ELABORACIÓN DE UNA GUÍA CONSTRUCTIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PANTALLAS ANCLADAS

ERIKA PAOLA CABEZA PINZÓN
LIANA CELMIRA SOSSA MALAGÓN

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA E INTERVENTORÍA DE OBRAS CIVILES
BUCARAMANGA
2015

ELABORACIÓN DE UNA GUÍA CONSTRUCTIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PANTALLAS ANCLADAS

ERIKA PAOLA CABEZA PINZÓN
LIANA CELMIRA SOSSA MALAGÓN

Monografía para optar al Título de Especialistas en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles

Asesor:
Ing. ALDEMAR REMOLINA MILLAN

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA E INTERVENTORÍA DE OBRAS CIVILES
BUCARAMANGA
2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

DEDICATORIA

A Dios por permitirme alcanzar esta nueva meta en mi vida.

A mis padres, hermanos y familia en general por su apoyo incondicional.

A Nelson y mi hijo David por el gran amor, paciencia y comprensión que siempre me han brindado.

A todas y cada una de las personas que de una u otra forma me apoyaron en este proceso.

Liana Celmira Sossa Malagón

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme con la inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad para ejercer este proyecto, además de su infinita bondad y amor.

A mi Madre que desde donde se encuentre siempre me acompaña y es mi guía, mi Padre y hermanos por su apoyo, comprensión y confianza incondicional.

A Mi Esposo y nuestra hermosa María José por su amor, paciencia, comprensión, disposición, apoyo y ayuda incondicional en mi crecimiento profesional.

A mis compañeros de trabajo y de vida por su interés y apoyo constante, los cuales me han permitido alcanzar los objetivos propuestos.

Erika Paola Cabeza Pinzón

.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sus bendiciones, guía, fortaleza y colmarnos de sabiduría e inteligencia para lograr cumplir esta meta.

A nuestras familias y amigos por su interés, constante apoyo y colaboración brindada en el transcurso de esta especialización.

Al Ingeniero Carlos Andrés Buenahora por su colaboración, disposición de tiempo, por compartir sus conocimientos y experiencia profesional, valioso aporte para el desarrollo de este proyecto.

A Ingeotecnia Erosión y Deslizamientos por su valioso aporte y disposición de la información necesaria, así como su interés en el buen desarrollo de la investigación.

A P y P Ltda., por su aporte y apoyo para lograr la culminación de este proyecto.

Al Ingeniero Álvaro García Parra por su apoyo, confianza y colaboración durante el curso de esta especialización.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por la disposición de docentes altamente calificados que nos aportaron todo el conocimiento adquirido a través de la enseñanza de sus experiencias profesionales.

A los Ingenieros Aldemar Remolina Millán y Leonardo Barón Páez por compartir sus conocimientos, su colaboración y disposición en todo momento.

A todas y cada una de las personas que de alguna u otra manera, contribuyeron en el logro de esta meta en nuestras vidas, y que nos ha permitido crecer intelectualmente como profesionales y seres humanos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
2. ASPECTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES SOBRE PANTALLAS ANCLADAS	4
2.1. ANCLAJES	4
2.1.1 Sistema de Clasificación	7
2.2 PANTALLAS ANCLADAS	9
2.2.1 Sistema de Clasificación	11
2.3 MICROPILOTES	15
2.3.1 Sistema de Clasificación	17
3. METODOLOGIA	28
3.1 EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA.	29
3.2 BUENAS Y MALAS PRÁCTICAS MÁS COMUNES EN EL SECTOR CONSTRUCTIVO.	37
3.2.1 Excavación	37
3.2.2 Perforación	40
3.2.3 Inyección de anclajes y micropilotes	42
3.2.4 Armado de hierro pantallas	43
3.2.5 Instalación de concreto	45

3.2.6 Tensionamiento 47
3.2.7 Obras de subdrenaje 48
3.2.8 Otras actividades 50
3.3 GUÍA CONSTRUCTIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PANTALLAS ANCLADAS. 65
3.3.1 Materiales 65
3.3.2 Proceso Constructivo 88
3.3.3 Ensayos de Laboratorio de Materiales 123

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 157

BIBLIOGRAFÍA 159

ANEXOS 161

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema de un Anclaje Provisional 5
Figura 2. Componentes de un Anclaje 5
Figura 3. Tipos de anclaje según la FHWA 7
Figura 4. Esquema típico de un perno 10
Figura 5. Esquema típico de una Pantalla temporal en concreto lanzado 12
Figura 6. Esquema Típico de una pantalla permanente 13
Figura 7. Esquema de pantalla con concreto mezclado en sitio sobre concreto lanzado temporal 14
Figura 8. Esquema de pantalla con paneles de concreto prefabricado. 14
Figura 9. Esquema del proceso constructivo de un Micropilote. 15
Figura 10. Esquema de Micropilotes – Caso 1 19
Figura 11. Esquema de estructura de micropilotes – Caso 1 20
Figura 12. Esquema típico de red de micropilotes 21
Figura 13. Esquema de disposición de micropilotes – Caso 2. 22
Figura 14. Sistema de clasificación de Micropilotes de acuerdo al método de inyección. 23
Figura 15. Criterios evaluados por las empresas constructoras. 29
Figura 16. Deslizamiento ocurrido por realizar excavaciones completas 38
Figura 17. Perforación con tubería de revestimiento para controlar el aire 41
Figura 18. Refuerzo doblado para realizar el traslapo del siguiente módulo 44
Figura 19. Uniones mecánicas para realizar los traslapos 44
Figura 20. Escurrimiento del concreto lanzado 45
Figura 21. Sobre-espesores por eliminación de bloques de gran tamaño 46
Figura 22. Desprendimiento de pantalla por falla en el gancho de los pernos 47
Figura 23. Subdren de penetración 49

Figura 24. Erosión en áreas entre micropilotes 52
Figura 25. Construcción de anclajes en taludes de relleno 57
Figura 26. Cables de acero 66
Figura 27. Tubería PVC 67
Figura 28. Uniones PVC 67
Figura 29. Tapón PVC 68
Figura 30. Instalación de manguera de polietileno en la zona libre de los anclajes 69
Figura 31. Cuñas para anclajes 70
Figura 32. Cabeza de anclaje apoyada en base de concreto 70
Figura 33. Cabeza de anclaje apoyada en base metálica 71
Figura 34. Separadores plásticos 72
Figura 35. Gancho en acero de refuerzo 73
Figura 36. Neumático instalado en la zona del bulbo 74
Figura 37. Lechada de cemento usada para la inyección de anclajes 75
Figura 38. Armado de acero de refuerzo para las pantallas 76
Figura 39. Empalmes roscados 77
Figura 40. Proceso de instalación conector extruido 78
Figura 41. Concreto lanzado 79
Figura 42. Subdrenes de penetración 81
Figura 43. Geodrén planar 82
Figura 44. Varillas roscadas para pernos 83
Figura 45. Varillas con gancho para pernos 83
Figura 46. Cabeza del perno 84
Figura 47. Manguera de polietileno 85
Figura 48. Centralizador plástico 86
Figura 49. Modulación de trincheras para el proceso de excavación de la primera fila de pernos y/o anclajes 88
Figura 50. Modulación de trincheras en campo 89
Figura 51. Modulación de trincheras para todos los niveles de la pantalla 90

Figura 52. Procedimiento para la construcción de anclajes o pernos 90
Figura 53. Detalle de acero refuerzo pantalla de doble parrilla con viga y anclaje 99
Figura 54. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla sencilla, sin viga con perno 100
Figura 55. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla doble, sin viga con perno 100
Figura 56. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla sencilla, sin viga con anclaje 101
Figura 57. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla doble, sin viga con anclaje 101
Figura 58. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla sencilla y perno con gancho 102
Figura 59. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla sencilla con anclaje 103
Figura 60. Limpieza de concreto 106
Figura 61. Instalación de lloraderos 106
Figura 62. Concreto lanzado para pantallas ancladas 107
Figura 63. Concreto lanzado embancado 108
Figura 64. Concreto lanzado en capas verticales 109
Figura 65. Pantalla anclada con pernos tipo gancho 109
Figura 66. Estructuras en concreto para apoyo de las platinas 110
Figura 67. Extracción de núcleos en las pantallas 111
Figura 68. Núcleo extraído de una pantalla anclada 111
Figura 69. Tensionamiento de anclajes con gato hidráulico 112
Figura 70. Procedimiento para llevar a cabo el tensionamiento de anclajes 113
Figura 71. Detalle subdren de penetración 115
Figura 72. Subdren de penetración en funcionamiento 115
Figura 73. Instalación de geodren planar 116
Figura 74. Secuencia típica en la construcción de micropilotes 118
Figura 75. Maquinaria utilizada para la perforación de micropilotes 118
Figura 76. Armadura del micropilote instalada 119
Figura 77. Inyección tipo IU 121

Figura 78. Inyección tipo IR 122
Figura 79. Conexión de micropilotes mediante una viga 123
Figura 80. Presentación de ensayo de creep 132
Figura 81. Especificaciones Mesa de Flujo Manual 135
Figura 82. Leva, Árbol y Plataforma (Dimensiones en mm). 138
Figura 83. Soportes. 139
Figura 84. Molde y Calibrador 140
Figura 85. Cono de Marsh para determinar la fluidez 142
Figura 86. Recipiente cilindro transparente 145
Figura 87. Especificaciones Molde Triple para cubos de cemento y mortero. 146
Figura 88. Toma de muestras en molde triple 147
Figura 89. Especificaciones de equipo para ensayo de cubos de cemento y mortero a compresión 148
Figura 90. Especificaciones del conjunto para determinar el asentamiento del concreto 151
Figura 91. Especificaciones Técnicas de máquina digital doble rango para ensayos de concreto 156

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Detalles de la clasificación de Micropilotes de acuerdo al método de inyección 25
Tabla 2. Ponderaciones de los criterios de evaluación 30
Tabla 3. Puntajes definitivos para la calificación de las diferentes actividades del proceso constructivo de pantallas ancladas. 31
Tabla 4. Porcentajes de incidencia de los criterios de evaluación 34
Tabla 5. Actividades recomendadas para la ejecución de pantallas ancladas 36
Tabla 6. Resumen de buenas y malas prácticas en la construcción de pantallas ancladas 58
Tabla 7. Resistencia a la rotura de las placas de reparto 71
Tabla 8. Propiedades físicas los conectores extruidos 78
Tabla 9. Listado de Proveedores de Materiales 87
Tabla 10. Diámetros mínimos de perforación para anclajes de cables. 92
Tabla 11. Diámetros mínimos de perforación para anclajes de barras. 93
Tabla 12. Proporciones de los contenidos de las lechadas 98
Tabla 13. Resultados de las resistencias a compresión de lechadas con A/C=0.44 98
Tabla 14. Pasos para realizar las pruebas de carga 127
Tabla 15. Criterios de aceptación por desplazamientos elásticos. 130
Tabla 16. Resistencia a la compresión de acuerdo a la edad. 149
Tabla 17. Relación de tolerancias permitidas 154

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Valoración de Empresas	161
Anexo B. Matrices	164

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO:	ELABORACIÓN DE UNA GUÍA CONSTRUCTIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PANTALLAS ANCLADAS
AUTOR(ES):	ERIKA PAOLA CABEZA PINZÓN LIANA CELMIRA SOSSA MALAGÓN
FACULTAD:	Esp. en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles
DIRECTOR(A):	ALDEMAR REMOLINA MILLÁN

RESUMEN

En Bucaramanga y el área metropolitana, se ha incrementado la construcción de edificaciones, las cuales en su mayoría requieren de sótanos para aprovechar al máximo el área destinada para dicha construcción. Para la ejecución de excavaciones profundas es de vital importancia elegir adecuadamente el tipo de estructura de contención que permita controlar la estabilidad de los taludes, además se deben tener en cuenta algunos otros aspectos tales como tipo de suelo, estructuras adyacentes, profundidad de los taludes, entre otros. Este trabajo se encuentra enfocado en la construcción de pantallas ancladas como método de estabilización de suelos en la ejecución de excavaciones para la construcción de edificaciones de diversas alturas. Teniendo en cuenta lo anterior, el documento presenta una evaluación de las diferentes alternativas o metodologías adoptadas por el gremio constructor para realizar la construcción de pantallas ancladas en la ciudad de Bucaramanga y su Área Metropolitana, de esta manera se pretende determinar los métodos adecuados para la realización de las actividades propias de un proceso constructivo optimizado para la construcción de pantallas. De igual forma, se procede a realizar un análisis de las buenas y malas prácticas realizadas en la ejecución de dichas actividades con el fin de evitar las malas e implementar las buenas prácticas y así advertir sobrecostos, retrasos, reprocesos, etc.; de esta manera lograr unificar un proceso constructivo eficaz y eficiente que aporte a la comunidad proyectos seguros y de alta calidad. Finalmente, se realiza una guía constructiva basada en la normatividad vigente, la cual recopila los aspectos característicos de la construcción de pantallas ancladas tales como materiales de construcción, proceso constructivo detallado y pruebas de laboratorio; con la cual se pretende compilar los aspectos técnicos necesarios para que el Constructor desarrolle obras integrales que garanticen su calidad y eficacia en el tiempo.

PALABRAS CLAVES:

Pantalla anclada, perno, anclaje, concreto, estabilización, micropilotes, construcción.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: CONSTRUCTIVE DEVELOPMENT OF A GUIDE FOR THE CONSTRUCTION OF SCREENS ANCHORED

AUTHOR(S): ERIKA PAOLA CABEZA PINZÓN
LIANA CELMIRA SOSSA MALAGÓN

FACULTY: Esp. en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles

DIRECTOR: ALDEMAR REMOLINA MILLÁN

ABSTRACT

In Bucaramanga and its metropolitan area, high buildings construction activity has been increased where basements are required in order to make the most of the area available for the building. When it comes to excavation execution, it is important to choose the proper containment structure type, which must allow controlling the slope stability. It is also important to take into account some other aspects such as land type, adjacent structures and slope depth among others. This work is focused on the affixed screens construction as a method for land stabilization during the excavations execution for buildings construction of different heights. Having said that, the document presents an evaluation of the different alternatives and methods adopted by the construction industry for the affixed screen construction in Bucaramanga and its metropolitan area, and then to determine the proper methods for an optimized constructive process. The work also presents an analysis of good and bad practices for such an activity in order to avoid the bad ones and implement the good ones. It eases determining over cost, delays, and duplicity of work etc. so it is possible to have an efficient constructive process that brings to the community safe and high quality projects. Finally, it is presented a constructive guide based on the current normativity, which compiles the specific aspects of the affixed screen construction such as construction materials, detailed constructive process and lab tests. All these technical aspects are important for the constructor to develop integral work that guarantee quality and time efficiency.

KEYWORDS:

Anchored concrete panel, nail, anchor, concrete, stabilization, micropile, construction.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCION

Actualmente, en Bucaramanga y su área metropolitana, la construcción de edificaciones ya sea de tipo comercial o para vivienda, ha generado la necesidad de utilizar el subsuelo para aprovechar de forma eficaz los espacios físicos para la construcción de sótanos y/o aparcamientos subterráneos; sin embargo, estas construcciones subterráneas suponen grandes riesgos debido a la cantidad de estructuras (cimentaciones, tanques de agua, redes de alcantarillado, acueducto, gas, etc.) adyacentes existentes, además de la presencia del nivel freático que en algunos casos se puede localizar muy cercano a la superficie del terreno.

Para llevar a cabo la estabilización de taludes, se cuenta con una serie de estructuras las cuales poseen diferentes sistemas de trasmisión de cargas; entre estas estructuras se tienen los muros masivos rígidos, muros masivos flexibles, muros en tierra reforzada, estructuras enterradas y estructuras ancladas; éstas últimas presentan un comportamiento excelente y además permiten el aprovechamiento óptimo de los espacios permitiendo adaptarse a las geometrías irregulares tanto de los taludes a estabilizar como de las edificaciones a construir.

En este trabajo, inicialmente se muestran los aspectos teóricos y conceptuales sobre pantallas ancladas y su clasificación con respecto a su forma de trabajo. Posteriormente, se realiza una evaluación de las diferentes alternativas del proceso constructivo, con el fin de determinar un proceso óptimo que permita a los diferentes contratistas de Bucaramanga y su Área metropolitana llevar a cabo construcciones seguras. Basados en los resultados de la evaluación, se enumeraron una serie de buenas y malas prácticas que a diario se realizan en la construcción de pantallas y que de una u otra forma afectan la construcción de éstas.

Finalmente, se presenta una guía constructiva para la construcción de pantallas ancladas, la cual recoge los diferentes materiales y fases que se pueden distinguir durante la ejecución de las mismas, tales como las perforaciones, excavaciones, construcción de anclajes y micropilotes, procesos de inyección y tensionamiento, armado de pantallas e instalación de concreto, además se realizó una evaluación de las diferentes alternativas con las que se pueden llevar a cabo la construcción de pantallas, con el fin de determinar el proceso constructivo óptimo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una guía constructiva para la construcción de pantallas ancladas como método de estabilización en excavaciones para sótanos.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar los diferentes procesos constructivos empleados en la construcción de pantallas ancladas en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

- Identificar las buenas y malas prácticas resultantes en los procesos constructivos de pantallas de ancladas mediante el uso de concreto lanzado y concreto armado.

- Elaborar una guía técnica aplicable en la construcción adecuada de pantallas ancladas

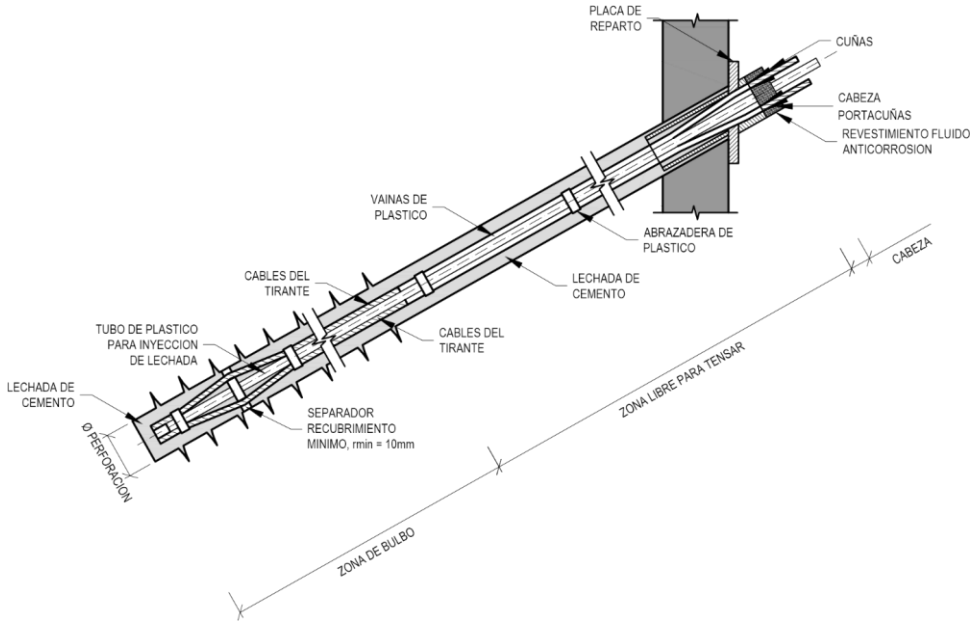
2. ASPECTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES SOBRE PANTALLAS ANCLADAS

2.1. ANCLAJES

Un anclaje se define como un elemento estructural instalado en suelo o roca y es usado para transmitir una carga de tracción aplicada en el suelo. Estos son instalados en perforaciones totalmente recubiertas con lechada; también son llamados “tiebacks”. Los tres componentes básicos de un anclaje son: anclaje, longitud libre de tensión, y longitud de amarre/anclaje del tendón, estos y otros componentes se muestran en la **Figura 1** y **Figura 2**.

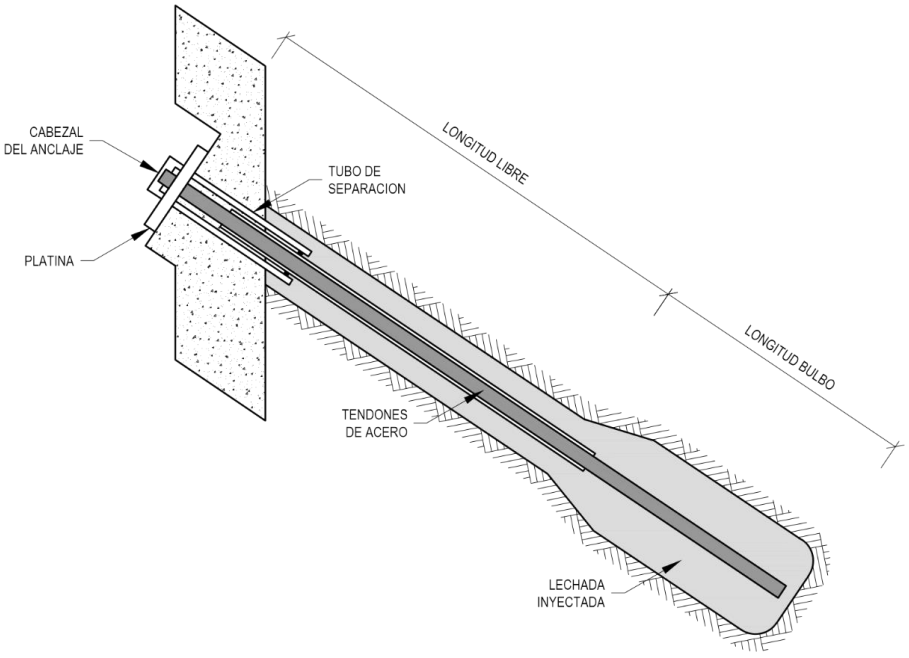
El anclaje es el sistema combinado de la cabeza de ancla, platina y trompeta, el cual es capaz de transmitir la fuerza pretensada del acero (barra o torón) a la superficie del suelo o la estructura soportada.

Figura 1. Esquema de un Anclaje Provisional



Fuente: DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO, Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. Madrid. 2001

Figura 2. Componentes de un Anclaje



Fuente: SABATINI, P. J., TANYU, B., ARMOUR, T., GRONECK, P., & KEELEY, J.. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington. 2005

La longitud libre de tensión corresponde a la zona del acero pretensado en la cual es libre de elongación y se encarga de transmitir la fuerza de resistencia de la longitud de amarre a la estructura. Un inhibidor de adhesión es una vaina o funda de plástico suave que es colocada sobre el tendón en la longitud libre de tensión y evita el contacto del acero con la lechada. Esto permite la elongación del acero pretensado sin obstrucción en la zona libre durante la prueba de tensión y deja el acero libre después del bloqueo (lock-off). La longitud de amarre/anclaje es aquella donde el tendón se encuentra recubierto de la lechada y es capaz de transmitir la carga de tensión aplicada en el suelo. Esta zona debe ser localizada detrás de la superficie crítica de falla.

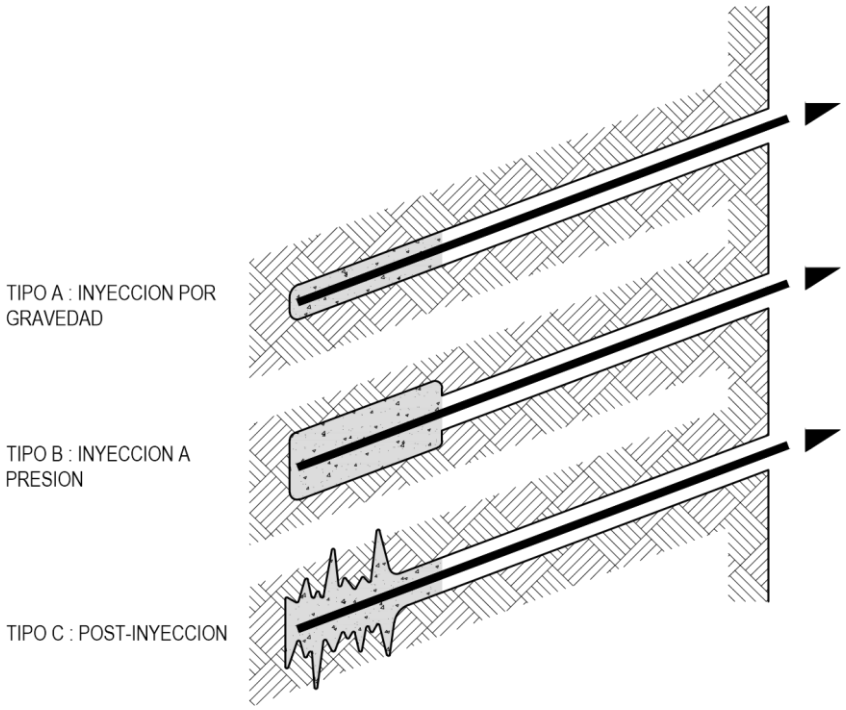
Una parte del conjunto completo de anclaje se conoce como el tendón, el cual, incluye el elemento de acero pretensado (torones o barras), protección contra la corrosión, envolturas (también llamados revestimientos), centralizadores y espaciadores, pero excluye específicamente la lechada. La definición de un tendón, en el presente documento se asume que no incluye el anclaje. El revestimiento es una tubería lisa o corrugada que protege de la corrosión el acero en la zona libre de tensión. Los centralizadores posicionan el tendón en la perforación de tal manera que se garantice el recubrimiento mínimo de lechada alrededor del mismo. Para tendones de múltiples elementos, son usados espaciadores para aislar los torones o barras, de tal modo que cada elemento sea recubierto por la lechada en forma uniforme. La lechada es una mezcla de cemento Portland que proporciona una transferencia de carga del tendón al suelo y provee protección del tendón contra la corrosión[1].

[1] SABATINI, P. J., TANYU, B., ARMOUR, T., GRONECK, P., & KEELEY, J.. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington. 2005

2.1.1 Sistema de Clasificación De acuerdo a la FHWA se pueden clasificar en tres grandes grupos (**Figura 3**):

- **Anclajes inyectados a gravedad**: son comúnmente instalados en roca y depósitos de suelos cohesivos y consistencia muy rígida a dura utilizando perforadoras de rotación o técnicas de perforación hueca (túneles). Los métodos de desplazamiento por gravedad son usados mediante el recubrimiento de la perforación con lechada de cemento, ésta puede ser entubada o no, dependiendo de la estabilidad de la misma. La resistencia del anclaje al arrancamiento depende de la resistencia al cortante desarrollada en la interface suelo – inyección[2].

Figura 3. Tipos de anclaje según la FHWA



Fuente: SABATINI, P. J., TANYU, B., ARMOUR, T., GRONECK, P., & KEELEY, J.. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington. 2005

- **Anclajes inyectados a presión**: Son los más adecuados para suelos granulares gruesos y roca débil fisurada. Este tipo de anclaje es también usado en suelos de grano fino sin cohesión. Con este tipo de anclaje, la lechada es inyectada en la zona de adherencia bajo presiones mayores a 0.35 MPa. La perforación es usualmente realizada usando técnicas giratorias con taladro de revestimiento. Como el revestimiento es retirado, la lechada es inyectada dentro del agujero bajo presión hasta que esté totalmente cubierta la zona de adherencia. Este procedimiento incrementa la resistencia al arrancamiento en relación al método de inyección: (1) el aumento de la tensión normal (por ejemplo, presión de confinamiento) en la lechada del bulbo resultado de la compactación de la mezcla alrededor del mismo y (2) el aumento del diámetro efectivo del bulbo.

- **Anclajes Post-inyectados**: Estos anclajes usan múltiples inyecciones retardadas para ampliar el cuerpo de la lechada de los anclajes inyectados a gravedad. Cada inyección es aplicada en intervalos de 1 o 2 días. El post-inyectado es realizado a través de un tubo sellado instalado con el tendón. El tubo es equipado con válvulas de control en la zona de adherencia, éstas permiten que la lechada adicional sea inyectada a alta presión sobre la lechada inicial, debido a la presión se fractura la lechada inicial y forma cuñas en el suelo ampliando el cuerpo de la lechada. Existen dos tipos de anclajes post-inyectados, uno de ellos usa un empaque para aislar cada válvula y el otro sistema bombea la lechada por el tubo posterior sin controlar la apertura de las válvulas.

De acuerdo a otros autores, esta clasificación está basada en características tales como su vida útil, mecanismo de sostenimiento y su funcionalidad, entre otros[3].

---

[2] Ibíd.

[3] DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO. Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. Madrid. 2001

Según el nivel de carga inicial o forma de trabajo se clasifican en:

- **Anclajes Activos**: Son aquellos que son sometidos a una carga de tesado después de su ejecución, generalmente del mismo orden de magnitud que la máxima prevista en proyecto, y nunca inferior al 50% de esta última.

- **Anclajes Pasivos**: Son aquellos a los que se les deja con una carga inicial baja, aunque nunca inferior al 10 % de la máxima de proyecto, que adquieren normalmente por los movimientos de la estructura.

Según su vida útil, éstos se clasifican en:

- **Anclajes Permanentes**: Aquellos que son instalados con carácter de medida definitiva. Se dimensionan con mayores coeficientes de seguridad y han de estar proyectado y ejecutados para hacer frente a los peligros de corrosión. Proyectado para una vida superior a dos (2) años.

- **Anclajes Provisionales**: Aquellos que tienen carácter de medio auxiliar, es decir, su uso es temporal y proporcional a las condiciones de estabilidad al talud durante el tiempo necesario para disponer de otros elementos resistentes que los sustituyan. Su vida útil es generalmente menor de dos años o menor en el caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos, así mismo, requieren una protección simple contra la corrosión.

2.2 PANTALLAS ANCLADAS

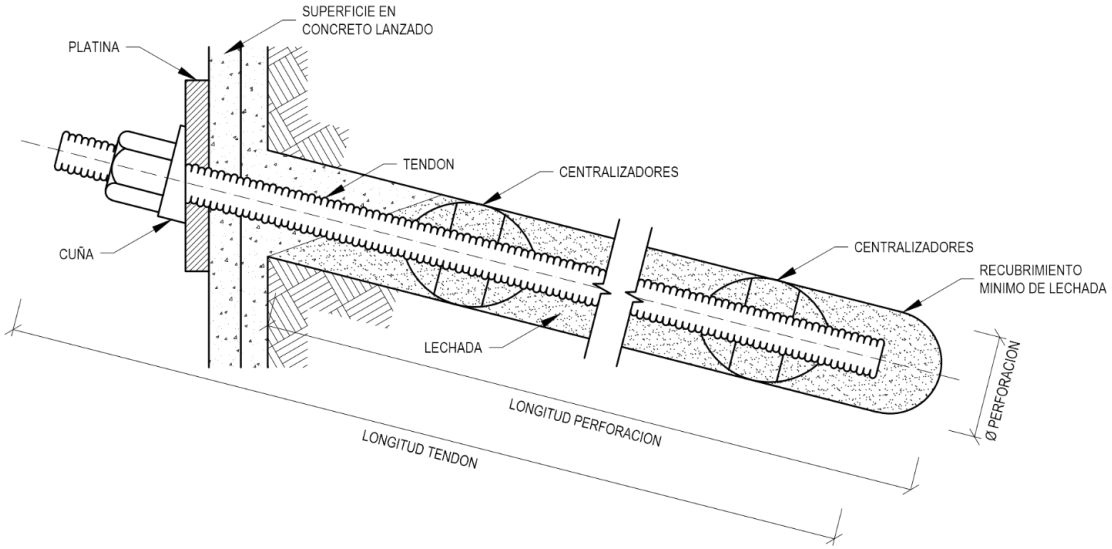
El sistema de pantallas ancladas es una técnica usada para reforzar y fortalecer el terreno existente, así como, para retener excavaciones verticales, maltratadas o

escalonadas, característica principal de este documento. No puede ser usado en todo tipo de suelo, los más favorables son aquellos suelos de materiales naturalmente cohesivos (limos y arcillas de baja plasticidad), arenas naturalmente cementadas o densas y gravas con cierta cohesión natural (debido a presencia de finos) o aparente cohesión (debido a la humedad natural del terreno) y roca intemperizada[4].

Los tres componentes básicos de este sistema son:

- **El Anclaje**: Compuesto por una barra de acero de refuerzo deformable (generalmente grado 60), también llamada tendón, la cual es insertada en una perforación recta, generalmente con un diámetro de 100 a 300 mm (4 a 12 pulgadas). Una vez instalado el acero, la perforación es cubierta con lechada estructural, bombeada a baja presión por medio de un tubo. La función de la lechada es unir el tendón con el suelo circundante.

Figura 4. Esquema típico de un perno



[4] PORTERFIELD, J. A. Soil nailing field inspectors manual--soil nail walls (No. FHWA-SA-93-068). Redmon, Washington, D.C. 1994

Fuente: PORTERFIELD, J. A. Soil nailing field inspectors manual--soil nail walls (No. FHWA-SA-93-068). Redmon, Washington, D.C. 1994

- **Sistema de Drenaje**: El drenaje es considerado un elemento crítico y es incorporado en las pantallas permanentes y en la mayoría de las temporales. El tipo más usado consiste en tiras prefabricadas de geo compuesto drenante vertical de 300 a 450 mm de ancho (12 a 18 pulgadas) y son centradas entre las columnas verticales de anclajes. Las tiras son conectadas a los lloraderos y al dren instalado en el pie de la pantalla. Este geocompuesto es usado para cantidades pequeñas de agua. No es adecuado para el manejo de grandes cantidades de agua subterránea. Con el uso de estos elementos, el agua debe ser captada y llevada la parte inferior de la pared a medida que avanza su construcción. No obstante, esto puede causar un problema significativo en caso de encontrar grandes cantidades de agua. Usualmente, se construye una zanja conectada a un colector de aguas superficiales ubicado en la parte posterior de la pared para evitar recargar el suelo posterior con agua de escorrentía o fluida de la parte superior de la pared.

