tener como uno de sus fines: mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales (Art.3). Determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda (Art.8). De la misma forma señala que en la elaboración y adopción de sus POT los municipios deberán tener en cuenta las siguientes determinantes: ... Las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a Amenazas y riesgos naturales (Art.10).

Decreto 4147 de 2011. Por el cual se crea la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, se establece su objeto y estructura. La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres tiene como objetivo dirigir la implementación de la gestión del riesgo de desastres, atendiendo las políticas de desarrollo sostenible.

Entre las funciones de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres se encuentran las siguientes: Formular y coordinar la ejecución de un plan nacional para la gestión del riesgo de desastres, realizar el seguimiento y evaluación del mismo. (Art 4 num.5). El artículo 25 establece que todas las referencias que hagan las disposiciones legales y reglamentarias vigentes en materia de gestión del riesgo de desastres y/o prevención y atención de desastres, al Ministerio del Interior y de Justicia, hoy Ministerio del Interior, y a la Dirección de Gestión del Riesgo, deben entenderse referidas a la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Ley 1523 de 2012. “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”

Conforman los consejos departamentales, distritales y municipales de Gestión del Riesgo de Desastres, entre otros, los directores de las entidades de servicios públicos, o sus delegados. Conforman los Consejos departamentales, distritales y municipales de Gestión del Riesgo de Desastres. (Art. 28).

Las autoridades departamentales, distritales y municipales formularán y concertarán con sus respectivos consejos de gestión del riesgo, un plan de gestión del riesgo de desastres y una estrategia para la respuesta a emergencias de su respectiva jurisdicción, en armonía con el plan de gestión del riesgo y la estrategia de respuesta nacionales. (Art.37).

Todos los proyectos de inversión pública que tengan incidencia en el territorio, bien sea a nivel nacional, departamental, distrital o municipal, deben incorporar apropiadamente un análisis de riesgo de desastres cuyo nivel de detalle estará definido en función de la complejidad y naturaleza del proyecto en cuestión. (Art.38).

Decreto 1807 de 2014. “Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones” (Decreto 1807 de 2014)

Norma colombiana de construcción sismo resistente – NSR 10. Por la cual se regulan las condiciones y requerimientos mínimos con los cuales deben contar las edificaciones y construcciones en Colombia para tener una respuesta favorable frente a un evento sísmico.

Ahora bien, respecto a la interventoría, en Colombia actualmente no existe una ley que reglamente específicamente el ejercicio de la interventoría, por otro lado en la normativa se encuentran algunos decretos y leyes, que la mencionan y la definen, de igual forma se pueden evidenciar algunas variaciones con respecto a los conceptos que se encuentran a lo largo de la legislación colombiana, ya que no se establece de manera específica las funciones, el alcance, las

responsabilidades, los derechos que tiene el interventor como tal. En la tabla 4 se mencionan algunas normativas donde se pueden encontrar la conceptualización de la interventoría entre las cuales se tienen:

Tabla 4

Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes

Decreto 2090 de 1989. En este decreto se reglamenta lo relacionado a los honorarios para trabajos de arquitectura el cual contiene nueve capítulos dentro de los cuales encontramos el capítulo seis donde se describe específicamente lo relacionado con el ejercicio de la interventoría, en sus apartados se puede encontrar lo relacionado con:

La descripción de los trabajos, el papel de la interventoría en el proyecto, y las funciones de la interventoría durante la construcción la cual incluye la interventoría técnica y administrativa, de manera adicional se presenta los conceptos relacionados en el Decreto 2090 de 1989 el cual define lo siguiente “interventoría durante la construcción: el servicio de interventoría durante la construcción comprende las funciones técnicas y administrativas, funciones complementarias e inseparables durante la obra, por lo cual ambas deben ser realizadas por la misma persona o entidad”. (Decreto 2090, 1989).

Ley 1474 de 2011. Esta ley fija lo relacionado al estatuto anticorrupción donde se relacionan las normas que buscan reforzar mecanismos para la

sanción, investigación y prevención de eventuales actos de corrupción. en el artículo 44 se fija lo relacionado al régimen aplicable a particulares que tiene a su cargo el desarrollo de actividades de interventoría o supervisión de contratos estatales, adicionalmente en esta ley se define en el artículo 86 se menciona que la interventoría o supervisión tiene como fin la protección de la moralidad administrativa, lo cual a su vez busca evitar eventos de corrupción y potenciar la transparencia en el desarrollo contractual, es por esto que la ley define que las instituciones públicas tienen la obligación de vigilar en forma constante la ejecución del contrato, verificando el cumplimiento del objeto contractual. En forma específica la interventoría se define como:

El seguimiento de carácter técnico sobre un contrato que se realice por parte de una persona ya sea de carácter natural o jurídica contratada para tal propósito por la Entidad Estatal, cuando debido a las características del contrato este requiera de conocimiento especializado, o bien dada su complejidad y magnitud lo amerite. No obstante, también la entidad puede justificar y acordar contratar a un particular para el seguimiento dada la naturaleza del contrato principal, este seguimiento llega a ser de tipo técnico, administrativo, jurídico, contable y financiero. (Ley 1474, 2011)

Administración pública y por el ende se especifica lo relacionado con la obligatoriedad que para algunos contratos la necesidad de contratación de la interventoría, en el Artículo 32 se define que “la interventoría deberá ser contratada con una persona independiente de la entidad contratante y contratista”, adicionalmente en el Artículo 53 menciona que “los interventores deberán responder de manera civil y penal por los hechos u omisiones que les fuere imputables y que causen daño o perjuicio a las entidades”. (Ley 80, 1993).

Ley 842 de 2003.

En esta ley se modifica la reglamentación para el ejercicio de la ingeniería dentro de las cuales se incluyen según el artículo 2 “las actividades como estudios, planeación, el diseño , el cálculo , la programación, la asesoría, la consultoría , la interventoría , la construcción el mantenimiento y la administración de construcciones de edificios y viviendas de toda índole...” (Ley 842, 2003)

Adicionalmente se mencionado en el Artículo 20 la obligatoriedad para propuestas y contratos de que para la ejecución de trabajos o interventoría los profesionales deberán estar avalados, o inscritos con tarjeta de matrícula profesional en la respectiva rama de la ingeniería.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación planteada es de tipo Descriptiva, con lo cual se efectuará una contextualización de los principales aspectos teóricos, definiendo términos importantes sobre el tema de estudio, así mismo, se citarán diversas investigaciones efectuadas por diferentes autores en el tema, tomando a su vez criterios y consideraciones que contribuyeron a la solución de los problemas presentados. Para lograr el desarrollo de los objetivos planteados y de esta manera poder determinar los criterios técnicos de interventoría en proyectos que involucran la construcción de anclajes activos, se han planteado un conjunto de cinco etapas, que consisten en:

Inicialmente se plantea realizar un estudio y revisión de la información existente referente a los conceptos básicos de estabilidad de taludes, métodos de análisis y diseños, procesos constructivos y técnicas de construcción. En la segunda etapa se desarrollará una conceptualización de los aspectos relevantes referentes a los anclajes Activos, detallando los principios teóricos en su diseño, los elementos constitutivos de esta técnica de estabilización y su proceso constructivos. La tercera etapa se enfocará al análisis de las responsabilidades y obligaciones del interventor, puntualizando en las funciones que tiene a cargo en la supervisión de las obras de estabilización, así mismo en aquellos seguimientos y controles que debe seguir antes, durante y después de la construcción de anclajes activos. Finalmente, en la cuarta etapa se desarrollará una guía de interventoría que contenga los principales aspectos que se deben controlar a nivel técnico, para ello se proporcionaran un conjunto de formatos que facilitaran la función del interventor, al especificar las medidas de control técnico que debe realizar.

3.1.1 Población. El proyecto desarrollado se enmarca en el análisis de la interventoría técnica que se desarrollan a las obras de estabilización, en este sentido la población objeto de estudio la integran precisamente los diferentes métodos que suelen emplearse para la estabilización de taludes.

3.1.2 Muestra. En forma específica, la muestra seleccionada para el proyecto corresponde al método de estabilización de taludes mediante la construcción de pantallas activas ancladas, enfocando el análisis al desarrollo de las actividades de interventoría técnica que deben desarrollarse en la ejecución de proyectos de este tipo.

3.2 Técnicas de recolección de información

En tanto que la metodología de investigación del proyecto es descriptiva, la técnica para recolectar la información que se implementará es la recopilación documental y bibliográfica que, de acuerdo a Cerda, H. (1991, p. 329), consiste en la recopilación de información extraída en forma indirecta mediante, libros, documentos e investigaciones desarrolladas por otros investigadores; este mismo autor también señala que mediante una recopilación documental se logran consolidar información y datos previos con el fin de unificarlos, en un intento por recopilar los avances en un área específica, este término también se asocia con el acto de reunir, resumir o compendiar datos escritos diferentes, sino también ordenarlos y clasificarlos.

Así mismo, como fuentes primarias se tomaran las experiencias evidenciadas por los autores en el desarrollo de proyectos que incluían la construcción de anclajes activos como

técnica de estabilización de taludes, En forma particular la recolección de información primaria se realizara a partir de los informes, bitácoras y planos empleados en el contrato de Reconstrucción y estabilización de 13 puntos críticos vía Cúcuta-pamplona departamento Norte de Santander, ruta 5505, así como de cartillas, guías y manuales existentes en la literatura.

3.3 Análisis de información

El análisis de la información se realizará mediante el análisis de experiencias, realizando una revisión exhaustiva del contrato para la reconstrucción y estabilización de 13 puntos críticos vía Cúcuta-pamplona, revisando planos y especificaciones técnicas, además de las bitácoras de campo, actas y registros fotográficos.

Adicionalmente, parte del análisis también se realizará a partir de la recopilación bibliográfica, análisis de la literatura existente y fuentes secundarias como contratos desarrollados en proyectos similares. Con este se espera abstraer los principales aspectos conceptuales, teóricos y normativos respecto al seguimiento técnico que se debe realizar a obras para la construcción de anclajes activos.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Establecer los fundamentos teóricos, conceptuales y legales necesarios para el desarrollo de obras de estabilización.

Las obras de estabilización buscan principalmente reforzar o sostener masas de suelo, rocas meteorizadas o diaclasas que debido a sus características posee una baja capacidad portante y son propensas a fenómenos de remoción en masa.

Estas masas potencialmente inestables pueden estabilizarse mediante diferentes obras como los muros de contención, pantallas ancladas, anclajes activos o pasivos, terraceo, métodos de estabilización física, química o mecánica, entre otro, los cuales buscan generar un incremento de las tensiones normales sobre la superficie potencial de rotura y consecuentemente generar un aumento en la resistencia al esfuerzo cortante del terreno (Ucar, 2020).

Sin embargo, previo a realizar cualquiera de los mecanismos de estabilización requeridos, es necesario tener un conocimiento previo de las condiciones geotécnicas del terreno, principalmente respecto a la presencia de discontinuidades y su distribución, así como el flujo de agua por el subsuelo. Para comprender en forma adecuada los aspectos relacionados a las obras de estabilización y en particular aquellas relacionadas con los anclajes a continuación se realiza una descripción de algunos aspectos teóricos básicos (Ucar, 2020):

Un *talud* es el término común para designar una acumulación de fragmentos de roca partida en la base de paredes rocosas, o también se refiere a cualquier superficie del terreno con una inclinación respecto a la horizontal. Estos pueden ser naturales u originarse a partir de la

intervención humana. Los taludes se dividen en naturales o laderas y artificiales o cortes y terraplenes.

Consiste en la acción de cortar o remover cualquier clase de suelo independiente de su naturaleza o sus características físicas y mecánicas. Como parte de su ejecución se incluye las operaciones de nivelación y evacuación del material removido. Existen cuatro aspectos que caracterizan una excavación (Ucar, 2020):

- Por el nivel de detalle: referido al grado de tallado que posee la excavación, es decir que tan rústicos o uniformes deben ser los cortes
- Por el tipo de material excavado: Dependiendo si el suelo a remover consiste en una arcilla, limo, arena, roca, entre otros.
- Por el grado de humedad: la cantidad de agua presente en la excavación es muy relevante ya que es determinante en la cohesión de las partículas.
- Por la profundidad: refiriéndose a la cantidad de material que ha sido removido del terreno en estado natural.
- Poco profundas: aquellas con profundidades entre 1 y 5 metros, las cuales pueden desarrollarse haciendo uso de maquinaria, o en forma manual.

