

**MANUAL DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE SOPORTE Y PROTECCIÓN  
DE SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN  
DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO**

**JULIAN BERNARDO CÁRDENAS RUEDA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2012**

**MANUAL DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE SOPORTE Y PROTECCIÓN  
DE SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN  
DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO**

**JULIAN BERNARDO CÁRDENAS RUEDA**

**Proyecto de grado realizado en la Modalidad de Práctica Empresarial**

**Director**

**ING. CIVIL - Ph.D. ALVARO VIVIESCAS JAIMES  
Docente de la Escuela De Ingeniería Civil-UIS**

**Tutor Práctica Empresarial**

**ING. RUBÉN OSPINA ARGÜELLES  
Profesional Proyecto Sogamoso**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2012**

## *Dedicatoria*

*Doy gracias a Dios por la vida, la salud y la sabiduría, que me permitió llegar hasta este punto, además de su infinita bondad y amor.*

*A mi madre Carmen, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, su cariño, sus valores, y la motivación constante que me ha permitido ser una mejor persona, en especial por su amor incondicional.*

*A mi padre Pablo Helí, por su cariño, confianza y consejos sabios, siendo un pilar para poder alcanzar con firmeza mis logros.*

*A mis hermanos con mucho cariño gracias.*

*A Viviana por la motivación, el apoyo constante en los momentos difíciles, consejos y compañía en el desarrollo del manual.*

*A mis compañeras de práctica empresarial Madeleidy y Carolina por su compañía y apoyo constante en las diferentes actividades de la práctica.*

*A ISAGEN S.A. E.S.P. por darme la oportunidad de realizar mi práctica empresarial en el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, aportándome nuevos conocimientos y experiencia a nivel personal y laboral; a mi tutor Rubén, muchas gracias.*

*A la Universidad Industrial de Santander en especial al profesor Alvaro por haberme brindado los medios para mi formación profesional.*

## CONTENIDO

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN  | 14          |
| 1. OBJETIVOS  | 15          |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL   | 15          |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS  | 15          |
| 2. DESCRIPCIÓN DE ISAGEN S.A.E.S.P Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO SOGAMOSO      | 16          |
| 2.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA   | 16          |
| 2.1.1. Reseña histórica   | 16          |
| 2.1.2. Proyectos  | 17          |
| 2.1.3. Misión   | 17          |
| 2.1.4. Visión   | 17          |
| 2.1.5 Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso  | 18          |
| 3. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL           | 20          |
| 3.1. REVISIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PLANOS  | 20          |
| 3.2 REMISIÓN DE PLANOS Y HOJAS DE VIDA  | 21          |
| 3.3 ENVÍO A LA INTERVENTORÍA DE LOS COMUNICADOS EMITIDOS POR EL DISEÑADOR       | 21          |
| 3.4 APOYO EN LA GESTIÓN DE DOCUMENTOS   | 22          |
| 3.5 SEGUIMIENTO A LA PROGRAMACIÓN DE OBRA                                       | 22          |
| 3.6 REGISTRO Y SEGUIMIENTO A LOS INFORMES DIARIOS ENVIADOS POR LA INTERVENTORÍA | 23          |
| 3.7 RECORRIDOS DE OBRA  | 23          |
| 3.8 ELABORACIÓN DE INFORMES DEL ESTADO DE LAS OBRAS                             | 24          |

|  |    |
|--|----|
| 4. MANUAL DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE SOPORTE Y PROTECCIÓN DE SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO | 25 |
| 4.1. CONCRETO LANZADO  | 25 |
| 4.1.1. Generalidades   | 25 |
| 4.1.2. Superficies donde se aplica el concreto lanzado   | 26 |
| 4.1.3. Ventajas que ofrece el concreto lanzado   | 26 |
| 4.1.4. Métodos de aplicación del concreto lanzado  | 27 |
| 4.1.5. Aplicación del concreto lanzado.  | 28 |
| 4.1.6. Pasos para la correcta aplicación del concreto lanzado.   | 28 |
| 4.1.7. Control de los materiales   | 34 |
| 4.1.8. Pruebas   | 35 |
| 4.2. TENDONES DE ANCLAJE   | 39 |
| 4.2.1. Zonas de un tendón de anclaje   | 39 |
| 4.2.2. Partes de un tendón de anclaje  | 40 |
| 4.2.3. Características de los elementos que constituyen un tendón.   | 42 |
| 4.2.4. Proceso constructivo  | 44 |
| 4.3. PERNOS DE ANCLAJE   | 59 |
| 4.3.1. Tipos de terreno  | 60 |
| 4.3.2. Tipos de pernos   | 61 |
| 4.3.3. Protección de los pernos  | 63 |
| 4.3.4. Nomenclatura usada en los pernos  | 63 |
| 4.3.5. Características de los elementos que constituyen un perno   | 64 |
| 4.3.6. Procedimiento de instalación  | 67 |
| 4.4. BARRAS DE ANCLAJE   | 70 |
| 4.4.1. Forma y función de una barra de anclaje   | 71 |
| 4.4.2. Materiales y ensayos  | 71 |
| 4.5. EMPRADIZACIÓN   | 71 |
| 4.5.1. Proceso constructivo  | 72 |
| 4.5.2 Mantenimiento  | 73 |