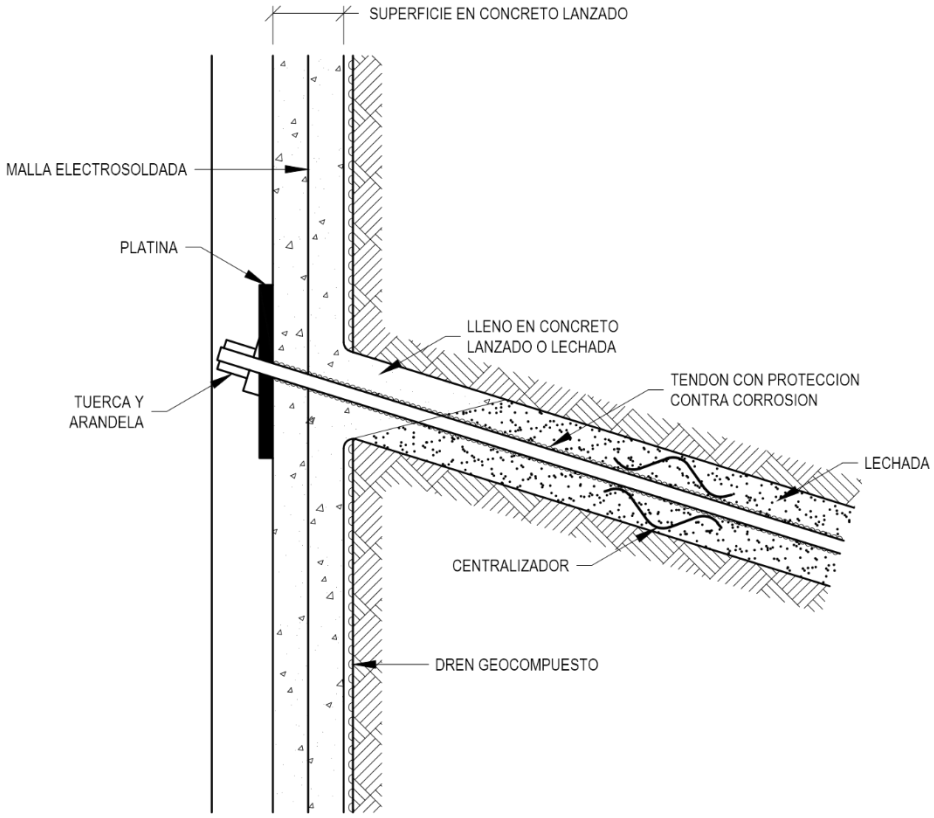
- **Pared Estructural o Pantalla**: Este elemento es requerido para el confinamiento frontal, protección del suelo retenido contra el desgaste y la erosión, y resistencia a las presiones laterales del suelo. En proyectos de transporte usualmente se construye una superficie temporal en concreto lanzado seguido por una superficie permanente en concreto mezclado en sitio, concreto lanzado o paneles prefabricados de concreto.

2.2.1 Sistema de Clasificación Se pueden clasificar en dos grupos:

1. ***Superficies en concreto lanzado temporales:*** son instaladas temporalmente para contener y proteger el suelo expuesto en la superficie de corte. Usualmente, es de 75 a 100 mm (3 a 4 pulgadas) de concreto lanzado

reforzado con una malla de alambre soldada (**Figura 5**). La superficie de concreto es instalada tras cada excavación.

Figura 5. Esquema típico de una Pantalla temporal en concreto lanzado

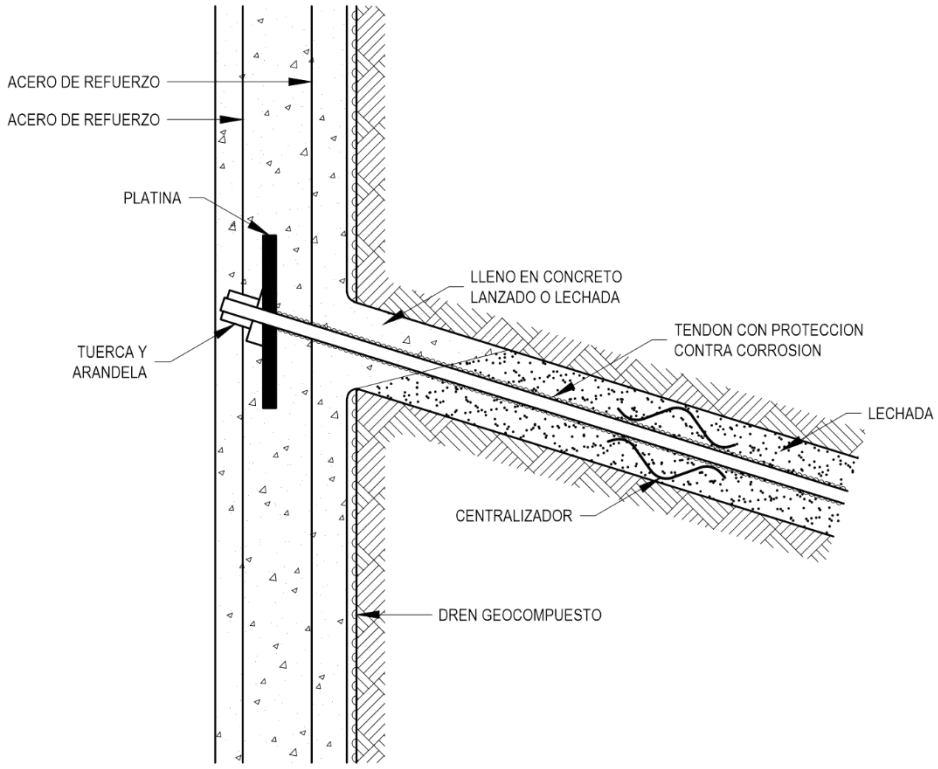


Fuente: PORTERFIELD, J. A. Soil nailing field inspectors manual--soil nail walls (No. FHWA-SA-93-068). Redmon, Washington, D.C. 1994

2. ***Superficies permanentes:*** se componen de una cara en concreto lanzado de cierto espesor (**Figura 6**), concreto mezclado en sitio sobre concreto lanzado temporal o paneles de concreto prefabricado sobre concreto lanzado (**Figura 7**). Las superficies de concreto permanentes son construidas con concreto preparado en sitio o de planta e instaladas sobre el concreto lanzado una vez finalizada la excavación a su altura máxima. El anclaje puede ser conectado estructuralmente a la pantalla y la superficie en concreto lanzado temporal algunas veces es ignorado en el diseño estructural de la pantalla.

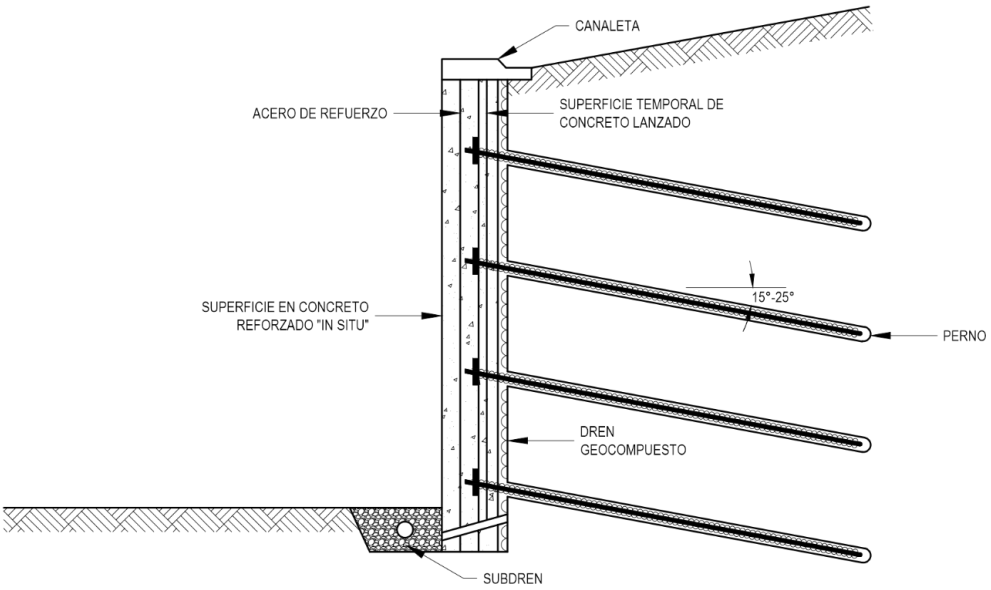
Las pantallas permanentes en concreto lanzado son construidas mediante la instalación del espesor total en concreto una vez realizada la excavación o una segunda capa de concreto en su altura máxima instalada sobre la capa inicial de concreto lanzado seguida de la excavación a la profundidad máxima. Este tipo de paredes generalmente tiene un espesor de 150 a 300 mm (6 a 12 pulgadas) y es reforzada con acero de refuerzo o malla electro soldada.

Figura 6. Esquema Típico de una pantalla permanente



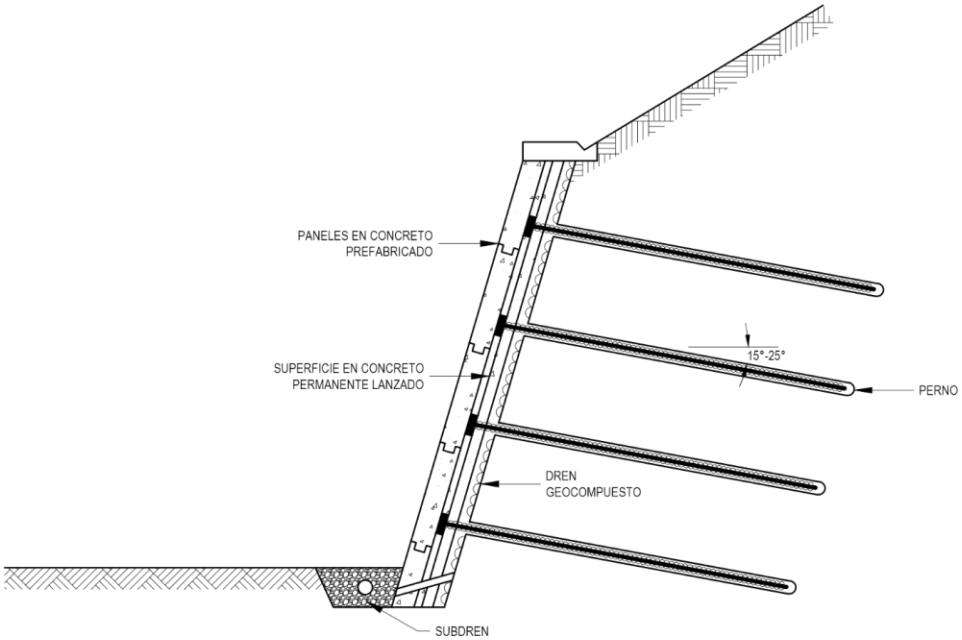
Fuente: PORTERFIELD, J. A. Soil nailing field inspectors manual--soil nail walls (No. FHWA-SA-93-068). Redmon, Washington, D.C. 1994

Figura 7. Esquema de pantalla con concreto mezclado en sitio sobre concreto lanzado temporal



Fuente: PORTERFIELD, J. A. Soil nailing field inspectors manual--soil nail walls (No. FHWA-SA-93-068). Redmon, Washington, D.C. 1994

Figura 8. Esquema de pantalla con paneles de concreto prefabricado.



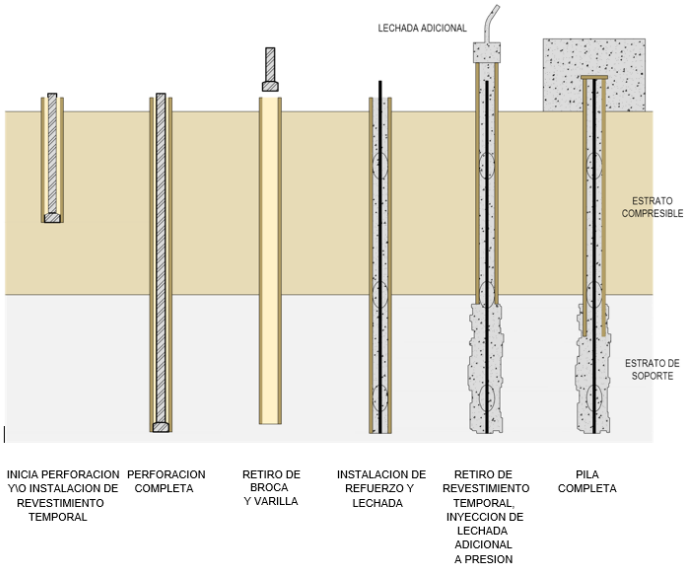
Fuente: PORTERFIELD, J. A. Soil nailing field inspectors manual--soil nail walls (No. FHWA-SA-93-068). Redmon, Washington, D.C. 1994

2.3 MICROPILOTES

Los micropilotes han sido usados principalmente como elementos de apoyo para la resistencia de cargas estáticas y sísmicas y como refuerzos “in situ” en la estabilidad de deslizamientos y excavaciones. Los pilotes se dividen en dos grupos generales: ***pilotes de desplazamiento****,* son elementos hincados al interior del terreno, de esta manera desplaza el suelo circundante durante su instalación; y ***pilotes de reemplazo****,* son instalados o construidos dentro de una perforación previa, así reemplazando el suelo excavado.

Un micropilote es cilíndrico de diámetro pequeño (usualmente menor a 300 mm), perforado en el terreno, reforzado con acero e inyectado con lechada de cemento. Es construido por perforación a rotación, colocación de acero de refuerzo y aplicación de lechada de cemento, tal como se muestra en la **Figura 9**[5]**.**

Figura 9. Esquema del proceso constructivo de un Micropilote.



Fuente: SABATINI, P. J. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington, D.C. 2005

[5] SABATINI P. J. Op. Cit.

Los micropilotes pueden resistir cargas axiales y/o laterales y pueden ser considerados un sustituto de pilotes convencionales o como un componente en la interacción de suelo/pilote, dependiendo del concepto de diseño empleado. Estos son instalados por métodos que causan mínima perturbación a las estructuras, suelo y ambiente adyacentes; pueden ser instalados en ambientes con acceso restringido, en todo tipo de suelo y condiciones de terreno, pueden ser instalados en cualquier ángulo por debajo de la horizontal[6].

Algunas de las aplicaciones más usuales de los micropilotes:

- **Estructuras de cimentación**: pueden emplearse tanto en obra nueva como en recalces, reparaciones, etc., de estructuras preexistentes.

  a. **Obras de nueva planta,** su campo de aplicación fundamental son las estructuras con espacio de trabajo reducido o acceso complicado, los terrenos difíciles de perforar por intercalación de niveles rocosos, bolos o bloques de grandes dimensiones, etc. Los micropilotes transmiten cargas de manera menos concentrada y más uniforme que los pilotes, pudiendo suponer una ventaja en determinadas circunstancias, como por ejemplo en zonas constituidas por roca alterada, etc.

  b. **Estructuras Pre-existentes,** obras de reparación, refuerzo, rehabilitación, mejora o recalce; incluye la remodelación de aquellas que presentan incrementos de las solicitaciones, la actuación frente a determinadas patologías geotécnicas, etc.

- **Estructuras de contención o sostenimiento del terreno**: Normalmente se disponen formando alineaciones o grupos numerosos con varias inclinaciones,

[6] Ibíd.

se encepan en cabeza y se acompañan de anclajes. Se sitúan en un mismo plano (generalmente vertical) o formando abanico.

- **Estabilización de taludes o laderas:** Se disponen formando alineaciones o grupos numerosos con varias inclinaciones y se encepan en cabeza, pudiendo ir acompañados de anclajes. Producen una mejora del coeficiente de seguridad global de los taludes o laderas por incremento de la resistencia al corte de las mismas, evaluada según potenciales superficies de rotura, que comprenden secciones transversales a la alineación de micropilotes.

- **Mejora del Terreno:** pretenden el aumento de la capacidad de soporte de una masa de terreno y la reducción de asientos de las estructuras, cimentadas posteriormente sobre el mismo[7].

2.3.1 Sistema de Clasificación Este sistema se encuentra basado en dos criterios:

- **Filosofía del comportamiento (Diseño**): establece el método empleado en el diseño del micropilote.

El diseño de un micropilote o un grupo de micropilotes difiere mucho de la de una red de micropilotes reticulada y estrechamente espaciada. Esta diferencia conlleva a la definición de dos casos:

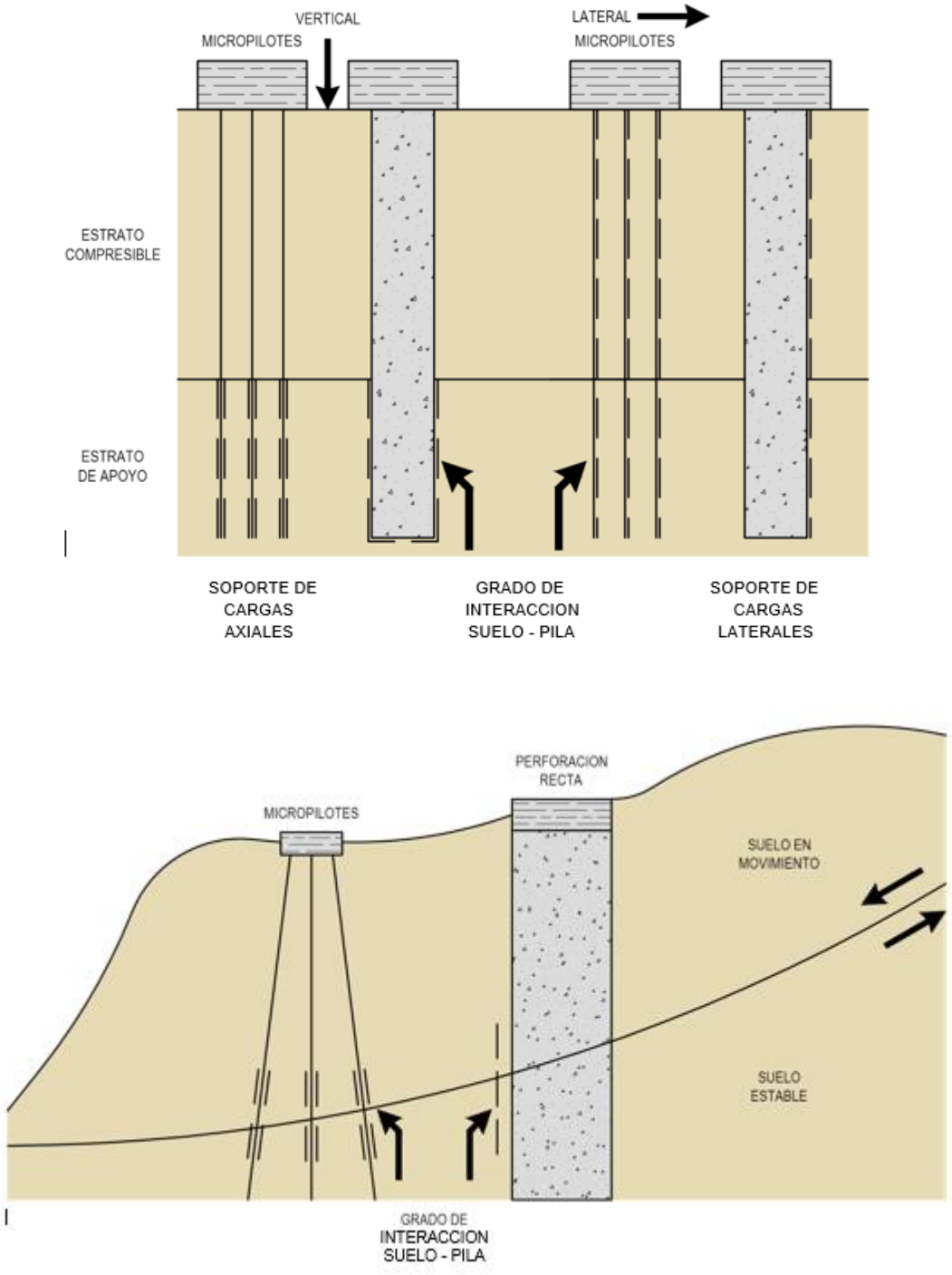
CASO 1: los elementos de los micropilotes son cargados directamente y donde su refuerzo resiste la mayoría de la carga aplicada.

[7] MINISTERIO DE FOMENTO, DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera. España. 2005

Los micropilotes se pueden utilizar como una alternativa para tipos de pilas más convencionales desde que sean usados para transferir cargas estructurales a un estrato más profundo o competente. En este caso, los pilotes son cargados directamente, ya sea axial (compresión o tensión) o en condiciones de carga lateral.

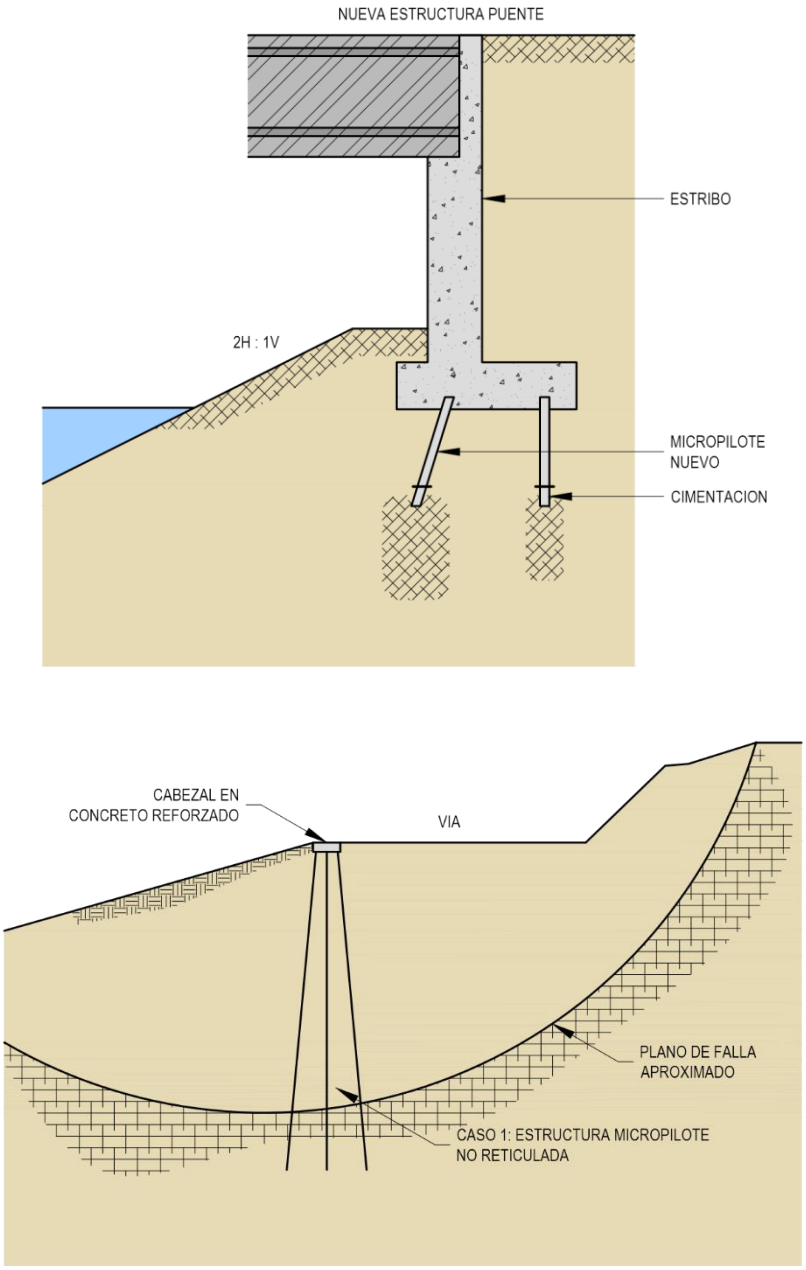
La carga estructuralmente es resistida principalmente por el acero de refuerzo y geotécnicamente por la resistencia lateral desarrollada sobre la “zona de unión” de los micropilotes individuales. Estos micropilotes son diseñados para trabajar en forma individual, aunque, pueden ser instalados en grupos. En la **Figura 10** y **Figura 11** se ilustran algunos casos típicos.

Figura 10. Esquema de Micropilotes – Caso 1



Fuente: SABATINI, P. J. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington, D.C. 2005

Figura 11. Esquema de estructura de micropilotes – Caso 1



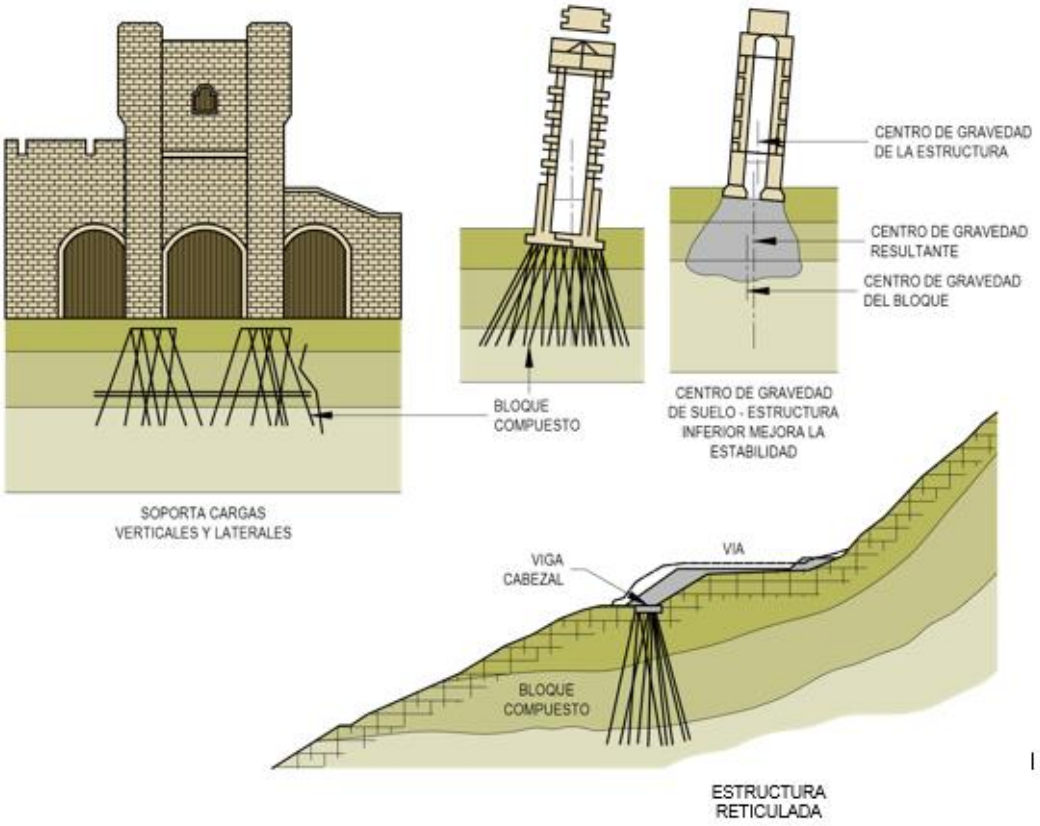
Fuente: SABATINI, P. J. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington, D.C. 2005

CASO 2: los elementos del micro pilote circunscriben y refuerzan el suelo internamente para crear en teoría un suelo compuesto reforzado que resista las cargas aplicadas (**Figura 12**). Esto se conoce como una red de micro pilote

reticulada, la cual se comporta como un componente del suelo reforzado usado para proporcionar estabilización y soporte.

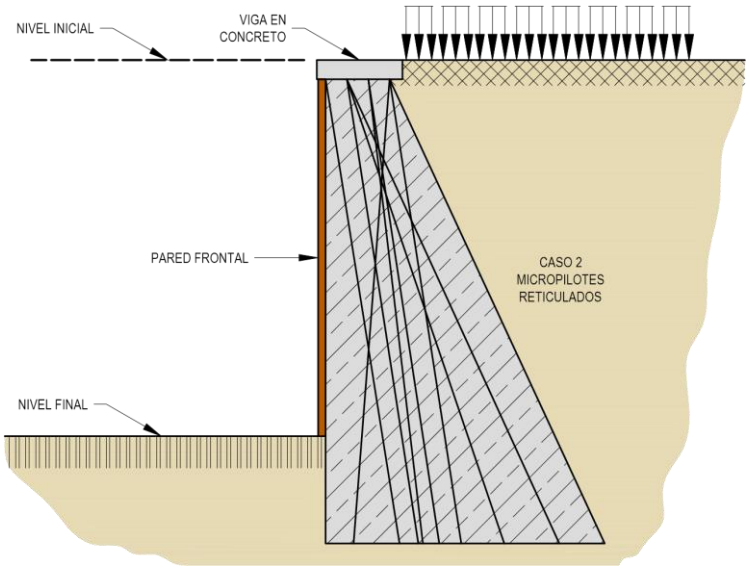
En este caso, las cargas estructurales son aplicadas a la masa de suelo reforzado a diferencia del CASO 1, que son micro pilotes individuales; y se refuerzan ligeramente debido que no son cargados en forma individual.

Figura 12. Esquema típico de red de micropilotes



Fuente: SABATINI, P. J. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington, D.C. 2005

Figura 13. Esquema de disposición de micropilotes – Caso 2.



Fuente: SABATINI, P. J. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington, D.C. 2005

El comportamiento (diseño) de un micro pilote individual (caso 1) es igual que el de un grupo de micro pilotes de este caso. Un grupo de elementos del caso 1 es definido como una disposición de micro pilotes espaciado y cerrado (usualmente paralelo), cada uno de los cuales es cargado directamente. El comportamiento y diseño aproximado de un grupo de elementos del caso 1 no deben confundirse con el de una red reticulada (micro pilotes del caso 2), aunque su geometría aparentemente sea similar. (Ver **Figura 13**)

- **Método de Inyección (Construcción):** define la fuerza de interacción suelo/lechada (o resistencia lateral), la cual generalmente controla la capacidad del micropilote.

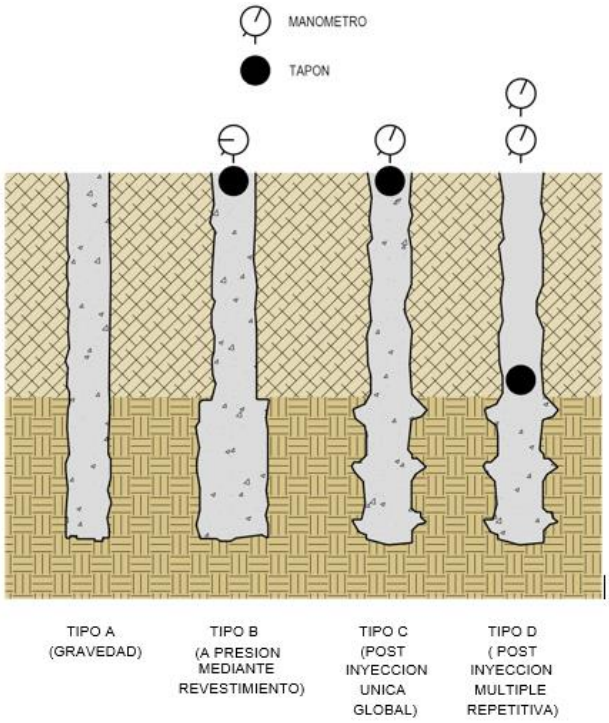
El método de inyección es usualmente el proceso constructivo más sensible que influye en la capacidad de unión suelo/lechada, la cual varía directamente con el método de inyección. La segunda parte de la clasificación de micropilotes consiste en la designación de una letra (A hasta la D) basada principalmente en el

método de colocación y la presión bajo la cual se realiza inyecta la lechada durante la construcción.

Tipo A: La inyección es realizada por gravedad solamente. Se pueden usar lechadas de mortero de arena-cemento o cemento puro.

Tipo B: Indica que la lechada de cemento puro es colocada al interior de la perforación bajo presión a medida que se extrae la tubería de perforación. Las presiones de inyección son comúnmente del rango entre 0.5 a 1 MPa (72 a 145 psi) para evitar la hidrofracturación (fracturación de rocas por presión hidráulica) del suelo circundante o causar excesos de lechada y así mantener en lo posible un sello alrededor de la tubería durante su retiro.

Figura 14. Sistema de clasificación de Micropilotes de acuerdo al método de inyección.



Fuente: SABATINI, P. J. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington, D.C. 2005

Tipo C: indica un proceso de inyección de dos pasos, en primer lugar, la lechada de cemento puro es colocada bajo gravedad como el tipo A y segundo, antes del endurecimiento de la primera aplicación de lechada (después de 15 a 25 minutos aproximadamente), se inyecta una lechada similar a través de una tubería revestida sin tapón o empaque (en la zona de unión) a una presión de mínimo 1 MPa (145 psi).

Tipo D: Indica un proceso de inyección de dos pasos, similar al tipo C, con este método, la lechada de cemento puro es colocada bajo gravedad (como el tipo A y C) y puede ser presurizada (Como el tipo B). Una vez endurecida la primera lechada, se inyecta una lechada adicional a través de tubería revestida a una presión de 2 a 8 MPa (290 a 1160 psi).

La **Figura 14** muestra información adicional sobre los tipos de micropilotes A,B, C y D, así mismo, se puede observar una subclasificación (A1, A2, etc.) la cual indica el tipo de perforación y refuerzo recomendado para cada método de inyección, de igual forma, representa el tipo de reforzamiento requerido por diseño. Por lo tanto, el sistema de clasificación de micropilotes combinado está basado en la aplicación del diseño, el tipo de micropilote y el método de inyección.

Tabla 1. Detalles de la clasificación de Micropilotes de acuerdo al método de inyección

Tipos de micropilotes y método de inyección	Sub-tipo	Revestimiento de perforación	Reforzamiento	Lechada
Tipo A Lechada por gravedad únicamente	A1	Temporal o sin revestimiento (agujero abierto o barrena)	Ninguno, sola barra, caja, tubo o sección estructural	Mortero arena / cemento o lechada de cemento puro tremie aplicada en la base de la perforación sin exceso de presión
	A2	Permanente, longitud total	Revestimiento de perforación	
	A3	Permanente, solamente eje superior	Revestimiento de perforación en eje superior, barra (s) o un tubo en el eje inferior (puede extenderse en la longitud completa)	
Tipo B Presión - lechada a través de la tubería de revestimiento o la barrena, durante la extracción	B1	Temporal o sin revestimiento (agujero abierto o barrena)	tubo (cajas poco comunes debido a la menor capacidad estructural)	Lechada de cemento puro se instala primero dentro del revestimiento de perforación/barrena. El exceso de presión (hasta 1 MPa (145 psi) típicamente) es aplicado en la lechada adicional inyectada durante el retiro del revestimiento/barrena.
	B2	Permanente, longitud parcial	Revestimiento de perforación	
	B3	Permanente, solamente eje superior	Revestimiento de perforación en eje superior, barra (s) o un tubo en el eje inferior (puede extenderse la longitud completa)	

Tipos de micropilotes y método de inyección	Sub-tipo	Revestimiento de perforación	Reforzamiento	Lechada
Tipo C Primera lechada colocada bajo la cabeza de gravedad y después una segunda fase de lechada "global" a presión.	C1	Temporal o sin revestimiento (agujero abierto o barrena)	Barras individuales o tubo (cajas poco comunes debido a la baja capacidad estructural)	Lechada de cemento puro se instala primero en el agujero (o revestimiento/ barrena). Entre 15 a 25 minutos después, la lechada similar se inyecta a través de la cabeza del tubo (o tubo de refuerzo), una vez que la presión sea mayor a 1 MPa (145 psi).
	C2	No realizada	-	
	C3	No realizada	-	
Tipo D Primera lechada instalada bajo la cabeza gravedad (Tipo A) o bajo presión (Tipo B). Después una o más fases de lechada secundaria "global" a presión.	D1	Temporal o sin revestimiento (agujero abierto o barrena)	Barras individuales o tubo (cajas poco comunes debido a la baja capacidad estructural)	Lechada de cemento puro se instala primero (tipo A) y / o presurizado (Tipo B) en el agujero o revestimiento / barrena. Varias horas después, la lechada similar se inyecta a través de tubería encamisada,
	D2	Posible, sólo si se reinyecta en tubería instalada en la longitud total con revestimiento exterior.	Revestimiento de perforación	
	D3	Permanente, solamente eje	Revestimiento de perforación	

Tipos de micropilotes y método de inyección	Sub-tipo	Revestimiento de perforación	Reforzamiento	Lechada
		superior	en eje superior, barra (s) o un tubo en el eje inferior (puede extenderse la longitud completa)	tantas veces como sea necesario para lograr adhesión.