- Profundas: Son aquellas con profundidades superiores a los 5 metros, las cuales se desarrollan exclusivamente con maquinaria, y en las que se hace necesaria el uso de sistemas de protección de taludes.

4.1.1 Teoría de los anclajes. Ahora bien, algunos conceptos generales sobre la teoría de los anclajes y que deben ser ampliados consisten en:

4.1.1.1 Anclajes. Un anclaje consiste en una estructura que se instala en el suelo o sobre la roca con el objetivo de transmitir una tensión de carga al terreno. Existen una gran cantidad de formas y variantes en estos sistemas, por ello es de gran relevancia que en los proyectos en los cuales se vayan a emplear se especifique la tipología, niveles de seguridad, anticorrosivos empleados, mecanismos de sostenimiento, entre otros aspectos.

A nivel constructivo un anclaje consiste en una perforación de 150 mm de diámetro aproximadamente, en la cual se introduce un elemento tensionante, ya sea una barra o cable de acero, la cual por un lado sujeta el terreno y por el otro extremo va sujeto a una pantalla o solera, y su objetivo es mejorar la estabilidad del terreno (Sabatini et al 1999).

4.1.1.2 Zonas de un anclaje. Un anclaje en general se compone por tres zonas principales, iniciando por el apoyo, la zona libre y la zona de anclaje, las cuales consisten en:

- Apoyo: lo integra una placa de acero sobre la cual descansa la cabeza del anclaje

- Zona libre: Corresponde a la parte tirante, la cual puede ser una barra o un cable el cual no está adherido al terreno y que por ende puede deformarse libremente a causa de las fuerzas de tensión actuantes.
- Zona de anclaje: esta zona se encuentra adherida al terreno, comúnmente mediante una lechada cementicia. Esta zona opone la resistencia a la tracción y evita el arrancamiento.

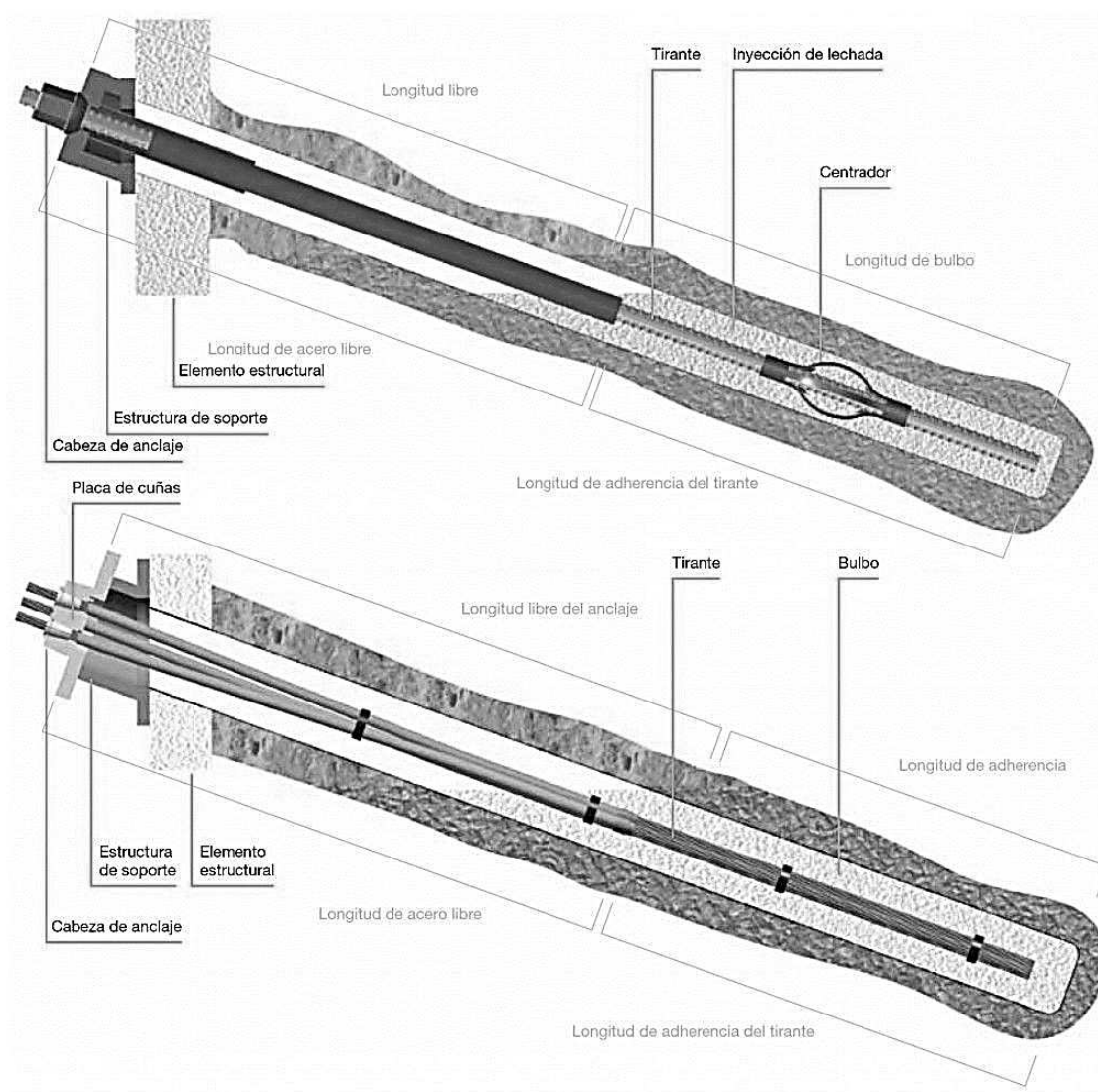


Figura 9. Zonas del anclaje. Sabatini, et al., (1999).

4.1.1.3 Tipología de anclajes. En general suele distinguirse entre tipo de anclajes en relación a la vida útil, la funcionalidad y los mecanismos para el sostenimiento. No obstante, dichas tipologías varían a partir de ciertas características específicas, tomando como base la guía de diseño y ejecución de anclajes (Guía para el diseño y ejecución de anclajes, 2003) se tienen las siguientes tipologías:

- Según la vida útil:

Anclajes provisionales: Son considerados aquellos que funcionan como un medio auxiliar y por ende su uso es temporal y se emplea para brindar condiciones de estabilidad al talud por un determinado tiempo, en los cuales se pretende disponer de otros elementos resistentes que puedan sustituirlo. En general su vida útil no supera los dos años y solo requiere una protección simple a la corrosión (Flórez, y Hernández, 2012).

Anclajes permanentes: se consideran permanentes a aquellos cuya instalación se realiza como una medida definitiva y por ende su diseño involucra mayores coeficientes de seguridad, además de ser más rigurosa la protección ante los efectos de la corrosión.

- Según la forma de trabajo

Activos o pretensionados: Estos anclajes funcionan de tal manera que el cable o la barra es pre-tensionada alcanzando la carga admisible, a su vez el terreno se comprime entre el anclaje y la placa de apoyo del mismo. Este tipo de anclajes son capaces de movilizar la resistencia del terreno desde que son pretensados (Flórez, y Hernández, 2012).

Anclajes pasivos: En este tipo de anclajes son poco o nada pretensionados antes de su instalación, es decir, los esfuerzos resistentes de sus elementos estructurales entran en tracción cuando se produce el movimiento del terreno. Generalmente son empleados para estabilizar taludes afectados por erosión, o aquellos que no pueden soportar cargas cercanas a él (Beltrán, 1996).

Anclajes Mixtos: Estos anclajes tienen la particularidad de ser pretensados con una carga menor a la admisible, en este sentido, una fracción de su capacidad resistente puede emplearse ante posibles movimientos del terreno.

- Según su mecanismo de sostenimiento

Inyectados a gravedad: consisten en una perforación en el terreno que suele realizarse con perforadoras rotativas o máquinas tentadoras, sobre la cual se vierte una lechada cementicia por acción de la gravedad sin que se forme un bulbo en la base de la perforación. Este tipo de anclajes suelen emplearse en suelos duros o cohesivos compactos, y la resistencia al arrancamiento dependerá de la resistencia al corte que se produce en la interface entre la lechada y el suelo (Flórez, y Hernández, 2012).

Inyectados a presión: estos suelen usarse en suelos de roca fisurada o suelos granulares gruesos, aunque también se emplean en suelos granulares finos no cohesivos. La inyección de la lechada se realiza con presiones mayores a $3,5 \text{ kg/cm}^2$ dentro de la zona de adherencia. La perforación se realiza en general con técnicas rotatorias y tuberías de encamisado.

Post-inyectados: para la elaboración de estos anclajes se emplean múltiples inyecciones retardadas, que ayudan a agrandar el espesor de la lechada, los intervalos entre una inyección y otra oscila entre 1 y 2 días. El post-inyectado es realizado con un tubo sellado instalado con el tendón. Las altas presiones de inyección logran asegurar la adherencia entre el bulbo y el suelo circundante (Flórez, y Hernández, 2012).

- Según la calidad o tipo de material

Anclaje descendente: Son aquellos en los cuales la zona de adherencia se encuentra en una cota menor que la zona de tensión. Es decir, el bulbo del anclaje está por debajo de la zona de tensión, generando un ángulo menor a 90° con respecto a la horizontal en forma horaria.

Anclaje ascendente: Son aquellos en los que la zona en tensión está en una cota más baja que la zona de adherencia, en este sentido, el bulbo se encuentra por encima de la zona de tensión formando un ángulo menor a 90° con respecto a la horizontal en forma anti-horaria.

- Según la longitud de libre de la barra

De juego libre: consisten en aquellos donde los tendones de acero tienen la facultad de desplazarse al interior de una vaina en la zona libre de la barra (Flórez, y Hernández, 2012).

Bloqueados: inicialmente los tendones pueden moverse en la zona libre de la barra, posterior al tensado se fijan al terreno con mortero (Flórez, y Hernández, 2012).

- Nivel de protección anticorrosiva

La protección contra la corrosión dependerá principalmente de tres aspectos:

Inicialmente la vida útil del anclaje en el terreno, es decir, si será permanente o provisional. Posteriormente se considera el grado de agresividad del terreno, es decir las condiciones físicas y químicas del subsuelo. Y finalmente el nivel de riesgo de la obra.

Sea cual sea el tipo de anclaje seleccionado, la protección contra la corrosión debe estar soportada en pruebas que permitan establecer el grado de agresividad del medio, es decir medir la resistividad eléctrica, contenidos de sulfatos, PH, contenido de cloruros y sulfatos. Finalmente, es fundamental tener especial cuidado con los elementos fuera de la zona de perforación, como las placas de apoyo, tuercas, cuñas, zona terminal, entre otros. (Flórez, y Hernández, 2012).

En el caso de anclajes de uso temporal se deben proteger la cabeza y la zona de transición hasta la longitud libre y la longitud libre, al igual que la transición hasta el bulbo y el bulbo. Es importante tener en cuenta que aun cuando se puede prescindir del uso de elementos de protección en anclajes provisionales, en ocasiones en medio particularmente agresivos, la corrosión puede ser más rápida que el tiempo de servicio del anclaje (Sabatini et al. 1999).