|              |    |
|--------------|----|
| CONCLUSIONES | 74 |
| BIBLIOGRAFÍA | 77 |
| ANEXOS       | 78 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1. Construcción Del Proyecto Sogamoso                           | 18          |
| Figura 2. Talud Revestido En Concreto Lanzado.                         | 25          |
| Figura 3. Perfilación Del Talud.                                       | 29          |
| Figura 4. Limpieza Con Chorros De Agua.                                | 30          |
| Figura 5. Clavijas Para Asegurar La Malla De Refuerzo.                 | 30          |
| Figura 6. Varillas De Calibración.                                     | 31          |
| Figura 7. Primera Capa De Concreto Lanzado.                            | 31          |
| Figura 8. Concreto Lanzado Según Etapas De Excavación.                 | 32          |
| Figura 9. Colocación De La Malla Electro-Soldada.                      | 32          |
| Figura 10. Colocación De La Malla Electro-Soldada.                     | 33          |
| Figura 11. Segunda Capa De Concreto Lanzado.                           | 33          |
| Figura 12. Talud Contenido Con Tendones De Anclaje.                    | 39          |
| Figura 13. Elementos Del Cabezote En Los Tendones De Anclaje.          | 42          |
| Figura 14. Perfilación Del Talud.                                      | 44          |
| Figura 15. Proceso De Perforación Para Tendones.                       | 45          |
| Figura 16. Perforación Ejecutada.                                      | 46          |
| Figura 17. Obturador.  | 47          |
| Figura 18. Introducción Del Obturador.                                 | 47          |
| Figura 19. Mecanismo Para La Inyección De Agua A Presión Al Obturador. | 48          |
| Figura 20. Limpieza De La Perforación Con Agua A Presión.              | 50          |
| Figura 21. Detalle De Los Tendones.                                    | 51          |
| Figura 22. Tendón Ubicado En La Perforación.                           | 51          |
| Figura 23. Detalle De Las Mangueras De Inyección.                      | 53          |
| Figura 24. Detalle De Las Mangueras De Inyección.                      | 53          |

|  |    |
|--|----|
| Figura 25. Detalles Del Tendón, Tapa Metálica – Tubo De Reinyección. | 53 |
| Figura 26. Formaleta Para La Base En Concreto.                       | 54 |
| Figura 27. Base En Concreto Terminada.                               | 55 |
| Figura 28. Detalle Del Gato Hidráulico.                              | 55 |
| Figura 29. Tensionamiento Con Gato Hidráulico.                       | 56 |
| Figura 30. Tensionamiento Con Gato Hidráulico.                       | 56 |
| Figura 31. Tensionamiento Con Gato Hidráulico.                       | 57 |
| Figura 32. Tendón Instalado  | 57 |
| Figura 33. Tendón Revestido.   | 59 |
| Figura 34. Perno Estándar  | 59 |
| Figura 35. Detalle De Un Perno Estándar.                             | 65 |
| Figura 36. Granulometría De La Arena                                 | 66 |
| Figura 37. Distribución En Tresbolillo.                              | 67 |
| Figura 38. Maquinaria Utilizada Para La Perforación                  | 67 |
| Figura 39. Perforación Para Instalación De Pernos                    | 68 |
| Figura 40. Detalle De La Broca De Tungsteno                          | 68 |
| Figura 41. Perno Lista Para Ser Inyectado.                           | 69 |
| Figura 42. Detalle De La Platina Del Perno.                          | 69 |
| Figura 43. Detalle De La Platina Del Perno.                          | 70 |
| Figura 44. Talud Tratado Con Empradización.                          | 71 |