Fuente: SABATINI, P. J. Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039. Washington, D.C. 2005

3. METODOLOGIA

Para evaluar las diferentes alternativas del proceso constructivo de pantallas ancladas, se realizó una valoración de éstas mediante la selección de tres empresas dedicadas a la construcción de pantallas ancladas en Bucaramanga y su área metropolitana, con el fin de determinar qué proceso constructivo es el más óptimo para llevar a cabo en este tipo de construcciones.

Una vez determinado el proceso constructivo óptimo, se identificaron las buenas y malas prácticas que se han detectado en la ejecución de las obras y que de una u otra forma afectan o mejoran la calidad de éstas; las buenas prácticas se conforman de ejemplos para conseguir que cada uno de los procesos constructivos, se lleve a cabo correctamente y de esta forma lograr la ejecución de las obras en menos tiempo, a bajo costo y seguras para que éstas sean duraderas y de calidad. En las malas prácticas se muestran actividades inadecuadas que se han cometido en las obras y que deben ser evitadas, ya que estas pueden poner en riesgo la estabilidad de las obras.

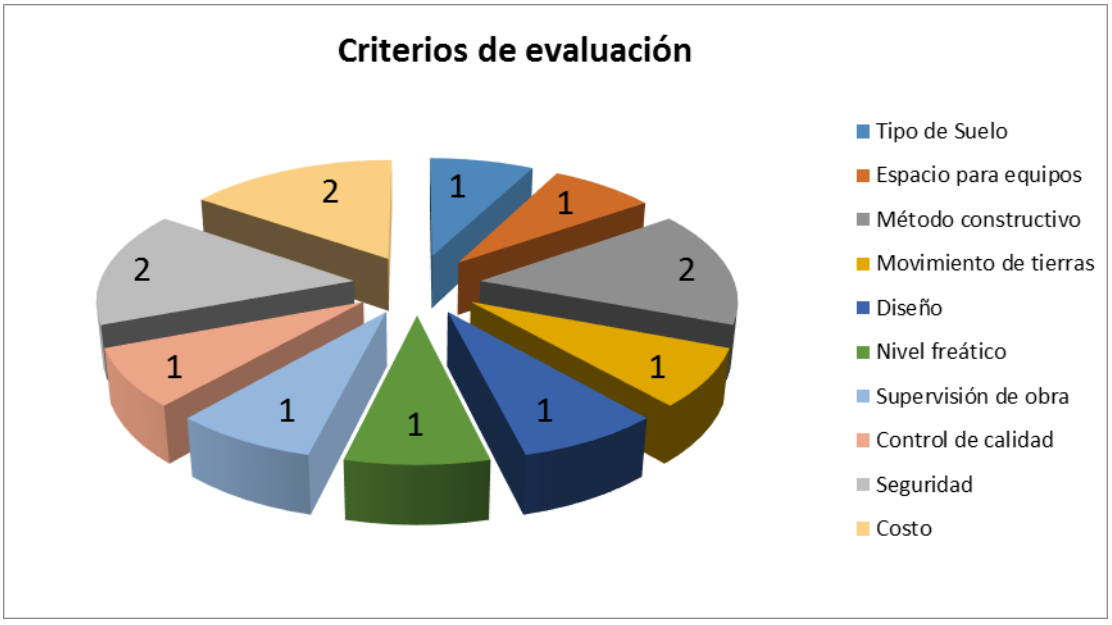
Por último se planteó una guía técnica para la construcción de pantallas ancladas; en la cual se describen los materiales a utilizar, las diferentes alternativas que se tienen del proceso constructivo y los ensayos de laboratorio de los materiales, para garantizar que éstos sean los adecuados para la construcción de las pantallas.

3.1 EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA.

Con el fin de valorar las diferentes alternativas del proceso constructivo de pantallas ancladas, se realizó una evaluación (Ver Anexo A) en tres empresas constructoras de pantallas ancladas en Bucaramanga y su área metropolitana, como muestra estadística, para así determinar cuáles alternativas del proceso constructivo son las más viables para llevar a cabo en este tipo de construcciones.

En la primera parte de la evaluación se determinan los criterios a tener en cuenta por cada una de las empresas constructoras, antes de iniciar con la ejecución de las obras, es decir, en la fase de planeación del proyecto. En la **Figura 15** se puede observar que los criterios determinantes de acuerdo a los encuestados son el costo, la seguridad y el método constructivo.

Figura 15. Criterios evaluados por las empresas constructoras.



Fuente: Autores

Una vez determinados los criterios a evaluar en la ejecución de pantallas ancladas, se solicitó a las empresas, que de acuerdo a su experiencia e intereses primarios asignará una valoración y/o calificación a cada una de las actividades constituyentes del proceso constructivo, de acuerdo a las ponderaciones estimadas y descritas en la Tabla 2.

Tabla 2. **Ponderaciones de los criterios de evaluación**

CRITERIO	PONDERACIÓN	DESCRIPCIÓN
Costo	1,00	Muy costoso
	2,00	Costo medio
	3,00	Económico
Seguridad	1,00	Poco seguro
	2,00	Medianamente seguro
	3,00	Seguro
Constructibilidad	1,00	Complicado
	2,00	Complejidad media
	3,00	Baja complejidad

Fuente: Autores

De acuerdo a la experiencia, cada uno de los encuestados asignó a las actividades del proceso constructivo la respectiva puntuación; como puntajes definitivos, se tomaron aquellos que se repitieron con mayor frecuencia, estos resultados se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Puntajes definitivos para la calificación de las diferentes actividades del proceso constructivo de pantallas ancladas.

		COSTO				SEGURIDAD				CONSTRUCTIBILIDAD			
ACTIVIDAD		PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF.	PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF	PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	1,00	2,00	**1,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**	1,00	2,00	2,00	**2,00**
	En filas	2,00	2,00	2,00	**2,00**	2,00	2,00	1,00	**2,00**	2,00	2,00	3,00	**2,00**
	Completa	3,00	1,00	3,00	**3,00**	1,00	1,00	1,00	**1,00**	3,00	1,00	1,00	**1,00**
PERFORACIÓN	Agua	2,00	2,00	3,00	**2,00**	1,00	1,00	2,00	**1,00**	2,00	2,00	2,00	**2,00**
	Aire	3,00	3,00	2,00	**3,00**	2,00	2,00	3,00	**2,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**
	Con revestimiento	1,00	1,00	1,00	**1,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**	1,00	1,00	1,00	**1,00**
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	3,00	3,00	**3,00**	2,00	1,00	1,00	**1,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	2,00	2,00	**2,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**	2,00	2,00	2,00	**2,00**
	Inyección (IRS)	1,00	1,00	1,00	**1,00**	1,00	3,00	3,00	**3,00**	1,00	1,00	1,00	**1,00**

ACTIVIDAD		COSTO				SEGURIDAD				CONSTRUCTIBILIDAD			
		PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF.	PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF	PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	3,00	2,00	**2,00**	1,00	1,00	3,00	**1,00**	1,00	1,00	2,00	**1,00**
	TREMI	1,00	2,00	2,00	**2,00**	2,00	2,00	3,00	**2,00**	2,00	2,00	2,00	**2,00**
	Lechada de cemento	3,00	1,00	1,00	**1,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	3,00	2,00	**3,00**	1,00	2,00	2,00	**2,00**	3,00	3,00	1,00	**3,00**
	Traslapo doblado	2,00	2,00	3,00	**2,00**	2,00	1,00	2,00	**2,00**	2,00	1,00	1,00	**1,00**
	Uniones mecánicas	1,00	1,00	3,00	**1,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**	1,00	3,00	3,00	**3,00**
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	3,00	1,00	**1,00**	1,00	3,00	3,00	**3,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**
	Armado	2,00	2,00	2,00	**2,00**	3,00	2,00	3,00	**3,00**	1,00	1,00	2,00	**1,00**
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	3,00	3,00	**3,00**	3,00	1,00	1,00	**1,00**	3,00	2,00	2,00	**2,00**
	50% - 50%	2,00	2,00	3,00	**2,00**	2,00	2,00	3,00	**2,00**	2,00	2,00	3,00	**2,00**

ACTIVIDAD		COSTO				SEGURIDAD				CONSTRUCTIBILIDAD			
		PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF.	PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF	PILANCOL	EMPRESA 1	PYP LTDA	PUNTAJE DEF
	50% - 25% - 25%	1,00	1,00	2,00	**1,00**	1,00	3,00	3,00	**3,00**	1,00	1,00	2,00	**1,00**
OBRAS DE SUBDRENAJE	**Lloraderos**	3,00	3,00	3,00	**3,00**	1,00	1,00	2,00	**1,00**	3,00	3,00	3,00	**3,00**
	Subdrenes de penetración	2,00	1,00	1,00	**1,00**	2,00	3,00	3,00	**3,00**	2,00	1,00	1,00	**1,00**
	Geodren planar	1,00	2,00	2,00	**2,00**	3,00	1,00	1,00	**1,00**	1,00	1,00	2,00	**1,00**

Fuente: Autores

Una vez se establecieron los puntajes definitivos, se procedió a realizar la evaluación de cada una de las actividades del proceso constructivo, otorgando a los criterios de evaluación, diferentes porcentajes de incidencia (**Tabla 4**).

Tabla 4. **Porcentajes de incidencia de los criterios de evaluación**

	CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
ALTERNATIVA	**COSTO**	**SEGURIDAD**	**CONSTRUCTIBILIDAD**
Alternativa 1	100%	0%	0%
Alternativa 2	0%	100%	0%
Alternativa 3	0%	0%	100%
Alternativa 4	50%	25%	25%
Alternativa 5	25%	50%	25%
Alternativa 6	25%	25%	50%
Alternativa 7	33%	33%	33%
Alternativa 8	50%	50%	0%
Alternativa 9	0%	50%	50%
Alternativa 10	50%	0%	50%
Alternativa 11	30%	50%	20%
Alternativa 12	20%	50%	30%
Alternativa 13	35%	50%	15%
Alternativa 14	15%	50%	35%

Fuente: Autores

Para cada una de las anteriores alternativas se realizó la valoración mediante una matriz multicriterio, con el fin obtener un puntaje ponderado de cada actividad y de esta forma determinar y recomendar el proceso constructivo más óptimo para llevar a cabo la ejecución de pantallas ancladas. En el Anexo B se muestran cada una de las matrices utilizadas para realizar las respectivas calificaciones.

Teniendo en cuenta que la ejecución de cada una de las actividades puede ser realizada de diversas maneras, el objetivo de esta evaluación se centra en identificar cuál de los métodos existentes y posibles es más eficiente y eficaz para la ejecución de las obras; como resultado se optimiza el proceso constructivo ya

establecido bajo la normatividad existente; una vez definidas estas actividades, se procede a realizar un análisis de las buenas y malas prácticas que se ejecutan en este tipo de obras, con el fin de que las empresas constructoras logren mejorar la ejecución de las obras y así garantizar proyectos de alta calidad.

En la Tabla 5 se puede observar el resumen de las actividades que obtuvieron mayor puntaje de ponderación en cada una de las alternativas propuestas y evaluadas; las metodologías resaltadas corresponden a las más óptimas en cada una de las actividades que comprenden el proceso constructivo para la construcción de pantallas ancladas.

Tabla 5. Actividades recomendadas para la ejecución de pantallas ancladas

	CALIFICACIÓN MATRIZ																			
ACTIVIDAD	ALTERNATIVA No 9.			ALTERNATIVA No 10.			ALTERNATIVA No 11.			ALTERNATIVA No 12.			ALTERNATIVA No 13.			ALTERNATIVA No 14.			PRIORIZACIÓN	
	COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUCTIB	COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUCTIB	COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUCTIB	COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUCTIB	COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUCTIB	COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUCTIB		
	0,0%	50,0%	50,0%	50,0%	0,0%	50,0%	30,0%	50,0%	20,0%	20,0%	50,0%	30,0%	35,0%	50,0%	15,0%	15,0%	50,0%	35,0%	ACTIVIDAD	PORCENTAJE
EXCAVACIÓN	En Trincheras			En filas			En Trincheras			En Trincheras			En Trincheras			En Trincheras			**En Trincheras**	52%
				Completa															**Completa**	19%
																			En filas	29%
PERFORACIÓN	Aire			Aire			Aire			Aire			Aire			Aire			**Aire**	93%
																			Con revestimiento	7%
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Repetitiva (IR)			Inyección Única global (IU)			Inyección Repetitiva (IR)			Inyección Repetitiva (IR)			Inyección Repetitiva (IR)			Inyección Repetitiva (IR)			**Inyección Única global (IU)**	38%
																			Inyección Repetitiva (IR)	56%
																			Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	6%
INYECCIÓN MICROPILOTES	Lechada de cemento			Tremie			Lechada de cemento			Lechada de cemento			Lechada de cemento			Lechada de cemento			**Concreto**	6%
				Lechada de cemento															**Lechada de cemento**	72%
																			Tremie	22%
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Uniones mecánicas			Traslapo recto			Traslapo recto			Uniones mecánicas			Traslapo recto			Uniones mecánicas			**Traslapo recto**	63%
																			Uniones mecánicas	38%
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado			Lanzado			Lanzado			Lanzado			Armado			Lanzado			**Lanzado**	69%
																			Armado	31%
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	50% - 50%			Al 100%			50% - 50%			50% - 50%			50% - 50%			50% - 50%			**Al 100%**	28%
	50% - 25% - 25%						50% - 25% - 25%			50% - 25% - 25%			50% - 25% - 25%			50% - 25% - 25%			**50% - 50%**	40%
																			50% - 25% - 25%	32%
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos			Lloraderos			Lloraderos			Lloraderos			Lloraderos			Lloraderos			**Lloraderos**	62%
	Subdrenes de penetración						Subdrenes de penetración			Subdrenes de penetración			Subdrenes de penetración			Subdrenes de penetración			**Subdrenes de penetración**	38%

Fuente: Autores

3.2 BUENAS Y MALAS PRÁCTICAS MÁS COMUNES EN EL SECTOR CONSTRUCTIVO.

En la construcción de pantallas ancladas, para el desarrollo de excavaciones en la construcción de edificaciones de diferentes alturas, surgen innumerables inconvenientes que comúnmente requieren de asesoría inmediata y deben ser resueltos en sitio, en forma inmediata para no afectar el buen desarrollo de las actividades y/o evitar graves afectaciones en predios colindantes.

De acuerdo a nuestra experiencia y a la empresa Ingeotecnia Erosión y Deslizamientos, se lograron identificar algunos de los errores más comunes presentados en las actividades más representativas del proceso constructivo; de igual forma en cada uno de ellos se presenta la solución implementada para cada caso; se debe tener en cuenta que las acciones recomendadas y/o ejecutadas no se presentan como única solución.

3.2.1 Excavación

SOBREEXCAVACIÓN POR DEBAJO DE LAS EDIFICACIONES: Se deben evitar las excavaciones por debajo del nivel de los muros o cimentaciones de las edificaciones vecinas, teniendo en cuenta que el mismo peso de la estructura genera desplazamientos de la edificación, aparición de grietas y fisuras, incluso el colapso de las mismas. En algunas ocasiones cuando las cargas son menores se realizan apuntalamientos con formaleta de tal manera que se controlen los desplazamientos de las viviendas u edificaciones. En ocasiones cuando los muros de las viviendas aledañas se encuentran en mal estado, es preferible demolerlos para disminuir el peso sobre el talud, evitar accidentes al personal de la obra, y finalmente reconstruirlo. En el caso de cargas mayores atribuidas a edificios es indispensable la construcción de sistemas de contención para evitar que las cargas generen desplazamientos del terreno al desconfinar los cimientos.

Se han presentado casos donde se generan fisuras en las estructuras y donde se ha requerido la reparación de las mismas, adicionalmente, se han presentado grandes desplazamientos en las edificaciones y se ha requerido el desalojo de sus residentes.

Cuando las excavaciones se realizan junto a vías vehiculares, las cargas cíclicas del tránsito generan condiciones de inestabilidad en los taludes.

En las excavaciones junto a las viviendas y vías necesariamente se requiere construir o excavar mediante trincheras de tal manera que no se genere un desconfinamiento total de la estructura.

FALLA DE ESTRUCTURAS POR SOBREEXCAVACIONES: Debido al desconfinamiento rápido que se genera al realizar los movimientos de tierra en las excavaciones, las presiones laterales del terreno generan empujes que pueden dar lugar a deslizamientos, especialmente, cuando se realiza una excavación total de la longitud de la pantalla a construir (Ver **Figura 16**).

Figura 16. Deslizamiento ocurrido por realizar excavaciones completas

Fuente: Autores

Para evitar estos problemas de estabilidad se recomienda lo siguiente:

1. Realizar cortes por módulos y trincheras de tal manera que se establezca un sistema “uno si uno no” de tal manera que el material de suelo que no se ha retirado cumpla la función de contrafuerte y controle los esfuerzos laterales del terreno.

2. Cuando junto a los taludes de las excavaciones se encuentran edificaciones con más de dos niveles de altura o en el caso de cimentaciones de equipos vibratorios, torre grúas, vehículos de gran peso, se requiere la implementación de cortes del terreno por módulos o trincheras mediante de un sistema de “uno si dos no” debido a que las condiciones de cargas externas son mayores.
3. Construir los anclajes, pantallas o recubrimientos en las trincheras o módulos excavados y realizar los respectivos tensionamiento (si aplica) antes de continuar con la excavación de los módulos aledaños.

4. Se requiere de la intervención inmediata de los tramos de taludes intervenidos para evitar la generación de procesos de erosión y deslizamientos, especialmente, en los primeros niveles de las pantallas y en sitios donde los suelos presenten consistencia suelta.

5. En algunas ocasiones se hace el uso de entibados y parales metálicos para ayudar a contener las estructuras cuando no se cuentan con material de apoyo en la parte inferior del módulo fundido o no se ha realizado el tensionamiento de los anclajes, no es conveniente eliminar el apoyo en la parte inferior de los módulos de pantalla construidos teniendo en cuenta que el peso de esta puede generar afectación en los anclajes y desplazamientos horizontales y verticales

3.2.2 Perforación

APARICION DE FISURAS EN EDIFICACIONES VECINAS: Generalmente el 80% de las excavaciones para la construcción de sótanos generan la aparición de fisuras en las edificaciones vecinas. Estas afectaciones generalmente están dadas por:

1. Excesiva vibración de los equipos utilizados para la perforación de los anclajes y micropilotes

2. Inyección incontrolada y exceso de aire en el momento de la perforación de los anclajes. Los suelos, incluso materiales rocosos, presentan fisuras, surcos o cavernas internas por las cuales se presentan pérdidas de aire durante la perforación.

3. Desplazamiento de las estructuras de contención, anclajes, pernos, micropilotes por fallas en el diseño.

4. Cimentación de las viviendas aledañas sobre suelos sueltos y/o rellenos mal compactados.

5. Desconfinamiento instantáneo y total del material junto a las cimentaciones de las edificaciones vecinas.

6. Vibraciones generadas por la maquinaria utilizada en los movimientos de tierra.

La mayoría de las fisuras están relacionadas con los efectos de los métodos de perforación. En caso de presentarse fisuras es muy importante determinar las causas que las generaron y definir si estas fisuras comprometen la integridad de

las edificaciones vecinas, la obra y el personal que allí labora; dentro de los controles que permiten determinar el grado de afectación de las fisuras se tiene:

1. Control topográfico de la estructura de contención construida mediante la instalación de BM´s

2. Verificación de la verticalidad de la estructura de contención.

3. Identificación de los sitios y continuidad de las fisuras. Generalmente, se presentan fisuras de manera natural en las juntas de las edificaciones y en aquellos sitios donde los muros no se encuentran debidamente confinados por estructuras rígidas. Otro indicativo del grado de afectación de la edificación es la continuidad de las fisuras; las fisuras que se encuentran a lo largo de toda la edificación en el sentido de la excavación que involucran muros y cubiertas generalmente están relacionados con problemas de desplazamientos del terreno y posible generación de deslizamientos. Las fisuras que aparecen de manera esporádica generalmente no representan problemas de estabilidad, sin embargo, requieren de su seguimiento.

Figura 17. Perforación con tubería de revestimiento para controlar el aire

Fuente: Autores

3.2.3 Inyección de anclajes y micropilotes

DISCONTINUIDAD EN LA INYECCIÓN DE MICROPILOTES Y ANCLAJES: Se debe garantizar la debida inyección de los anclajes y micropilotes de tal manera que permita el cumplimiento los tensionamiento y cargas de diseño. Si la inyección de estos elementos no es continuo se puede generar la falla o disminución de las cargas de tensionamiento y posterior falla de los taludes.

Las posibles causas de la discontinuidad en la inyección son:

1. Excesivo tamaño del material de agregado
2. Fluidez de la lechada y concreto
3. Excesiva densidad de las parrillas de acero, las cuales impiden el paso del material rellenante generando obstrucciones.
4. Falta de vibración en el caso de micropilotes
5. Derrumbes en las paredes de la perforación
6. Caídas de presión de las bombas de inyección
7. Problemas en las uniones de la tubería de inyección

En el caso de anclajes, en ocasiones se requiere colocar tubería de revestimiento, la cual se va recuperando a medida que se va realizando la inyección de la lechada. En el caso de micropilotes, se utilizan tuberías autoperforantes, las cuales no requieren de su recuperación y funciona como armadura de refuerzo.

EXCESO DE INYECCIÓN DE AIRE EN LA CONSTRUCCIÓN DE ANCLAJES: En suelos donde presentan baja consistencia, son muy porosos y presentan cavernas, se generan grandes afectaciones cuando se realiza la inyección de aire en la construcción de los anclajes o micropilotes. En muchas ocasiones se han presentado asentamientos y aparición de grietas y fisuras en muros, pisos y cubiertas de edificaciones vecinas. En suelos donde las condiciones de su

comportamiento a la estabilidad no son favorables es conveniente la construcción de elementos verticales o micropilotes y la disminución de la cantidad de anclajes por debajo de las edificaciones cercanas, entre mayor inyección de aire mayor probabilidad de afectación a las estructuras aledañas.

Para controlar las afectaciones por inyección de aire se recomienda revestir las paredes de la perforación con tuberías metálicas, la cual se va recuperando a medida que se va rellenando con la lechada.

3.2.4 Armado de hierro pantallas

MANIPULACIÓN DEL REFUERZO DE ACERO ENTRE MÓDULOS: Una condición difícil de manejar en obra es la relacionada con las uniones y los traslapos del refuerzo de las pantallas de las estructuras de contención, teniendo en cuenta que la construcción de esas estructuras mediante módulos y trincheras de manera intercalada hace que se requiera la implementación de uniones, las cuales representan sobrecostos del material de refuerzo.

En las obras generalmente, se opta por doblar el refuerzo que sirve como traslapo a la fundición de los siguientes módulos (Ver **Figura 18**). Esta condición afecta la funcionabilidad del refuerzo de acero y puede generar problemas en el comportamiento de la estructura.

Para evitar estas situaciones se han implementado las siguientes alternativas:

1. Enterrar en el suelo subyacente el refuerzo que servirá de traslapo en la unión de los módulos. En algunas ocasiones al pretender enterrar la varilla se presentan obstrucciones debido a la presencia de materiales granulares duros en los suelos.
2. Otra alternativa consiste en utilizar uniones mecánicas (Ver **Figura 19**), las cuales se han vuelto muy comunes en la construcción de este tipo de

estructuras. Este sistema evita el desperdicio de los traslapos que en ocasiones aumenta hasta un 30% del refuerzo, adicionalmente evita la manipulación generada por el doblado del refuerzo.

Figura 18. Refuerzo doblado para realizar el traslapo del siguiente módulo

Fuente: Autores

Figura 19. Uniones mecánicas para realizar los traslapos

Fuente: Ramalza S.A.S.

3.2.5 Instalación de concreto

ESCURRIMIENTO DEL CONCRETO LANZADO: Para evitar posibles escurrimientos del concreto que se aplica sobre la superficie del talud se deben realizar como mínimo las siguientes verificaciones:

1. Tamaño del agregado pétreo del concreto
2. Relación de agua/cemento
3. Tipo de aditivo a utilizar, que sea de fraguado acelerado y anti-rebote. Verificar la consistencia y fecha de vencimiento del mismo.
4. Velocidad del lanzado lo cual no debe ser mayor a 1200 rev/min
5. Distancia de lanzado , la cual varía entre 0.80 – 1.20 m
6. Evitar superficies de talud con humedades muy altas
7. Adecuada limpieza en las juntas de las áreas anteriormente cubiertas con concreto
8. Definir el espesor de las capas de lanzado en cada una de las etapas

Figura 20. Escurrimiento del concreto lanzado

Fuente: Autores

PRESENCIA DE BLOQUES DE GRAN TAMAÑO EN LA SUPERFICIE: Generalmente, cuando los materiales que componen los taludes de la excavación contienen grandes cantidades de cantos y bloques de roca es muy difícil generar una superficie del talud uniforme e incluso la construcción de anclajes. La presencia de estos bloques dificulta la perforación del anclaje puesto que se derrumban las paredes y se disminuyen considerablemente los rendimientos.

Cuando los taludes presentan bloques de gran tamaño generalmente se presenta sobredimensionamiento en los espesores de las pantallas (Ver **Figura 21**); así mismo, al intentar eliminar estos bloques de la superficie del talud se pueden generar derrumbes que afectan la integridad de la obra.

Cuando se presentan grandes cantidades de material granular, cantos y bloques de roca, es aconsejable aplicar previamente una capa de concreto lanzado para controlar algunos caídos de roca y posteriores derrumbes.

Figura 21. Sobre-espesores por eliminación de bloques de gran tamaño

Fuente: Autores

CAIDA DE PANTALLAS POR FALLA EN EL EXTREMO DE LOS PERNOS PASIVOS (GANCHOS): Se han presentado desprendimientos de pantallas en concreto debido al sobrepeso generado por éstas en los ganchos de los extremos de los pernos. Generalmente, en estructuras pernadas, el concreto funciona como un recubrimiento de la superficie del talud y no como una estructura de contención. En ocasiones, el peso de la pantalla es tal que desdobla los ganchos de los pernos o generan la falla al corte de las barras de acero (Ver **Figura 22**).

Para evitar estos casos se recomienda controlar los espesores del concreto y/o aumentar el diámetro de las barras de acero.

Figura 22. Desprendimiento de pantalla por falla en el gancho de los pernos

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

3.2.6 Tensionamiento

FALLA DE PLATINAS POR EXCESO DE CARGA: Se debe verificar la resistencia al punzonamiento de la platina, según la carga de tensionamiento de los cables. En algunas ocasiones para grandes cargas de tensionamiento se ha

presentado deformaciones excesivas en la platina cuando se aplica la carga. La manera de evitar esta situación es aumentar el espesor de las platinas o colocar varios elementos de éstos. Otra verificación que se debe realizar es la separación de los orificios de tal manera que éstos se rompan por exceso de carga.

DESPRENDIMIENTO DE CUÑAS EN ANCLAJES: En algunas ocasiones las cuñas de tensionamiento se sueltan debido a las elongaciones de los cables y excesivas cargas de tensionamiento superando las cargas de diseño. En estos casos se requiere, bien sea, volver a tensionar los cables e incluso reinyectar el anclaje para su posterior tensionamiento.

Con el tiempo las cuñas de los anclajes se desprenden del dado y se requiere realizar nuevamente tensionamiento en diferentes períodos de tiempo.

3.2.7 Obras de subdrenaje

PRESIÓN EXCESIVA DE AGUA ATRÁS DE LAS PANTALLAS: En condiciones muy húmedas de los suelos, en zonas donde ascienden los niveles freáticos y en áreas donde se facilita la infiltración de aguas de escorrentía se generan los siguientes problemas:

1. Dificultad en la adherencia del concreto a la superficie del talud.
2. Excesiva presión del agua sobre la pantalla que pueden ocasionar su desprendimiento.
3. Exceso de humedad y generación de moho en las paredes de los sótanos
4. Afloramiento de agua a través de los orificios de los anclajes generando mal aspecto de la estructura.

Para el manejo de estos problemas se proponen las siguientes actividades:

1. Colocación de hileras de Geodren planar entre la superficie del talud y las pantallas de concreto. Existe cierta dificultad en la instalación de estos elementos debido al sistema descendente de construcción de la estructura.

2. Construcción de subdrenes de penetración (Ver **Figura 23**). Es importante realizar un análisis de la influencia de los abatimientos de los niveles freáticos sobre las estructuras aledañas.

3. Construcción de lloraderos consistentes en la instalación de tubería de pvc en el espesor de la pantalla.

4. Impermeabilizar las áreas posteriores y/o cercanas de la corona de los taludes

5. Canalizar las aguas de escorrentía para evitar su infiltración.

Figura 23. Subdren de penetración

Fuente: Autores

Para recolectar las aguas interceptadas se acostumbra a la construcción de una canaleta en la parte inferior de los muros y un sistema de doble muro como fachada de la estructura de contención.

ASENTAMIENTOS EN EDIFICACIONES ALEDAÑAS POR EXCESO DE DRENAJE: Abatir los niveles freáticos y disminuir la presión de poros detrás de las estructuras de contención es favorable para la estabilidad del talud, sin embargo, este abatimiento instantáneo puede generar asentamientos y afectaciones a las estructuras y viviendas aledañas ocasionadas por procesos de consolidación. En muchas ocasiones no es conveniente abatir de manera drástica los niveles de agua o en el caso que esto sea inevitable se requiere el reforzamiento de las estructuras aledañas.

3.2.8 Otras actividades

DISCONTINUIDAD EN LOS ELEMENTOS DE PANTALLA EN LAS ZONAS DE VIGAS, COLUMNAS Y PLACAS: Teniendo en cuenta la dificultad que se presenta en la construcción de las columnas, muros, placas de entrepiso y rampas de acceso una vez construida la pantalla, en muchas ocasiones el constructor deja los espacios para la construcción de estos elementos eliminando la continuidad de la estructura de contención. Esta condición constructiva genera ciertas implicaciones tales como:

1. Pérdida de los materiales que conforman el talud a través de estos espacios. Generalmente en materiales de tipo granular y con pocos o nada de finos se presenta erosión acelerada de los suelos generando vacíos por detrás de las pantallas y finalmente se produce el desprendimiento de la estructura de concreto de la superficie del talud. En la mayoría de estos casos se requiere la demolición de la obra.

2. Los anclajes ejercen un empuje de la pantalla sobre la superficie del talud al generarse vacíos se interrumpe la transmisión de esfuerzos y consecuente falla de la estructura. Se debe garantizar una transmisión completa de las fuerzas que contrarresten los empujes del suelo.

3. Al dejar espacios entre tramos de pantalla se puede garantizar el apoyo entre módulos o secciones y se pueden presentar desplazamientos verticales o escurrimientos de las pantallas.

En estos casos se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos para mejorar las condiciones de estabilidad de la estructura:

1. Realizar una distribución de los anclajes activos de tal manera que no coincidan con las columnas, placas de entrepiso y rampas de acceso.

2. Se puede analizar la posibilidad de construir las vigas de las placas y las columnas en forma simultánea con la construcción de la pantalla. Como alternativa se pueden utilizar concretos de menor resistencia en las zonas de los elementos de la estructura de tal manera que éstos se van demoliendo una vez terminada la totalidad de la pantalla y se inicia la construcción de la edificación en forma ascendente.

En condiciones relativamente favorables de estabilidad donde se pueden construir mejoramientos del talud consistentes en anclajes pasivos y recubrimientos de concreto, se puede construir la edificación de manera independiente sin interferir con algún elemento estructural.

EROSIÓN EN AREAS ENTRE MICROPILOTES: Teniendo en cuenta que los micropilotes no son construidos para el manejo de excavaciones de manera continua (tangentes), se presentan desprendimientos de los materiales que conforman el talud afectando la integridad de la estructura. En ocasiones se

generan deslizamientos por detrás de los micropilotes debido a la pérdida del confinamiento de los taludes.

Para controlar la erosión de los suelos de los taludes se recomienda instalar una malla de acero y aplicar concreto lanzado en la superficie frontal. De igual manera se requiere la instalación de lloraderos para evitar que las aguas freáticas generen el desprendimiento de dicho recubrimiento.

Figura 24. Erosión en áreas entre micropilotes

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

PLANTEAMIENTO DE ESTRUCTURAS SIN DISEÑO: Es muy común utilizar tipologías de diseños para aplicarlos en diferentes proyectos sin tener en cuenta las diferentes condiciones que se puedan presentar. Entre estas condiciones tenemos:

1. Diferencia en los parámetros de resistencia de los suelos
2. Presencia de niveles de agua subterránea a diferentes profundidades
3. Diferencias en el comportamiento del drenaje de los suelos

4. Condiciones de carga en la corona de los taludes, en el caso de vías, edificaciones y maquinas con cargas cíclicas.
5. Altura de excavación
6. Tiempos de construcción de la obra
7. Métodos constructivos
8. Tipo de obra de estabilización

Se debe realizar análisis específicos y detallados para cada talud teniendo en cuenta las anteriores variables.

Los diseños deben incluir el tipo de obra, diámetros, longitudes, separación, inclinación; soportados con un análisis de cargas, modelos de estabilidad y de desplazamientos.

FALLAS DE ESTRUCTURAS POR ANCLAJES CORTOS: Este error es resultado en muchas ocasiones de la falta de diseño o falla en los criterios de selección del tipo de modelo de falla y de despreciar las cargas externas. La longitud de los anclajes activos está definida por una longitud libre y una longitud de bulbo, esta última inicia atrás de la superficie de falla esperada. Cuando esta superficie de falla corta la longitud del bulbo se puede generar la falla del talud dado que la longitud que queda detrás de la falla no es suficiente para resistir el tensionamiento de los anclajes y las fuerzas desestabilizantes.

Para definir la longitud adecuada de los anclajes se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Altura de la excavación
2. Ubicación de los anclajes en la estructura de contención
3. Se debe verificar que la fricción generada por la longitud de bulbo con el suelo sea suficiente para resistir la carga de tensionamiento

4. Garantizar que la longitud de bulbo de diseño este por detrás de la superficie de falla. Esta superficie de falla generalmente disminuye a medida que se acerca a la base del talud de excavación permitiendo la disminución de la longitud de los anclajes.

FALLAS DE ESTRUCTURAS POR ROTURA DE SISTEMAS ENTERRADOS: Durante la construcción de los anclajes y micropilotes se generan afectaciones en el suelo debido a las vibraciones y a la inyección de fluidos tales como agua o aire. Cuando se realizan afectaciones del suelo se pueden presentar asentamientos o desplazamientos del terreno, los cuales generan afectaciones sobre los sistemas de ductos enterrados. Las mayores afectaciones son cuando se interfieren con líneas de conducción de agua, las cuales saturan los suelos y modifican las propiedades mecánicas y de resistencia y posteriormente inducen a deslizamientos, que afectan las estructuras construidas, edificaciones vecinas y la seguridad del personal que allí labora.