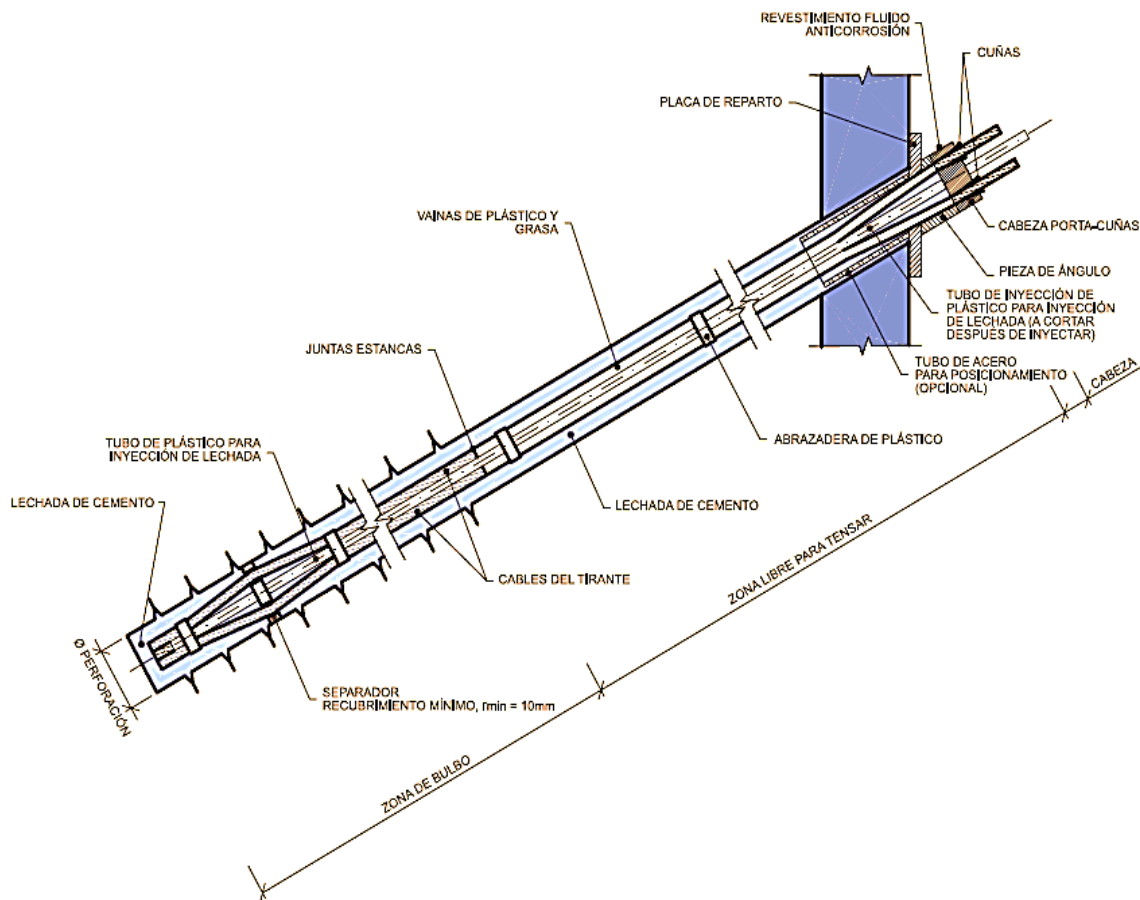


Figura 10. Componentes del anclaje. Mendoza, (2014).

4.1.2 Principios básicos en el diseño de anclajes.

4.1.2.1 Evaluación de las presiones de tierra. Las presiones de tierra que se desarrollan en una pared anclada dependerán de la distribución y magnitud de las deformaciones sobre ella. Algunos sistemas de muros como los muros en voladizo, son relativamente flexibles y son capaces de ser sometidos a importantes deformaciones laterales las cuales llegan a producir presiones activas en toda la pared, en estos casos puede aplicarse el método de análisis de Coulomb o de presiones activas de Rankine (Flórez, y Hernández, 2012).

En otros sistemas de pared anclada como aquellas “Top-Down” las deformaciones producidas son más complejas, y el modelo no corresponde a aquellos obtenidos con Coulomb o Rankine.

Entre los factores influyentes en el patrón de deformación se encuentran:

- La resistencia al corte
- Rigidez de la pared
- Grado de inclinación del anclaje
- Separación entre anclajes

4.1.3 Diseño de anclajes.

La capacidad última de los anclajes en un suelo está determinada por la resistencia a la fricción que existe entre la lechada del anclaje y el suelo en contacto, o de otra forma, es la resistencia al arrancamiento entre la lechada y el cordón (Briaud, 1998). La resistencia a la fricción o Q_{ult} en la lechada del suelo se puede expresar como:

$$Q_{ult} = \pi D L_a f_{max} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$f_{max} = \alpha s_u \quad \text{Suelo cohesivo} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$f_{max} = K \sigma'_v \quad \text{Suelo sin cohesión} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde Q_{ult} es la fricción final, D el diámetro del ancla, o diámetro efectivo del pozo, y f_{max} es la fricción máxima entre el suelo y la lechada, L_a es la longitud del anclaje de tensión, α

es el factor de reducción empírico, s_u es la resistencia al cizallamiento no drenada de la arcilla, σ'_v corresponde a la presión efectiva de sobrecarga y K es el coeficiente de fricción (Briaud, 1998).

La resistencia a la extracción entre la lechada y las barras o cables se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{ult} = \pi n D_e L_b f_{ub} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde, n es el número de barras, f_{ub} es la tensión última entre las barras y la lechada, L_b es la longitud unida de la barra y D_e es el diámetro efectivo de la barra.

La carga de tracción máxima de la barra Q_{ub} se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q_{ub} = A_s f_{ub} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde, A_s es el área de la sección transversal de la barra, y f_{ub} es el esfuerzo de tracción final de la barra.

La máxima resistencia a la compresión o al corte de la lechada Q_{ul} se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q_{ul} = A_l f_{uc} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde, f_{uc} es la resistencia a la compresión máxima de la lechada, A_l es el área de la lechada o área de corte. Este criterio depende de si el cuerpo del ancla es una placa de soporte final o un tipo de tubo.

4.1.3.1 Mecanismo de transferencia de carga. Un anclaje es un mecanismo mucho más complicado que un sistema de pilotes, puesto que la carga se transfiere del tendón a la lechada y posteriormente al suelo, quiere decir que se ven involucrados tres materiales diferentes: Suelo, lechada, tendón. Para lograr comprender este comportamiento mecánico, es útil considerar primero la distribución de las carga en los tres materiales cuando el anclaje es sometido a las carga final, lo que provoca la falla completa del suelo en la interface suelo-lechada.

Las distribuciones de carga en el suelo, la barra y la lechada en la carga final del anclaje se puede apreciar en la figura 11, como lo menciona (Briaud, 1998), figura 11.a, la carga acumulada resistida por el suelo varia. La carga es igual a cero en la parte inferior del ancla y a la carga final en la superficie del suelo.

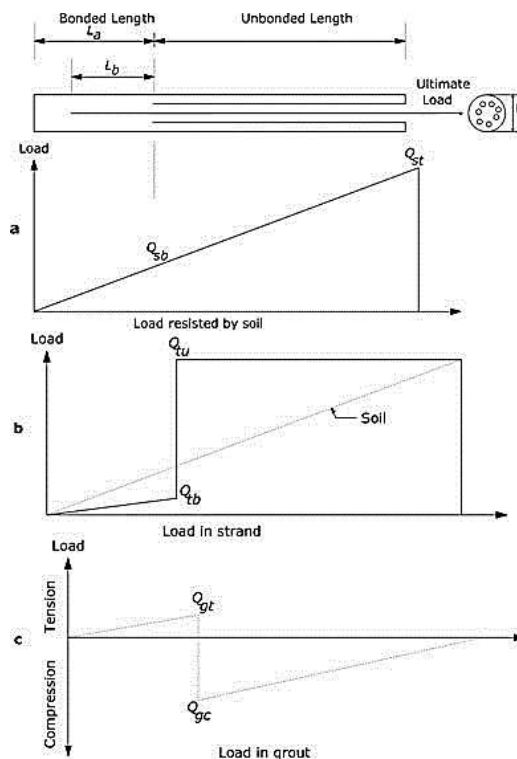


Figura 11. Distribución de la carga en el ancla de suelo en la carga final: (a) carga resistida por el suelo, (b) carga en el tendón y (c) carga en la lechada. (Briaud, 1998).

4.1.4 Aspectos legales.

En la tabla 5 se relacionan las diferentes normas y artículos que deben considerarse para la ejecución y seguimiento de los anclajes.

Tabla 5
Aspectos legales de los anclajes

Norma	Descripción	Alcance
Art 623-07	Especificaciones	Un anclaje se define como un dispositivo capaz de transmitir una carga de tracción en una zona del Terreno que pueda soportar dicho esfuerzo. Los anclajes consistirán en barras o cables de acero introducidos en el macizo rocoso mediante

Norma	Descripción	Alcance
Art 640-13	Especificaciones INVIAS – Acero de refuerzo	<p>una perforación y adheridos a éste mediante una inyección de lechada o mortero de cemento, para que, una vez tensionados, formen un bulbo de empotramiento dentro de la masa del terreno.</p> <p>Este trabajo consiste en la perforación de barrenos y eventual colocación de conductos de protección para la perforación; en la introducción de barras o cables de acero con dimensiones adecuadas para resistir las exigencias de su tensionamiento; en la inyección de la lechada o mortero de cemento y en el tensionamiento del elemento de anclaje.</p> <p>Este trabajo consiste en el suministro, transporte, almacenamiento, corte, doblamiento y colocación de barras de acero en estructuras de concreto, en concordancia con los planos del proyecto, esta especificación y las instrucciones y recomendaciones dadas por el Interventor.</p>
Art 641-07	Especificaciones INVIAS – Acero de preesfuerzo	<p>Este trabajo consiste en el suministro, colocación y tensionamiento de acero de preesfuerzo, de acuerdo con los detalles indicados en los planos, las exigencias de esta especificación y las instrucciones del Interventor. Consiste, además, en el suministro e instalación de todos los accesorios necesarios para los diferentes sistemas de preesfuerzo usados, incluyendo ductos, anclajes e inyecciones de lechada.</p>

Norma	Descripción	Alcance
Art 501-07	Especificaciones INVIAS – Suministro de cemento protland normal	Esta especificación se refiere a los requisitos que deberá cumplir el cemento Portland a utilizar en la fabricación de las estabilizaciones, mezclas, morteros y lechadas que se requieran para ejecutar las unidades de obra consideradas en los Artículos que integran las presentes especificaciones y que demanden la utilización de dicho cemento.
NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración de concreto	Esta norma tiene por objeto determinar el método para establecer por medio de ensayos, si el agua es apropiada para la elaboración de concreto. Los ensayos a que se refiere esta norma no proporcionan información con respecto a la durabilidad del concreto a largo plazo
Art 630-13	Especificaciones INVIAS – Concreto estructural	Este trabajo consiste en el suministro de materiales, fabricación, transporte, colocación, vibrado, curado y acabado de los concretos de cemento hidráulico utilizados para la construcción de puentes, estructuras de drenaje, muros de contención y estructuras en general, de acuerdo con los planos y demás documentos del proyecto y las instrucciones del Interventor. No se consideran los pavimentos de concreto hidráulico, las bases de concreto hidráulico y los adoquines de concreto, los cuales se encuentran contemplados en los Artículo 500, 505 y 510, respectivamente.