## LISTA DE ANEXOS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| ANEXO A. Gradación Para Los Agregados Del Concreto Lanzado.                                       | 78          |
| ANEXO B. Tiempos De Fraguado Y Resistencia Inicial Del Concreto Lanzado.                          | 79          |
| ANEXO C. Resistencia Mínima Residual Para Dos De Tres Vigas Ensayadas                             | 80          |
| ANEXO D. Resistencia Mínima Residual Para La Viga Que No Cumpla Con Los<br>Criterios Del ANEXO C. | 81          |
| ANEXO E. Aumento De Espesores De Concreto Lanzado Debido A Bajas<br>Resistencias A Los 28 Días.   | 82          |
| ANEXO G. Esquema De Un Tendón De Anclaje.   | 84          |
| ANEXO H. Detalle De La Broca Utilizada En La Perforación Para Tendones.                           | 85          |
| ANEXO I. Montaje Del Cuenta Litros Y Manómetro Para El Control En La<br>Inyección De Agua.        | 86          |
| ANEXO J. Tendón De Anclaje Con Problemas De Corrosión.  | 87          |

## RESUMEN

**TÍTULO:** MANUAL DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE SOPORTE Y PROTECCIÓN DE SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO\*

**AUTOR:** JULIAN BERNARDO CÁRDENAS RUEDA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** SISTEMAS DE CONTENCIÓN, EXCAVACIONES, ESPECIFICACIONES, ENSAYOS.

### DESCRIPCIÓN

La finalidad de esta práctica empresarial es generar e identificar un registro claro y sencillo de los diferentes sistemas de estabilización y soporte usados durante la construcción del proyecto hidroeléctrico Sogamoso, específicamente en la contención de taludes en corte abierto, portales de entrada y salida de túneles, y excavaciones subterráneas en las obras principales del proyecto, además de las obras adicionales como vías sustitutivas y túneles viales.

En el desarrollo de la práctica se pudo observar que por la gran dimensión de la presa con su central de generación, la estructura del vertedero con su canal de descarga terminado en esquí, la construcción de vías sustitutivas y puentes, la topografía del sitio de las obras y las condiciones de trabajo mismas en la construcción de la presa, se generan cortes y excavaciones de gran magnitud, siendo necesaria la implementación de toda una serie de sistemas de contención y/o estabilización, tanto a los taludes conformados en corte abierto como a las obras subterráneas.

Durante la práctica se realizó un manual de consulta con lenguaje asequible para profesionales con diferente nivel de formación, justificado en la gran cantidad de obras generadas por la construcción del proyecto, siendo necesario su estricto control y seguimiento durante sus etapas de construcción y en la futura operación de la hidroeléctrica, además de la correcta ejecución de las actividades de reparación y mantenimiento de las obras civiles en caso de cualquier anomalía o falla de cualquiera de los sistemas de contención o estabilización instalados en la hidroeléctrica, además que el manual sirva como base para la implementación de alguno de los sistemas descritos en futuras excavaciones.

---

\* Trabajo De Grado. Modalidad De Práctica Empresarial

\*\* Facultad De Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela De Ingeniería Civil. Director: Ing. *Civil - Ph.D.* Álvaro Viviescas Jaimés. Tutor: Ing. Rubén Ospina Argüelles.

## ABSTRACT

**TITLE:** MANUAL OF THE MAIN METHODS OF SUPPORT AND PROTECTION OF EXCAVATION SURFACES USED IN THE CONSTRUCTION OF HYDROELECTRIC PROJECT SOGAMOSO\*

**AUTHOR:** JULIAN BERNARDO CÁRDENAS RUEDA\*\*

**KEYWORDS:** CONTAINMENT SYSTEMS, EXCAVATIONS, TRIALS AND SPECS.

### DESCRIPTION

The purpose of this business practice is to generate and identify a clear and simple record of the different stabilization and support systems that were used during the Sogamoso hydroelectric project, specifically containing slopes in open cut, entry and exit tunnels and underground excavations in the main works of the project, plus additional works such as alternative pathways and road tunnels.

During the development of the practice the large dimension on the reservoir was observed with its generation plant, the structure of the landfill site with discharge channel skiing ended, construction of alternative roads and bridges, topography of the work site and working conditions in the same Dam generated cuts and large-scale excavations, being necessary the implementation of containment systems series and/or stabilization of slopes formed in open cut and underground works.

During the practice was performed an easy language reference manual for professionals with different educational level, justified in the large amount of works generated by the construction of the project, is still needed and strict control and monitoring during the stages of construction and future operation hydropower, as well as the proper execution of repair works and maintenance of civil works maintenance of civil works in case of any anomaly or failure of any containment or stabilization systems installed in hydropower, the handbook also serves as the basis for the implementation of any of the systems described in future excavations.