En algunas ocasiones, la perforación rompe los ductos debido a que generalmente se desconoce la ubicación de los drenajes.

Para controlar estas posibles afectaciones se recomienda lo siguiente:

1. Revisar los planos de localización de los ductos de las construcciones aledañas. Generalmente, no se cuenta con esta información
2. Realizar inspecciones mediante detectores eléctricos, los cuales determina la ubicación tanto horizontal como vertical de las líneas.
3. Realizar apiques de inspección
4. En el caso de vías, revisar la dirección y profundidad de las conducciones de los alcantarillados
5. Proponer en el diseño que la primera de línea de anclajes se encuentre a mínimo 1.5 m de profundidad con respecto a la cimentación de la edificación vecina.7

6. Cuando se cuente con la ubicación de los sistemas enterrados, proponer la distribución de los anclajes de tal manera que esto no afecte los ductos enterrados. Esto mismo, se debe evitar en el caso de posibles afectaciones a las cimentaciones
7. Utilizar ángulos de inclinación de los anclajes de la primera fila con inclinaciones mayores o iguales a 20°

En caso de afectar una línea conducción, especialmente, las de aguas se requieren realizar una reparación inmediata para evitar mayores afectaciones y generación de deslizamientos o movimientos del terreno.

FALLAS POR CONSTRUCCIÓN SIMULTÁNEA DE ESTRUCTURA Y PANTALLA: Es importante tener en cuenta las cargas adicionales y las condiciones de esfuerzos cuando se construyen estructuras tales como muros, columnas, de tal manera que no se generen afectaciones en la estabilidad del talud y la estructura en construcción. La construcción simultanea especialmente de columnas, generan pesos adicionales los cuales no han sido tenidos en cuenta en el diseño y ante cualquier desplazamiento de la estructura puede afectar la estabilidad del talud y la funcionabilidad de los elementos estructurales. Este sistema es poco común en los procedimientos constructivos de elementos de contención.

FALLAS POR MODIFICACIÓN DE DISEÑOS: Es muy común estandarizar los diseños y eliminar anclajes para la construcción de la estructura de la edificación, teniendo en cuenta que estos algunas veces interfieren con la ubicación de los elementos estructurales. En caso de que se requiera modificar o eliminar la posición o las características de un anclaje o micropilote, se requiere consultar con el diseñador para revisar que afectaciones tiene sobre la estabilidad del proyecto.

En algunas ocasiones se requiere la construcción de anclajes adicionales para permitir eliminar algún otro anclaje específico. La longitud, posición y tensionamiento de los anclajes están directamente relacionados con las propiedades de los suelos y las cargas externas aplicadas sobre el talud, por tal razón cualquier afectación en el diseño pueden comprometer la integridad de la obra.

CONSTRUCCIÓN DE ANCLAJES EN TALUDES DE RELLENO: Los anclajes sobre materiales de relleno son una condición especial para su diseño y construcción teniendo en cuenta que:

1. Se requieren grandes longitudes de los anclajes para lograr encontrar los suelos duros y estables donde se construirá el bulbo de tensionamiento. Generalmente en estos casos se utilizan inclinaciones mayores para llegar más rápido a estos estratos.

2. Se generan problemas en la estabilidad de las paredes de la perforación dado que los rellenos cuando tienen unan consistencia suelta estos generalmente cierran el cuerpo de la perforación y se requiere re-perforar en varias ocasiones, ampliando de manera incontrolada el diámetro de estos y afectando los anclajes aledaños. Para controlar este problema generalmente se realiza revestimiento de las paredes de la perforación mediante tuberías metálicas

3. La capacidad de carga de los rellenos son bajas.

4. Se generan con mayor facilidad afectaciones a las estructuras que se encuentran apoyados sobre estos materiales sueltos

5. Generalmente las estructuras para contención de material de relleno cuando estos se encuentran sueltos, tienen mayores costos

6. Estos materiales son más susceptibles a la afectación, al uso de fluidos como agua y aire.

Figura 25. Construcción de anclajes en taludes de relleno

Fuente: Autores

En la **Tabla 6** se muestra el resumen de las buenas y malas prácticas que se llevan a cabo durante la ejecución de las pantallas ancladas.

Tabla 6. **Resumen de buenas y malas prácticas en la construcción de pantallas ancladas**

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	BUENA PRÁCTICA	MALA PRÁCTICA
EXCAVACIÓN	Sobre-excavación por debajo de las edificaciones	Evitar excavaciones por debajo del nivel de los muros o cimentaciones de las edificaciones vecinas, realizar apuntalamientos con formaleta para controlar desplazamientos de viviendas	No verificar la existencia de muros y/o cimentaciones adyacentes antes de realizar las excavaciones.
	Falla de estructuras por sobre excavaciones:	Realizar los cortes por trincheras, realizar el tensionamiento de anclajes antes de continuar las excavaciones de las trincheras aledañas, usar entibados y parales metálicos para ayudar a contener las pantallas.	Excavar trincheras muy largas y altas, sin tener en cuenta las recomendaciones dadas por el diseñador de las pantallas.
PERFORACIÓN	Aparición de fisuras en edificaciones vecinas	Controlar el aire en el proceso de perforación, controlar la inyección de anclajes.	Realizar perforaciones y procesos de inyección sin control alguno de presiones.
INYECCIÓN ANCLAJES Y	Discontinuidad en la inyección de	Garantizar la correcta inyección y de esta forma cumplir con los	No seguir el procedimiento adecuado para llevar a cabo el

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	BUENA PRÁCTICA	MALA PRÁCTICA
MICROPILOTES	anclajes y micropilotes	tensionamientos y cargas de diseño	inyección de anclajes y micropilotes.
	Exceso de inyección de aire en la construcción de anclajes	Para controlar las afectaciones por inyección de aire se recomienda revestir las paredes de la perforación con tuberías metálicas, la cual se va recuperando a medida que se va rellenando con la lechada.	Realizar perforaciones sin revestimiento, aun cuando este se requiera.
ARMADO DE HIERRO PANTALLAS	Manipulación acero de refuerzo	Enterrar el acero de refuerzo que servirá de traslapo, usar uniones mecánicas.	Doblar y desdoblar el acero de refuerzo para hacer los traslapos
INSTALACIÓN CONCRETO	Escurrimiento del concreto lanzado	Verificar: tamaño del agregado, relación A/C, aditivo a utilizar, velocidad del lanzado (<1200 rev/min, distancia de lanzado (entre 0.80 – 1.20 m), evitar superficies de talud con humedades muy altas, adecuada limpieza en las juntas, definir el espesor de las capas de	No verificar el tamaño del agregado, relación A/C, aditivo, velocidad y distancia para el lanzado.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	BUENA PRÁCTICA	MALA PRÁCTICA
		lanzado en cada una de las etapas.	
	Presencia de bloques de gran tamaño en las superficies	Aplicar previamente una capa de concreto lanzado para controlar algunos caídos de roca y posteriores derrumbes.	Eliminar completamente los bloques, generando sobre-espesores en las pantallas
	Caída de pantallas por falla en el extremo de pernos (gancho)	Controlar los espesores del concreto y/o aumentar el diámetro de las barras de acero.	No controlar los sobre espesores del concreto generando más carga en las pantallas y por lo tanto la falla de los pernos.
TENSIONAMIENTO	Falla de las platinas	Verificar la resistencia al punzonamiento	Exceso de carga y no verificar la resistencia al punzonamiento
	Desprendimiento de cuñas en anclajes	Aplicar únicamente la carga de diseño	Aplicar cargas de tensionamiento superiores a las cargas de diseño
OBRAS SUBDRENAJE	Presión excesiva de agua, atrás de las pantallas	Realizar un manejo adecuado a las aguas, mediante la instalación de lloraderos, instalación de geodren planar, construcción de subdrenes de penetración.	No realizar ningún tipo de manejo a las aguas subterráneas.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	BUENA PRÁCTICA	MALA PRÁCTICA
	Asentamientos en edificaciones aledañas por exceso de drenaje	Realizar el drenaje de las aguas de forma controlada	Drenar las aguas de forma drástica produciendo los asentamientos
OTRAS ACTIVIDADES	Discontinuidad en los elementos de pantalla en las zonas de vigas, columnas y placas	Distribuir los anclajes activos de tal manera que no coincidan con las columnas, placas de entrepiso y rampas de acceso.	No solicitar los planos de la ubicación de las columnas, placas de entrepiso etc, de las estructuras con el fin de evitar que los anclajes o pernos se enfrenten con éstas.
	Erosión en áreas entre micropilotes	Construir obras adicionales que eviten la erosión, como la instalación de una malla de refuerzo con concreto lanzado, instalar lloraderos para evitar que las aguas freáticas generen el desprendimiento de dicho recubrimiento.	No construir obras adicionales ocasionando la erosión.
	Planteamiento de estructuras sin	Para cada obra, se debe realizar el respectivo diseño, incluyendo,	Utilizar tipologías de diseños para aplicarlos en diferentes

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	BUENA PRÁCTICA	MALA PRÁCTICA
	diseño	diámetros, longitudes, separación, inclinación, soportados con un análisis de cargas, modelos de estabilidad y de desplazamientos.	proyectos sin tener en cuenta las diferentes condiciones que se puedan presentar
	Fallas de estructuras por anclajes cortos	Definir la longitud los anclajes teniendo en cuenta la altura de la excavación, ubicación de los anclajes, verificar que la fricción generada por la longitud de bulbo con el suelo sea suficiente para resistir la carga de tensionamiento, garantizar que la longitud de bulbo de diseño este por detrás de la superficie de falla.	Utilizar diseños tipo, sin tener en cuenta las superficies de falla para cada uno de los proyectos.
	Fallas de estructuras por rotura de sistemas enterrados	Revisar los planos de localización de los ductos de las construcciones aledañas, realizar inspecciones mediante detectores eléctricos, realizar apiques de inspección, revisar la dirección y profundidad de	No consultar o solicitar planos estructurales y de redes de las edificaciones vecinas.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	BUENA PRÁCTICA	MALA PRÁCTICA
		las conducciones de los alcantarillados, proponer en el diseño que la primera de línea de anclajes se encuentre a mínimo 1.5 m de profundidad con respecto a la cimentación de la edificación vecina, utilizar ángulos de inclinación de los anclajes de la primera fila con inclinaciones mayores o iguales a 20°.	
	Fallas por construcción simultánea de estructura y pantalla	Tener en cuenta cargas adicionales y esfuerzos cuando se construyen estructuras tales como muros y columnas, para evitar afectaciones en la estabilidad del talud.	No contemplar las cargas adicionales y esfuerzos de muros y columnas de las estructuras.
	Fallas por modificación de diseños	En caso de que se requiera modificar o eliminar la posición o las características de un anclaje o micropilote, se requiere consultar con el diseñador para revisar que	No consultar con el diseñador de las pantallas cambios requeridos.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	BUENA PRÁCTICA	MALA PRÁCTICA
		afectaciones tiene sobre la estabilidad del proyecto	
	Construcción de anclajes en taludes de relleno	Garantizar que el bulbo de los anclajes se construya en suelos duros y estables.	Utilizar tipologías de diseños para aplicarlos en diferentes proyectos sin tener en cuenta las diferentes condiciones que se puedan presentar

Fuente: Autores

3.3 GUÍA CONSTRUCTIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PANTALLAS ANCLADAS.

Una vez realizada la evaluación y análisis de las diferentes metodologías implementadas en la construcción de pantallas ancladas en Bucaramanga, se procedió a identificar cada una de las buenas y malas prácticas realizadas en la ejecución de las actividades constructivas con el fin de establecer una metodología optimizada para la construcción de estas obras. Como resultado se presenta esta guía la cual se encuentra basada en la normatividad vigente y en la cual se compilan y describen los aspectos propios de dichas actividades, tales como, materiales, proceso constructivo y ensayos de laboratorio a realizarse para su correcta ejecución; es preciso recordar que este documento se enfoca en la implementación de pantallas para la estabilización del terreno en excavaciones profundas para la construcción de edificaciones de diferentes alturas.

3.3.1 Materiales

Anclajes

- **Cables de acero**

Cables de acero: son hilos de 7 alambres con resistencia a tensión última de 1.86 MPa con diámetro entre 0.5 y 0.6 pulgadas que cumpla con la especificacion ASTM A-416. El número de alambres y de hilos depende de la carga de diseño. La ventaja de los cables de acero es que pueden cortarse a la longitud requerida y no requieren uniones ni soldaduras (**Figura 26**)

Un cable de 0.6 pulgadas de diámetro puede soportar una carga de diseño de 150 KN.

Figura 26. Cables de acero

Fuente: PyP Ltda

- **Tubería PVC**

Esta tubería se encuentra a lo largo de todo el anclaje y se utiliza para realizar los procesos de inyección con lechadas de mortero (**Figura 27**). Esta debe ser resistente al ataque químico, al envejecimiento por la luz ultravioleta, resistente a los daños causados por la abrasión, impacto, aplastamiento y flexión durante la manipulación e instalación de la misma. De igual forma, esta tubería debe resistir la presión que se ejerce para realizar el proceso de inyección de los anclajes. Esta tubería debe ser perforada en la zona del bulbo, con el fin de realizar los procesos de inyección[8]

La tubería debe cumplir con la resistencia adecuada para soportar una presion mínima de 1 MPa (150 psi). Esta tubería se encuentra disponible en diferentes diámetros, espesores y propiedades físicas y químicas[9]

[8] Post-Tensioning Institute . Recommendations for prestressed rock and soil anchors. USA. 2004
[9] Ibíd.

Figura 27. Tubería PVC

Fuente: PyP Ltda

- **Uniones PVC**

Se requieren para acoplar los tubos de polietileno (**Figura 28**).

Figura 28. **Uniones PVC**

Fuente: PyP Ltda

- **Tapón PVC**

Se instala al final de la tubería de polietileno (en la zona del bulbo), con el fin de cerrar el ducto por el cual se realizaran los procesos de inyección de los anclajes (**Figura 29**).

Figura 29. Tapón PVC

Fuente: PyP Ltda

- **Manguera polietileno**

Permite proteger los cables de acero en la zona de la longitud libre contra la corrosión; Tambien permite aislar los cables de acero de la lechada en la zona del bulbo, para realizar el tensionamiento de los mismos (**Figura 30**). Esta debe ser resistente al ataque químico, al envejecimiento por la luz ultravioleta, resistente a los daños causados por la abrasión, impacto, aplastamiento y flexión durante la manipulación e instalación de la misma[10].

[10] Ibíd.

Figura 30. Instalación de manguera de polietileno en la zona libre de los anclajes

Fuente: PyP Ltda

- **Cabeza del anclaje**

Es la parte externa del anclaje que permite transmitir la carga del cable a la superficie del terreno o a la estructura a anclar. Esta zona se compone a su vez normalmente de cuñas (**Figura 31**), portacuñas y placa de reparto. Las cuñas deben estar diseñadas para impedir roturas en el acero pretensado, debido a posibles cortes producto de los efectos de aprisionamiento en virtud de resistencia estática y dinámica de los anclajes[11].

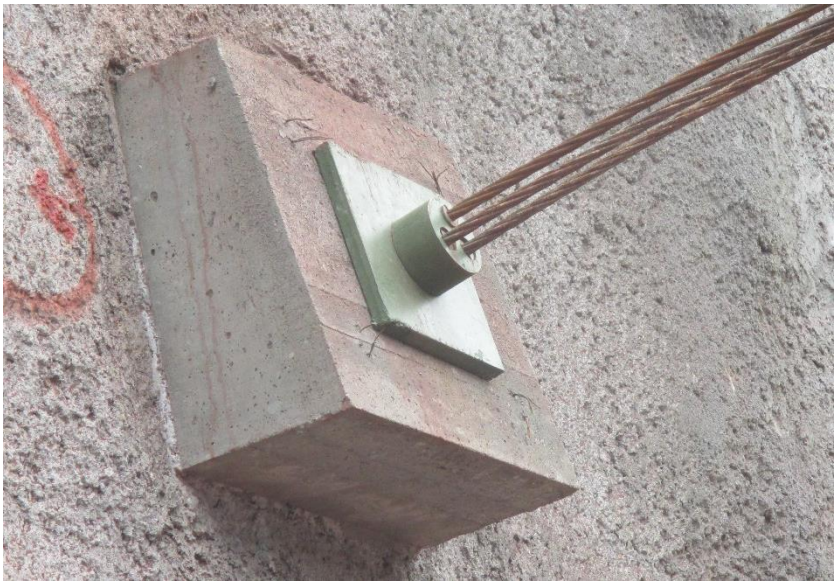
[11] DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO Op. Cit.

Figura 31. Cuñas para anclajes

Fuente: PyP Ltda

Las cabezas de los anclajes se pueden apoyar en bases hechas en concreto **(Figura 32**) o metálicas (**Figura 33**); cualquier tipo de base que se utilice, debe garantizar la perpendicularidad entre el anclaje y la platina de apoyo.

Figura 32. Cabeza de anclaje apoyada en base de concreto



Fuente: PyP Ltda

Figura 33. Cabeza de anclaje apoyada en base metálica

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. (2015). Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander.

Las placas de reparto o platinas cuentan con una resistencia a la rotura de acuerdo a su espesor (**Tabla 7**).

Tabla 7. Resistencia a la rotura de las placas de reparto

Espesor (Pulgadas)	Resistencia a la rotura (Toneladas)
½”	11.3
5/8”	16.2
3/4"	23.2
7/8”	31.4
1”	40.7
1 - ¼”	63.0

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. (2015). Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander.

- **Separadores**

Los separadores se utilizan para:

- Aislar los cables de acero del suelo.
- Ayudar a que el anclaje quede debidamente centrado en la perforación realizada.
- Separar los cables de acero de forma individual o en pequeños grupos.
- Permitir que la lechada fluya libremente alrededor de los cables de acero y a lo largo del agujero de perforación (**Figura 34**).

Los separadores deberán ser de acero, plástico o material que no sea perjudicial para el acero pretensado. No se utilizarán separadores de madera[12]

Los separadores deben ser instalados en intervalos máximos de 3 m y pueden ser combinados con centralizadores.

Figura 34. Separadores plásticos

Fuente: PyP Ltda

[12] POST-TENSIONING INSTITUTE

- **Gancho**

Facilita la introducción del anclaje al agujero de perforación. Generalmente se construye con acero corrugado de 5 mm (**Figura 35**).

Figura 35. Gancho en acero de refuerzo

Fuente: PyP Ltda

- **Cinta de embale y neumáticos**

Los neumáticos se instalan en la zona del bulbo, donde la tubería PVC de 1” fue perforada; estos neumáticos se ajustan con la cinta de embalaje (**Figura 36**).

Los neumaticos funcionan como válvulas, cuando se inicia el proceso de inyección, éstos se ensanchan permitiendo la salida de la lechada hacia la zona del bulbo, una vez termina el proceso de inyección, los neumáticos vuelven a su estado inicial evitando que la lechada se devuelva hacia la tubería PVC de 1” [13]

[13] Ibíd.

Figura 36. Neumático instalado en la zona del bulbo

Fuente: PyP Ltda

- **Lechada de cemento**

Los tipos de cemento Portland que pueden ser utilizados para la lechada son Tipo I, II, III o IV, los cuales deben cumplir con AASHTO M85. La lechada debe ser una mezcla homogénea de cemento y agua, bombeable, estable (Exudación menor al 2%), fluida y debe cumplir con una resistencia a la compresión de mínimo 21 MPa a los 28 días[14], (**Figura 37).**

Generalmente las lechadas para crear el bulbo del anclaje son lechadas corrientes, es decir, son una mezcla homogénea de cemento portland, agua y aditivos. Se usan relaciones a/c entre 0.40 y 0.60. Esta lechada protege los cables o torones que se encuentran en el bulbo, de la corrosión. La lechada permite transmitir la carga del cable al terreno, a través de la zona del bulbo[15]

[14]. LAZARTE, V. E Carlos A. (). Geotechnical Engineering Circular No. 7. Washington D.C. 2003
[15] Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento Op. Cit.

Figura 37. Lechada de cemento usada para la inyección de anclajes

Fuente: Autores

- **Aditivos**

Los aditivos se usan para controlar la exudación, mejorar la fluidez, reducir el contenido de agua y acelerar el fraguado, usualmente es aplicado a la lechada con el fin de aumentar su resistencia a edades tempranas. Su dosificación debe ser de acuerdo a las especificaciones del producto a utilizar. Un ejemplo de aditivo es el accelguard 90.

Pantallas

- **Acero de refuerzo**

Este debe cumplir con las especificaciones requeridas de acuerdo al diseño estructural (**Figura 38**).

Figura 38. Armado de acero de refuerzo para las pantallas

Fuente: PyP Ltda.

Con el fin de evitar la ejecución de traslapos en las barras de refuerzo y de esta forma disminuir el desperdicio del acero, se recomienda utilizar sistemas de empalmes mecánicos tales como:

a. Empalmes Roscados

Este sencillo sistema, desplaza al tradicional uso del traslapo como mecanismo de transmisión de esfuerzos entre las barras de refuerzo; estos empalmes (**Figura 39**) exigen a las barras de acero hasta producir su falla por rotura, lo que significa que permite el desarrollo del esfuerzo máximo en tracción.

Ventajas:

- Más económico que un traslapo tradicional, ahorra entre un 7% a un 5% del acero que es usado para traslapos.
- Fácil roscado, aproximadamente 45 segundos por rosca, esta máquina roscadora se facilita en obra.

- Excelente para ampliaciones futuras.
- Más ecológico.
- Disminuye considerablemente la congestión del acero.
- Favorece y permite los cortes de acero en cualquier localización.
- Simplifica los despieces ya que se pueden instalar en cualquier parte de la estructura (NSR 2010)

Figura 39. Empalmes roscados

Fuente: Ramalza S.A.S.

b. Conectores Extruidos

Están diseñados para proveer una aplicación rápida y eficaz que permita que las barras desarrollen su esfuerzo máximo en tracción; estos conectores no requieren ningún tipo de tratamiento térmico, por lo tanto su aplicación no afecta las propiedades físicas del material permaneciendo su fluencia intacta.

Tabla 8. Propiedades físicas los conectores extruidos

Diámetro de la barra (pulg)	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"
Diámetro externo (mm)	30	36	40	45	56
Longitud total (mm)	130	120	132	150	190
Líneas de extrusión (por punta)	3	3	3	3	5
Rango de deformación (mm)	24 - 27	28.8 - 32.4	32 - 36	36 - 40.5	44.8 - 50.4
Distancia mínima barras (mm)	70	70	70	70	70

Fuente: Ramalza S.A.S.

El conector extruido se coloca a manera de “camisa” y se hacen dos, tres o cinco deformaciones determinadas según su diámetro (5/8”,3/4”, 7/8”, 1” y 1 ¼”), **Figura 40**.

Figura 40. Proceso de instalación conector extruido

Fuente: Ramalza S.A.S.

Los empalmes mecánicos ya sean tipo roscado o conectores extruidos, cuentan con el aval en los códigos ACI318 (12.4.3 – 21.2.6), NSR 2010 (C.12.14.3.2 – C.21.1.6) y CCDSP (Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes) (A.7.23.2), donde se especifica su clasificación por capacidades de resistencia.

- **Concreto lanzado**

De acuerdo al American Concrete Institute (ACI), el concreto lanzado es “el mortero o concreto que es neumáticamente proyectado con alta velocidad sobre una superficie”.

Para concreto lanzado, se deben tener en cuenta las especificaciones dadas por el diseñador. (**Figura 41**).

Figura 41. Concreto lanzado

Fuente: PyP Ltda

- **Aditivos químicos**

Las propiedades del concreto mezclado fresco (plástico) y del concreto endurecido pueden cambiarse añadiendo aditivos químicos, que usualmente vienen en forma líquida, durante la dosificación.

Los aditivos químicos que usualmente se usan, son:

- Aceleradores del fraguado: incrementan la velocidad del fraguado y endurecimiento del concreto. Pueden ser útiles en climas fríos ya que el concreto se endurece lentamente a bajas temperaturas.

- Retardadores del fraguado: reducen la velocidad del fraguado del concreto. A menudo se usan en climas cálidos para evitar que el concreto fragüe antes de ser colocado y terminado.

- Reductores de agua: como su nombre lo indica, reducen la cantidad de agua necesaria para producir cierta cantidad de concreto.

- Superplastificadores: se pueden emplear para hacer el concreto más fluido, más fácil de bombear y colocar.

- Inclusores de aire: forman burbujas microscópicas de aire, evitando que estas se revienten (DUFOUR, 2012)

Algunos ejemplos de aditivos acelerantes usados son:

- EUCOSHOT 962.
- Master Roc SA 160
- Sigunit L-23
- Sigunit L-53 AF Plus

- **Subdrenes de penetración**

Un dren horizontal o subdrén de penetración consiste en una tubería perforada (**Figura 42**) colocada a través de una masa de suelo mediante una perforación profunda subhorizontal o ligeramente inclinada, con la cual se busca abatir el nivel freático hasta donde se incremente la estabilidad del talud al valor deseado. La

principal ventaja de los subdrenes horizontales es que son rápidos y simples de instalar y se puede obtener un aumento importante del factor de seguridad del talud en muy poco tiempo.

Los materiales de construcción deben cumplir con lo establecido en el Artículo 673-13 de las especificaciones INV-13.

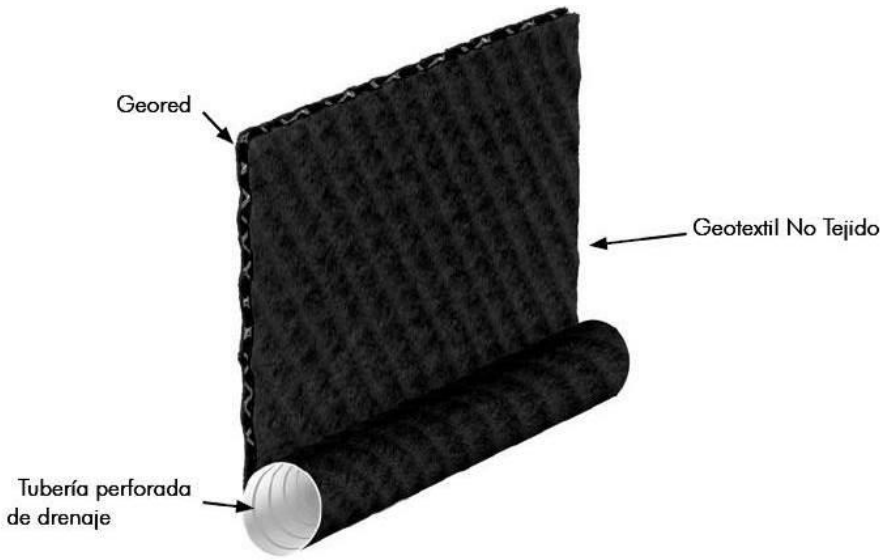
Figura 42. Subdrenes de penetración

Fuente: PyP Ltda

- **Geodrén planar**

El Geodrén planar es un sistema conformado por geotextiles no tejidos punzonados por agujas y geored de polietileno de alta densidad (HDPE) (**Figura 43**). El Geotextil cumple la función de filtración, reteniendo las partículas del suelo y permitiendo el paso de los fluidos. La geored por su parte, es el medio drenante encargado de transportar el agua que pasa a través del filtro. (Pavco).

Figura 43. Geodrén planar



Fuente: Pavco

Pernos o nails

- **Varillas de acero**

Son varillas con una resistencia última a la tensión de 1.03 MPa, generalmente se usan varillas de ¾" ó 1" de diámetro que cumplan con la especificación ASTM A-722 tipo II, o ASTM A-416 y longitudes de 6 m, 9 m y 12 m, dependiendo del diseño.

Cuando se construyen pantallas ancladas con pernos, éstos se pueden realizar de dos formas; la primera es utilizando una varilla roscada (**Figura 44**) con platina, arandela y tuerca; la segunda, usando una varilla sin roscar pero con un gancho en su punta exterior (aprox. 50 cm) el cual quedará embebido en el concreto de las pantallas (**Figura 45**).

Figura 44. Varillas roscadas para pernos

Fuente: PyP Ltda

Figura 45. Varillas con gancho para pernos

Fuente: PyP Ltda

Estas varillas son capaces de transmitir las fuerzas de tracción que le son aplicadas a un lecho de terreno resistente.

- **Cabeza del perno**

Es la parte externa del perno que permite transmitir la carga del cable a la superficie del terreno o a la estructura a anclar. Esta zona se compone a su vez normalmente de arandela, tuerca y placa de reparto **(Figura 46**).

Figura 46. Cabeza del perno

Fuente: PyP Ltda

- **Manguera de polietileno**

Se encuentra a lo largo de todo el perno y se utiliza para realizar el proceso de inyección con lechadas de mortero (**Figura 47**). Esta debe ser resistente al ataque químico, al envejecimiento por la luz ultravioleta, resistente a los daños

causados por la abrasión, impacto, aplastamiento y flexión durante la manipulación e instalación de la misma[16]

Figura 47. Manguera de polietileno

Fuente: PyP Ltda

- **Centralizadores**

Los centralizadores pueden ser de PVC, acero o cualquier material que no sea perjudicial para el acero. No deben ser fabricados en madera (**Figura 48**). El centralizador debe sostener la varilla de acero en la perforacion y garantizar un recubrimiento de lechada de minimo 12 mm, así mismo, debe permitir el libre flujo de lechada alrededor del cable de acero y a lo largo de la perforación[17].

[16] POST-TENSIONING INSTITUTE
[17] Ibíd.

Los centralizadores no requieren ser instalados en pernos en suelos granulares cuando la presión de inyección es superior a 1 MPa [18].

Figura 48. Centralizador plástico

Fuente: Dywidag Systems International

Listado de proveedores de materiales

En la **Tabla 9** se muestra el listado de proveedores de los materiales para llevar a cabo la construcción de pantallas ancladas.

[18] Ibíd.

Tabla 9. Listado de Proveedores de Materiales

ANCLAJES		
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**PROVEEDOR**
Cable 5/8"	m	PROALCO
Cable 1/2"	m	PROALCO
Tubería PVC 1"	m	ALDIA
Union PVC 1"	unidad	ALDIA
Tapón PVC 1"	unidad	ALDIA
Manguera ¾" polietileno Calibre 40	m	RIEGOPLAST
Manguera 1/2" polietileno Calibre 30	m	RIEGOPLAST
Cuñas para anclaje marca PAUL, Tipo N-28 (D=5/8")	unidad	SOCORSA
Cuñas para anclaje marca PAUL, Tipo N-28 (D=1/2")	unidad	SOCORSA
Dado para tres cables 5/8"	unidad	INSIDER
Dado para tres cables 1/2"	unidad	INSIDER
Platina para fijación para anclajes	unidad	INSIDER
Separadores Plásticos	unidad	SUMINISTROS DYP
Bala	unidad	PYP
Alambre negro	kg	ALDIA
Cinta de embalaje	rollo	CARLIXPLAST
Limpiador PVC 1/4 gal	1/4 gal	ALDIA
Soldadura PVC 1/4 gal	1/4 gal	ALDIA
Cemento Portland Tipo 1, Incluye desperdicio	BULTO	ALDIA
Aditivo Acelerante, Sin cloruros (Accelguard)	L	TOXEMENT
Grasa	lb	COMPRA LIBRE
Neumáticos	unidad	COMPRA LIBRE
Aerosol	unidad	COMPRA LIBRE
PERNOS		
Varilla de 1" L=12 m (Rosca de 0,15 m)	unidad	ALDIA
Varilla de 1" L=9 m (Rosca de 0,15 m)	unidad	ALDIA
Platina en Lamina HR 3/8" de 200x200 mm con perforación central de 1 1/8"	unidad	INSIDER
Tuerca hexagonal biselada para varilla de rosca standard de 1"	unidad	INSIDER
Arandela biselada para tuerca hexagonal biselada.	unidad	COMPRA LIBRE
Manguera ¾" polietileno Calibre 40	m	RIEGOPLAST
Manguera 1/2" polietileno Calibre 30	m	RIEGOPLAST
PANTALLAS		
Acero de refuerzo	Kg	AL DÍA
Concreto lanzado 4.000 psi	m3	CEMEX
Master Roc SA 160	L	MOTORESTE
DRENES		
Tubería PVC 2"	m	ALDIA
Union PVC 2"	unidad	ALDÍA
Geotextil NT 1600	m2	ALDÍA

Fuente: Autores

3.3.2 Proceso Constructivo

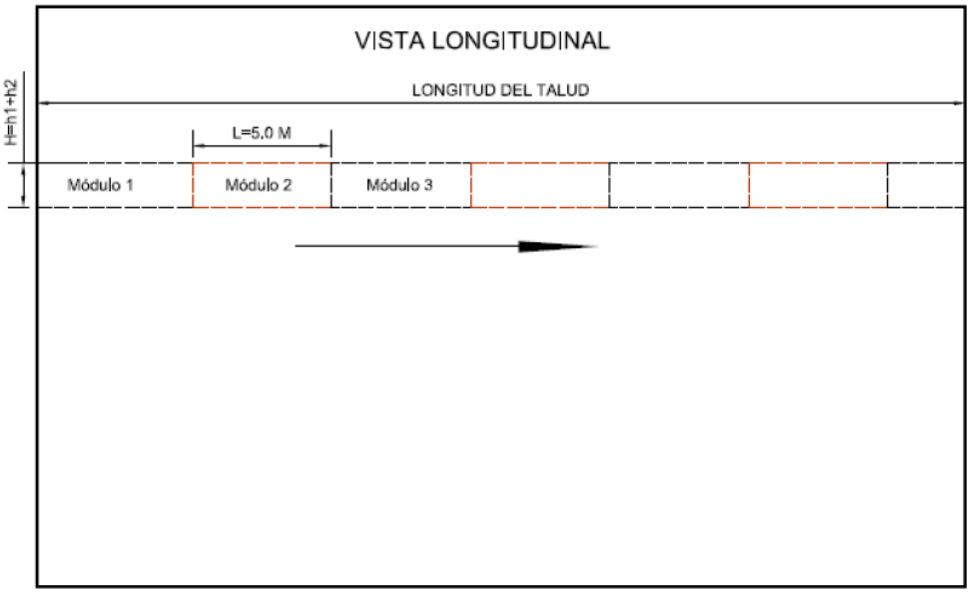
Anclajes

Con el fin de llevar a cabo la construcción de pantallas ancladas, se sugiere realizar el siguiente procedimiento:

- **Excavaciones:**

Las excavaciones de la primera fila o primer nivel se deben realizar modulando las trincheras intercaladas, es decir, una se excava y otra no como se muestra en la **Figura 49**, o en casos donde las condiciones de estabilidad son muy desfavorables se dejan dos trincheras intermedias sin construir (ver **Figura 50 y Figura 51**).