Norma	Descripción	Alcance
Art 631-13	Especificaciones INVIAS – Lechada para ductos de concreto pre-esforzado	Este trabajo consiste en el suministro de materiales y la mezcla de cemento, agua y, eventualmente, arena fina y aditivos, y su inyección en los ductos de las armaduras activas para establecer la necesaria adherencia entre dichas armaduras y el concreto, así como protegerlas contra la corrosión.
NTC 6303	Torón de acero de dos y tres alambres, sin recubrimiento y sin soldadura para concreto preesforzado	Esta norma abarca dos tipos y dos grados de torones de acero de dos y tres alambres sin recubrimiento, para utilizar en la construcción de concreto preesforzado. Los dos tipos de torones son de baja relajación y aliviado de esfuerzos (relajación normal). El torón de baja relajación se debe considerar como el tipo estándar. El torón aliviado de esfuerzos (relajación normal) no será suministrado a menos que sea específicamente ordenado. Los dos grados son 1725 (250) y 1860 (270). Los grados 1725 (250) y el grado 1860 (270) tienen resistencias mínimas a la tracción de 1 725 MPa (250 ksi) y 1 860 MPa (270 ksi), respectivamente, basadas en el área nominal del torón.
NTC 6255	Métodos de ensayo de torones de acero preesforzado de múltiples alambres	

Norma	Descripción	Alcance
NTC 121	Ingeniería civil y arquitectura. Cemento pórtland. especificaciones físicas y mecánicas	Esta norma establece los requisitos físicos y mecánicos que deben cumplir los siguientes tipos de cemento Pórtland: 1,1 M,2.3,4 y 5.
NTC 6254	Ensayo de tracción de cables y torones	Este método de ensayo cubre el ensayo de tracción de los cables y torones a temperatura ambiente, específicamente para determinar la fuerza de rotura medida, resistencia a la fluencia, alargamiento y módulo de elasticidad.
ASTM C939	Método de prueba estándar para el flujo de lechada para concreto agregado previamente reemplazado (Método de cono de flujo)	Este método de prueba cubre un procedimiento, usado tanto en el laboratorio como en el campo, para determinar el tiempo de salida de un volumen específico de lechada de cemento hidráulico fluido a través de un cono de flujo estandarizado y usado para concreto agregado (PA); sin embargo, el método de prueba también puede usarse para otras lechadas líquidas.

4.2 Identificar los aspectos de interventoría técnica requeridos para la construcción de anclajes activos.

4.2.1 Fundamentos y obligaciones del interventor.

El ejercicio de interventoría se fundamenta en acciones de control, supervisión y seguimiento que pueden ser realizadas por una persona o entidad natural o jurídica (Acosta, 2016). Así mismo, es entendida como una actividad mediadora, participativa y que actúa en función de un tercero, es decir, en representación de alguien buscando dar cumplimiento a los términos pactados en un determinado contrato.

La figura del interventor como una actividad profesional, surge inicialmente en Colombia durante la década de los años cincuenta, asociado a un gran desarrollo en obras de ingeniería en el país, en particular del sector público. Las funciones de control, supervisión y vigilancia eran realizadas inicialmente por los funcionarios técnicos de las entidades, sin embargo, estas actividades superaban su capacidad, por lo cual empezaron a surgir firmas dedicadas a complementar esta labor, haciendo más ágil la supervisión técnica de las obras (Sánchez, 2010).

En forma más específica, Vidal (2002) define la interventoría en forma textual como: “el servicio prestado por un profesional o persona jurídica que ejerce funciones de supervisión y control de las actividades que desarrolle el contratista y sub-contratista en la ejecución de un proyecto, estudio o diseño”. Por otro lado, el ministerio de transporte (2001) define la interventoría como: “el conjunto de actividades de vigilancia y control para la verificación del

cumplimiento de las obligaciones pactadas en el contrato”. Estas definiciones coinciden en que la interventoría se refiere al control y seguimiento de las actividades pactadas entre dos partes, y verificar que las obligaciones adquiridas se cumplan.

La legislación Colombia define la interventoría como “el seguimiento técnico a la ejecución de contratos de distintas tipologías, que puede ser realizado por una persona natural o jurídica contratada para ese fin por la entidad estatal” (Colombia compra).

Sin embargo, la interventoría no solo se limita a las acciones de carácter técnico, ya que la entidad estatal puede delegarle funciones de carácter administrativo, financiero, contable, jurídico, ambiental, social y predial.

4.2.2 Proceso de interventoría para el desarrollo de anclajes.

Inicialmente, es importante mencionar las principales responsabilidades del área de interventoría en la ejecución de contratos, a continuación se detallan dichas responsabilidades.

Responsabilidades Director de Interventoría

- Supervisar la construcción de los anclajes, cumpliendo con los requisitos de los alcances del Contrato, leyes vigentes y cualquier otro requisito impuesto por el Cliente.

- Actuar como representante Autorizado de acuerdo con lo previsto en el Contrato, asumiendo la responsabilidad de todas las decisiones y acciones que se tomen, durante el desarrollo de la Obra.
- Inspeccionar y controlar la mano de obra de construcción, y los materiales y equipos, así como los equipos suministrados por el Cliente para el desarrollo de la Obra.
- Garantizar la exactitud de los planos, y el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto y ensayos requeridos por las normativas.
- Verificar los recursos necesarios para cumplir con los estándares de seguridad y medio ambiente del Proyecto.
- Emitir los reportes y las comunicaciones necesarias para el cliente con miras a garantizar la correcta ejecución de la Obra.
- Verificar la provisión de los recursos necesarios para implementar, apoyar y hacer cumplir el Programa de SST del proyecto y sus políticas.

Responsabilidades del ingeniero Residente

- Realizar correctamente las actividades especificadas en este procedimiento, cuya ejecución llevará a cabo de acuerdo con los planos clasificados como "Copia Controlada", las especificaciones técnicas, los requisitos vigentes y otros documentos previamente aprobados.
- Comprobar y hacer que los equipos de topografía funcionen correctamente.

- Notificar con suficiente antelación al Coordinador de Calidad el inicio de los trabajos.
- Coordinar los recursos humanos y equipos puestos a su alcance para la ejecución de los trabajos.
- Ejecutar correctamente y conforme a lo especificado para las actividades de instalación de pernos de anclaje.
- Realizar las inspecciones antes, durante y después del trabajo.
- Liderar y fomentar el desarrollo seguro de las actividades en campo.
- Planificar y realizar reuniones de seguridad y enviar copia de las minutas al representante de SST en la obra.
- Estar comprometidos a detener acciones inseguras del personal.
- Estar comprometidos a corregir prontamente cualquier condición insegura.
- Realizar evaluaciones constantes de las áreas de trabajo y tomar las acciones correctivas necesarias para eliminar prácticas, condiciones y/o conductas bajo el estándar permitido.
- Participar en auditorías de trabajos en la obra y evaluaciones de SST de acuerdo a lo requerido por la gerencia.
- Apoyar las investigaciones de accidentes y preparar los informes requeridos.
- Evaluar el desempeño de seguridad de los trabajadores designados e informar al gerente de la obra.
- Participar en la planificación pre-trabajo y en el Análisis de Seguridad del Trabajo (AST) y los sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SG-SST).

- Asistir a capacitación de seguridad cuando sea requerido por la gerencia.

El uso de anclajes terrestres agrupados es una práctica común en ingeniería civil y minera. Se pueden usar como miembros estructurales temporales o permanentes para garantizar la estabilidad de varios sistemas estructurales, como pendientes, muros de contención, pilares de puentes, túneles, excavaciones subterráneas y cimientos de hormigón armado. También se utilizan para fortalecer y rehabilitar estructuras existentes, como presas y puentes de hormigón. En términos generales, un ancla agrupada es una barra que se inserta y agrupa en un agujero que se ha perforado en arcilla rígida, roca u hormigón. Según su mecanismo de transferencia de carga, los anclajes se pueden clasificar en dos categorías: el anclaje de tensión y el anclaje de compresión.

Cuando se usan anclajes en excavaciones, las predicciones de sus movimientos son necesarias para minimizar el daño potencial a los servicios públicos adyacentes y los edificios circundantes. Esto es particularmente importante cuando la construcción se realiza en zonas urbanas densamente pobladas. Para predecir las características de deformación del anclaje agrupado durante la construcción y la operación, se debe monitorear con precisión el comportamiento general de la sección de pared reforzada.

Ahora bien, el interventor es el encargado de realizar directamente el seguimiento de las acciones ejecutadas en el desarrollo del contrato, es decir, desde la revisión y aprobación de los planos, estudios y diseños, hasta la verificación de los procesos constructivos y puesta en funcionamiento de la obra. A continuación se realiza una descripción específica de todas estas

funciones, diferenciando cada una en tres aspectos específicos de los proyectos, Antes, Durante y Después de la ejecución.

4.2.2.1 ANTES DE LAS OBRAS. En esta etapa el control técnico de la interventoría se fundamenta en la revisión, validación, planeación e inspección de la documentación precontractual y contractual del proyecto según lista de chequeo para iniciación de actividades definidas por el contratista del proyecto. (Ver Apéndice 2 Control de documentación del proyecto). En la tabla 6 se relaciona los principales aspectos a evaluar y a tener en cuenta antes de iniciar las obras.

Tabla 6
Aspectos a evaluar en antes de iniciar las obras

Documentación Precontractual y contractual	Licencias y/o permisos
<ul style="list-style-type: none"> • Pliegos de condiciones y adendas • Propuesta técnica y económica del contrato de obra • Hojas de vida personal según propuesta entregada • Aprobación de equipo de trabajo presentado y soportes • Contrato legalizado y/o modificatorio • Registro presupuestal -RP • Certificado disponibilidad presupuestal - 	<ul style="list-style-type: none"> • Licencia o permiso ambiental • Certificación disposición de escombros • Certificación idoneidad redes (eléctrica, acueducto, alcantarillado, gas, otros, etc.) • Servicios de redes provisionales • Certificado tradición del predio o certificado ente contratante para desarrollar proyecto • Otros, Licencia de construcción. • Estudios técnicos y memorias diseños

Documentación Precontractual y contractual	Licencias y/o permisos
<p>CDP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Garantías aprobadas 	<p>(Aprobados VoBo entidad contratante, Firmados especialistas.)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Especificaciones técnicas del proyecto • Análisis precios unitarios (Firmados) • Planos (aprobados VoBo entidad contratante, firmados especialistas.) Medio magnético. • Memorias Cantidades de Obra • Programación oficial de ejecución obras y flujo de inversión • Programa de suministro insumos, equipos y recurso humano. • Laboratorio y calidad de los materiales. (Informar con cual laboratorio va a trabajar el contratista para aprobación) • Fichas técnicas de calidad materiales • Afiliaciones y exámenes de ingreso del personal obra • Plan de Control Técnico de la obra, realizado por contratista y avalado por interventoría.

Documentación Precontractual y contractual	Licencias y/o permisos
	<ul style="list-style-type: none">• Plan de calidad del proyecto, realizado por contratista y avalado por interventoría.• Plan de Señalización de la obra, realizado por contratista y avalado por interventoría.• Plan de manejo de tráfico, realizado por contratista y avalado por interventoría.• Plan de manejo socio ambiental, realizado por contratista y avalado por interventoría.• Plan de seguridad y salud en el trabajo – SG-SST, realizado por contratista y avalado por interventoría.• Valla informativa proyecto (Aprobación y VoBo entidad contratante)• Registro fotográfico estado inicial del proyecto (Antes)• Actas de vecindad (Si se requieren)• Acta de inicio

Dentro de los alcances y propósitos de la interventoría técnica, se encuentra revisar y validar en la fase de planeación del proyecto en lo que referencia a la completitud y calidad de los documentos de estudios, diseños y planos elaborados y/o ajustados y/o actualizados y/o

modificados por el contratista en las etapas de pre-construcción y construcción del proyecto, que cumplan con las condiciones actuales del proyecto, las normas y especificaciones vigentes, así como aprobarlos en los tiempos contractuales que permiten dar inicio a las actividades en la obra. En el Apéndice 3 de este documento se plantean unos formatos para el control técnico realizado a diseños y/o estudios técnicos, en el Apéndice 4 se plantea un formato para el control en la relación de planos del proyecto y, el Apéndice 5 es un formato para el control de especificaciones técnicas.

Previo al desarrollo de las actividades de ejecución y construcción es necesario realizar por parte de la interventoría, la revisión e inspección en los planos y diseños del proyecto verificando la información suministrada por el contratista que se encuentre completa y avanzar la etapa de ejecución, a partir de las experiencias recopiladas se han planteado 10 aspectos a controlar, los cuales se indican a continuación.

Parámetros de revisión técnica en planos y diseños

1. Inicialmente se debe revisar y supervisar el los planos correspondientes al levantamiento topográfico en planta y secciones transversales de la zona de estabilización. En forma particular se debe revisar que estos cuenten con los Puntos de Geo referenciación BM. Sistema de información Geográfica – S.I.G. y la lista de convenciones, como se aprecia en la figura 12.