---

\* Project of Grade. Modality Business Practice.

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Ing. *Civil - Ph.D.* Alvaro Viviescas Jaimes. Tutor: Ing. Rubén Ospina Argüelles.

## INTRODUCCIÓN

ISAGEN S.A. E.S.P. Es una empresa colombiana de servicios públicos dedicada a la generación y comercialización de energía eléctrica, la cual en sus últimos años ha enfocado su estrategia principalmente en aumentar su capacidad de generación con centrales hidroeléctricas para atender la creciente demanda de energía en el país.

Para aprovechar las aguas del río Sogamoso ISAGEN ha previsto la construcción de una presa de gravas con cara de concreto (CFRD), la cual, por su dimensión y topografía del terreno, se generan cortes y excavaciones de gran magnitud, siendo necesaria la implementación de toda una serie de sistemas de contención y/o estabilización tanto a los taludes como a las obras subterráneas.

La construcción de la presa como es de suponer, se divide en frentes de obra, en los cuales se llevan a cabo procesos de excavación con sus respectivos tratamientos de contención; la diversidad de sistemas de contención presente en el mercado, los diferentes procesos constructivos adoptados en las obras y con miras en la operación y mantenimiento de la hidroeléctrica, hace necesario la elaboración de un texto en el cual se recopilen los sistemas de contención específicos instalados con sus respectivos procesos constructivos.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

Consolidar lo realizado en la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la construcción del proyecto hidroeléctrico Sogamoso propiedad de **ISAGEN S.A. E.S.P.**, con el aporte de un manual de los métodos utilizados en la estabilización y protección de taludes en corte abierto y excavaciones subterráneas.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar y producir el *Manual de los Principales Métodos de Soporte y Protección de Superficies de Excavación Utilizados en la Construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.*
- Recopilar y procesar los procedimientos usados en los métodos de estabilización y protección de taludes adoptados en el proyecto.
- Identificar los casos especiales de contención implementados en las obras del proyecto.
- Generar una secuencia de las etapas constructivas de los métodos de contención adoptados en el proyecto, haciendo énfasis en los ensayos realizados durante la colocación, y en las posteriores pruebas de verificación.
- Comprender las diferencias que se presentan entre los diferentes métodos de estabilización, en su proceso constructivo, colocación y funcionalidad.

## **2. DESCRIPCIÓN DE ISAGEN S.A.E.S.P Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO SOGAMOSO**

ISAGEN S.A. E.S.P. Es una empresa colombiana de servicios públicos dedicada a la generación y comercialización de energía eléctrica, la cual en sus últimos años ha enfocado su estrategia principalmente en aumentar su capacidad de generación con centrales hidroeléctricas para atender la creciente demanda de energía en el país.

### **2.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

**2.1.1. Reseña histórica.** En Colombia a inicios de la década de los noventa se enfrentaron grandes problemas de generación eléctrica, debido a esta situación el Estado publicó en 1994 la ley 142 servicios públicos y la ley 143 Eléctrica que permitieron la participación del sector privado en la generación de electricidad mediante la figura de generadores independientes permitiendo la apertura a la competencia al capital privado. Gracias a estas reformas nace ISAGEN en 1995 como una sociedad de servicios públicos mixta, anónima, de carácter comercial, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía: ISAGEN S.A.E.S.P dedicada a la producción y comercialización de energía, e Interconexión Eléctrica S.A.

Con reconocidas distinciones a través de los años tales como ISO 9001 por parte del ICONTEC, certificación del Sistema de Gestión Ambiental en el año 2003 entre otras. ISAGEN asumió una clara orientación a la satisfacción de tres agentes fundamentales: accionistas, mercado y clientes, con condiciones que favorecen el desarrollo armónico de la Empresa y los trabajadores, labor que ha cumplido a cabalidad durante sus 16 años de servicio al país en la comercialización y

producción de energía, hoy en día de la mano del señor Luis Fernando Rico presidente de la compañía.