Figura 49. Modulación de trincheras para el proceso de excavación de la primera fila de pernos y/o anclajes



Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

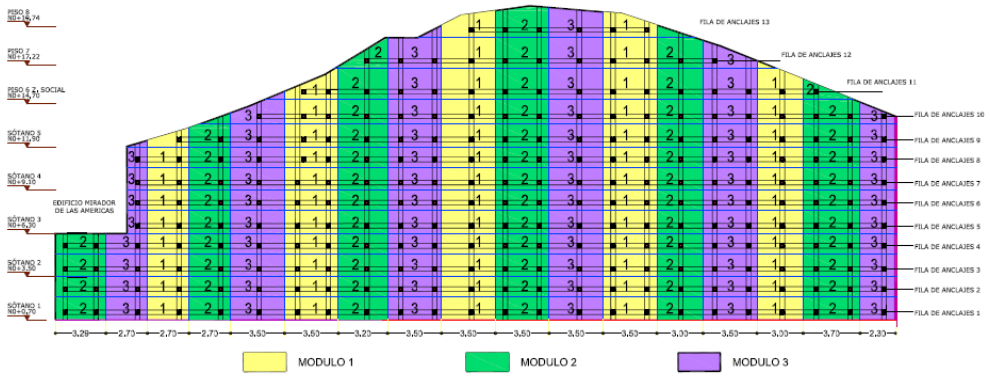
El objetivo de dejar dos trincheras intermedias sin construir, es permitir que el primer tramo o nivel de pantalla fundida se apoye y de esta forma evitar posibles deslizamientos movimientos en esta.

Por lo tanto, no es recomendable excavar trincheras contiguas hasta tanto la lechada alcance por lo menos el 50% de la resistencia.

Figura 50. Modulación de trincheras en campo

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

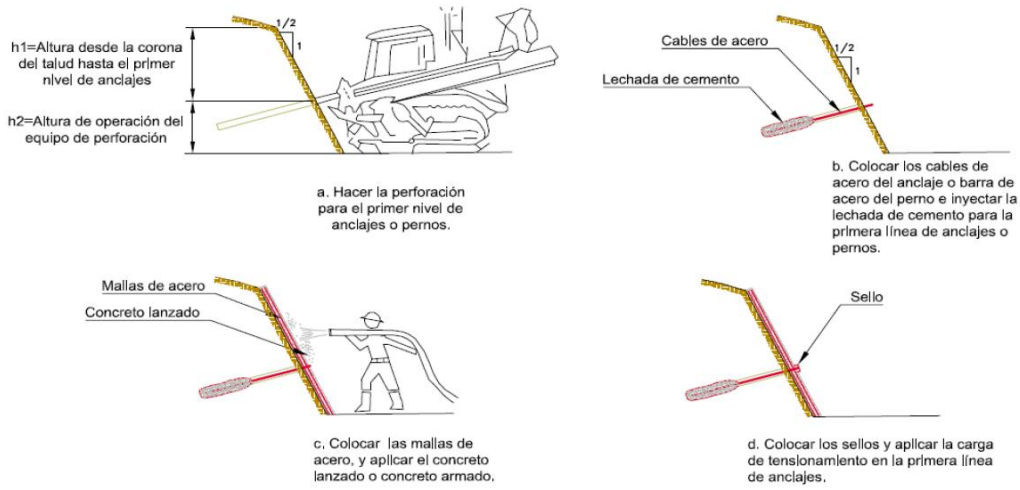
Figura 51. Modulación de trincheras para todos los niveles de la pantalla



Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

Para las dimensiones de la excavación de cada una de estas trincheras, se debe tener en cuenta que el ancho debe ser de máximo 5.0 metros (Esta puede variar según diseño y análisis de estabilidad) y la altura debe ser tal que se puedan perforar los anclajes o pernos, es decir, se debe tener en cuenta la altura a la que los equipos permiten realizar las perforaciones (Ver **Figura 52-a**), básicamente estas dimensiones dependen de las características de cohesividad del suelo.

Figura 52. Procedimiento para la construcción de anclajes o pernos



Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

- **Perforaciones:**

Una vez realizada la excavación de cada una de las trincheras, se procede con la perforación de los agujeros.

El proceso de perforación presenta muchas variables tales como el equipo a utilizar, herramientas, operador, maniobras para llevar a cabo el avance y limpieza del taladro, entre otras, las cuales conllevan a que no todas las perforaciones se lleven a cabo con el mismo éxito[19]

Se pueden utilizar varios sistemas de perforación tales como:

- Rotación o rotopercusión: Las rocas se perforan a rotopercusión y los suelos con cierta cohesión se perforan a rotación. La utilización de uno u otro método y sus posibles combinaciones depende de las condiciones que se encuentran en el terreno[20]

- Con o sin revestimiento: La utilización o no de la tubería de revestimiento depende de las condiciones encontradas en el terreno. Si se emplea el revestimiento, se restringen las deformaciones y desprendimientos del terreno hacia el taladro, además se disminuyen las afectaciones tanto a las estructuras próximas a las perforaciones como al terreno[21]

- Con aire o agua como fluido de barrido: El aire se penetra más por las fisuras del terreno y de los suelos intergranulares, como no es sometido a gravedad tiene la facilidad para ascender hacia la superficie. El uso del aire no es recomendable en suelos en los que exista nivel freático o en suelos húmedos, ya que la eficacia de barrer disminuye y la perforación queda llena de material

[19] Murillo, L. O Tomas. (). Auscultación y corrección de inestabilidad de taludes de carreteras y ferrocarriles. Madrid. 2010
[20] Ibíd.
[21] Ibíd.

suelto y por lo tanto será afectada la adherencia del bulbo al terreno. La perforación con aire puede provocar abundante polvo[22]

En cuanto al agua, esta es menos penetrante, pero al utilizarla como fluido de barrido, las paredes de la perforación son alteradas con mayor intensidad, además se estaría introduciendo agua en sitios donde posiblemente no había. La perforación con agua implica que una vez esta sale por la boca del taladro debe ser conducida y desaguada[23]

Para seleccionar el diámetro de perforación se pueden utilizar la **Tabla 10** y **Tabla 11** que se muestran a continuación, las cuales pertenecen a la "Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras".

Tabla 10. Diámetros mínimos de perforación para anclajes de cables.

Nº DE CABLES	DIÁMETRO MÍNIMO EXTERIOR DE LA ENTUBACIÓN (mm)	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA PERFORACIÓN NO ENTUBADA (mm)
TIPO 1. ANCLAJES PROVISIONALES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
2 a 5 cables	114	85
6 ó 7 cables	133	105
8 a 12 cables	152	125
TIPOS 2 A Y 2 B. ANCLAJES PROVISIONALES CON REINYECCIÓN (IR, IRS)		
2 ó 3 cables	114	85
4 ó 5 cables	133	105
6 a 10 cables	152	125
TIPOS 3 Y 4 A. ANCLAJES PERMANENTES SIN REINYECCIÓN SELECTIVA (IU, IR)		
2 a 4 cables	133	105
5 a 7 cables	152	125
7 a 12 cables	178	140
TIPO 4 B. ANCLAJES PERMANENTES CON REINYECCIÓN SELECTIVA (IRS)		
2 a 4 cables	152	125
5 a 7 cables	178	140
7 a 12 cables	200	165

(*) Se considera en todos los casos un diámetro de cable no mayor de 15,3 mm (0,6 pulgadas)

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera, 2001

[22] Ibíd.
[23] Ibíd.

Tabla 11. Diámetros mínimos de perforación para anclajes de barras.

DIÁMETRO DE LA BARRA (mm)	DIÁMETRO MÍNIMO EXTERIOR DE LA ENTUBACIÓN (mm) (**)	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA PERFORACIÓN NO ENTUBADA (mm)
TIPO 5. ANCLAJES PROVISIONALES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
$\phi \leq 25$	90	68
$25 < \phi \leq 40$	101	85
TIPO 7. ANCLAJES PERMANENTES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
$\phi \leq 25$	114	85
$25 < \phi \leq 40$	133	105
TIPOS 6 A, 6 B, 8 A Y 8 B. ANCLAJES CON REINYECCIÓN (IR, IRS)		
$\phi \leq 20$	133	105
$20 < \phi \leq 25$	152	114
$25 < \phi \leq 40$	178	133

(**) Siempre que no existan empalmes en la barra

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera, 2001

Se deben prever con anticipación las técnicas requeridas para contrarrestar las presiones de agua, en los procesos de perforación, introducción de anclajes e inyección.

- **Instalación de anclajes:**

Una vez se finalice la perforación, se debe introducir el anclaje en el menor tiempo posible ya que en algunos casos por el tipo de suelo o por la presencia de agua, las paredes del terreno pueden fallar ocasionando taponamiento en el mismo, requiriéndose nuevamente la perforación[24].

Durante la manipulación de los anclajes se debe tener cuidado en no deformarlos, ni dañar sus partes, la instalación se realizara controladamente con el fin de no

[24] DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO Op. Cit.

afectar la posición de algún elemento del anclaje. Se debe garantizar que el anclaje llegue a la posición prevista sin problemas[25]

- **Inyección de Anclajes**

Los objetivos esenciales del proceso de inyección es constituir la zona de bulbo del anclaje y protegerlo de la corrosión (ver **Figura 52-b**), además, este proceso debe garantizar que en la zona libre se logre el alargamiento de los cables o torones[26]

El tiempo entre la instalación y la inyección del anclaje también debe llevarse a cabo lo antes posible, con el fin de minimizar la alteración y descompresión de las paredes del terreno; de acuerdo a la norma FHWA el tiempo máximo recomendado es de 8 a 12 horas después de haberse realizado la perforación. En general, este tiempo debería depender del tipo del terreno perforado y se podría realizar de acuerdo a:

- En rocas sin agua: hasta 24 horas, es decir, que se podría realizar la inyección el día siguiente.
- En suelos con agua o muy húmedos: la inyección del anclaje se debe realizar antes de comenzar con la perforación del siguiente anclaje.
- Casos intermedios: inyectar al final de la jornada los anclajes perforados durante la misma[27]

[25] Ibíd.
[26] Ibíd.
[27] MURILLO Op. Cit.

Tipos de Inyección:

a. Inyección Única global (IU):

Esta inyección se lleva a cabo de una sola vez y se realiza a través de la tubería de PVC, desde el fondo hasta la boca de la perforación, manteniéndose de forma ininterrumpida hasta que la lechada (del mismo color y consistencia de la inyectada inicialmente) se rebose por la boca de la perforación; la lechada permite expulsar tanto el agua como el material suelto que se encuentre dentro de la perforación, por lo tanto, si este proceso no se lleva a cabo de abajo hacia arriba, se corre el riesgo de que el agua y el material suelto se queden en el fondo de la perforación[28]

Se tiene la creencia que con este procedimiento, el bulbo se inyecta a presión, pero no es así; La presión que se emplea es para bombear la lechada, pero una vez esta sale por la boca de la perforación, pierde su presión y no vuelve a tener otra distinta de la hidrostática, la cual puede ser entre 100 y 300 kPa, dependiendo de la longitud e inclinación de la perforación[29]

b. Inyección Repetitiva (IR):

Se comienza con una inyección tipo global (IU) desde el fondo de la perforación; a las pocas horas, de nuevo se inyecta en varias fases y a través de varios puntos[30]

Dependiendo de la tubería extra de inyección que se le haya colocado al anclaje se pueden distinguir dos variantes:

[28] Ibíd.
[29] Ibíd.
[30] Ibíd.

La primera consiste en instalar tubos de inyección de varias longitudes, finalizando a distintas profundidades en la zona del bulbo; estos tubos o conductos se van inyectando uno por uno[31]

La segunda variante consiste en instalar un único tubo o conducto de inyección, dotado de varias válvulas en la zona del bulbo. Al realizar el proceso de inyección, las válvulas (neumáticos) se abren de forma simultánea permitiendo la salida de la lechada para formar el bulbo[32]

Con este tipo de inyección, se logra introducir pequeñas cantidades de lechada a gran presión, lográndose la creación de un bulbo más resistente que con el sistema de inyección IU[33]

c. Inyección Repetitiva Selectiva (IRS):

Al igual que la inyección IR, esta también permite inyectar en varias fases y a través de varios puntos, con la diferencia que se controla la presión y el volumen inyectado en cada punto[34]

La técnica más usada para realizar las inyecciones IRS consiste en realizar una serie de perforaciones en la tubería PVC (parte del bulbo), generalmente cada metro. Se instalan neumáticos en la parte exterior de la tubería, de tal forma que tapen los agujeros que se han realizado previamente a la tubería. Se introduce la tubería de inyección en la tubería PCV y se inyecta a presión controlada; los neumáticos instalados en la zona del bulbo se dilatan y dejan que la lechada salga, una vez se finalice el proceso, los neumáticos se cierran e impiden que la

[31] Ibíd.
[32] Ibíd.
[33] Ibíd.
[34] Ibíd.

lechada retorne por la tubería PCV. Este proceso se puede llevar a cabo las veces que sea necesario con el fin de obtener un bulbo de gran calidad[35]

Para seleccionar el sistema de inyección adecuado se debe tener en cuenta el tipo de terreno en el cual se fijará el bulbo y la capacidad de carga requerida del anclaje[36].

Cuando se usan inyecciones repetitivas tipo IR o IRS, éstas mejoran la adherencia del bulbo con el terreno, por lo tanto se recomiendan para suelos cohesivos de consistencia media a baja, suelos granulares sueltos y rocas fracturadas[37]

Lechada:

Generalmente para las lechadas se utilizan relaciones agua – cemento entre 0.4 y 0.6, se recomienda que las lechadas sean espesas con el fin de proteger el anclaje frente a la corrosión. Cuanto más resistente sea la lechada, ésta se fisurará menos una vez se tensione el bulbo y por lo tanto se tendrá una mejor protección del anclaje[38]

El fraguado de las lechadas debe ser entre 3 a 7 días[39]

En la **Tabla 12** y **Tabla 13** se observan las proporciones de los contenidos de las lechadas y los resultados de las resistencias a compresión de lechadas, de acuerdo al artículo “Propiedades de lechadas de cemento fabricadas con cementos de tipo I y mezclas con cenizas volantes (CV) y humo de sílice (HS)”.

[35] Ibíd.
[36] Ibíd.
[37] Ibíd.
[38] Ibíd.
[39] Ibíd.

Tabla 12. Proporciones de los contenidos de las lechadas

LECHADA	TIPO DE CEMENTO	RELACIÓN A/C
L1	CEM I/42.5R	0.50
L4	CEM I/52.5R	0.50
L7	CEM I/42.5R	0.44
L10	CEM I/52.5R	0.44

Fuente: Instituto Técnico de la Construcción, S.A. – Valencia

Tabla 13. Resultados de las resistencias a compresión de lechadas con A/C=0.44

LECHADA	Edad de curado (días)					
	3		7		28	
	N/mm^2	PSI	N/mm^2	PSI	N/mm^2	PSI
L7	30,41	4410	44,74	6489	59,1	86
L10	47,54	6895	51,39	7453	66,2	9601

Fuente: Instituto Técnico de la Construcción, S.A. – Valencia

Es recomendable el uso de aditivos para acelerar el fraguado; los aditivos que se utilicen no deben contener cloruro de calcio o iones de cloruro; la proporción del aditivo será la especificada en la respectiva ficha técnica, siempre y cuando garantice la resistencia de la lechada a largo plazo y brinde protección al anclaje frente a la corrosión.

- **Armado de acero en pantallas:**

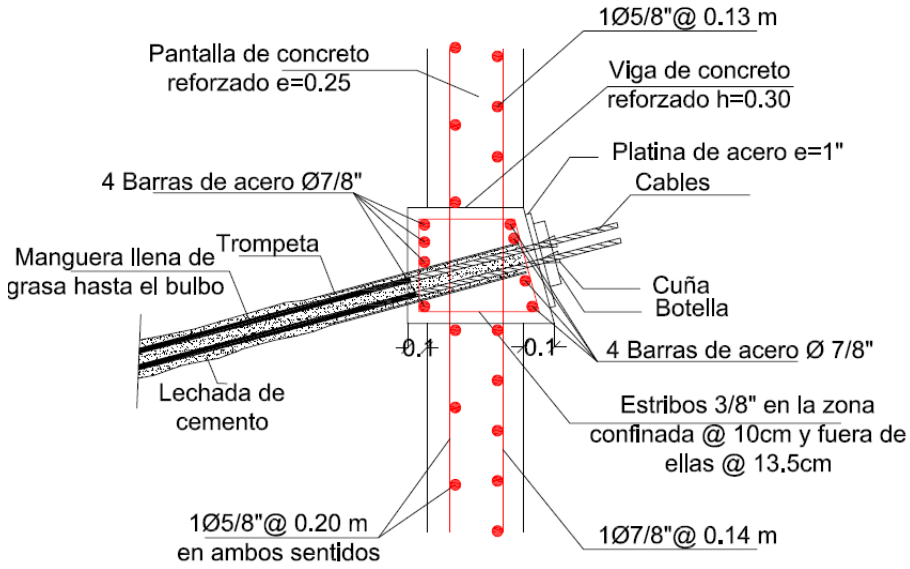
El acero que compone cada una de las pantallas a construir, depende del diseño estructural de cada proyecto.

Existen diseños estructurales que se componen de pantallas con doble parrilla de acero de refuerzo y viga, pantallas con parrilla sencilla y sin viga de refuerzo. En la **Figura 53** a **Figura 57** se muestran las diferentes combinaciones que se pueden

tener para el armado del hierro de las pantallas, tanto con pernos como con anclajes.

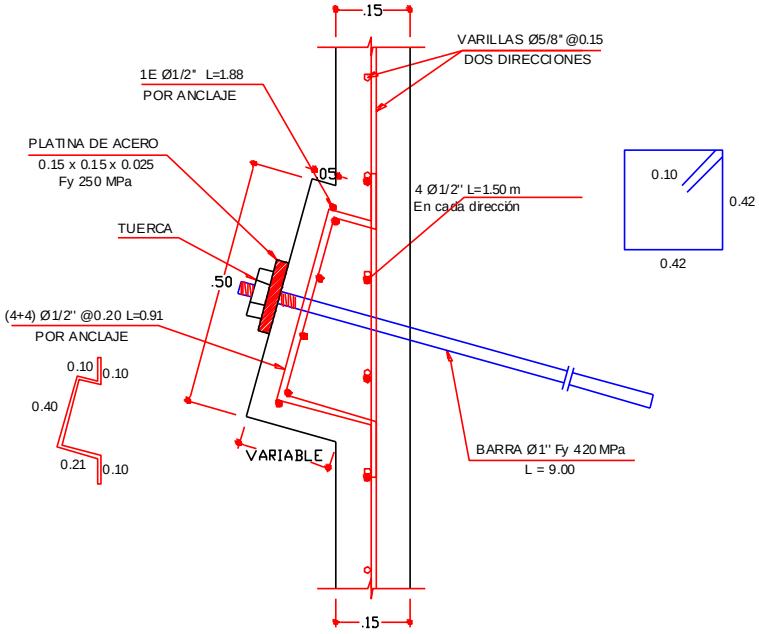
Se aclara que las dimensiones y diámetros de hierro mostrados en las figuras, hacen referencia a un diseño específico y por lo tanto su utilización es solo de tipo ilustrativo.

Figura 53. Detalle de acero refuerzo pantalla de doble parrilla con viga y anclaje



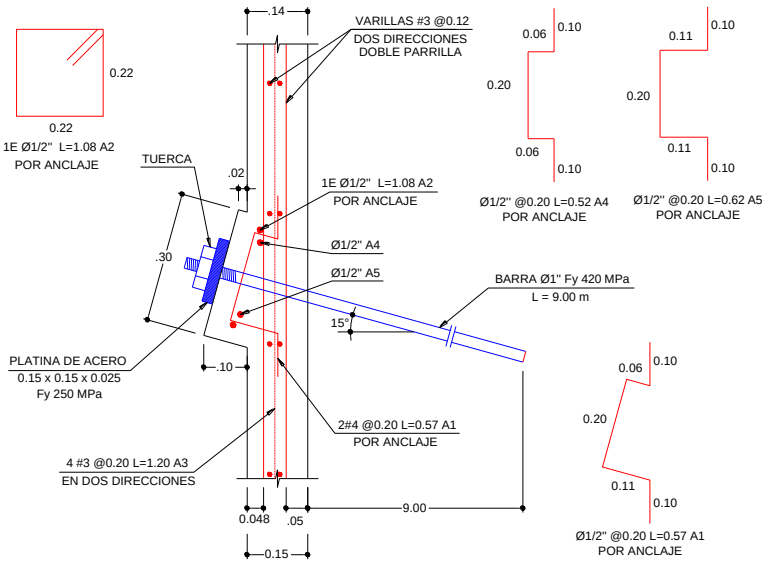
Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

Figura 54. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla sencilla, sin viga con perno



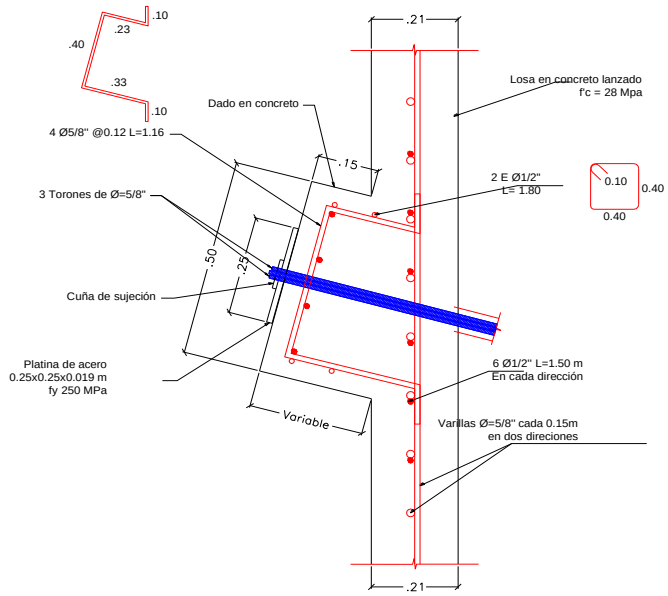
Fuente: PyP Ltda

Figura 55. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla doble, sin viga con perno



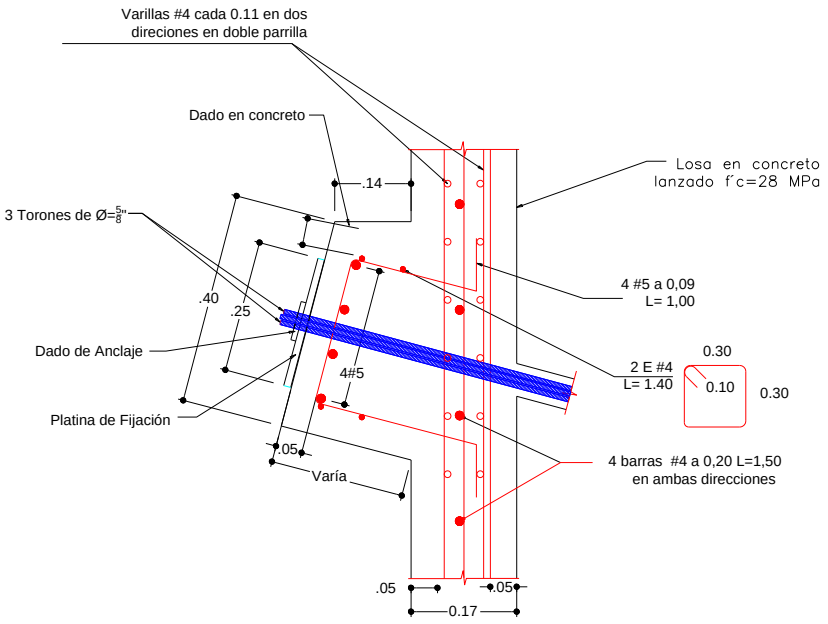
Fuente: PyP Ltda

Figura 56. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla sencilla, sin viga con anclaje



Fuente: PyP Ltda

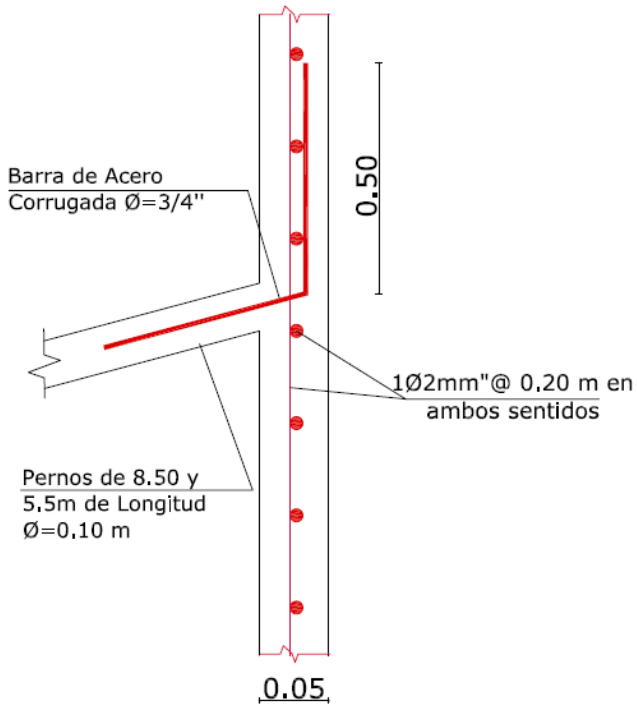
Figura 57. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla doble, sin viga con anclaje



Fuente: PyP Ltda

Cuando se construyen pantallas ancladas con pernos, éstos se pueden realizar de dos formas; la primera es utilizando una varilla roscada, con platina, arandela y tuerca (**Figura 54**) y la segunda, usando una varilla sin roscar pero con un gancho en su punta exterior el cual quedará embebido en el concreto de las pantallas (**Figura 58**).

Figura 58. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla sencilla y perno con gancho



Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

.

En la **Figura 59** se observa el armado de hierro para una pantalla diseñada con anclajes y parrilla sencilla. La tubería sanitaria se instala con el fin de evitar que el concreto con el cual se construye el dado del anclaje, entre en contacto con los torones del anclaje, impidiendo la elongación de los mismos en el proceso del tensionado.

Figura 59. Detalle de acero refuerzo pantalla parilla sencilla con anclaje

Fuente: PyP Ltda

- **Concreto pantallas:**

Una vez se termina de armar el hierro de las pantallas, se procede con la instalación del concreto. El concreto para la construcción de las pantallas puede ser concreto lanzado o concreto formaleteado; en este documento se hará énfasis en el concreto lanzado.

a. Concreto lanzado

El concreto lanzado es un método que consiste en colocar el concreto a gran velocidad sobre una superficie para que se compacte, y por lo tanto es un método que se emplea principalmente en superficies verticales o inclinadas. La calidad del concreto lanzado depende de las proporciones de la mezcla y en la compactación, la cual sucede durante la colocación[40]

[40] DUFOUR, J. F. Concreto lanzado para el artesano (ccs-4). Michigan: Farmington Hills. 2012

Procesos concreto lanzado

Existen dos procesos del concreto lanzado, mezclado en seco y mezclado en húmedo[41]

Mezclado en seco:

En este proceso la mayor parte del agua de la mezcla se añade en la boquilla, es decir, durante su colocación. El lanzador de concreto, debe ir ajustando la cantidad de agua utilizando la válvula instalada en la boquilla, hasta que la superficie del concreto presente un lustre[42]

El lanzador debe estar debidamente preparado para verificar que la mezcla sea la correcta para el lanzado; si no se suministra la suficiente agua se superficie se tornará seca y arenosa, si se agrega demasiada agua el concreto se escurrirá y no se mantendrá en su posición[43]

Mezclado en húmedo:

En este proceso los materiales (incluida el agua) se mezclan antes de entrar a la manguera. Generalmente estos concretos son premezclados y se diseñan de acuerdo a los requerimientos de cada obra en particular. Si se utilizan aditivos acelerantes, éstos se añaden en la boquilla por medio de una manguera independiente [44]

Para que este concreto pueda ser bombeado, se requiere que el material cementante y el agua sean suficientes, es decir, que recubran completamente

[41] Ibíd.
[42] Ibíd.
[43] Ibíd.

todos los agregados y además lubriquen el interior de la manguera para facilitar el movimiento de la mezcla[45]

Las resistencias de los concretos lanzados dependen de los requerimientos de cada proyecto. Para medir la trabajabilidad del concreto, se utiliza la prueba de asentamiento (slump) de acuerdo a la norma INVIAS E-404-13.

El refuerzo de las pantallas se debe asegurar adecuadamente con el fin que este no vibre durante el lanzado, así mismo, éste debe estar limpio y libre de salpicaduras endurecidas o rebotes[46]

Principios y técnicas para el lanzado

Antes de comenzar con la instalación del concreto lanzado, se debe verificar que el hierro se encuentre armado de acuerdo a los planos de diseño y limpio de salpicaduras o rebotes de concretos anteriores. Así mismo, es necesario limpiar las superficies de concreto que se encuentren con rastros de suelo originados por el material volátil que se forma cuando se hacen las respectivas perforaciones (**Figura 60**). Esto se hace con el fin que el concreto se adhiera de forma adecuada tanto al hierro como al concreto de las pantallas ya lanzadas y de esta forma evitar que se desplome[47]

[44] Ibíd.
[45] Ibíd.
[46] Ibíd.
[47] Ibíd.

Figura 60. Limpieza de concreto

Fuente: PyP Ltda

Para controlar los afloramientos de agua encontrados en las superficies donde se aplica el concreto lanzado se deben instalar lloraderos, generalmente en tubería PVC de 2” (**Figura 61**).

Figura 61. Instalación de lloraderos

Fuente: PyP Ltda

Para obtener un adecuado lanzado, se requiere que el lanzador sostenga la boquilla a 90° (perpendicular) respecto a la superficie a lanzar y de esta forma

aumentar la velocidad de impacto (**Figura 62**). Si se lanza en un ángulo diferente a 90° a la superficie se aumentan los rebotes y las salpicaduras y se reduce la compactación del concreto[48].

Figura 62. **Concreto lanzado para pantallas ancladas**

Fuente: PyP Ltda

Para lanzar superficies verticales se pueden utilizar los siguientes métodos:

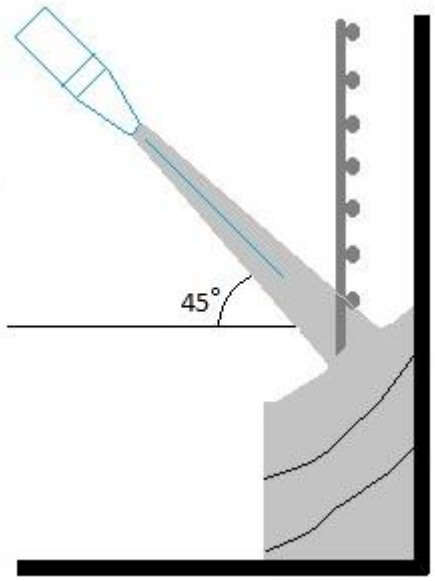
Concreto embancado:

Es el método más usado cuando se requieren espesores grandes. Consiste en comenzar el lanzado desde la base, con el fin de crear un buen soporte para que aguante el peso del concreto fresco[49]

[48] Ibíd.
[49] Ibíd.

La boquilla se dirige a 45° hacia la esquina formada entre la pared y el piso, para que el material forme una pendiente que permita que el rebote salga; el flujo de la boquilla se mantiene perpendicular a la superficie ya lanzada (**Figura 63**)[50]

Figura 63. Concreto lanzado embancado



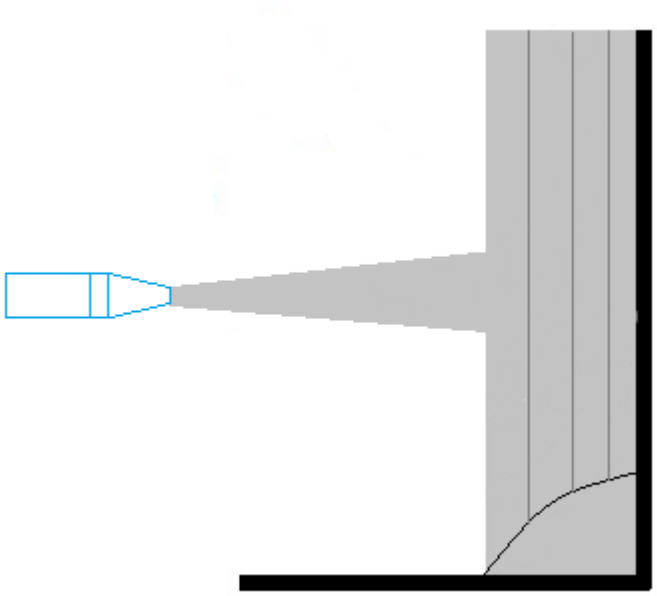
Fuente: DUFOUR, J. F. Concreto lanzado para el artesano (CCS-4). Michigan: Farmington Hills. 2012

Capas Verticales:

Consiste en llenar la pared con varias capas delgadas verticales, una sobre otra; cada una de las capas se va soportando con la adhesión de la capa anterior. El concreto se debe colocar desde la parte inferior hacia arriba (**Figura 64**)[51]

[50] Ibíd.
[51] Ibíd.

Figura 64. Concreto lanzado en capas verticales



Fuente: DUFOUR, J. F. Concreto lanzado para el artesano (CCS-4). Michigan: Farmington Hills. 2012

En la **Figura 65** se observa la pantalla debidamente terminada con pernos.

Figura 65. Pantalla anclada con pernos tipo gancho

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

Para apoyar la cabeza de los anclajes o pernos, se realizan estructuras en concreto tales como tipo cuña **(Figura 66-a**), viga rígida (**Figura 66-b)** y tipo zapata **(Figura 66-c)**.

Cada una de estas estructuras permite apoyar las platinas, de forma tal que éstas formen un ángulo de 90° con los anclajes o pernos y de esta forma permitir la adecuada transferencia de cargas.

Figura 66. Estructuras en concreto para apoyo de las platinas

66 (a) **66 (b)** **66 (c)**

Con el fin de verificar los espesores de las pantallas ancladas, se recomienda extraer núcleos de 1” o 2” de diámetro, con una densidad de 3 extracciones por cada 100 m^2 de pantalla lanzada (**Figura 67** y **Figura 68**).

Figura 67. Extracción de núcleos en las pantallas

Fuente: PyP Ltda

Figura 68. Núcleo extraído de una pantalla anclada

Fuente: PyP Ltda

- **Tensionamiento de anclajes:**

Este proceso debe realizarse una vez la lechada alcance la resistencia requerida en el proyecto.