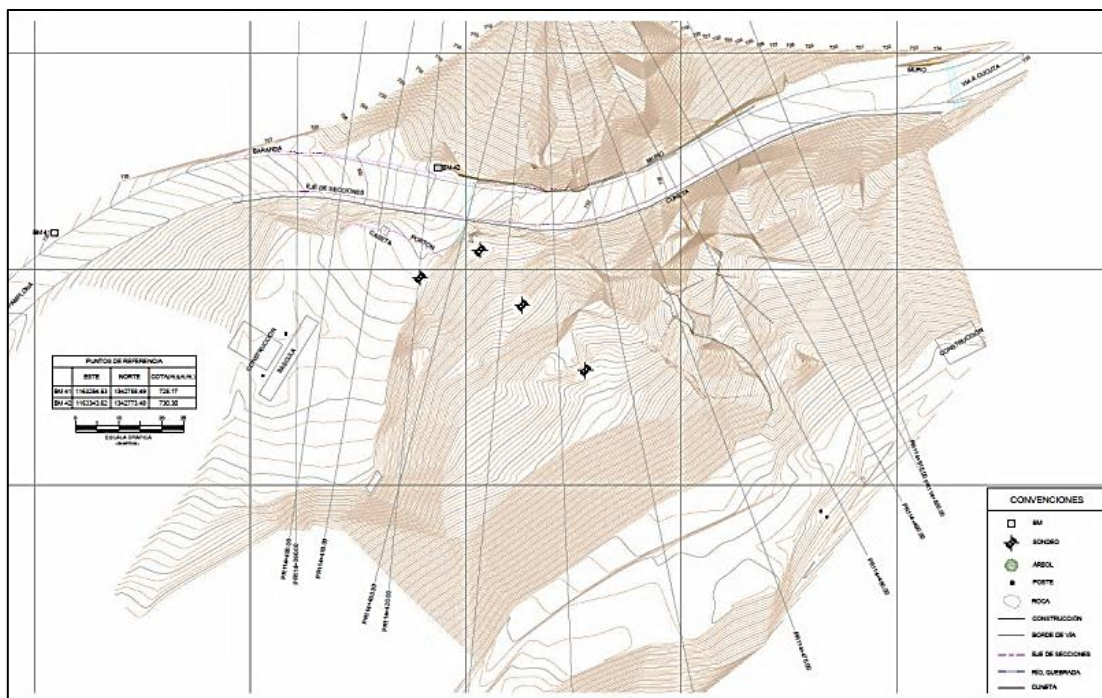


Figura 12. Plano de levantamiento topográfico tramo 1 vía Cúcuta-pamplona. Empresa San Simón S.A 2015.

- Posteriormente como parte de los aspectos a controlar se debe verificar la localización y posición de anclajes, verificando el cuadro de coordenadas, el cual debe aparecer en la plancha entregada, así mismo verificar que el número de anclajes sean los correspondientes al proyecto.

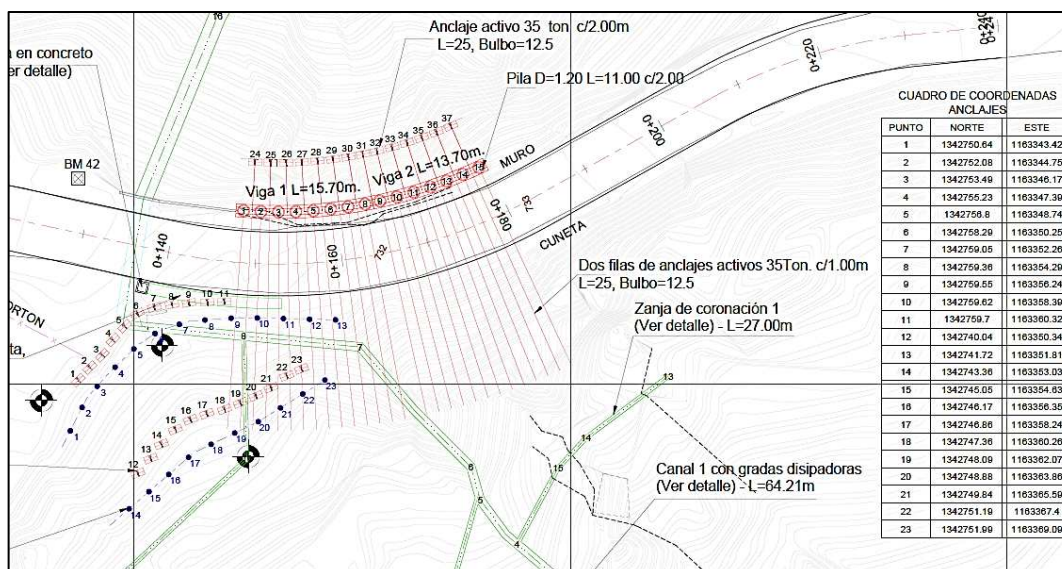


Figura 13. Verificación del cuadro de coordenadas. Empresa San Simón S.A 2015.

- Una vez verificada la localización se procede a realizar la comprobación del número y distribución de anclajes en zona de estabilización del talud, esto debe corresponder a la información contenida en los planos anteriores, además en estos planos se debe especificar el tipo de anclaje y la capacidad del mismo, además del espaciamiento entre anclajes.

Los planos deben contener una vista en planta y una de perfil para lograr identificar la distribución y geometría de los anclajes, además de ser útiles para la verificación de las cotas, la numeración o identificación de los anclajes, la ubicación de las obras de drenaje y finalmente los materiales de la pantalla. En las figuras 14 y 15 se pueden apreciar estas vistas.

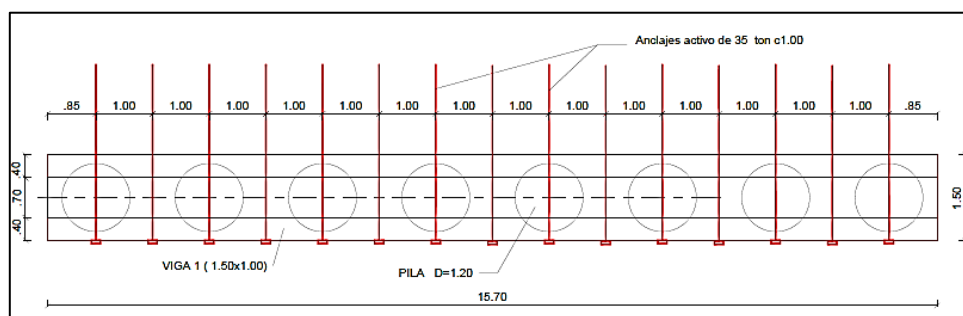


Figura 14. Planta estructural de ubicación de elementos de superestructura y anclajes. Empresa San Simón S.A 2015.

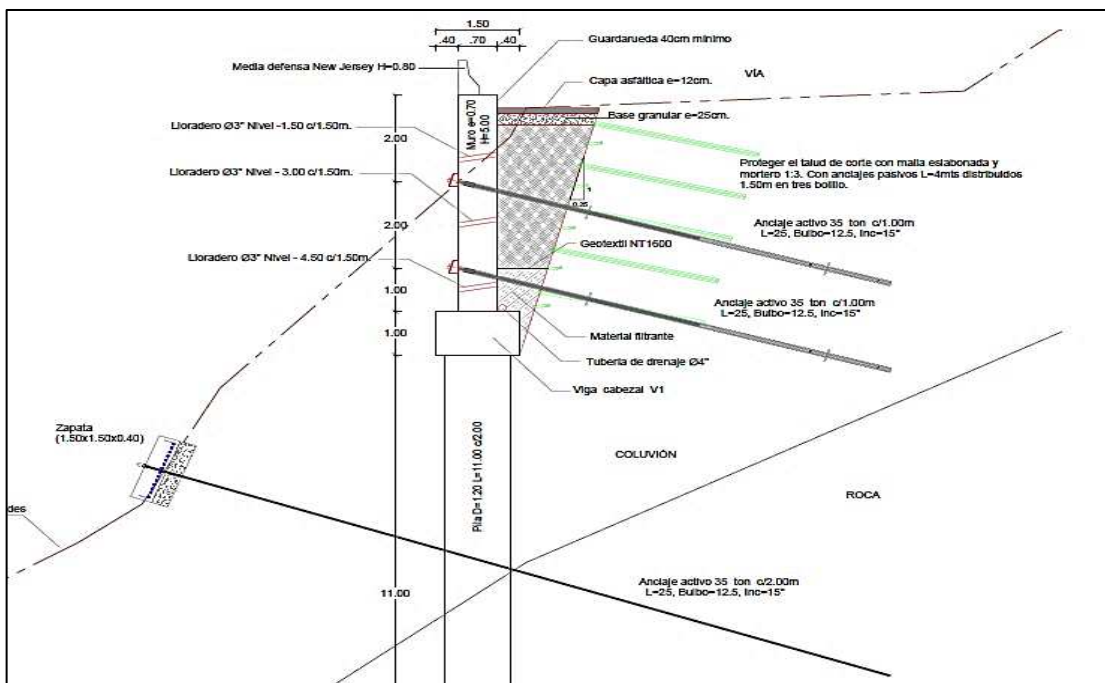


Figura 16. Dimensiones del anclaje e información adicional. Empresa San Simón S.A 2015.

- Se debe verificar los detalles característicos y la capacidad de los diferentes tipos de anclajes, para ello, los planos deben contener el detalle con las dimensiones de los anclajes, identificando las diferentes zonas, diámetros de perforación, materiales, separaciones, resistencia de la lechada y sección del torón, como se indica en la figura

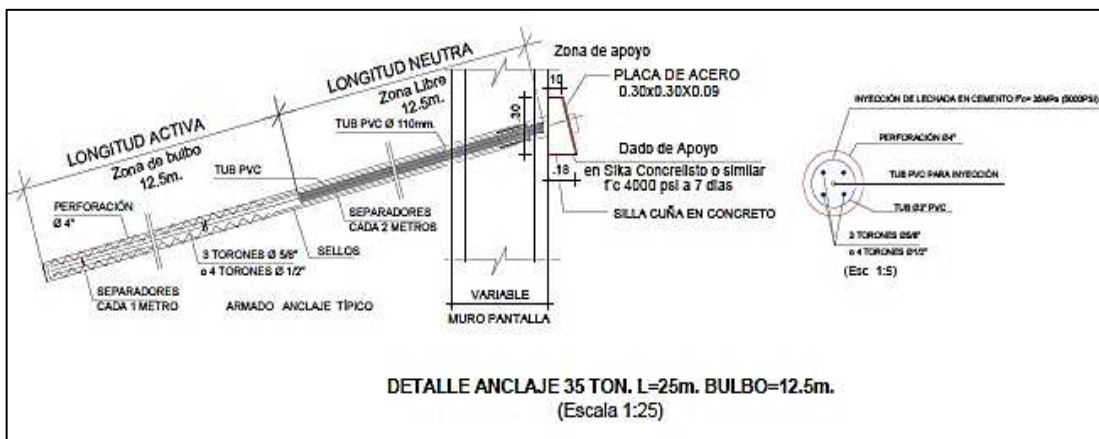


Figura 17. Detalle del anclaje. Empresa San Simón S.A 2015.