Para los anclajes pasivos (pernos), se utiliza una llave para prensar la tuerca contra la placa, de tal forma que la armadura quede tensada desde el primer momento[52]

Para los anclajes activos (con cables o torones) se utilizan gatos hidráulicos (**Figura 69**)[53]

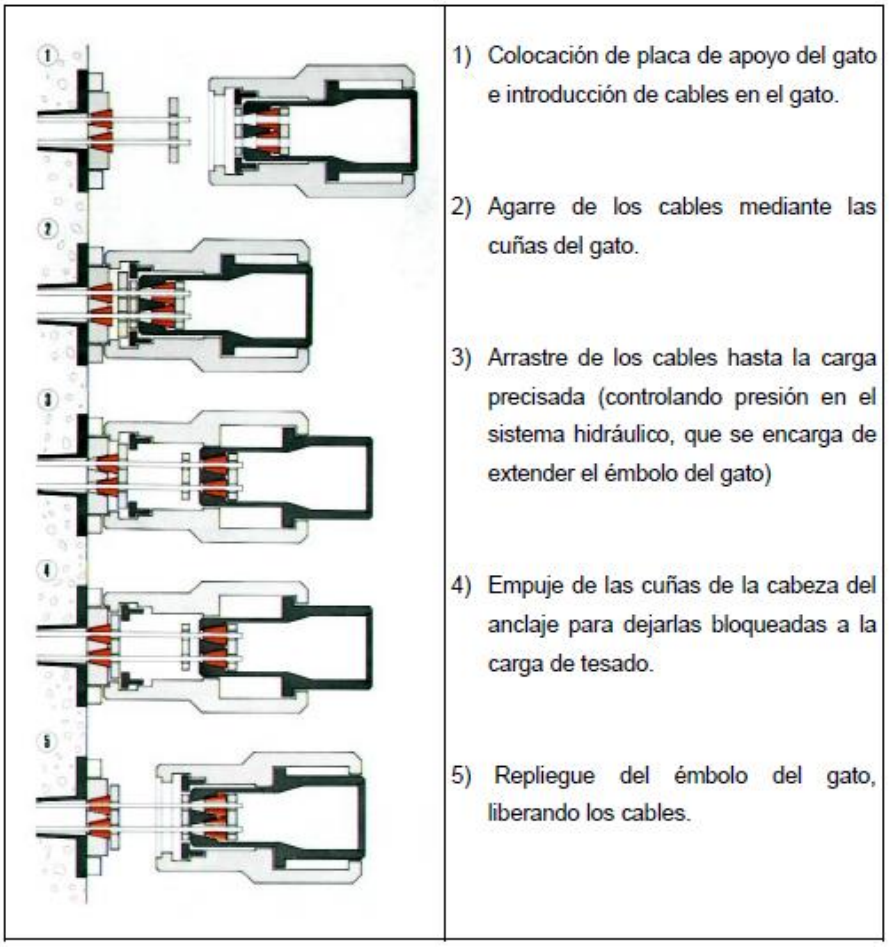
Figura 69. Tensionamiento de anclajes con gato hidráulico

Fuente: PyP Ltda

En la **Figura 70** se muestra el procedimiento requerido para llevar a cabo el tensionamieto de los anclajes.

[52] Murillo Op. Cit.
[53] Ibíd.

Figura 70. Procedimiento para llevar a cabo el tensionamiento de anclajes



Fuente: Auscultación y corrección de inestabilidad de taludes de carreteras y ferrocarriles, 2010

Generalmente, el proceso de tensionamiento se lleva a cabo en una o varias etapas, de acuerdo a los siguientes porcentajes:

Tensionamiento al 100%: Este tensionamiento se lleva a cabo en una única etapa, es decir, los anclajes se tensionan a su carga total de diseño.

Tensionamiento al 50%50%: En este caso los anclajes se tensionan en dos etapas; en la primera los anclajes se tensionan al 50% de la carga de diseño; en la segunda etapa se tensiona el anclaje al 100% de la carga de diseño, no sin

antes haber realizado el tensionamiento al 50% de la carga de diseño al anclaje que se encuentra en el nivel inferior.

Tensionamiento al 50%-25%-25%: Los anclajes se tensionan en tres etapas; en la primera se aplica el 50% de la carga de diseño, en la segunda el 25% y por último se aplica el 25% restante de la carga.

Una vez se termina la construcción de todos los anclajes de la primera fila o primer nivel, y cuando ya se ha realizado el tensionamiento de los mismos, se procede a realizar la excavación de las trincheras de la siguiente fila, siguiendo cada uno de los pasos descritos anteriormente hasta llegar al nivel inferior de la excavación.

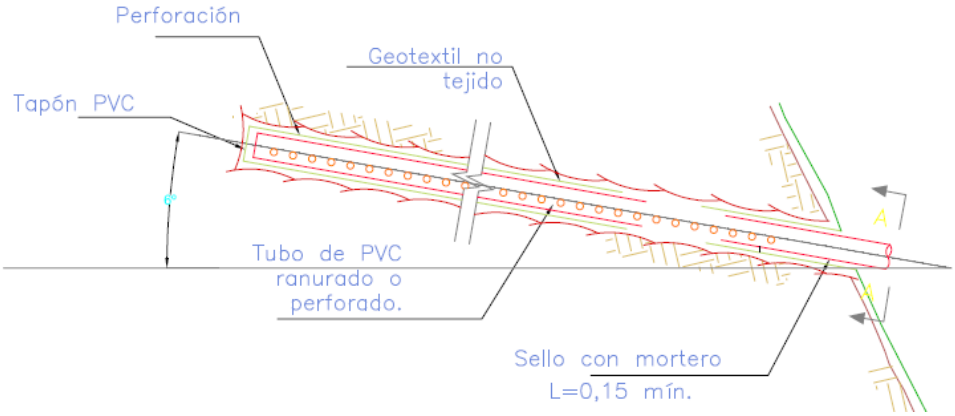
Obras de subdrenaje:

Estas obras son de vital importancia ya que permiten disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten, a menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor; así mismo, eliminan las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes y mejoran el factor de seguridad de las superficies de falla por debajo del nivel de agua.

- **Subdrenes de penetración.**

Para llevar a cabo la construcción de un subdren, se realiza una perforación ligeramente inclinada, con la cual se busca abatir el nivel freático; una vez realizada la perforación, se instala la tubería pcv ranurada o perforada, cubierta con geotextil no tejido (**Figura 71**).

Figura 71. Detalle subdren de penetración



Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

La tubería se puede ranurar en sentido transversal o perforar con agujeros circulares (generalmente con diámetros de 5 a 1.5 mm) con una densidad de 15 a 30 agujeros por metro de tubería.

Los subdrenes de penetración permiten grandes abatimientos de los niveles freáticos (**Figura 72**).

Figura 72. Subdren de penetración en funcionamiento

Fuente: PyP Ltda

- **Geodrén planar**

El geodren permite captar, conducir y evacuar los fluidos de una manera rápida y eficiente, incrementando los rendimientos en los procesos de construcción. Entre más rápido se capten las aguas en las obras civiles, se garantizará una mayor duración de éstas. El exceso de agua en los suelos afecta sus propiedades geomecánicas, los mecanismos de transferencia de carga, incrementos de presiones de poros, subpresiones de flujo, presiones hidrostáticas y afecta la susceptibilidad a los cambios volumétricos.

En las pantallas ancladas, se utiliza el goedren cuando existe gran cantidad de agua en la superficie del talud la cual impide que el concreto se adhiera a éste (**Figura 73**).

Una vez el geodren capta el agua, ésta debe ser transportada por medio de tuberías con el fin de evacuarlas y de esta forma impedir que el agua captada se re-infiltre.

Figura 73. Instalación de geodren planar

Fuente: PyP Ltda

Micropilotes:

Los micropilotes se usan frecuentemente para solucionar problemas de cimentación o recalces. La ejecución de un micropilote normalmente comprende la realización de las siguientes operaciones básicas, que se ilustran en la **Figura 74**:

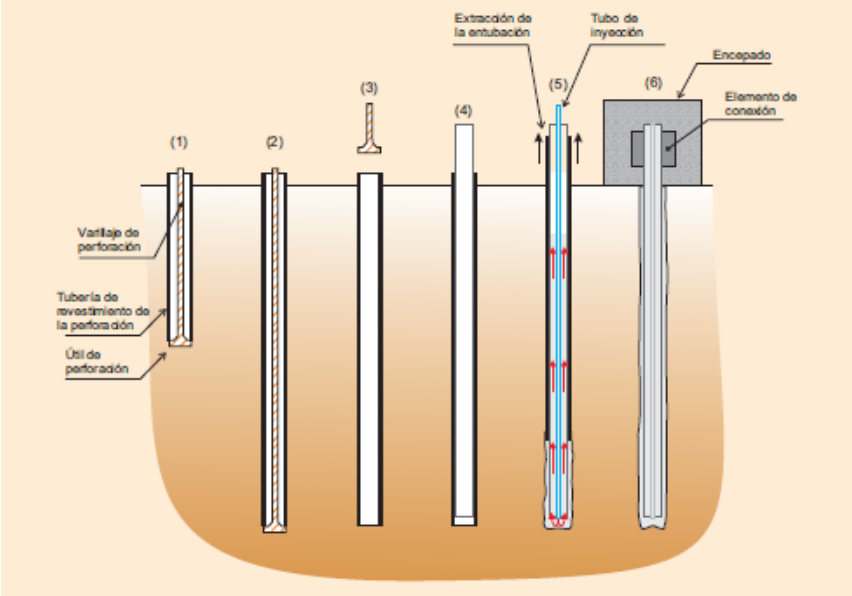
- Perforación del micropilote (Pasos 1, 2 y 3).
- Instalación de armadura (Paso 4)
- Inyección del micropilote (Paso 5)
- Conexión con la estructura o con el resto de micropilotes (Paso 6).

- **Perforación**

El diámetro del agujero debe garantizar el recubrimiento mínimo de la armadura tubular a lo largo del micropilote.

Para realizar estas perforaciones se utilizan máquinas de rotación o roto-percusión. La rotación consiste en provocar la rotura del terreno o de los materiales a perforar (en caso de cimentaciones existentes); es recomendable este método para atravesar cimentaciones antiguas ya que provoca menores vibraciones que la roto-percusión; en general, se efectúa con barrenas helicoidales o triconos.

Figura 74. Secuencia típica en la construcción de micropilotes



Fuente: Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, 2005

Figura 75. Maquinaria utilizada para la perforación de micropilotes

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

La perforación a roto-percusión consiste en provocar la trituración de los materiales a perforar por fricción y percusión de forma conjunta; se emplean martillos de fondo o de cabeza.

En la **Figura 75** se muestra un equipo con una barrena helicoidal, la cual permite extraer el terreno al mismo tiempo que se perfora.

- **Instalación de armadura**

Después de finalizar las perforaciones se procede a comprobar que toda la longitud del agujero esté libre de obstáculos y limpio de cualquier material o cuerpo extraño que impida la instalación de la armadura.

Posteriormente, se instala la armadura garantizando su correcta colocación para asegurar el recubrimiento mínimo frente a la corrosión (**Figura 76**).

Figura 76. Armadura del micropilote instalada

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

- **Inyección de micropilotes**

Los parámetros de inyección (presión, caudal etc) deben definirse en el proyecto. El tiempo transcurrido entre la perforación, instalación de armadura e inyección, deberá realizarse en el menor tiempo posible, se recomienda que en ningún caso sea mayor de 24 horas.

a. Inyección previa:

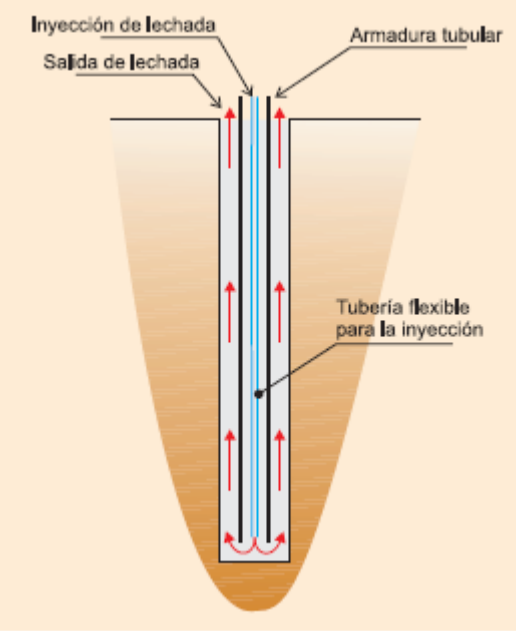
Se usa cuando las pérdidas por inyección se prevén elevadas, es decir, que sean superiores a 2.5 ó 3.0 el volumen teórico de inyección; esta se realiza con lechada o mortero.

b. Inyección global única (IU):

Se efectúa en una sola fase, se rellena la parte comprendida entre el agujero perforado y la armadura del micropilote y el interior de ésta. La inyección se realiza desde la punta a la cabeza del micropilote y se puede realizar por dos métodos; el primero consiste en realizar la inyección a través de un tubo plástico colocado en el fondo de la perforación, produciéndose el ascenso de la lechada tanto por el interior como por el exterior de la armadura (**Figura 77**).

El segundo método consiste en inyectar directamente la lechada o mortero por el interior de la armadura con el fin de rellenar tanto el agujero entre ésta y el terreno, como el interior de la armadura.

Figura 77. Inyección tipo IU



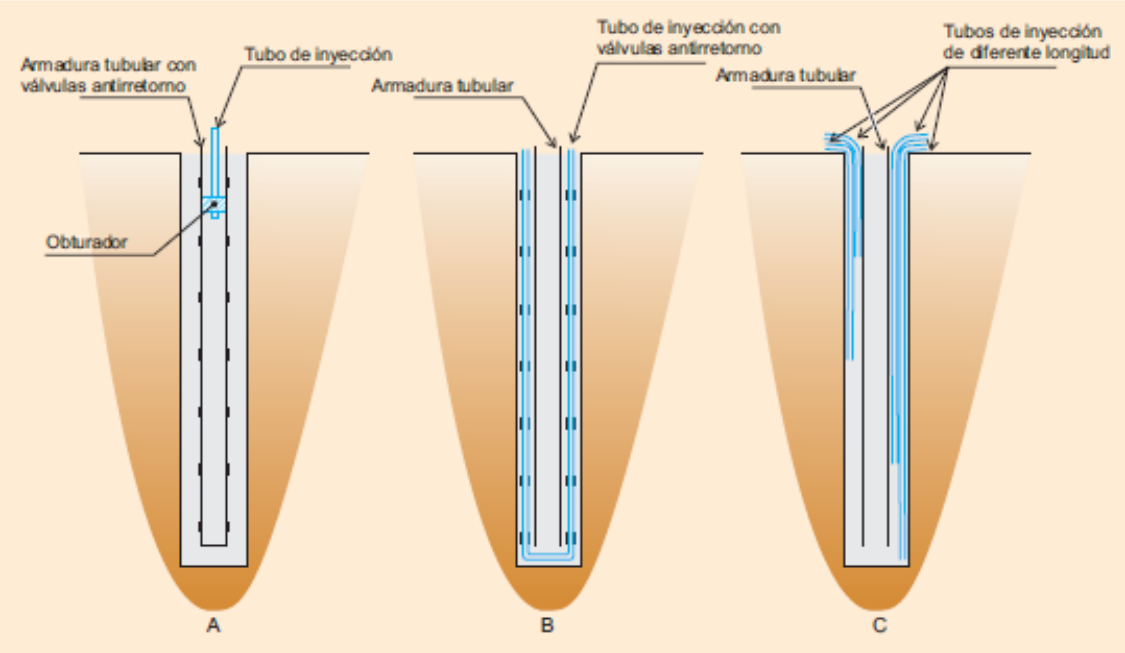
Fuente: Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, 2005

c. Inyección repetitiva (IR):

La inyección se realiza en dos fases; primero se rellena el agujero perforado con lechada en la forma ya descrita en la inyección tipo IU, posteriormente se realiza la reinyección de acuerdo a:

- Mediante la propia tubería que sirve de armadura y que se encuentra provista de válvulas antirretorno en la zona a reinyectar (**Figura 78-A**).
- Mediante un tubo o circuito con válvulas antirretorno de efecto simultáneo, instalado en el espacio entre el terreno y la armadura (**Figura 78-B**).
- A través de conductos (generalmente de plástico) de longitudes variables que lleguen a diferentes alturas de los micropilotes, colocados por el exterior de la armadura y por los cuales se inyecta la lechada (**Figura 78-C).**

Figura 78. Inyección tipo IR



Fuente: Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, 2005

- **Conexión de los micropilotes**

Una vez están construidos los micropilotes, se procede a la conexión de éstos mediante una viga o estructura similar.

Figura 79. Conexión de micropilotes mediante una viga

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

3.3.3 Ensayos de Laboratorio de Materiales

En el presente capítulo se presentan los ensayos normativos que se requieren para el proceso de control de calidad de los principales materiales y/o procesos implementados en la construcción de pantallas ancladas, en el cual se presentan los procedimientos y criterios de aceptación para el anclaje, la lechada y el concreto, siendo los materiales principales para realizar el control y verificación, los cuales deben ser realizados e inspeccionados por personal competente e idóneo.

Anclajes

Para realizar el control de calidad de los anclajes se consideran fundamentalmente tres tipos de ensayo:

- **Ensayos de Investigación:** Se recomiendan de forma previa a los anclajes previstos para la obra “cuando los anclajes se utilicen en condiciones de terreno que no haya sido objeto de ensayos previos, o cuando las cargas de servicio son superiores a las adoptadas en condiciones de terreno similares”. Los objetivos de este ensayo son:
  - Obtener la resistencia del anclaje (arrancamiento)
  - Obtener la resistencia crítica de fluencia, o la fluencia bajo diferentes cargas, o las pérdidas de carga bajo la carga de servicio.
  - Obtener la longitud libre equivalente.

- **Ensayos de Adecuación:** Se realizan en algunos anclajes de la obra para confirmar que se han logrado los requisitos marcados por las pruebas previas (se recomienda realizar en mínimo 3 unidades), los cuales tienen la finalidad de:
  - Comprobar la capacidad del anclaje para soportar una carga de prueba determinada.
  - Verificar la fluencia o las pérdidas de carga para dicha carga de prueba.
  - Comprobar la longitud libre equivalente.

- **Ensayos de Aceptación:** Se realizan para cada anclaje y sirven para dar validez a cada uno de los anclajes ejecutados, este ensayo tiene por objeto:
  - Comprobar la capacidad del anclaje para soportar una carga de trabajo determinada.
  - Verificar la fluencia o las pérdidas de carga para dicha carga de trabajo.
  - Comprobar la longitud libre equivalente.

  El seguimiento y evaluación de todos los ensayos debe ser efectuado por personal competente especializado en técnicas de anclajes.

- **Prueba de Carga**

De acuerdo a las recomendaciones de la FHWA-99 se deben realizar pruebas de carga en un total de mínimo el 2% de los anclajes construidos en el proyecto, de forma tal que se considera necesario que el Contratista cumpla con este requerimiento. Las pruebas de carga se realizaran aleatoriamente en los anclajes construidos, seleccionándolos concertadamente con la Interventoría y se realizarán como mínimo 7 días después de realizar la reinyección, para asegurar el adecuado fraguado de la lechada.

Las pruebas de carga consisten en realizar ciclos incrementales de carga y descarga sobre una porción de la producción total de los anclajes construidos. Esta prueba se realiza con el fin de verificar la capacidad del anclaje, comportamiento carga deformación del elemento, identificar causas de movimientos y verificar la longitud libre de diseño.

Equipos requeridos

Los equipos requeridos y las condiciones necesarias para que una prueba sea válida son las siguientes:

- Dial de desplazamiento capaz de registrar movimientos de 0.025 mm para medir los movimientos del anclaje. El recorrido del dial deberá ser tal que se garantice el registro de las elongaciones elásticas teóricas del tendón bajo la carga máxima de prueba, de manera que el desplazamiento se pueda medir sin necesidad de resetear el instrumento.

- Un gato multitorón y una bomba hidráulica capaz de aplicar la máxima carga de prueba. El gato y el dial de presión deberán estar debidamente calibrados

para poder ser usados. El certificado de calibración deberá estar vigente y no deberá ser inferior a 6 meses. Las pruebas no iniciarán hasta tanto la Interventoría tenga los datos de calibración.

- El equipo de tensionamiento deberá ser puesto en el sitio de manera tal que el gato, las platinas y las celdas de carga queden axialmente alineadas con el tendón y que el tendón este centrado con respecto al equipo.

- Las pruebas se deben realizar siempre con la presencia de alguno de los especialistas o del residente de la Interventoría.

El procedimiento a realizar para el desarrollo de la prueba es el siguiente:

1. Inicialmente, se aplica una carga nominal al tendón. Esta carga se denomina carga de alineamiento (AL) y normalmente no es mayor al 10% del valor de la carga de diseño y su propósito es garantizar que el tensionamiento y el equipo este correctamente alineados. El dial de desplazamiento se pone en cero luego que se aplica la carga de alineamiento. Para el primer ciclo de carga, la carga se incrementa hasta el 25% de la carga de diseño y se registra el desplazamiento producido por la carga aplicada. La carga se reduce hasta la carga de alineamiento.

2. Este procedimiento se repite, usando los incrementos de carga que se presentan en la **Tabla 14**, hasta que se alcanza la máxima carga de prueba. Dado que los anclajes están diseñados para estar de forma permanente en el talud del dique, se recomienda que la prueba alcance una carga máxima del 130% de la carga de diseño.

3. La carga máxima de prueba se mantiene durante 10 minutos antes de reducir la carga a la carga de diseño. Durante estos 10 minutos se registran los movimientos a 1, 2, 3, 4, 5,6 y 10 minutos. El propósito de sostener la carga

durante 10 minutos es el de medir los desplazamientos dependientes del tiempo. Esta parte del ensayo se conoce como ensayo de creep.

4. Si el movimiento total entre 1 y 10 minutos excede 1 mm el ensayo se debe prolongar durante 50 minutos adicionales registrando los desplazamientos a 20, 30,40 y 60 minutos. Si durante los siguientes 50 minutos los desplazamientos totales no superan los 2 mm, el anclaje será aceptado y se procede a fijar la carga al valor del diseño.

5. En caso de no cumplir con este criterio, el anclaje no será aceptado y se debe informar de forma inmediata al diseñador quien debe presentar un plan de contingencia avalado por la Interventoría previa al inicio de los trabajos de perforación.

Tabla 14. **Pasos para realizar las pruebas de carga**

Paso	**Ciclo**	**Carga Aplicada**	**Movimiento Total (δ_{ti})**	**Movimiento Residual (δ_{ri})**	**Movimiento Elástico (δ_{ei})**
1	Aplicación de la carga de alineamiento (AL)				
2	Ciclo 1	0.25DL	δ_{t1}		
		AL		δ_{r1}	$\delta_{t1} - \delta_{r1} = \delta_{e1}$
3	Ciclo 2	0.25 DL	δ_2		
		0.50DL	δ_{t2}		
		AL		δ_{r2}	$\delta_{t2} - \delta_{r2} = \delta_{e2}$
4	Ciclo 3	0.25 DL	δ_3		
		0.50DL	δ_3		
		0.75DL	δ_{t3}		
		AL		δ_{r3}	$\delta_{t3} - \delta_{r3} = \delta_{e3}$
5	Ciclo 4	0.25 DL	δ_4		
		0.50DL	δ_4		

Paso	Ciclo	Carga Aplicada	Movimiento Total (δ_{ti})	Movimiento Residual (δ_{ri})	Movimiento Elástico (δ_{ei})
		0.75DL	δ_4		
		1.00DL	δ_{t4}		
		AL		δ_{r4}	$\delta_{t4} - \delta_{r4} = \delta_{e4}$
6	Ciclo 5	0.25 DL	δ_5		
		0.50DL	δ_5		
		0.75DL	δ_5		
		1.00DL	δ_5		
		1.20DL	δ_{t5}		
		AL		δ_{r5}	$\delta_{t5} - \delta_{r5} = \delta_{e5}$
7	Ciclo 6	0.25 DL	δ_6		
		0.50DL	δ_6		
		0.75DL	δ_6		
		1.00DL	δ_6		
		1.20DL	δ_6		
		1.30DL	δ_{t6}		
8	Se sostiene durante 10 minutos la carga máxima, mientras se registran los movimientos en tiempos específicos. Si el desplazamiento medido durante los 10 minutos excede el máximo especificado, se deberá extender el ensayo por 60 minutos adicionales.				
9	Si el criterio de desplazamiento se satisface, se ajusta el anclaje a la carga de diseño.				
Notas: AL= carga de alineación, DL= carga de diseño					

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

Criterios de aceptabilidad

Para la aceptabilidad de los elementos de anclaje, se deberán cumplir criterios de creep y de desplazamientos elásticos. A continuación se establecen los criterios:

- Criterio de aceptación por creep

Para las pruebas de carga, el movimiento total medido para la máxima carga de prueba no debe exceder 1 mm entre 1 y 10 minutos. Si los movimientos son menores de 1 mm en este período, el anclaje se considera aceptado con respecto al creep. Si el movimiento se excede el criterio descrito anteriormente, se deberá sostener la carga por un tiempo adicional de 50 minutos. Si el movimiento total durante el tiempo adicional se excede 2 mm, entonces el anclaje no se considera aceptable con respecto al creep.

- Criterio de longitud libre

La longitud libre aparente es la base para evaluar la aceptación del anclaje con respecto a los movimientos elásticos. La longitud libre se define como la longitud del tendón que no está adherida al suelo o al grout del bulbo. La longitud libre aparente (La), se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L_a = \frac{A_t E_s \delta_e}{P} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde A_t es el área transversal del tendón, E_s el módulo de elasticidad del acero que se va a utilizar en los tendones según diseños aprobados, δ_e es el movimiento elástico medido para la carga de prueba y P es la carga de prueba menos la carga de alineamiento (P=1.30DL - AL).

La longitud libre aparente (L_a) debe cumplir con el siguiente criterio:

$$0.80L_L + L_J \leq L_a \leq L_L + 0.50L_b + L_J$$

Donde L_L es la longitud libre del anclaje, L_J es la longitud medida desde la platina hasta la cabeza del gato hidráulico y L_b es la longitud del bulbo.

Considerando los datos del diseño y la definición de la ecuación 1, se pueden establecer los rangos admisibles de desplazamientos elásticos que determinan el criterio de aceptabilidad.

En la **Tabla 15** se presentan los datos para los cuales se calculan los rangos de aceptación. De acuerdo con los datos del diseño se considera que las elongaciones deben estar entre 50 y 90 mm para considerar aceptado un anclaje por criterio de movimientos elásticos. En caso de no cumplir con este criterio, el anclaje no será aceptado y se debe informar de forma inmediata al diseñador quien debe presentar un plan de contingencia avalado por la Interventoría previa al inicio de los trabajos de perforación.

Tabla 15. Criterios de aceptación por desplazamientos elásticos.

DESPLAZAMIENTOS ADMISIBLES		
A_t	(mm^2)	380
E_s	(Gpa)	200
DL	(kN)	200
AL	(kN)	20
P	(kN)	240
L_L	(m)	20
L_b	(m)	15
Ll	(m)	0,3
La_{min}	(m)	16,3
La_{max}	(m)	27,8
δ_{max}	(m)	51
δ_{min}	(m)	88

Fuente: E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos. Bucaramanga, Santander. 2015

- **Pruebas extendidas de creep**

Sobre los cuatro (4) anclajes que se tienen contemplados para la realización de pruebas destructivas se recomienda realizar como mínimo dos ensayos de creep extendido de manera que se pueda evaluar el efecto de relajación en los materiales arcillosos.

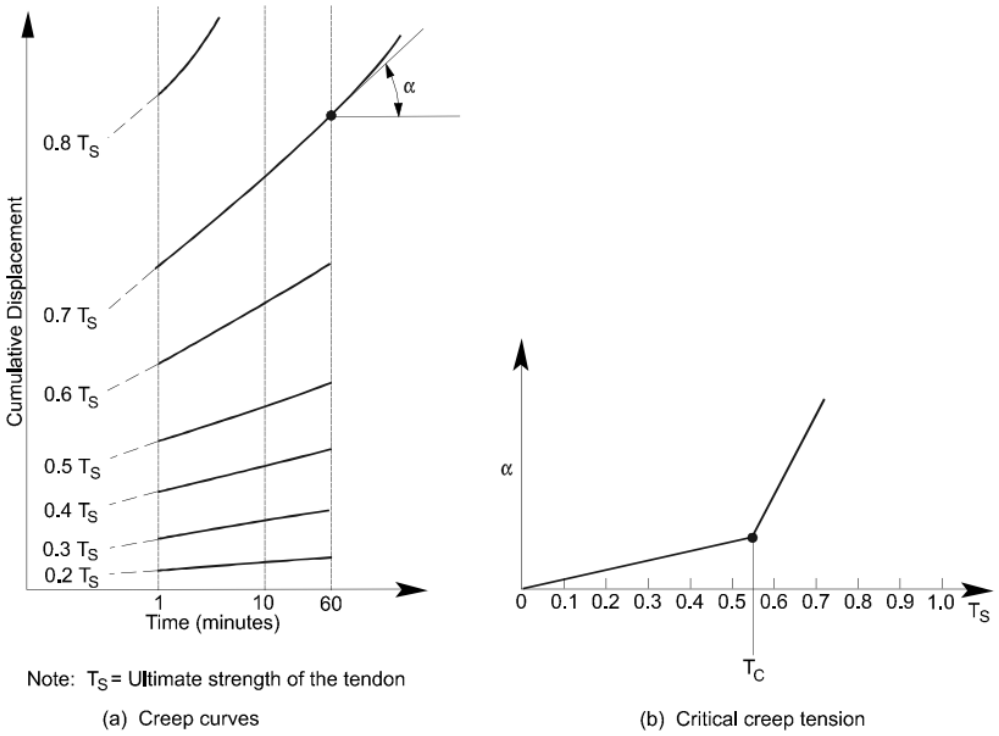
Equipos requeridos para Creep extendido

Se deberán suministrar los mismos equipos especificados anteriormente para las pruebas de carga y adicionalmente se debe proveer una celda de carga adecuada para realizar este ensayo.

La prueba consiste en cargar el anclaje en incrementos de carga iguales al 10% de la capacidad máxima del tendón (Ts) hasta alcanzar una carga máxima igual al 80% de la capacidad máxima del tendón (0.80Ts).

Cada incremento de carga se debe mantener constante durante un período de 1 hora, registrando los desplazamientos a 1, 2, 5, 10, 20,30 y 60 minutos. En la **Figura 80** se presenta de forma esquemática las curvas de creep construidas con la información recopilada en las pruebas.

Figura 80. Presentación de ensayo de creep



Criterios de aceptabilidad para Creep extendido

Una vez registrados los movimientos a diferentes intervalos de tiempo para los diferentes niveles de carga, se construye una curva semilogaritmica en la cual se presentan los desplazamientos acumulados en las ordenadas y el tiempo de registro en las abscisas (en escala logarítmica).

A partir de esta figura se calculan las tasas de deformación como la pendiente de las curvas para cada incremento de carga y finalmente se grafican de manera independiente donde se aprecie la tendencia de la tasa de deformación en función del nivel de carga aplicado.

Si el anclaje presenta fluencia por creep, se debe distinguir claramente un punto de inflexión a partir del cual se empieza a aumentar la tasa de deformación. El punto de inflexión se conoce como la carga máxima de tensión por creep y constituye un límite de carga para el anclaje.

El anclaje se considera aceptable cuando el elemento resiste la carga máxima de prueba sin exceder una tasa de deformación de 2 mm en el último ciclo logarítmico de tiempo. En caso de no cumplir con este criterio, el anclaje no será aceptado y se debe informar de forma inmediata al diseñador quien debe presentar un plan de contingencia avalado por la Interventoría previa al inicio de los trabajos de perforación[54].

Lechada

Es una mezcla de inyección compuesta por cemento, agua y eventualmente aditivos, para garantizar la calidad de la lechada ésta debe tener las siguientes propiedades:

- Ausencia de agentes agresivos
- Fluidez suficiente durante la inyección
- Buena estabilidad (baja exudación)
- Retracción moderada
- Resistencia mecánica
- Baja absorción capilar

Para realizar el control de calidad de la lechada de cemento en la construcción de anclajes comúnmente se realizan las siguientes pruebas:

- Ensayo de fluidez. INVE 325-07
- Ensayo de exudación y variación de volumen. INVE 322-07

[54] E.D.INGEOTECNIA S.A.S. Op. Cit.

- Ensayo de resistencia a la Compresión. INVE 323-07

Las lechadas de cemento utilizadas en la protección anticorrosión en contacto con las armaduras, deberán tener una dosificación agua/cemento (a/c) no superior a 0,4 para limitar el agua libre.

Las lechadas empleadas en la formación del bulbo, dependiendo de las características del terreno, se dosificarán con una relación agua/cemento (a/c) comprendida entre 0,4 y 0,6, salvo indicación contraria del Director de las Obras.

Previa autorización del Director de las Obras, y siempre que no sean dañinos al tirante y a la inyección, se podrán utilizar aditivos para aumentar la manejabilidad y compacidad de la lechada, para reducir el agua libre y la retracción y para acelerar el fraguado. No deben contener más de un 0,1% en peso de cloruros, sulfatos o nitratos.

Si fuera necesario, y para limitar las pérdidas en la perforación, se podrá incorporar arena a las lechadas de cemento. En este caso debe ensayarse previamente la mezcla para estudiar su inyectabilidad.

- **Fluidez de Morteros de Cemento Hidráulico (I.N.V.E – 325 – 07)**

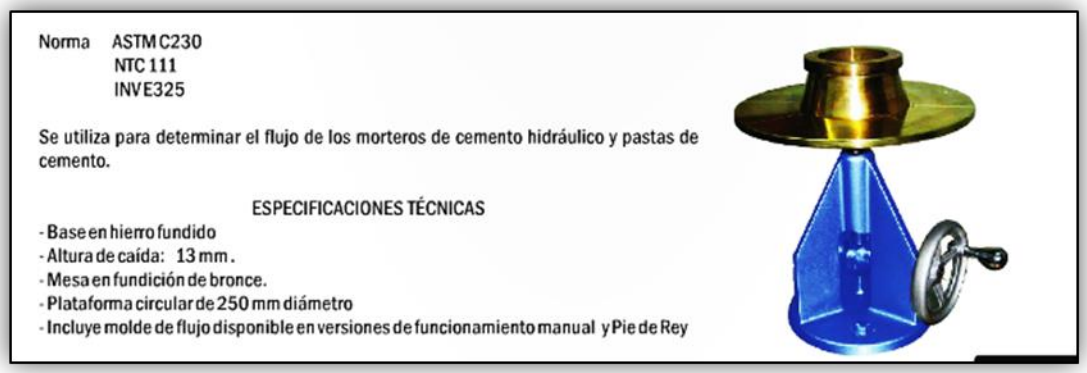
Esta norma describe el método a emplear para la determinación de la fluidez de morteros de cemento hidráulico utilizando la mesa de flujo.