6. Se debe verificar el sistema o tipo de perforación, ya sea por rotación o rotopercusión, en seco o con agua o aire, entubada, protección lodo bentónico, se debe inspeccionar las recomendaciones en el diseño geotécnico y de estabilización de taludes al proceso constructivo y especificaciones técnicas, por lo cual dentro de las especificaciones entregadas se debe relacionar dicha información.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
ANCLAJE ACTIVO	
- Diametro de barra:	$D_b = 47 \text{ mm}$
- Diametro de perforación:	$D_p = 150 \text{ mm}$
- Longitud total:	$L_t = 20 \text{ a } 25 \text{ m}$
- Longitud de bulbo:	$L_b = 10 \text{ m}$
- Distribución arriba de elevación 1287.00:	@ 2.00x2.00 m
- Distribución abajo de elevación 1287.00:	@ 2.00x2.50 m
- Resistencia a la tracción:	$f_{ty} \geq 950 \text{ MPa}$
- Carga de diseño:	$F_{td} = 970 \text{ kN}$
- Carga de tensionado:	$F_t = 970 \text{ kN}$
- Carga de ensayo:	$F_e = 1215 \text{ kN}$
DRENAJE PROFUNDO	
- Diametro de perforación :	$D_p = 100 \text{ mm}$
- Diametro tubo PVC ranurado :	$D_p = 78 \text{ mm}$
- Longitud total :	$L_t = 6 \text{ a } 24 \text{ m}$
- Distribución:	@ 10.00 m
ANCLAJE PASIVO	
- Tipo de anclaje :	Autoperforante
- Características :	R38-550 de DYWIDAG (o equivalente)
- Longitud total :	$L_t = 3.00 \text{ m}$
- Distribución	@ 2.00(H)x2.00(V) m
HORMIGÓN PROYECTADO	
- Resistencia a la compresión (28 días) :	$f_c \geq 28 \text{ MPa}$
MALLA ELECTROSOLDADA	
- Dimensiones :	$\varnothing 6 \times 150 \times 150 \text{ mm}$

Figura 18. Especificaciones técnicas del proyecto. Empresa San Simón S.A 2015.

7. Con respecto a los procedimientos o tipos de inyección ya sea única global (IU), repetitiva (IR) o repetitiva y selectiva (IRS). Se debe verificar los protocolos de ejecución de actividades de perforación según sea el diseño y recomendaciones de los especialistas, así como las especificaciones técnicas. En la figura 19 se detallan las características para un tipo de inyección repetitiva.

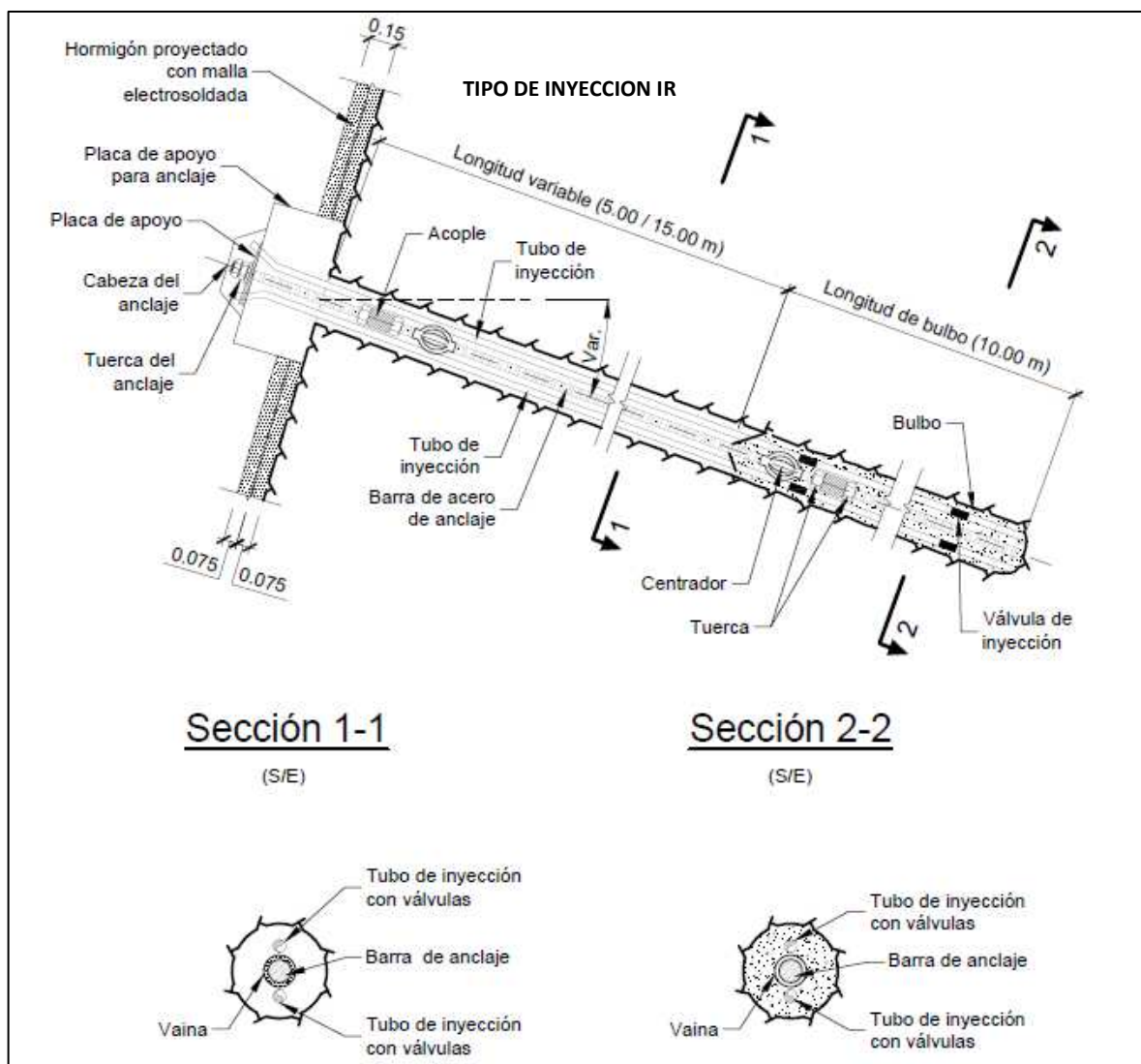


Figura 19. Procedimiento tipo inyección repetitiva (IR).
 Empresa San Simón S.A 2015.

8. Verificar que la información suministrada corresponda a los detalles y descripciones contenidas en los planos que detallen el anclaje (Figura 20), verificando entre otros aspectos los siguientes:

- 8.1 Diámetro de perforación
- 8.2 Inclinación del anclaje con respecto horizontal
- 8.3 Tipo de tirante y diámetro

- 8.4 Cantidad de torones, cables o guayas. Diámetro y resistencia, Grado.
- 8.5 Separadores o centradores y distribución en la zona libre y bulbo.
- 8.6 Sistema y tipo de inyección – Tubería PVC
- 8.7 Resistencia de la lechada
- 8.8 Cabeza de anclaje o dado de apoyo. Dimensiones, refuerzo de acero, resistencia $F'c$, especificación de la platina.

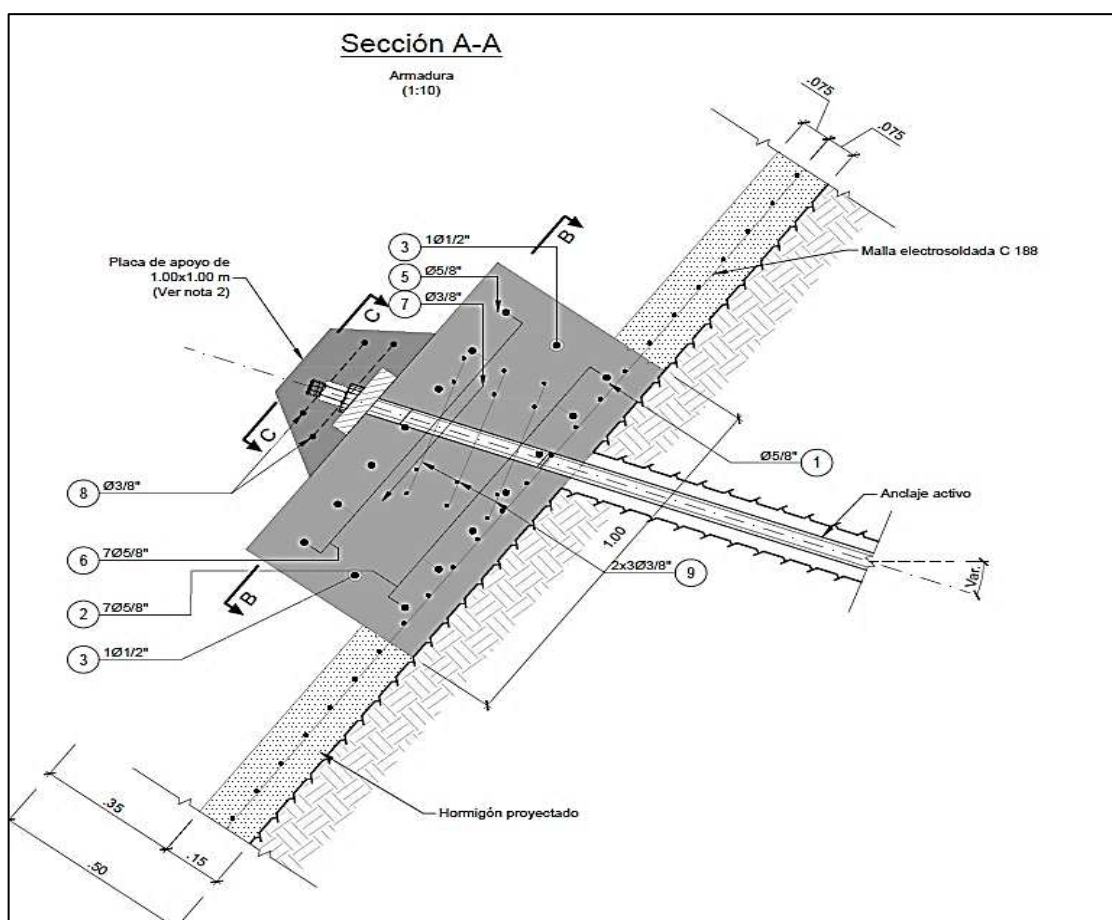


Figura 20. Detalle de planos del anclaje.

Empresa San Simón S.A 2015.

9. Adicionalmente se debe verificar el tipo de protección contra la corrosión y los ensayos de resistencia eléctrica, contrastando la información con lo contenido en las especificaciones técnicas y las recomendaciones en los estudios y diseños.

10. Finalmente, se debe verificar el diseño mezcla de la lechada de cemento. Comprobando la dosificación, la relación agua / cemento, el porcentaje de aditivos. Y si es necesario se consultarán en las especificaciones técnicas y el respectivo ensayo del diseño de prueba según los estudios y diseños proporcionados por el contratista.

4.2.2.2 DURANTE EL DESARROLLO DE LAS OBRAS. En esta etapa la principal función de la interventoría técnica es el control, vigilancia y comprobación mediante la supervisión, chequeo y apoyo del aspecto técnico al proceso constructivo de la actividad de instalación de anclajes activos. Los principales aspectos a controlar se enumeran a continuación:

1. inicialmente es necesario la verificación de la localización del anclaje con respecto al cuadro de coordenadas, dicho cuadro corresponde a la información analizada en la etapa anterior, esto se puede apreciar en la figura 21. Adicionalmente es necesario solicitar el certificado de calibración de equipo a la comisión topografía, a partir de dicha actividad se decide si se libera actividad dicha actividad bajo el criterio de Cumple o No cumple.



Figura 21. Localización de anclajes. Autores, 2020.

2. Posteriormente se debe comprobar antes de iniciar la perforación el diámetro del equipo a utilizar según diseño, y la información contenida en los planos, a partir de lo cual se libera o no la actividad (ver figura 22).



Figura 22. Diámetro de perforación. Autores, 2020.

3. Es importante realizar una supervisión constante de la inclinación del equipo de perforación, como se indica en la figura 23, y que esta corresponda a la información dispuesta en los planos y diseños, (Se libera actividad, Cumple / No cumple).



Figura 23. Inclinación de perforación. Autores, 2020.

4. El interventor deberá verificar el estado y funcionamiento del equipo empleado por el constructor, verificando los certificados y hojas de vidas de los equipos. Posteriormente Se libera actividad, dependiendo si Cumple o No cumple, se relacionan los Apéndices 7 y 8.

5. Se deben revisar los datos de la perforación: longitudes, inclinación, tipo de avance (rotación o percusión), diámetro, fecha de inicio y terminación, así como descripción cualitativa del terreno y su dureza, con respecto a la información suministrada en los planos y especificaciones del proyecto. (Ver figura 24)



Figura 24. Perforación del anclaje. Autores, 2020.