Equipos Requeridos

Los equipos requeridos y las condiciones necesarias para que una prueba sea válida son las siguientes:

Mesa de Flujo: El aparato debe constar de un soporte de hierro rígido vaciado integralmente y una plataforma circular rígida de (250 ± 2,5) mm de diámetro, con un eje roscado unido perpendicularmente a la mesa. La plataforma con el eje rígidamente unido a ella debe montarse en el soporte de tal forma que pueda bajar y subir verticalmente a través de una de una altura de 13 mm, con una tolerancia en la altura de ± 0,13 mm para mesas nuevas, y ± 0,39 mm para mesas en uso, por medio de una leva giratoria. La cara de la plataforma debe ser plana y pulida, libre de defectos superficiales. La plataforma debe ser fundida de latón o bronce, con una dureza Rockwell no menor de 25 HRB, con un borde de 8 mm de espesor, y debe tener en su cara inferior seis refuerzos radiales integrales. La plataforma y el eje unido a ella, deben pesar 4,1 kg ± 0,05 kg y el peso debe ser simétrico alrededor del centro del eje.

Figura 81. Especificaciones Mesa de Flujo Manual



Fuente: PINZUAR LTDA. (19 de 05 de 2015). PINZUAR LTDA. Obtenido de http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=category&Itemid=152&lang=es

Leva y Eje vertical: Deben ser de acero para maquinaria de medio carbón endurecido, donde se indica en la Figura 72 y Figura 73**.** El eje debe ser recto y la diferencia entre el diámetro del eje y el diámetro del agujero del soporte no debe ser menor de 0,05 mm ni mayor de 0,08 mm para mesas nuevas, y se debe

mantener entre 0,05 mm y 0,25 mm para mesas en uso. El extremo del eje no debe recaer sobre la leva al final de la caída, pero debe estar en contacto con ésta, a no menos de 120° del punto de caída. La cara de la leva debe ser una curva suave en espiral de radios uniformemente incrementados de 13 mm a 32 mm en 360°, y no debe haber choque apreciable a medida que el eje entre en contacto con la leva. La leva debe estar colocada de tal forma, y las caras de contacto de la leva y el eje deben ser tales, que la plataforma no rote más de una revolución en 25 caídas. Las superficies del soporte y de la plataforma que entran en contacto al final de la caída, se deben mantener suaves, planas, horizontales y paralelas con la superficie superior de la plataforma, y deben tener contacto continuo sobre un ángulo total de 360°.

Base de soporte de la Mesa de Flujo: Debe ser de hierro fundido de alta resistencia grano fino y debe tener tres refuerzos integrales, que se extiendan en la altura total del soporte, colocados con un distanciamiento de 120°. El extremo superior del soporte debe ser templado hasta una profundidad de aproximadamente 6,4 mm. La cara debe ser plana, pulida, y perpendicular al agujero para lograr un contacto de 360°con la contratuerca del eje. La cara inferior de la base del soporte debe ser maquinada para asegurar un contacto completo con la placa inferior de acero.

La mesa de flujo debe ser manejada por un motor de 37.3 W conectado al eje de leva a través de un engranaje cerrado de un tornillo sin fin, reductor de velocidad y empalme flexible. La velocidad del eje de leva debe ser de aproximadamente 100 r.p.m. El mecanismo conductor del motor no debe ser fijado o montado sobre la placa de base de la mesa o el soporte.

Montaje de la mesa de flujo: El soporte de la mesa de flujo debe estar atornillado a una placa cuadrada de hierro o acero fundido, de por lo menos 25 mm de espesor y 250 mm de lado. La superficie superior de esta placa debe ser

maquinada para conseguir un acabado plano y liso. La placa debe estar anclada al extremo superior de un pedestal de concreto, mediante cuatro pernos de 13 mm que pasen a través de la placa y estén embebidos por lo menos 150 mm en el pedestal. El pedestal debe ser moldeado invertidamente sobre la placa de base. Se debe obtener contacto en todos los puntos entre la placa de base y el pedestal. No se deben utilizar tuercas u otros dispositivos de nivelación entre la placa y el pedestal. La nivelación debe ser efectuada por medios adecuados bajo la base del pedestal.

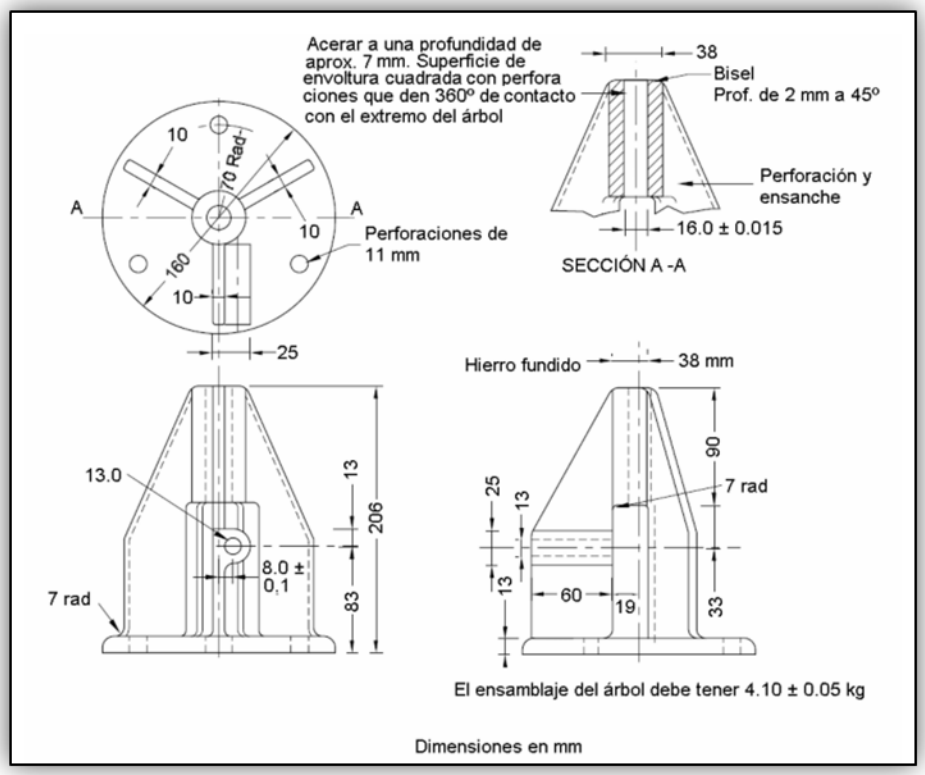
Molde, Calibrador y Compactador: El molde debe ser de bronce, latón o cobre fundido, construido tal como se muestra en la **Figura 84**. La dureza Rockwell de dureza del metal no debe ser menor de 25 HRB. La altura debe ser de 50 mm ± 0,5 mm. El diámetro de la abertura superior debe ser de 70 mm ± 0,5 mm para moldes nuevos y 70 mm +1,3 mm y -0,5 mm para moldes en uso. El diámetro de la abertura inferior debe ser de 100 mm ± 0,5 mm para moldes nuevos y de 100 mm + 1,3 mm y -0,5 mm para moldes en uso. Las superficies de la base y la tapa deben ser paralelas y en ángulo recto con respecto al eje vertical del cono. El molde debe tener una pared con un espesor mínimo de 5 mm. El borde exterior del extremo superior del molde debe ser formado para suministrar un cuello integral para levantar convenientemente el molde. Todas las superficies deben ser maquinadas hasta lograr un acabado suave. En la base del molde se debe utilizar un protector circular de aproximadamente 250 mm de diámetro, con una abertura central de aproximadamente 100 mm de diámetro, hecho de un material no absorbente, no atacable por el cemento; con el objeto de prevenir que el mortero se caiga sobre la plataforma.

Se debe tener un calibrador, conforme al diseño y las dimensiones mostradas en la **Figura 84**, para medir el diámetro del mortero después de que éste se haya esparcido debido a la operación en la mesa. Las divisiones deben realizarse mecánicamente y su calibración debe efectuase de tal forma que cuando el índice

del calibrador marque cero, la distancia entre sus topes de medida debe ser de 102 mm ± 0,25 mm.

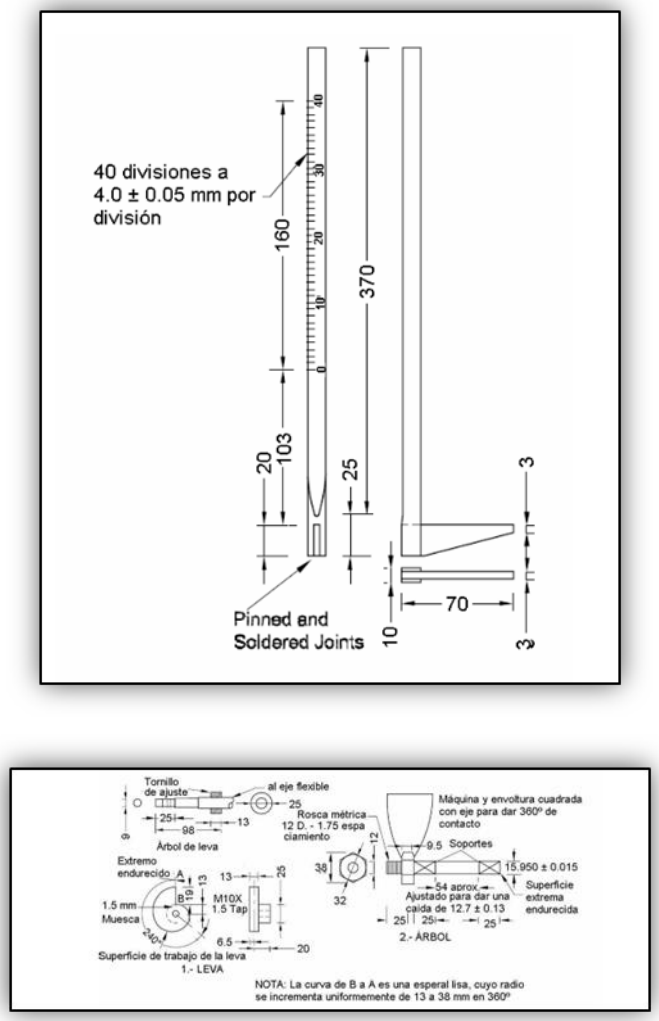
El compactador debe hacerse de un material que no sea absorbente, abrasivo, ni quebradizo como, por ejemplo, el caucho de dureza shore A 80 ± 10; también puede usarse roble curado que no presente absorción después de haber sido sumergido en parafina, a unos 200°C, durante 15 min. La sección transversal del compactador debe ser de 13 mm por 25 mm y su extremo debe ser plano y normal al eje. La sección debe estar entre 120 mm y 150 mm.

Figura 82. Leva, Árbol y Plataforma (Dimensiones en mm).



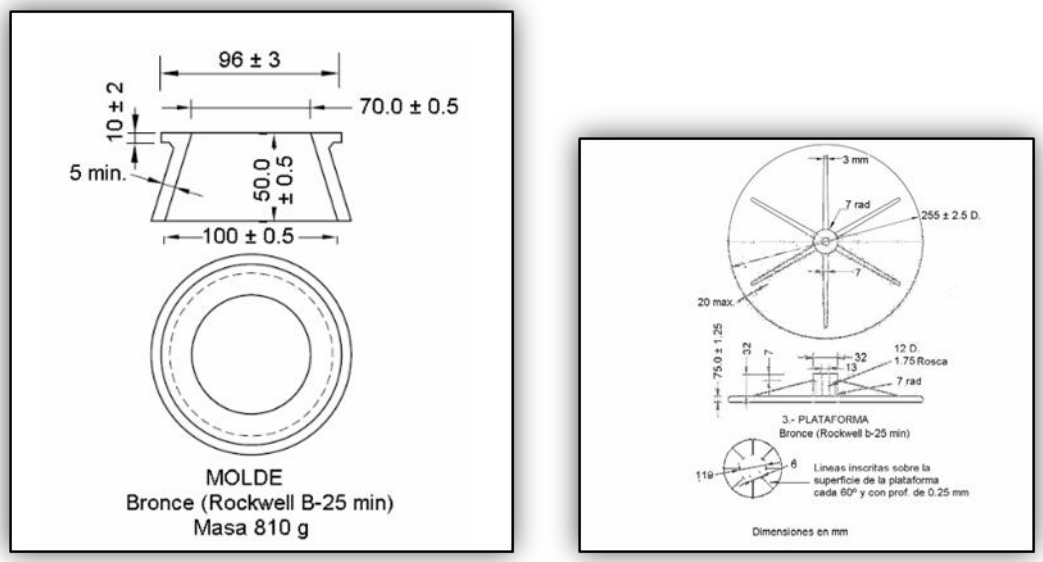
Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2007

Figura 83. Soportes.



Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2007

Figura 84. Molde y Calibrador



Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2007

Procedimiento

Se frota cuidadosamente la superficie de la mesa de flujo para limpiarla y secarla, y se coloca el molde de flujo en el centro. Se coloca en el molde una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor y se pisa 20 veces con el compactador. La presión del compactador debe ser la suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde. Se llena entonces el molde con mortero y se apisona tal como se especificó para la primera capa.

Se corta el mortero sobrante para lograr una superficie plana, pasando el borde recto de un palustre (sostenido de cerca y perpendicularmente al molde) con un movimiento de sierra a lo largo del borde superior del mismo. Se retira el protector circular, se limpia y se seca la plataforma teniendo especial cuidado de retirar el agua del borde del molde. Se levanta el molde del mortero un minuto después de completar la operación de mezclado de acuerdo con la NTC 220 (ASTM C 109). Inmediatamente después se deja caer la mesa desde una altura de 13 mm 25

veces en 15 segundos. Utilizando el calibrador, se determina la fluidez, midiendo los diámetros del mortero a lo largo de las líneas señaladas en la plataforma y se calcula el diámetro promedio. Para cementos Pórtland y cementos que contienen incorporadores de aire, se registra solamente la fluidez.

En el caso de cementos diferentes al Pórtland o cementos Pórtland con incorporadores de aire, se preparan morteros de prueba con varios porcentajes de agua, hasta obtener la fluidez especificada. Se debe hacer cada ensayo con mortero fresco

Resultados

La fluidez es el aumento del diámetro de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde, determinado según la siguiente fórmula:

$$\%\,Fluidez = \frac{Diámetro\ Promedio - Diámetro\ base\ inferior\ del\ molde}{Diámetro\ base\ inferior\ del\ molde} \times 100$$

El desempeño de la mesa de flujo se considera satisfactorio si en ensayos de calibración la mesa da un valor de fluidez que no difiera en más de 5 % con relación a los valores de fluidez obtenidos con un material de calibración adecuado.

- **ENSAYO DEL CONO DE MARSH**

Otra prueba que se utiliza muy frecuentemente es el ensayo del cono de Marsh es un procedimiento rápido y sencillo para evaluar las características de cada tipo de

mortero (agua + cementantes + aditivos) y se basa en la medición del tiempo de fluidez a través de un cono, así mismo permite determinar el punto de saturación del mortero. Este procedimiento es similar al descrito en la norma ASTM C939 para la verificación de la fluidez de morteros.

El cono de Marsh consiste en un recipiente metálico tronco-cónico invertido con una apertura de 8 mm en su base, se vierte en el cono de Marsh aproximadamente 1000 ml de mortero por la parte superior del cono manteniendo cerrado el orificio de salida, posteriormente se abre el orificio de salida y a partir de ese momento se contabiliza el tiempo que tarda en fluir el mortero que se mide en una probeta graduada.

Figura 85. Cono de Marsh para determinar la fluidez

Fuente: PINZUAR LTDA. (19 de 05 de 2015). PINZUAR LTDA. Obtenido de http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=category&Itemid=152&lang=es

Cuanto menor es este tiempo mayor es la fluidez de la pasta. Aplicando este procedimiento en pastas con distintas dosis de aditivo polifuncional se puede determinar el punto de saturación. Este punto corresponde a un contenido óptimo a partir del cual no se obtienen mejoras significativas de la fluidez. Una dosificación de aditivo polifuncional por encima del punto de saturación no sólo no modifica la fluidez de la pasta, sino que puede causar efectos negativos (retraso de fraguado, segregación) además de encarecer notablemente el costo del hormigón.

La mezcla de inyección debe mantener suficiente fluidez hasta la finalización del proceso de inyección, es por esto, que el tiempo de escurrimiento de la mezcla debe estar en un rango de 17 y 25 segundos.

Los valores óptimos de la relación agua/cemento son los comprendidos entre treinta y seis y cuarenta y cuatro centésimas (0.36 y 0,44), no debiendo pasar de cincuenta centésimas (0,50)[55].

- **EXUDACION DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO (I.N.V.E – 322 – 07)**

Este ensayo me permite establecer el método para determinar la velocidad y capacidad de exudación de las pastas y morteros de cemento.

La pasta que se debe emplear, cumplirá la siguiente proporción:
2300 g de cemento y 1035 g de agua.

Al mezclar mecánicamente la pasta, deben seguirse los pasos siguientes:
- Colocar toda el agua en el recipiente de la mezcladora.
- Agregar el cemento y mezclar por 3 minutos a velocidad lenta (140 ± 5 rpm).

[55] ASTM International. ASTM C-939. Test Method for Flow of Grout for Preplaced Aggregate Concrete (Flow cone Method). Estados Unidos. 1997

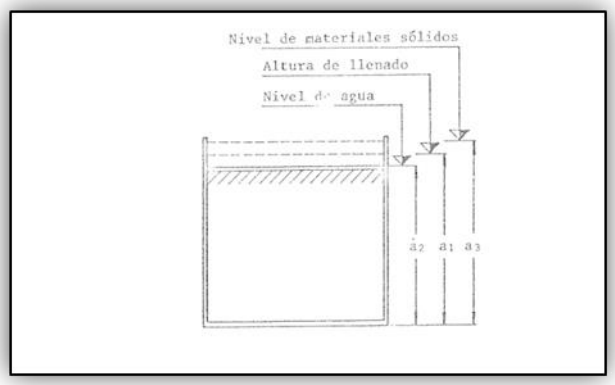
- Dejar la pasta en reposo durante 3 minutos, en los primeros 15 segundos de este período, se raspa la pasta adherida a las paredes de la mezcladora, luego se tapa durante el período restante.
- Repetir la operación de mezclado por 3 minutos a velocidad lenta.

Procedimiento.- Una vez que se ha preparado la mezcla, se vierte cuidadosamente en el recipiente muestreador y se enrasa el borde superior por medio de una regla de acero. El enrasado debe ejecutarse en 15 segundos e inmediatamente comenzarse el ensayo. Se debe colocar el anillo colector en el centro de la superficie de la pasta e introducirlo aproximadamente 19.1 mm (3/4"). Se cubre la superficie de la pasta con tetracloruro de carbono hasta una altura de 32.0 mm (1¼").

Nota: Se requieren aproximadamente 500 ml de tetracloruro por ensayo. Se baja el conjunto bureta-embudo, colocado directamente sobre el anillo colector, de manera que quede a menos de 6.4 mm (¼") de éste. Se hace ascender tetracloruro de carbono hasta la marca de la bureta mediante el aspirador, cerrando luego la llave de paso, la marca en la bureta será el "cero". Cuatro (4) minutos después se debe hacer la primera lectura; a continuación se hacen lecturas cada dos (2) minutos, durante un intervalo de 30 minutos y luego cada 10 minutos hasta cuando cese la exudación.

La exudación y la estabilidad volumétrica de la mezcla se miden en un mismo ensayo, utilizando un recipiente cilíndrico transparente de 10 cm de diámetro y 10 cm de altura.

Figura 86. Recipiente cilindro transparente



Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2007

Una vez vertida la mezcla en el recipiente hasta el nivel inicial a_1, éste será tapado herméticamente. A las tres horas se medirá la exudación de agua tomando a tal efecto las distancias desde el fondo del vaso al nivel de agua (a_2) y al nivel de pasta (a_3). La exudación se obtendrá mediante la expresión:

$$E_x = \frac{a_2 - a_3}{a_1} . 100$$

El valor de E_x no superará el 2%. El agua exudada deberá haberse reabsorbido totalmente en las 24 horas subsiguientes.

La exudación caracteriza la estabilidad de la mezcla. La cantidad de agua exudada en la superficie de la mezcla de inyección mantenida en reposo durante tres horas debe ser al final de dicho lapso como máximo igual al 2% del volumen inicial de la mezcla o el 4% como máximo absoluto y la propia lechada deberá reabsorber el agua exudada a las 24 horas de aquella medición. Esta reabsorción es de particular importancia en los casos de inyección en tiempo frio, debido al riesgo de la formación de hielo.

Por otra parte, la variación de volumen se establecerá midiendo a las 24 horas de llenar la distancia a_3 y correlacionándola con a_1.

$$v.v = \frac{a_1 - a_3}{a_1} . 100$$

Este valor no superará el 10%, es decir, la expansión eventual por uso de aditivos para tal fin no debe superar este porcentaje.

- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (INV-E 323-07)**

Este ensayo cubre la determinación del esfuerzo de compresión de morteros de cemento hidráulico, usando cubos de 50.8 mm (2") de lado.

Figura 87. Especificaciones Molde Triple para cubos de cemento y mortero.

Fuente: PINZUAR LTDA. (19 de 05 de 2015). PINZUAR LTDA. Obtenido de http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=category&Itemid=152&lang=es

La compresión se medirá sobre dos (2) cubos de 50.8 mm (2") compactados en dos (2) capas. Los cubos serán curados un día en los moldes y se desmoldarán y sumergirán en agua-cal hasta su ensayo.

Los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, se sacan de la cámara húmeda cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Para los otros cubos, deben sacarse del tanque de almacenamiento uno a uno y probarse inmediatamente. Todos los cubos se ensayarán dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas ± ½ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas; y a los 28 días ± 12 horas.

Figura 88. Toma de muestras en molde triple

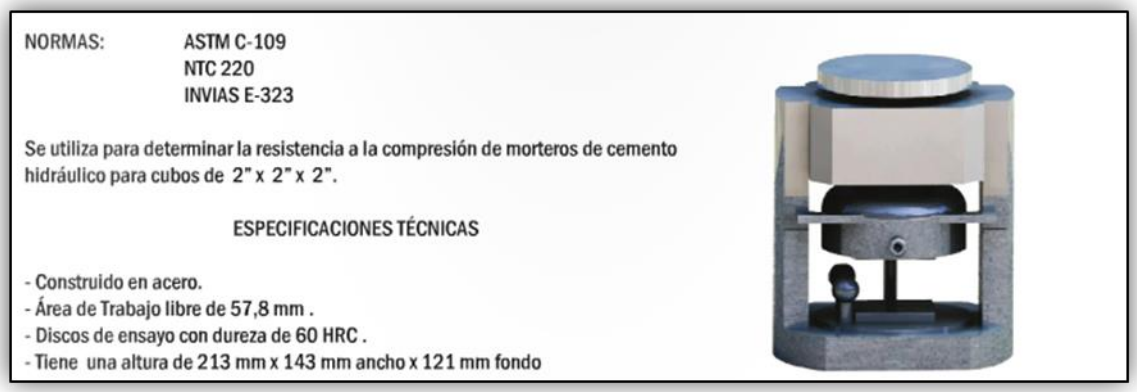
Fuente: Autores

Los cubos deberán secarse y dejarse limpios de arena suelta, o incrustaciones, en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo. Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras están perfectamente planas.

Colóquese cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo, debajo del centro de la parte superior de la máquina, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gira libremente en cualquier dirección. No se usarán amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga.

Cuando se espera que el cubo resista una carga máxima superior a 13.3 kN (3000 lbf), se aplica a éste una carga inicial de la mitad del valor esperado, a velocidad conveniente; si se espera que la carga que va a resistir sea menor de 13.3 KN (3000 lbf), no se aplicará carga inicial al cubo. La velocidad de aplicación de la carga se calcula en tal forma que la carga restante para romper los cubos con resistencia esperada mayor de 13.3 kN (3000 lbf) o la carga total en los otros, se aplique sin interrupción en un tiempo comprendido entre 20 y 80 segundos, desde el inicio de la carga. No se hará ningún ajuste a la máquina mientras se esté efectuando el ensayo. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2007).

Figura 89. Especificaciones de equipo para ensayo de cubos de cemento y mortero a compresión



Fuente: PINZUAR LTDA. (19 de 05 de 2015). PINZUAR LTDA. Obtenido de http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=category&Itemid=152&lang=es

- **ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA A COMPRESION**

La resistencia mecánica a compresión se determinará sobre probetas moldeadas cilíndricas normales de 10 cm de diámetro de base y 10 cm de altura, convenientemente preparadas para que las caras sean paralelas. Estas probetas se ensayarán a edades de 7 y 28 días. Las probetas para control de calidad se ensayarán a 7 días.

La resistencia a la compresión de la mezcla de inyección, mediante el ensayo de las tres probetas, debe arrojar como mínimo los valores indicados en la **Tabla 16**:

Tabla 16. Resistencia a la compresión de acuerdo a la edad.

	Resistencia a la Compresión MPa (*)	
Edad de la Muestra	**Valor Mínimo para cada muestra**	**Valor Mínimo para cada serie de muestras**
7 días	19	21
28 días	27	30
(*) 1 MPa = 10 Kgf/cm^2		

La resistencia a compresión de la pasta no será inferior a 30 Mpa o 300 kg/cm^2 a los 28 días.

Concreto

El concreto es una masa endurecida con diferentes materiales y sus propiedades están sujetas a una gran cantidad de variables las cuales dependen de los materiales que lo constituyen y de los procedimientos de producción, transporte y colocación.

Por esta razón, es muy importante la elaboración y cumplimiento de un plan de control de calidad para el concreto y los materiales que lo componen, con el fin de poder predecir el comportamiento del concreto en estado endurecido y garantizar que se cumpla con las especificaciones previamente definidas al menor costo posible.

En la construcción de pantallas ancladas la calidad del concreto es verificada y evaluada mediante la práctica de dos pruebas específicas las cuales son:

- Determinación del asentamiento del Concreto
- Determinación de Resistencia a la Compresión

A continuación se presenta una descripción breve de las pruebas mencionadas de acuerdo a la normatividad vigente y sus criterios de aceptación.

- **ENSAYO ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP) – INV E 404-13**

Esta prueba tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en las obras y en el laboratorio.

Este ensayo no es aplicable cuando el concreto contiene una cantidad apreciable de agregado grueso de tamaño mayor a 37.5 mm (1½") o cuando el concreto no es plástico o cohesivo. Si el agregado grueso es superior a 37.5 mm (1½"), el concreto deberá tamizarse con el tamiz de este tamaño según la norma INV E – 401-13 "Muestras de Concreto Fresco".

Figura 90. Especificaciones del conjunto para determinar el asentamiento del concreto

Fuente: PINZUAR LTDA. (19 de 05 de 2015). PINZUAR LTDA. Obtenido de http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=category&Itemid=152&lang=es

Los concretos que presenten asentamientos menores a 15mm (½") pueden no ser lo suficientemente plásticos, y los concretos que presenten asentamientos mayores a 230mm (9") pueden no ser suficientemente cohesivos para que este ensayo tenga significado. Se debe tener cuidado al interpretar estos resultados.

Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente y libre de vibraciones, de tamaño suficiente para contener todo el concreto que se asiente. Se sujeta el molde firmemente con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde, aproximadamente. Un tercio del volumen del molde corresponde, aproximadamente, a una altura de 70 mm (2 5/8”); dos tercios del volumen corresponden a una altura de 160 mm (6 1/8”).

Cada capa se apisona con 25 golpes del extremo hemisférico de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla, dando aproximadamente la mitad de

los golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro. La capa del fondo se debe apisonar en todo su espesor, mientras que para las capas intermedia y superior se debe permitir que la varilla penetre en la capa inmediatamente inferior unos 25 mm (1”).

Al llenar la capa superior, se debe apilar concreto sobre el molde antes de apisonar. Si al golpear con la varilla, el concreto se asienta por debajo del borde superior, se debe agregar más concreto para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después de que la última capa ha sido varillada, se empareja la superficie del concreto con un movimiento de alisado y rodamiento de la varilla sobre el borde superior del molde. Manteniendo aún el molde con firmeza, se remueve el concreto del área que rodea la base del cono, para prevenir interferencia con el proceso de asentamiento. En seguida, se retira el molde levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Esta operación se debe realizar en una distancia de 300 mm (12") en un tiempo aproximado de 5 ± 2 segundos, mediante un movimiento ascendente uniforme, sin impartir movimiento lateral o de torsión al concreto. La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, se debe hacer sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos y 30 segundos.

Inmediatamente después se mide el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura, medida sobre el centro original desplazado, de la superficie superior del espécimen. Si ocurre un desplome pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un lado del espécimen, se descarta el ensayo y se realiza uno nuevo sobre otra porción de la muestra. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2013).

- **ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO – INV E 410 – 13 – NTC 673**

Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a 800 kg/m³ (50 lb/pie³).

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen.

Los ensayos de compresión de especímenes curados en agua se deben hacer inmediatamente después de removerlos del lugar de almacenamiento húmedo.

Los especímenes se deben mantener húmedos, utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de almacenamiento hasta el instante del ensayo. Se deberán ensayar en condición húmeda.

Todos los especímenes para ensayar a una edad determinada, se deben romper dentro de los plazos indicados en la **Tabla 17**:

Tabla 17. Relación de tolerancias permitidas

Edad del Ensayo	Tolerancia Permisible
24 horas	± 0.5 horas ó 2.1%
3 días	2 horas ó 2.8%
7 días	6 horas ó 3.6%
28 días	20 horas ó 3.0%
90 días	2 días ó 2.2%

Fuente: (instituto Nacional de Vias, 2013).

Colocación del espécimen.- Se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma o platina de la máquina de ensayo, con su cara endurecida hacia arriba y directamente debajo del bloque de carga superior. Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se coloca el espécimen sobre el bloque inferior. Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque superior.

Velocidad de Carga.- La carga se debe aplicar continuamente y sin impacto.

La carga se debe aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de esfuerzo de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 lbf/pg2/s) sobre el espécimen (nota 10). La velocidad escogida se debe mantener, al menos, durante la segunda mitad de la fase de carga prevista.

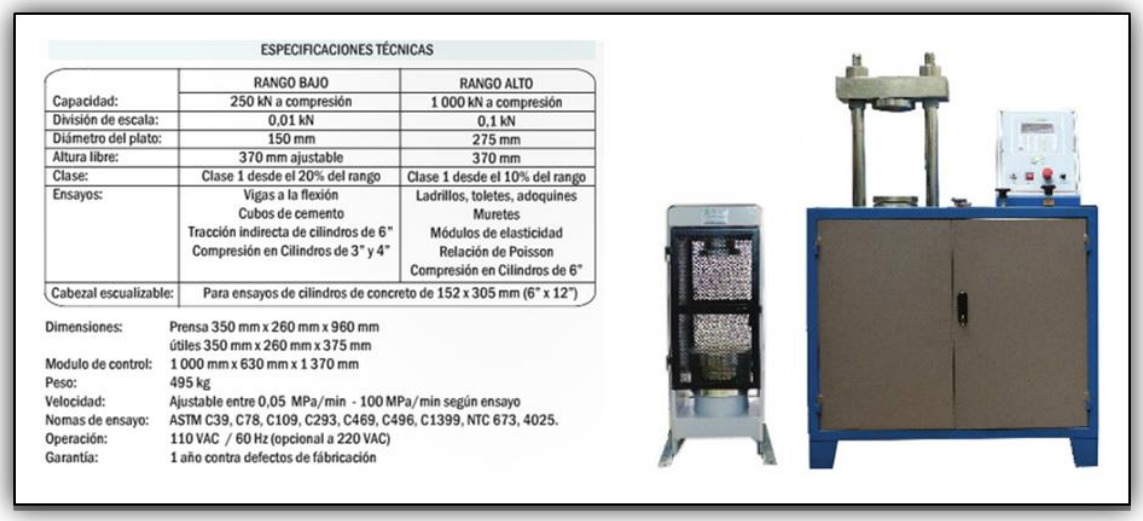
Para una máquina operada con tornillo o de desplazamiento controlado, será necesario realizar un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de esfuerzo especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ella se controle para evitar que el espécimen se someta a cargas de impacto.

La velocidad de movimiento no se deberá ajustar cuando se está alcanzando la carga última y la tasa de esfuerzo decrece debido al agrietamiento del cilindro.

Se aplica la carga de compresión hasta que el indicador de carga señale que ella comienza a decrecer progresivamente y el cilindro muestre un patrón de fractura bien definido. Si se usa una máquina equipada con un detector de rotura del espécimen, no se permitirá apagarla hasta que la carga haya caído a un valor menor de 95 % de la máxima. Cuando se ensayan cilindros con tapas de refrentado no adheridas, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la capacidad última del espécimen; en tal caso, se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la capacidad última. Se registra la máxima carga soportada por el cilindro durante el ensayo y se anota el patrón de falla. En caso contrario, se deberán elaborar un dibujo y una descripción breve del tipo de fractura producido. Si la resistencia medida es muy inferior a la esperada, se examina el cilindro fracturado para detectar zonas con vacíos grandes o con evidencias de segregación o si la fractura atraviesa partículas del agregado grueso, y se verifica, también, si el refrentado del espécimen se ajustó a lo establecido en las normas INV E–403-13 o INV E–408-13, la que corresponda. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2013).

Figura 91. Especificaciones Técnicas de máquina digital doble rango para ensayos de concreto



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

	RANGO BAJO	RANGO ALTO
Capacidad:	250 kN a compresión	1 000 kN a compresión
División de escala:	0,01 kN	0,1 kN
Diámetro del plato:	150 mm	275 mm
Altura libre:	370 mm ajustable	370 mm
Clase:	Clase 1 desde el 20% del rango	Clase 1 desde el 10% del rango
Ensayos:	Vigas a la flexión Cubos de cemento Tracción indirecta de cilindros de 6" Compresión en Cilindros de 3" y 4"	Ladrillos, toletes, adoquines Muretes Módulos de elasticidad Relación de Poisson Compresión en Cilindros de 6"
Cabezal escualizable:	Para ensayos de cilindros de concreto de 152 x 305 mm (6" x 12")	

Dimensiones:	Prensa 350 mm x 260 mm x 960 mm útiles 350 mm x 260 mm x 375 mm
Modulo de control:	1 000 mm x 630 mm x 1 370 mm
Peso:	495 kg
Velocidad:	Ajustable entre 0,05 MPa/min - 100 MPa/min según ensayo
Nomas de ensayo:	ASTM C39, C78, C109, C293, C469, C496, C1399, NTC 673, 4025.
Operación:	110 VAC / 60 Hz (opcional a 220 VAC)
Garantía:	1 año contra defectos de fábricación

Fuente: PINZUAR LTDA. (19 de 05 de 2015). PINZUAR LTDA. Obtenido de http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=category&Itemid=152&lang=es

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a la evaluación realizada de las actividades propias del proceso constructivo para la ejecución de pantallas ancladas y teniendo en cuenta factores específicos tales como el costo, la seguridad y su constructibilidad; se determinan las actividades más favorables y recomendables a los constructores, con el fin de lograr que éstas se construyan de la forma más adecuada. Estas actividades corresponden a realizar las excavaciones por trincheras, perforación con aire, inyección repetitiva, armado de hierro de pantallas con traslapos rectos, instalación de concreto lanzado, tensionamiento de anclajes 50%-50%, e instalación de lloraderos como obras de subdrenaje.

El desarrollo de la guía constructiva realizada permite unificar y/o recopilar la información referente al proceso constructivo para la ejecución de pantallas ancladas como sistema de estabilización de taludes para la construcción de edificaciones, específicamente, evidenciando que en la actualidad no se cuenta con información bibliográfica completa, sino por el contrario, es muy dispersa y poco amplia en diferentes textos.

Los materiales a utilizar en la construcción de las pantallas ancladas, deben cumplir con las especificaciones técnicas requeridas para cada uno de los proyectos; de igual forma se deben realizar los respectivos ensayos de laboratorio que permitan verificar la calidad de estos de acuerdo a la normatividad vigente, con el fin de obtener obras con grandes estándares de calidad.

Mediante la identificación de los procesos inadecuados más comunes en la ejecución de las actividades constructivas en diferentes proyectos realizados en Bucaramanga y su área metropolitana, se lograron establecer las diferentes

acciones que permiten corregir y/o mitigar las malas prácticas en su ejecución, brindando al constructor la información técnica adecuada teniendo en cuenta factores tales como la seguridad, constructibilidad y costos, la cual permite mejorar la calidad de las obras y la optimización de la ejecución de los diferentes proyectos en forma eficiente y eficaz.

Los profesionales encargados del diseño y/o construcción de pantallas ancladas deben ser estrictos en la aplicación e implementación de la normatividad vigente y las especificaciones técnicas, para así garantizar la estabilidad y funcionamiento de las obras durante su vida útil.

Los diseñadores de pantallas ancladas deben consultar y/o solicitar planos estructurales y de redes de las edificaciones vecinas, para evitar que en el proceso de construcción de las pantallas, se realicen prácticas inadecuadas que puedan poner en riesgo no solo la integridad de la pantalla sino de las estructuras y/o viviendas colindantes.

Es de vital importancia que para la ejecución de cada proyecto, previamente se cuente con el respectivo diseño, incluyendo, diámetros, longitudes, separación, inclinación, debidamente soportados con un análisis de cargas, modelos de estabilidad y de desplazamientos, ya que en ocasiones se presenta el uso de tipologías de diseños sin tener en cuenta que cada proyecto tiene diferentes características y condiciones de estabilidad del suelo.

Este documento estará disponible para su actualización ya sea por la renovación de la normatividad citada en este y/o la implementación de nuevas tecnologías en el proceso constructivo descrito.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM International. ASTM C-939. *Test Method for Flow of Grout for Preplaced Aggregate Concrete (Flow cone Method)*. Estados Unidos. 1997

CARLOS A. LAZARTE, V. E. *Geotechnical engineering circular no. 7.* Washington D.C. 2003

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. Ministerio de Fomento. *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera.* Madrid. 2001

DUFOUR, J. F. *Concreto lanzado para el artesano (CCS-4).* Michigan: Farmington Hills. 2012

E.D.INGEOTECNIA S.A.S. *Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosion y deslizamientos.* Bucaramanga, Santander. 2015

F. AMAHJOUR, J. P. Propiedades de lechadas de cemento fabricadas con cementos de tipo i y mezclas con cenizas volantes (CV) y humo de sílice (HS). *VIII congreso nacional de propiedades mecánicas de sólidos*, 729-737. 2002

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. INVE-322 - Normas para ensayos de materiales. *Exudación de pastas y morteros de cemento.* Colombia. 2007

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. INVE-323 - Normas para ensayos de materiales. *Resistencia a la Compresión de morteros de cemento hidráulico*. Bogota D.C., Colombia. 2007

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. INVE-325 - Normas de Ensayos para Materiales. *Fluidez de Morteros de Cemento hidráulico (Mesa de Flujo)*. Colombia. 2007

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. INVE - 404 - Normas para ensayos de materiales. *Ensayo de Asentamiento del concreto (Slump)*. Colombia. 2013

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. INVE -410 - Normas para ensayos de Materiales. *Ensayo de Resistencia a la compresión de cilindros de concreto*. Colombia. 2013

MINISTERIO DE FOMENTO, Dirección General de Carreteras. *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera.* España. 2005

PINZUAR LTDA. (19 de 05 de 2015). *PINZUAR LTDA*. Obtenido de http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=category&Itemid=152&lang=es

PORTERFIELD, J. A. *Soil nailing field inspectors manual--soil nail walls (No. FHWA-SA-93-068).* Redmon, Washington, D.C. 1994

POST-TENSIONING INSTITUTE . *Recommendations for prestressed rock and soil anchors.* USA. 2004

SABATINI, P. J. *Micropile design and construction. Report No. FHWA-NHI-05-039.* Washington, D.C. 2005

SUAREZ, J. *Deslizamientos, técnicas de remediación vol. 2.* bucaramanga: uis escuela de filosofía. 2009

TOMAS MURILLO, L. O. *Auscultación y corrección de inestabilidad de taludes de carreteras y ferrocarriles.* Madrid. 2010

ANEXOS

Anexo A. Valoración de Empresas

NOMBRE DE LA EMPRESA: PILOTES Y ANCLAJES DE COLOMBIA S.A.S
NOMBRE DEL ENCUESTADO: EDGAR ADRIAN OCHOA PEÑA

1) De acuerdo con su experiencia como constructor de pantallas ancladas, ¿qué criterios a evaluar se deben tener en cuenta para la construcción de éstas?:

El tipo de suelo que se encuentra en el sitio. El espacio del sitio para los equipos. El método de construccion de los elementos. El contratista del movimiento de tierras ya que es parte fundamental de la produccion de los elementos de contención y la seguridad de la obra.

2) Conforme a los siguientes criterios de evaluación para llevar a cabo la construcción de pantallas ancladas, qué porcentaje de incidencia daría a cada uno?:

Costo	40
Seguridad	30
Constructibilidad	30

3) Teniendo en cuenta los siguientes criterios de evaluación para la construcción de pantallas ancladas, que puntuación daría a cada una de las actividades de construcción, de acuerdo a las siguientes ponderaciones

COSTO	1,00	Muy costoso
	2,00	Costo medio
	3,00	Económico
SEGURIDAD	1,00	Poco seguro
	2,00	Medianamente seguro
	3,00	Seguro
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Complicado
	2,00	Complejidad media
	3,00	Baja complejidad

ACTIVIDAD		COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUC-TIBILIDAD
EXCAVACIÓN	**En Trincheras**	1,00	3,00	1,00
	En filas	2,00	2,00	2,00
	Completa	3,00	1,00	3,00
PERFORACIÓN	**Agua**	2,00	1,00	2,00
	Aire	3,00	2,00	3,00
	Con revestimiento	1,00	3,00	1,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	**Inyección Única global (IU)**	3,00	2,00	3,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	3,00	2,00
	Inyección (IRS)	1,00	1,00	1,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	**Concreto**	2,00	1,00	1,00
	TREMI	1,00	2,00	2,00
	Lechada de cemento	3,00	3,00	3,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	**Traslapo recto**	3,00	1,00	3,00
	Traslapo doblado	2,00	2,00	2,00
	Uniones mecánicas	1,00	3,00	1,00
INSTALACIÓN CONCRETO	**Lanzado**	1,00	1,00	3,00
	Armado	2,00	3,00	1,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	**Al 100%**	3,00	3,00	3,00
	50% - 50%	2,00	2,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	1,00	1,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	**Lloraderos**	3,00	1,00	3,00
	Subdrenes de penetración	2,00	2,00	2,00
	Geodren planar	1,00	3,00	1,00

NOMBRE DE LA EMPRESA: EMPRESA # 1
NOMBRE DEL ENCUESTADO: N.D.

1) De acuerdo con su experiencia como constructor de pantallas ancladas, ¿qué criterios a evaluar se deben tener en cuenta para la construcción de éstas?:

El costo del proyecto y el método constructivo.

2) Conforme a los siguientes criterios de evaluación para llevar a cabo la construcción de pantallas ancladas, qué porcentaje de incidencia daría a cada uno?:

Costo	40
Seguridad	35
Constructibilidad	25

3) Teniendo en cuenta los siguientes criterios de evaluación para la construcción de pantallas ancladas, que puntuación daría a cada una de las actividades de construcción, de acuerdo a las siguientes ponderaciones

COSTO	1,00	Muy costoso
	2,00	Costo medio
	3,00	Económico
SEGURIDAD	1,00	Poco seguro
	2,00	Medianamente seguro
	3,00	Seguro
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Complicado
	2,00	Complejidad media
	3,00	Baja complejidad

ACTIVIDAD		COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUC-TIBILIDAD
EXCAVACIÓN	**En Trincheras**	1,00	3,00	2,00
	En filas	2,00	2,00	2,00
	Completa	1,00	1,00	1,00
PERFORACIÓN	**Agua**	2,00	1,00	2,00
	Aire	3,00	2,00	3,00
	Con revestimiento	1,00	3,00	1,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	**Inyección Única global (IU)**	3,00	1,00	3,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	3,00	2,00
	Inyección (IRS)	1,00	3,00	1,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	**Concreto**	3,00	1,00	1,00
	TREMI	2,00	2,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	3,00	3,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	**Traslapo recto**	3,00	2,00	3,00
	Traslapo doblado	2,00	1,00	1,00
	Uniones mecánicas	1,00	3,00	3,00
INSTALACIÓN CONCRETO	**Lanzado**	3,00	3,00	3,00
	Armado	2,00	2,00	1,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	**Al 100%**	3,00	1,00	2,00
	50% - 50%	2,00	2,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	3,00	1,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	**Lloraderos**	3,00	1,00	3,00
	Subdrenes de penetración	1,00	3,00	1,00
	Geodren planar	2,00	1,00	1,00

NOMBRE DE LA EMPRESA: PYP LTDA
NOMBRE DEL ENCUESTADO: NELSON LEÓN

1) De acuerdo con su experiencia como constructor de pantallas ancladas, ¿qué criterios a evaluar se deben tener en cuenta para la construcción de éstas?:

Diseño, presencia de nivel freático, Control de calidad, supervisión de obra, costo de la obra y la seguridad de esta.

2) Conforme a los siguientes criterios de evaluación para llevar a cabo la construcción de pantallas ancladas, qué porcentaje de incidencia daría a cada uno?:

Costo	40%
Seguridad	30%
Constructibilidad	30%

3) Teniendo en cuenta los siguientes criterios de evaluación para la construcción de pantallas ancladas, que puntuación daría a cada una de las actividades de construcción, de acuerdo a las siguientes ponderaciones

COSTO	1,00	Muy costoso
	2,00	Costo medio
	3,00	Económico
SEGURIDAD	1,00	Poco seguro
	2,00	Medianamente seguro
	3,00	Seguro
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Complicado
	2,00	Complejidad media
	3,00	Baja complejidad

ACTIVIDAD		COSTO	SEGURIDAD	CONSTRUC-TIBILIDAD
EXCAVACIÓN	**En Trincheras**	2,00	3,00	2,00
	En filas	2,00	1,00	3,00
	Completa	3,00	1,00	1,00
PERFORACIÓN	**Agua**	3,00	2,00	2,00
	Aire	2,00	3,00	3,00
	Con revestimiento	1,00	3,00	1,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	**Inyección Única global (IU)**	3,00	1,00	3,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	3,00	2,00
	Inyección (IRS)	1,00	3,00	1,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	**Concreto**	2,00	3,00	2,00
	TREMI	2,00	3,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	3,00	3,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	**Traslapo recto**	2,00	2,00	1,00
	Traslapo doblado	3,00	2,00	1,00
	Uniones mecánicas	3,00	3,00	3,00
INSTALACIÓN CONCRETO	**Lanzado**	1,00	3,00	3,00
	Armado	2,00	3,00	2,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	**Al 100%**	3,00	1,00	2,00
	50% - 50%	3,00	3,00	3,00
	50% - 25% - 25%	2,00	3,00	2,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	**Lloraderos**	3,00	2,00	3,00
	Subdrenes de penetración	1,00	3,00	1,00
	Geodren planar	2,00	1,00	2,00

Anexo B. Matrices

ALTERNATIVA 1

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 100%	PONDERADO	% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	1,00	3,00	0,00	2,00	0,00	1,00
	En filas	2,00	2,00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00
	Completa	3,00	3,00	1,00	0,00	1,00	0,00	3,00
PERFORACIÓN	Agua	2,00	2,00	1,00	0,00	2,00	0,00	2,00
	Aire	3,00	3,00	2,00	0,00	3,00	0,00	3,00
	Con revestimiento	1,00	1,00	3,00	0,00	1,00	0,00	1,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	3,00	1,00	0,00	3,00	0,00	3,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	2,00	3,00	0,00	2,00	0,00	2,00
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	1,00	3,00	0,00	1,00	0,00	1,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	2,00	1,00	0,00	1,00	0,00	2,00
	Tremie	2,00	2,00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	1,00	3,00	0,00	3,00	0,00	1,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	3,00	2,00	0,00	3,00	0,00	3,00
	Traslapo doblado	2,00	2,00	2,00	0,00	1,00	0,00	2,00
	Uniones mecánicas	1,00	1,00	3,00	0,00	3,00	0,00	1,00
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	1,00	3,00	0,00	3,00	0,00	1,00
	Armado	2,00	2,00	3,00	0,00	1,00	0,00	2,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	3,00	1,00	0,00	2,00	0,00	3,00
	50% - 50%	2,00	2,00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	1,00	3,00	0,00	1,00	0,00	1,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	3,00	1,00	0,00	3,00	0,00	3,00
	Subdrenes de penetración	1,00	1,00	3,00	0,00	1,00	0,00	1,00
	Geodren planar	2,00	2,00	1,00	0,00	1,00	0,00	2,00

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 2

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	% INCIDENCIA 100%	PONDERADO	% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,00	3,00	3,00	2,00	0,00	3,00
	En filas	2,00	0,00	2,00	2,00	2,00	0,00	2,00
	Completa	3,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,00	1,00	1,00	2,00	0,00	1,00
	Aire	3,00	0,00	2,00	2,00	3,00	0,00	2,00
	Con revestimiento	1,00	0,00	3,00	3,00	1,00	0,00	3,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	0,00	1,00	1,00	3,00	0,00	1,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,00	3,00	3,00	2,00	0,00	3,00
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,00	3,00	3,00	1,00	0,00	3,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00
	Tremie	2,00	0,00	2,00	2,00	2,00	0,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,00	3,00	3,00	3,00	0,00	3,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	0,00	2,00	2,00	3,00	0,00	2,00
	Traslapo doblado	2,00	0,00	2,00	2,00	1,00	0,00	2,00
	Uniones mecánicas	1,00	0,00	3,00	3,00	3,00	0,00	3,00
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,00	3,00	3,00	3,00	0,00	3,00
	Armado	2,00	0,00	3,00	3,00	1,00	0,00	3,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	0,00	1,00	1,00	2,00	0,00	1,00
	50% - 50%	2,00	0,00	2,00	2,00	2,00	0,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,00	3,00	3,00	1,00	0,00	3,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	0,00	1,00	1,00	3,00	0,00	1,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,00	3,00	3,00	1,00	0,00	3,00
	Geodren planar	2,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 3

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	% INCIDENCIA 100%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,00	3,00	0,00	2,00	2,00	2,00
	En filas	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	2,00	2,00
	Completa	3,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,00	1,00	0,00	2,00	2,00	2,00
	Aire	3,00	0,00	2,00	0,00	3,00	3,00	3,00
	Con revestimiento	1,00	0,00	3,00	0,00	1,00	1,00	1,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	0,00	1,00	0,00	3,00	3,00	3,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,00	3,00	0,00	2,00	2,00	2,00
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,00	3,00	0,00	1,00	1,00	1,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Tremie	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	2,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,00	3,00	0,00	3,00	3,00	3,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	0,00	2,00	0,00	3,00	3,00	3,00
	Traslapo doblado	2,00	0,00	2,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Uniones mecánicas	1,00	0,00	3,00	0,00	3,00	3,00	3,00
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,00	3,00	0,00	3,00	3,00	3,00
	Armado	2,00	0,00	3,00	0,00	1,00	1,00	1,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	0,00	1,00	0,00	2,00	2,00	2,00
	50% - 50%	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	2,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,00	3,00	0,00	1,00	1,00	1,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	0,00	1,00	0,00	3,00	3,00	3,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,00	3,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Geodren planar	2,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00

COSTO	1,00	Alto	Muy costoso
	2,00	Medio	Costo medio
	3,00	Bajo	Económico
SEGURIDAD	1,00	Baja	Poco seguro
	2,00	Media	Medianamente seguro
	3,00	Alta	Seguro
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil	Complicado
	2,00	Media	Complejidad media
	3,00	Fácil	Baja complejidad

ALTERNATIVA 4

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 25%	PONDERADO	% INCIDENCIA 25%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,50	3,00	0,75	2,00	0,50	1,75
	En filas	2,00	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00
	Completa	3,00	1,50	1,00	0,25	1,00	0,25	2,00
PERFORACIÓN	Agua	2,00	1,00	1,00	0,25	2,00	0,50	1,75
	Aire	3,00	1,50	2,00	0,50	3,00	0,75	2,75
	Con revestimiento	1,00	0,50	3,00	0,75	1,00	0,25	1,50
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	1,50	1,00	0,25	3,00	0,75	2,50
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	1,00	3,00	0,75	2,00	0,50	2,25
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,50	3,00	0,75	1,00	0,25	1,50
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	1,00	1,00	0,25	1,00	0,25	1,50
	Tremie	2,00	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,50	3,00	0,75	3,00	0,75	2,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	1,50	2,00	0,50	3,00	0,75	2,75
	Traslapo doblado	2,00	1,00	2,00	0,50	1,00	0,25	1,75
	Uniones mecánicas	1,00	0,50	3,00	0,75	3,00	0,75	2,00
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,50	3,00	0,75	3,00	0,75	2,00
	Armado	2,00	1,00	3,00	0,75	1,00	0,25	2,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	1,50	1,00	0,25	2,00	0,50	2,25
	50% - 50%	2,00	1,00	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,50	3,00	0,75	1,00	0,25	1,50
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	1,50	1,00	0,25	3,00	0,75	2,50
	Subdrenes de penetración	1,00	0,50	3,00	0,75	1,00	0,25	1,50
	Geodren planar	2,00	1,00	1,00	0,25	1,00	0,25	1,50

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 5

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 25%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 25%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,25	3,00	1,50	2,00	0,50	2,25
	En filas	2,00	0,50	2,00	1,00	2,00	0,50	2,00
	Completa	3,00	0,75	1,00	0,50	1,00	0,25	1,50
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,50	1,00	0,50	2,00	0,50	1,50
	Aire	3,00	0,75	2,00	1,00	3,00	0,75	2,50
	Con revestimiento	1,00	0,25	3,00	1,50	1,00	0,25	2,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	0,75	1,00	0,50	3,00	0,75	2,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,50	3,00	1,50	2,00	0,50	2,50
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,25	3,00	1,50	1,00	0,25	2,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,25	1,25
	Tremie	2,00	0,50	2,00	1,00	2,00	0,50	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,25	3,00	1,50	3,00	0,75	2,50
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	0,75	2,00	1,00	3,00	0,75	2,50
	Traslapo doblado	2,00	0,50	2,00	1,00	1,00	0,25	1,75
	Uniones mecánicas	1,00	0,25	3,00	1,50	3,00	0,75	2,50
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,25	3,00	1,50	3,00	0,75	2,50
	Armado	2,00	0,50	3,00	1,50	1,00	0,25	2,25
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	0,75	1,00	0,50	2,00	0,50	1,75
	50% - 50%	2,00	0,50	2,00	1,00	2,00	0,50	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,25	3,00	1,50	1,00	0,25	2,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	0,75	1,00	0,50	3,00	0,75	2,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,25	3,00	1,50	1,00	0,25	2,00
	Geodren planar	2,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,25	1,25

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 6

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 25%	PONDERADO	% INCIDENCIA 25%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,25	3,00	0,75	2,00	1,00	2,00
	En filas	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00	1,00	2,00
	Completa	3,00	0,75	1,00	0,25	1,00	0,50	1,50
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,50	1,00	0,25	2,00	1,00	1,75
	Aire	3,00	0,75	2,00	0,50	3,00	1,50	2,75
	Con revestimiento	1,00	0,25	3,00	0,75	1,00	0,50	1,50
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	0,75	1,00	0,25	3,00	1,50	2,50
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,50	3,00	0,75	2,00	1,00	2,25
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,25	3,00	0,75	1,00	0,50	1,50
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,50	1,00	0,25	1,00	0,50	1,25
	Tremie	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00	1,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,25	3,00	0,75	3,00	1,50	2,50
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	0,75	2,00	0,50	3,00	1,50	2,75
	Traslapo doblado	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	0,50	1,50
	Uniones mecánicas	1,00	0,25	3,00	0,75	3,00	1,50	2,50
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,25	3,00	0,75	3,00	1,50	2,50
	Armado	2,00	0,50	3,00	0,75	1,00	0,50	1,75
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	0,75	1,00	0,25	2,00	1,00	2,00
	50% - 50%	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00	1,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,25	3,00	0,75	1,00	0,50	1,50
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	0,75	1,00	0,25	3,00	1,50	2,50
	Subdrenes de penetración	1,00	0,25	3,00	0,75	1,00	0,50	1,50
	Geodren planar	2,00	0,50	1,00	0,25	1,00	0,50	1,25

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 7

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 33%	PONDERADO	% INCIDENCIA 33%	PONDERADO	% INCIDENCIA 33%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,33	3,00	1,00	2,00	0,67	2,00
	En filas	2,00	0,67	2,00	0,67	2,00	0,67	2,00
	Completa	3,00	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	1,67
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,67	1,00	0,33	2,00	0,67	1,67
	Aire	3,00	1,00	2,00	0,67	3,00	1,00	2,67
	Con revestimiento	1,00	0,33	3,00	1,00	1,00	0,33	1,67
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	1,00	1,00	0,33	3,00	1,00	2,33
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,67	3,00	1,00	2,00	0,67	2,33
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,33	3,00	1,00	1,00	0,33	1,67
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,67	1,00	0,33	1,00	0,33	1,33
	Tremie	2,00	0,67	2,00	0,67	2,00	0,67	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,33	3,00	1,00	3,00	1,00	2,33
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	1,00	2,00	0,67	3,00	1,00	2,67
	Traslapo doblado	2,00	0,67	2,00	0,67	1,00	0,33	1,67
	Uniones mecánicas	1,00	0,33	3,00	1,00	3,00	1,00	2,33
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,33	3,00	1,00	3,00	1,00	2,33
	Armado	2,00	0,67	3,00	1,00	1,00	0,33	2,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	1,00	1,00	0,33	2,00	0,67	2,00
	50% - 50%	2,00	0,67	2,00	0,67	2,00	0,67	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,33	3,00	1,00	1,00	0,33	1,67
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	1,00	1,00	0,33	3,00	1,00	2,33
	Subdrenes de penetración	1,00	0,33	3,00	1,00	1,00	0,33	1,67
	Geodren planar	2,00	0,67	1,00	0,33	1,00	0,33	1,33

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 8

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,50	3,00	1,50	2,00	0,00	2,00
	En filas	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	0,00	2,00
	Completa	3,00	1,50	1,00	0,50	1,00	0,00	2,00
PERFORACIÓN	Agua	2,00	1,00	1,00	0,50	2,00	0,00	1,50
	Aire	3,00	1,50	2,00	1,00	3,00	0,00	2,50
	Con revestimiento	1,00	0,50	3,00	1,50	1,00	0,00	2,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	1,50	1,00	0,50	3,00	0,00	2,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	1,00	3,00	1,50	2,00	0,00	2,50
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,50	3,00	1,50	1,00	0,00	2,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	1,50
	Tremie	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	0,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,50	3,00	1,50	3,00	0,00	2,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	1,50	2,00	1,00	3,00	0,00	2,50
	Traslapo doblado	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,00	2,00
	Uniones mecánicas	1,00	0,50	3,00	1,50	3,00	0,00	2,00
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,50	3,00	1,50	3,00	0,00	2,00
	Armado	2,00	1,00	3,00	1,50	1,00	0,00	2,50
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	1,50	1,00	0,50	2,00	0,00	2,00
	50% - 50%	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	0,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,50	3,00	1,50	1,00	0,00	2,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	1,50	1,00	0,50	3,00	0,00	2,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,50	3,00	1,50	1,00	0,00	2,00
	Geodren planar	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	1,50

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 9

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,00	3,00	1,50	2,00	1,00	2,50
	En filas	2,00	0,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00
	Completa	3,00	0,00	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,00	1,00	0,50	2,00	1,00	1,50
	Aire	3,00	0,00	2,00	1,00	3,00	1,50	2,50
	Con revestimiento	1,00	0,00	3,00	1,50	1,00	0,50	2,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	0,00	1,00	0,50	3,00	1,50	2,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,00	3,00	1,50	2,00	1,00	2,50
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,00	3,00	1,50	1,00	0,50	2,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,00	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00
	Tremie	2,00	0,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,00	3,00	1,50	3,00	1,50	3,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	0,00	2,00	1,00	3,00	1,50	2,50
	Traslapo doblado	2,00	0,00	2,00	1,00	1,00	0,50	1,50
	Uniones mecánicas	1,00	0,00	3,00	1,50	3,00	1,50	3,00
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,00	3,00	1,50	3,00	1,50	3,00
	Armado	2,00	0,00	3,00	1,50	1,00	0,50	2,00
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	0,00	1,00	0,50	2,00	1,00	1,50
	50% - 50%	2,00	0,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,00	3,00	1,50	1,00	0,50	2,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	0,00	1,00	0,50	3,00	1,50	2,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,00	3,00	1,50	1,00	0,50	2,00
	Geodren planar	2,00	0,00	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 1

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 0%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,50	3,00	0,00	2,00	1,00	1,50
	En filas	2,00	1,00	2,00	0,00	2,00	1,00	2,00
	Completa	3,00	1,50	1,00	0,00	1,00	0,50	2,00
PERFORACIÓN	Agua	2,00	1,00	1,00	0,00	2,00	1,00	2,00
	Aire	3,00	1,50	2,00	0,00	3,00	1,50	3,00
	Con revestimiento	1,00	0,50	3,00	0,00	1,00	0,50	1,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	1,50	1,00	0,00	3,00	1,50	3,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	1,00	3,00	0,00	2,00	1,00	2,00
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,50	3,00	0,00	1,00	0,50	1,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,50	1,50
	Tremie	2,00	1,00	2,00	0,00	2,00	1,00	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,50	3,00	0,00	3,00	1,50	2,00
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	1,50	2,00	0,00	3,00	1,50	3,00
	Traslapo doblado	2,00	1,00	2,00	0,00	1,00	0,50	1,50
	Uniones mecánicas	1,00	0,50	3,00	0,00	3,00	1,50	2,00
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,50	3,00	0,00	3,00	1,50	2,00
	Armado	2,00	1,00	3,00	0,00	1,00	0,50	1,50
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	1,50	1,00	0,00	2,00	1,00	2,50
	50% - 50%	2,00	1,00	2,00	0,00	2,00	1,00	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,50	3,00	0,00	1,00	0,50	1,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	1,50	1,00	0,00	3,00	1,50	3,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,50	3,00	0,00	1,00	0,50	1,00
	Geodren planar	2,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,50	1,50

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 1

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 30%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 20%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,30	3,00	1,50	2,00	0,40	2,20
	En filas	2,00	0,60	2,00	1,00	2,00	0,40	2,00
	Completa	3,00	0,90	1,00	0,50	1,00	0,20	1,60
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,60	1,00	0,50	2,00	0,40	1,50
	Aire	3,00	0,90	2,00	1,00	3,00	0,60	2,50
	Con revestimiento	1,00	0,30	3,00	1,50	1,00	0,20	2,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	0,90	1,00	0,50	3,00	0,60	2,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,60	3,00	1,50	2,00	0,40	2,50
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,30	3,00	1,50	1,00	0,20	2,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,60	1,00	0,50	1,00	0,20	1,30
	Tremie	2,00	0,60	2,00	1,00	2,00	0,40	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,30	3,00	1,50	3,00	0,60	2,40
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	0,90	2,00	1,00	3,00	0,60	2,50
	Traslapo doblado	2,00	0,60	2,00	1,00	1,00	0,20	1,80
	Uniones mecánicas	1,00	0,30	3,00	1,50	3,00	0,60	2,40
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,30	3,00	1,50	3,00	0,60	2,40
	Armado	2,00	0,60	3,00	1,50	1,00	0,20	2,30
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	0,90	1,00	0,50	2,00	0,40	1,80
	50% - 50%	2,00	0,60	2,00	1,00	2,00	0,40	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,30	3,00	1,50	1,00	0,20	2,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	0,90	1,00	0,50	3,00	0,60	2,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,30	3,00	1,50	1,00	0,20	2,00
	Geodren planar	2,00	0,60	1,00	0,50	1,00	0,20	1,30

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 1

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 20%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 30%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,20	3,00	1,50	2,00	0,60	2,30
	En filas	2,00	0,40	2,00	1,00	2,00	0,60	2,00
	Completa	3,00	0,60	1,00	0,50	1,00	0,30	1,40
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,40	1,00	0,50	2,00	0,60	1,50
	Aire	3,00	0,60	2,00	1,00	3,00	0,90	2,50
	Con revestimiento	1,00	0,20	3,00	1,50	1,00	0,30	2,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	0,60	1,00	0,50	3,00	0,90	2,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,40	3,00	1,50	2,00	0,60	2,50
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,20	3,00	1,50	1,00	0,30	2,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,40	1,00	0,50	1,00	0,30	1,20
	Tremie	2,00	0,40	2,00	1,00	2,00	0,60	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,20	3,00	1,50	3,00	0,90	2,60
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	0,60	2,00	1,00	3,00	0,90	2,50
	Traslapo doblado	2,00	0,40	2,00	1,00	1,00	0,30	1,70
	Uniones mecánicas	1,00	0,20	3,00	1,50	3,00	0,90	2,60
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,20	3,00	1,50	3,00	0,90	2,60
	Armado	2,00	0,40	3,00	1,50	1,00	0,30	2,20
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	0,60	1,00	0,50	2,00	0,60	1,70
	50% - 50%	2,00	0,40	2,00	1,00	2,00	0,60	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,20	3,00	1,50	1,00	0,30	2,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	0,60	1,00	0,50	3,00	0,90	2,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,20	3,00	1,50	1,00	0,30	2,00
	Geodren planar	2,00	0,40	1,00	0,50	1,00	0,30	1,20

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 1

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 35%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 15%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,35	3,00	1,50	2,00	0,30	2,15
	En filas	2,00	0,70	2,00	1,00	2,00	0,30	2,00
	Completa	3,00	1,05	1,00	0,50	1,00	0,15	1,70
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,70	1,00	0,50	2,00	0,30	1,50
	Aire	3,00	1,05	2,00	1,00	3,00	0,45	2,50
	Con revestimiento	1,00	0,35	3,00	1,50	1,00	0,15	2,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	1,05	1,00	0,50	3,00	0,45	2,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,70	3,00	1,50	2,00	0,30	2,50
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,35	3,00	1,50	1,00	0,15	2,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,70	1,00	0,50	1,00	0,15	1,35
	Tremie	2,00	0,70	2,00	1,00	2,00	0,30	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,35	3,00	1,50	3,00	0,45	2,30
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	1,05	2,00	1,00	3,00	0,45	2,50
	Traslapo doblado	2,00	0,70	2,00	1,00	1,00	0,15	1,85
	Uniones mecánicas	1,00	0,35	3,00	1,50	3,00	0,45	2,30
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,35	3,00	1,50	3,00	0,45	2,30
	Armado	2,00	0,70	3,00	1,50	1,00	0,15	2,35
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	1,05	1,00	0,50	2,00	0,30	1,85
	50% - 50%	2,00	0,70	2,00	1,00	2,00	0,30	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,35	3,00	1,50	1,00	0,15	2,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	1,05	1,00	0,50	3,00	0,45	2,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,35	3,00	1,50	1,00	0,15	2,00
	Geodren planar	2,00	0,70	1,00	0,50	1,00	0,15	1,35

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil

ALTERNATIVA 1

ACTIVIDAD		CALIFICACIÓN MATRIZ						
		COSTO		SEGURIDAD		CONSTRUCTIBILIDAD		TOTALES
		% INCIDENCIA 15%	PONDERADO	% INCIDENCIA 50%	PONDERADO	% INCIDENCIA 35%	PONDERADO	
EXCAVACIÓN	En Trincheras	1,00	0,15	3,00	1,50	2,00	0,70	2,35
	En filas	2,00	0,30	2,00	1,00	2,00	0,70	2,00
	Completa	3,00	0,45	1,00	0,50	1,00	0,35	1,30
PERFORACIÓN	Agua	2,00	0,30	1,00	0,50	2,00	0,70	1,50
	Aire	3,00	0,45	2,00	1,00	3,00	1,05	2,50
	Con revestimiento	1,00	0,15	3,00	1,50	1,00	0,35	2,00
INYECCIÓN LECHADA ANCLAJES	Inyección Única global (IU)	3,00	0,45	1,00	0,50	3,00	1,05	2,00
	Inyección Repetitiva (IR)	2,00	0,30	3,00	1,50	2,00	0,70	2,50
	Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)	1,00	0,15	3,00	1,50	1,00	0,35	2,00
INYECCIÓN MICROPILOTES	Concreto	2,00	0,30	1,00	0,50	1,00	0,35	1,15
	Tremie	2,00	0,30	2,00	1,00	2,00	0,70	2,00
	Lechada de cemento	1,00	0,15	3,00	1,50	3,00	1,05	2,70
ARMADO DE HIERRO DE PANTALLAS	Traslapo recto	3,00	0,45	2,00	1,00	3,00	1,05	2,50
	Traslapo doblado	2,00	0,30	2,00	1,00	1,00	0,35	1,65
	Uniones mecánicas	1,00	0,15	3,00	1,50	3,00	1,05	2,70
INSTALACIÓN CONCRETO	Lanzado	1,00	0,15	3,00	1,50	3,00	1,05	2,70
	Armado	2,00	0,30	3,00	1,50	1,00	0,35	2,15
TENSIONAMIENTO DE ANCLAJES	Al 100%	3,00	0,45	1,00	0,50	2,00	0,70	1,65
	50% - 50%	2,00	0,30	2,00	1,00	2,00	0,70	2,00
	50% - 25% - 25%	1,00	0,15	3,00	1,50	1,00	0,35	2,00
OBRAS DE SUBDRENAJE	Lloraderos	3,00	0,45	1,00	0,50	3,00	1,05	2,00
	Subdrenes de penetración	1,00	0,15	3,00	1,50	1,00	0,35	2,00
	Geodren planar	2,00	0,30	1,00	0,50	1,00	0,35	1,15

COSTO	1,00	Alto
	2,00	Medio
	3,00	Bajo
SEGURIDAD	1,00	Baja
	2,00	Media
	3,00	Alta
CONSTRUCTIBILIDAD	1,00	Dificil
	2,00	Media
	3,00	Fácil