6. Se debe comprobar la calidad de los materiales que van a ser utilizados cumplan con los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas, comparándolo con los valores correspondientes de las normas correspondiente, a continuación se describen dichas normas, así mismo en los Apéndice 9, 10 y 11 se plantea algunos formatos para el control de materiales.

6.1 Cemento

Art. 501. Norma INVIAS. Cemento Portland

NTC 121. Especificaciones de desempeño para cemento hidráulico

6.2 Agua

NTC 3459. Agua para la elaboración de concretos

6.3 Torones, guayas o cables

6.4 Acero de refuerzo

7. Adicionalmente se debe supervisar los datos de la inyección: fechas de inyección y reinyecciones, presiones de inyección, cantidades inyectadas, densidad y viscosidad de la lechada, este último corresponde a la prueba de fluidez que se puede apreciar en la figura 25.



Figura 25. Prueba de fluidez. Autores, 2020.

8. El control de las presiones debe ser realizado en todo momento, controlando que las presiones del manómetro de la bomba durante la inyección se mantengan según las especificaciones del diseño. En la figura 26, se puede apreciar este proceso.



Figura 26. Inyección del anclaje. Autores, 2020.

9. Así mismo, se debe comprobar mediante un sondeo la longitud y profundidad de la perforación para liberar actividad y realizar armado de anclaje, como se puede apreciar en la figura 27



Figura 27. Instalación del anclaje. Autores, 2020.

10. Durante el proceso de ejecución se deben inspeccionar los siguientes parámetros en el armado del anclaje para liberar la actividad. En la figura se puede apreciar el proceso de armado.

- 10.1 Cantidad de torones o cables según diseño.
- 10.2 Diámetro del torón o cable según diseño.
- 10.3 Longitud de zona libre y bulbo.
- 10.4 Sistema de inyección que se utilizará para la inyección del anclaje.
- 10.5 Separación de recubrimiento en la zona libre y de bulbo.



Figura 28. Armado del anclaje. Autores, 2020.

11. Es fundamental vigilar que instalación del anclaje se realice hasta la longitud de diseño, verificando que no se presente alguna obstrucción por algún derrumbe en la perforación.

12. Se debe supervisar la correcta aplicación del método previamente aceptado para la instalación de los anclajes, en la figura 29 se puede apreciar dicho proceso.

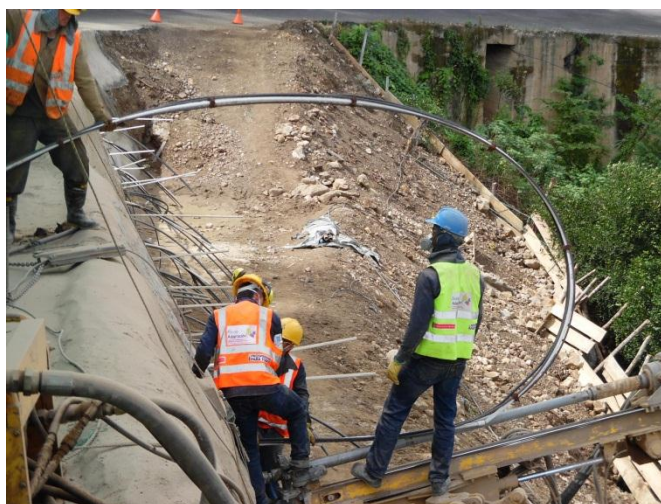


Figura 29. Proceso de instalación del anclaje. Autores, 2020.

13. Inspeccionar el llenado e inyección inicial según el diseño mezclas de lechada y ensayos de la misma, inspeccionando además los siguientes aspectos.

13.1 Dosificación de la lechada de inyección según diseño mezcla

13.2 Prueba de fluidez lechada, relación Agua / cemento. Art. 631-7 INVIAS

(Apéndice 6)

13.3 Toma de muestras de cada jornada de inyección (ver figura 30)



Figura 30. Toma de muestras de inyección. Autores, 2020.

14. Verificar el control de presiones para la reinyección final y cumplir con el llenado de la perforación.

15. Supervisar la construcción del dado de apoyo a cabeza del anclaje. Dimensiones, resistencia $f'c$, Calidad materiales. Cemento, Agua, arena, aditivo, etc (Normas)



Figura 31. Armado y proceso de fundida de dado de apoyo. Autores, 2020.

4.2.2.3 DESPUES DEL DESARROLLO DE LAS OBRAS. Posterior a la ejecución y desarrollo de las obras, es necesario establecer criterios de recibo y aceptación de los anclajes activos por parte de la interventoría.

1. Inspeccionar el certificado de calibración del equipo que se utilizara para el tensado (Certificado vigente)
2. Verificar el tensado del elemento del anclaje y carga máxima alcanzada, según el diseño. (Se libera actividad, Cumple / No cumple)

3. Controlar y registrar las longitudes libres del tensado y capacidad del anclaje frente al tensado. Se libera actividad, Cumple / No cumple)

4. Aceptación o rechazo del anclaje. Se libera actividad y se autoriza para pago.

4.2.3 Medidas de control en la ejecución.

En la ejecución de proyectos de anclajes es necesario el control y seguimiento de los siguientes aspectos:

- Elaboración, transporte y almacenaje de tirantes
- Perforación
- Proceso de instalación
- Inyección de lechada
- Proceso de tensado

4.2.3.1 *Elaboración, transporte y almacenaje de tirantes.* Se debe poder garantizar que los tirantes permanezcan limpios, libres de corrosión y daños mecánicos, tanto en el proceso de fabricación como en el de almacenaje. Así mismo estos elementos no deben someterse a dobleces de un radio menor al recomendado por el fabricante.

En el caso de tirantes engrasados, es de particular relevancia la limpieza del bulbo, siendo necesario en ocasiones recurrir a disolventes o limpieza con vapor, en tanto estos no vean afectados la integridad del mismo.

Finalizada la elaboración o fabricación de los anclajes, con sus respectivas protecciones y elementos auxiliares, estos se deben almacenar en lugares secos y limpios. Adicionalmente se deben tomar las precauciones necesarias durante el transporte y una vez en obra se debe verificar los certificados de calidad de los aceros que componen estos elementos.

4.2.3.2 Perforación.

- Profundidades y diámetros: toda perforación que se realice debe efectuarse respetando el diámetro, la profundidad y la posición respectiva que contiene los planos, de igual forma están debe asegurar un recubrimiento mínimo de lechada. En la tabla 7 y 8 se indican los diámetros mínimos que suelen emplearse dependiendo del tipo de anclaje.

Tabla 7

Diámetros mínimos en cables

Nº de cables	Diámetro min exterior del entubado (mm)	Diámetro min de la perforación no entubada (mm)
Clase 1. Anclaje provisional de única inyección		
2 – 5	114	85
6 – 7	133	105
8 – 12	152	125
Clase 2. Anclaje provisional con reinyección		
2 – 3	114	85
4 – 5	133	105

6 – 10	152	125
Clase 3 y 4A. Anclaje permanente sin reinyección		
2 – 4	133	105
5 – 7	152	125
7 – 12	178	140
Clase 4B. Anclaje permanente con reinyección		
2 – 4	152	125
5 – 7	178	140
7 – 12	200	165

Fuente: (Dirección General de carreteras, 2001)

Tabla 8
Diámetros mínimos en barras

Diámetro de barra	Diámetro min exterior del entubado (mm)	Diámetro min de la perforación no entubada (mm)
Clase 5. Anclaje provisional de única inyección		
< 25	90	68
Entre 25 y 40	101	85
Clase 7. Anclaje permanente de única inyección		
< 25	114	85
Entre 25 y 40	133	105
Clase 3 y 4A. Anclaje permanente sin reinyección		
< 20	133	105

Entre 20 y 25	152	114
Entre 25 y 40	178	133

Fuente: (Dirección General de carreteras, 2001)

- Tolerancias: toda perforación que se realice mediante taladros tendrá las siguientes consideraciones.

Se debe verificar que la boca de la perforación no está desfasada en planta, respecto a lo indicado en los planos, en este caso no debe superar los 50 mm, esta verificación debe realizarse con cada uno de los taladros.

Respecto a la horizontal el taladro no deberá desviarse más de 2°, esta verificación debe realizarse en al menos el 10% de los taladros. Así mismo, el diámetro nominal del bulbo no deberá reducirse en más de un 2 mm, esto se verificará cuando se perciba un desgaste o cuando se cambie el útil de perforación, en todos los casos esto no debe ser menor al 10% de los taladros. Finalmente, la longitud de la perforación no deberá variar en más de 20 m.

4.2.3.3 Proceso de instalación. Se debe evitar deformar o dañar los componentes y el anticorrosivo. Previo al montaje se realizará la verificación visual del estado de todos los componentes y se realizará una constancia del estado (Dirección General de carreteras, 2001).

Antes de la realizar el proceso de colocación se hará una verificación de la perforación, verificando que no existan obstáculos. La instalación se hará en forma controlada sin afectar los

componentes, el tiempo de esta actividad incluyendo la inyección, debe ser el menos posible (Dirección General de carreteras, 2001).

Los centradores se disponen en forma solidaria al tirante y garantizando el recubrimiento mínimo, y la cantidad de estos dependerá específicamente del peso y rigidez del tirante. La separación de estos no será superior a los 3 m (Dirección General de carreteras, 2001).

4.2.3.4 Inyección de lechada. El fin principal de la inyección es constitución de la zona del bulbo y la protección del tirante frente a la corrosión. El tiempo entre la perforación y la inyección debe ser el menor posible.

La inyección única global se realiza desde el fondo a la boca de la perforación, caso contrario a los anclajes de tipo ascendente, en cuyo caso se realiza al revés. En las dosificaciones que se suele emplear en las lechadas se emplea una relación a/c que varía entre 0,4 y 0,6 cuando son inyecciones de una sola fase.

La comprobación de la densidad de la lechada se efectúa antes de su inyección, en cualquier caso esta debe ser superior a los 1500 kg/cm^3 . En este proceso y durante la configuración de los tirantes se tendrá que asegurar la longitud libre de alargamiento en la zona libre del anclaje. Es importante resaltar que en tanto la lechada no alcance la resistencia deseada, no se debe permitir el tensado del anclaje.

4.2.3.5 *Proceso de tensado.* El personal a cargo de este proceso debe ser especializado en tal fin, la calibración de los equipos debe ser como mínimo en forma anual, contando con los certificados correspondientes.

El tensado se realiza traccionando en forma simultánea todos los cables, y la secuencia de este debe verificarse con las especificaciones del proyecto. Es recomendable que el tensado se realice en una sola operación y el orden de la carga debe ser en forma alterna para evitar una concentración excesiva de esfuerzos.

4.3 Elaborar una guía de interventoría técnica para la construcción de anclajes activos en obras de estabilización.

Con el desarrollo de este objetivo se espera brindar una herramienta que permita al interventor realizar un correcto seguimiento técnico en la ejecución de obras de estabilización correspondientes a anclajes activos, el desarrollo de la guía se encuentra en el apéndice 1 de este documento.

Así mismo, en la tabla 9 se realiza un consolidado de los resultados obtenidos a partir de las estrategias que fueron implementadas para lograr los objetivos iniciales del proyecto.

Tabla 9
Consolidado de los resultados obtenidos

Objetivo	Estrategia	Resultado
Establecer los fundamentos teóricos, conceptuales y legales necesarios para el desarrollo de obras de estabilización.	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda en bases de datos • Recopilación y documentación teórica • Revisión del estado del arte 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuración del capítulo de resultados con los principales aspectos teóricos necesarios para la comprensión de los proyectos de estabilización, en particular aquellos que involucran la construcción

Objetivo	Estrategia	Resultado
Identificar los aspectos de interventoría técnica requeridos para la construcción de anclajes activos.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión del contrato de interventoría • Revisión de normas y especificaciones para la construcción de anclajes • Seguimiento y control de obra • Registro fotográfico 	<p>de anclajes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de las funciones y el rol de interventor. • Determinación de las actividades y controles necesarios en la construcción de anclajes en las etapas ANTES, DURANTE y DESPUES de las obras. • Proceso constructivo y controles realizados.
Elaborar una guía de interventoría técnica para la construcción de anclajes activos en obras de estabilización.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de manuales • Recopilación y análisis de experiencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de la GUÍA DE INTERVENTORÍA TÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ANCLAJES ACTIVOS EN OBRAS DE ESTABILIZACIÓN

Conclusiones

Los proyectos de estabilización se efectúan principalmente bajo la finalidad de resistir las fuerzas ejercidas por masas de tierra y transmitir estas cargas en forma segura al terreno. En este sentido, los anclajes se consideran uno de los sistemas más eficientes y eficaces en la estabilización de taludes. Se ha identificado que existen diversos tipos de anclajes, los cuales se pueden clasificar conforme a los mecanismos de sostenimiento, el material, la vida útil, longitudes libres de la barra entre otras, sin embargo, la característica más relevante consiste en la forma de trabajo, es decir, en forma activa o pasiva.

A partir de la revisión bibliográfica, se han establecido parámetros que permiten comprender y ampliar la información respecto a los métodos de análisis y diseño de anclajes, no obstante, este trabajo se enfocó principalmente a los procesos constructivos que se llevan a cabo en el desarrollo de estas obras, enfocando el análisis principalmente a los controles de carácter técnico que deben ser llevados a cabo por el interventor a cargo de las obras.

El uso de anclajes con respecto a otros métodos de estabilización para sistemas de taludes consiste en una alternativa ventajosa puesto que el espacio necesario es mínimo, además de la relativa simplicidad de los procesos constructivos, así mismo no existe como tal limitaciones en cuanto a la altura o ancho para las masa que se deseen estabilizar lo cual permite la intervención de puntos específicos sobre un amplio terreno.

Un aspecto fundamental para la construcción de los anclajes, parte de una correcta supervisión y seguimiento a los procesos que se desarrollan, identificando tres hitos importantes, los cuales son Antes, durante y Después de las obras, en los cuales es fundamental la intervención del interventor para garantizar que la ejecución del proyecto es la adecuada, tanto desde los aspectos iniciales como la revisión y aprobación de planos y diseños, hasta los procesos de ejecución, en cuanto a la perforaciones, instalación y tensado de los anclajes. No obstante muchas veces no se cuenta con la suficiente experiencia respecto a los procesos y controles que deben realizarse, por lo cual es necesario recurrir a herramientas como manuales o guías para identificar aquellos aspectos que deben controlarse.

Finalmente, este proyecto permitió recopilar las experiencias adquiridas por los autores en el desarrollo del proyecto “Reconstrucción y estabilización de 13 puntos críticos vía Cúcuta-pamplona departamento Norte de Santander, ruta 5505” en el cual se desarrollaron las actividades de interventoría para el seguimiento y control de las obras ejecutadas, en este sentido, a partir de dichas experiencias se elabora una guía que permita simplificar los proceso y controles que se deben llevar a cabo en la ejecución de contratos que involucre la construcción de anclajes.

Recomendaciones

Los profesionales encargados de desarrollar el proceso de interventoría deben ser estrictos en la aplicación e implementación del marco normativo y regulatorio, así como las especificaciones técnicas, en forma tal que se pueda garantizar la estabilidad y funcionamiento de las obras durante su vida útil.

Es importante que previo a la ejecución del proyecto de estabilización, se tengan aprobados previamente los respectivos diseños, incluyendo las longitudes, diámetros, separaciones, inclinaciones, y que estos estén soportados con un análisis de carga, además de los modelos de estabilidad y desplazamiento.

Durante las etapas del desarrollo y ejecución de los anclajes es fundamental que el interventor controle desde la revisión y aprobación de planos y diseños, así como el control de materiales y supervisión de los diferentes procesos constructivos, y adicionalmente el proceso de tensionado de los anclajes, para finalmente aprobar la entrega final de las obras.

Referencias

- Alvares, J. y Conde, J. A. (2014). ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO BELLAVISTA DEL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER. (Proyecto de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña, Colombia.
- Arias Pineda, L. M. (2014). *Seguridad industrial en la estabilización de taludes por el método de SOIL NAILING según normas OSHA*. (Tesis Doctoral). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Beltrán, A. M. (1996). *Análisis teórico del comportamiento y control técnico en la construcción de anclajes*. (Proyecto de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Briaud, J. L. (1998). Should Grouted Anchors Have Short Tendon Bond Length?. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* .vol. 124, pp. 110-119.
- Cabeza E. P. y Sossa, L.C. (2015). ELABORACIÓN DE UNA GUÍA CONSTRUCTIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PANTALLAS ANCLADAS. (Proyecto de especialización). Universidad pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Colombia.
- Cabeza, E. P. y Sossa, L. C. (2015). *Elaboración de una guía constructiva para la construcción de pantallas ancladas*. (Proyecto de Especializacion). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- Cañizo, L., Escario, B., Faraco, C., Fort, L., Salas, J. J., Alpañés, J. J., y Muzas, F. (1970). *Geotecnia y cimientos*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Servicio de Publicaciones de Alumnos, Madrid.

- Congreso de Colombia. (12 de julio de 2011). Por la cual se dictan normas orientadas a fortalecer los mecanismos de prevención, investigación y sanción de actos de corrupción y la efectividad del control de la gestión pública. [Ley 1474 de 2011]. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1474_2011.html
- Congreso de Colombia. (18 de Julio de 1997). Fe de Erratas. [Ley 388 de 1997]. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0388_1997.html
- Congreso de Colombia. (24 de abril de 2012). Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. [Ley 1523 de 2012]. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html
- Congreso de Colombia. (28 de octubre de 1993). Por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. [Ley 80 de 2011]. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0080_1993.html
- Congreso de Colombia. (9 de octubre de 2003). Por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones. [Ley 842 de 2003]. http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0842_2003.html
- Congreso de Colombia. (Diciembre de 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente. [Ley 99 de 1993]. Recuperado de <https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-99-1993#:~:text=Descripci%C3%B3n%3A,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones.>

- Corominas, J., y de Caminos, I. (2004). Tipos de rotura en laderas y taludes. *Ingeniería del Terreno*. Universidad Politécnica de Madrid, 191-213.
- Coronel Gutierrez, R. A., y Tavera Calderon, R. F. (2013). *Lecciones aprendidas en la estabilización de taludes con pantallas ancladas* (Tesis de Especialización). Universidad Pontificia Bolivariana.
- Dirección General de carreteras. (2001). Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. Normativa de carreteras, Recuperado de:
<http://normativadecarreteras.com/listing/guia-para-el-diseno-y-la-ejecucion-de-anclajes-al-terreno-en-obras-de-carretera/>
- Flórez, L.N y Hernández, C. C. (2012). Estudio sobre el diseño y construcción de anclajes como elementos de estabilización de taludes. (Proyecto de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Forrester, K. (2001). *Subsurface drainage for slope stabilization*. USA: ASCE press.
- Gonzales de Vallejo, L. I. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid, España: Prentice Hall
- Gutierrez, J. C. y Velez, M.F. (2016). ANALISIS PROBABILISTICO Y DE SENSIBILIDAD EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES UTILIZANDO LA APLICACION SLOPE/W. (Proyecto de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña, Colombia.
- Hurtado Pérez, L. G. (2019). Acompañamiento en los procesos de formulación y ejecución de la empresa Tag Perforaciones en proyectos de anclajes pasivos y activos en el municipio de Ibagué.
- Low, B. K. (2005). Reliability-based design applied to retaining walls. *Geotechnique*, 55(1), 63-75.

- Luo, N., Bathurst, R. J., y Javankhoshdel, S. (2016). Probabilistic stability analysis of simple reinforced slopes by finite element method. *Computers and Geotechnics*, 77 (1), 45-55.
- Mendoza, C. C. (2015). Anclajes, Presentación basada en la Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. Universidad Nacional, Medellín, Colombia.
- Naranjo Castillo, A. (2009). *Comparación técnico económica del uso de pantallas de anclajes activos y suelo cosido para la estabilización de taludes*. (Tesis de pregrado) Universidad de Costa Rica, San Pedro.
- Navarro, R. U. (2002). *Manual de Anclajes en Obras de Tierras*. Mérida, México: Universidad de los Andes.
- Prada, F., Ramos, A., Solaque, D., y Caicedo, B. (2011). Confiabilidad aplicada al diseño geotécnico de un muro de contención. *Obras y proyectos*, (9), 49-58.
- Rengifo Reátegui, J. J. (2015). *Muros anclados en arenas, análisis y comparación de técnicas de anclajes*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Rondón, J. A., y Torrado Gómez, L. M. (2017). *Análisis Y Lineamientos Para El Diseño Estructural De Pantallas Ancladas*. (Tesis Doctoral). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Sabatini, P. J., Pass, D. G., y Bachus, R. C. (1999). *Geotechnical engineering circular no. 4: ground anchors and anchored systems* (No. FHWA-IF-99-015).
- Sancho Solano, M. P. (2018). *Metodología para efectuar ensayos de adherencia en barras de anclaje empleadas para la estabilización de taludes en suelos no cohesivos*. (Tesis Doctoral). Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua, Ecuador.
- Schmidt, R.J., Dolan, C.W. y Holte, L.E. (1994). Anchorage of Non-Metallic Prestressing Tendons. *Proceedings of Structures Congress XII, ASCE*, pp. 1415-1420.

- Terzi, N. U., Daldal, G. I., & Yildirim, S. (2011). Monitoring a grouted anchor in a reinforced structure. *Experimental Techniques*, Vol. 35, pp. 47-54.
- Terzi, N. U., Daldal, G. I., y Yildirim, S. (2011). Monitoring a grouted anchor in a reinforced structure. *Experimental Techniques*, 35(2), 47-54.
- Ucar, R. N. (2012). *Manual de anclajes en obras de tierras*. Universidad de los Andes. Mérida: Venezuela. Recurado de http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/manual_anclaje/pdf/librocompleto.pdf
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., y Díaz Orrego, A. (2016). Estabilidad Taludes, Conceptos Básicos, Parámetros De Diseño Y Métodos De Cálculo. *Revista Civilizate*, vol.7, 50-54.
- Vukotić, G., González, J. G., & Peña, A. S. (2013). The influence of bond stress distribution on ground anchor fixed length design. Field trial results and proposal for design methodology. Proceedings of the 18th ICSMCE, Paris.
- Whittlestone, A. P., Johnson, J. D., Rogers, M. E., y Pine, R. J. (1995). Probabilistic risk analysis of slope stability. En *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* vol. 5, p. 236A.
- Xanthakos, P. P. (1991). *Ground anchors and anchored structures*. USA: John Wiley & Sons.
- Zorrilla, E. S. C. (2012). *Descripción teórica de las calzaduras y muros anclados en la grava de Lima*. (Tesis Doctoral). Pontificia Universidad Católica del Perú.

**Apéndice 1. Guía de Interventoría técnica para la construcción de anclajes
activos en obras de estabilización.**

Apéndice 2. Formato para el control de documentación precontractual y contractual del proyecto.

Apéndice 3. Formato para el control de diseños y/o estudios técnicos.

Apéndice 4. Formato para el control en la relación de planos del proyecto.

Apéndice 5. Formato para el control a especificaciones técnicas.

Apéndice 6. Formato para el control de inspección y ensayos del proyecto.

Apéndice 7. Formato para el control de equipos de medición.

Apéndice 8. Formato para el control de maquinaria y equipos de la obra.

Apéndice 9. Formato para el control de materiales de la obra.

Apéndice 10. Formato de conformidad de materiales – Barras y acero.

Apéndice 11. Formato de conformidad de materiales – Concreto y lechadas.

Apéndice 12. Formato para el control de las actividades.

Apéndice 13. Formato para el control de la perforación.

Apéndice 14. Formato para el control de la inyección

Apéndice 15. Formato para el control del tensado.

Apéndice 16. Formato para el control de calidad