**2.1.2. Proyectos.** Actualmente ISAGEN cuenta con cuatro centrales hidroeléctricas y una central térmica, ubicadas en los departamentos de Antioquia, Santander y Caldas. Posee una capacidad instalada total de 2.132 MW, equivalente al 16% de la capacidad total del Sistema Interconectado Nacional, distribuida en 1.832 MW hidráulicos y 300 MW térmicos, ubicándola como la tercera generadora más grande de Colombia. Simultáneamente ejecuta tres proyectos hidroeléctricos en los departamentos de Santander, Sur del Tolima y Oriente de Caldas, asimismo adelanta estudios técnicos y ambientales para proyectos de energía geotérmica en el Macizo Volcánico del Ruiz y de energía eólica en la Guajira, lo cual la consolida como agente fundamental en el desarrollo de la industria de energía del país.

**2.1.3. Misión.** ISAGEN basa su modelo de negocio en la capacidad de generación, producción, optimización y comercialización de energía, gas natural por redes, carbón, vapor y otros energéticos de uso industrial y la promoción y ejecución de proyectos de generación en el ámbito nacional; con el fin de construir soluciones energéticas, personalizadas que incrementen su productividad, mediante la operación y mantenimiento de los centros productivos, con perspectiva ambiental y tecnología avanzada, lo cual asegura la competitividad, solidez, y calidad en los servicios de ISAGEN.

**2.1.4. Visión.** ISAGEN es una compañía guía en producción y comercialización de energía en Colombia, reconocida por sus negocios en ámbitos energéticos internacionales; aspira mayores beneficios anticipados para el país, mediante la protección ambiental, el desarrollo social y el crecimiento económico.

## 2.1.5 Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso

Figura 1. Construcción Del Proyecto Sogamoso



Fuente: El Autor

**2.1.5.1 Localización y generalidades:** El río Sogamoso se ubica en la geografía del departamento de Santander, formándose en la zona donde confluyen las provincias de Soto, Guanentá y Mares siguiendo un recorrido oriente-occidente hasta desembocar en el Río Magdalena.

El Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, se localiza en el Departamento de Santander, nororiente de Colombia; consiste en la utilización de las aguas del Río Sogamoso para la generación de energía eléctrica, mediante la construcción de una presa de gravas con cara de concreto (CFRD), con una altura de 190 m, que tiene en su extremo izquierdo la estructura para el vertedero, el cual será controlado por cuatro compuertas y su canal de descarga terminará en un salto de esquí para la disipación de energía, y la instalación de tres unidades de generación ubicadas en una central subterránea. Se encuentra en etapa de construcción desde febrero de 2009; las obras se sitúan sobre el cañón donde el río Sogamoso atraviesa la serranía de La Paz, 62 Km después de la convergencia de los ríos Suarez y Chicamocha y 75 Km antes de su desembocadura en el

afluente del Magdalena, la cuenca hidrográfica del Río Sogamoso hasta el sitio de la presa tiene una extensión de 21.338 Km<sup>2</sup>.

La presa y el embalse se localizan en jurisdicción de los municipios de Betulia, Girón, Zapatoca, San Vicente de Chucurí, Los Santos y Lebrija, que junto con los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches y Sabana de torres, ubicados aguas abajo del sitio de la presa, conforman el área de influencia del Proyecto.

En arreglo con el cronograma señalado, las obras estarán terminadas al finalizar el año 2013, momento en el que la central hidroeléctrica entrará en operación comercial, ampliando la capacidad instalada de ISAGEN en 820 megavatios y su producción de energía en 5.056 gigavatios hora año, equivalentes al 10 % del consumo de energía en Colombia.

El embalse tendrá un volumen total de 4.717 millones de metros cúbicos, de los cuales 2.802 millones corresponden a embalse útil; el área inundada (espejo de agua) será de 6.969 ha. La precipitación media anual multianual en la cuenca del río Sogamoso varía espacialmente desde 700 mm/año en la parte alta de la cuenca (estación Cucunuvá), hasta 3.362 mm/año en la parte baja cerca al sitio de presa (estación río Sogamoso Puente La Paz).

### **3. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL**

Después de una etapa preliminar, en el proyecto se desarrollaron las siguientes actividades:

#### **3.1. REVISIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PLANOS**

Antes de iniciar con una obra se cuentan con una serie de planos, los cuales se diseñaron con anterioridad basados en estudios topográficos, geológicos, estructurales, entre otros; estos planos sin duda alguna reflejan las posibles características del terreno a encontrar y las geometrías de las estructuras a construir; sin embargo, una vez iniciados los trabajos es posible que se encuentren situaciones y características imprevistas que obliguen a un replanteo y rediseño tanto en los planos como en los métodos constructivos.

De acuerdo a lo anterior los planos están sujetos a cambios los cuales deben ser atendidos en su momento por el diseñador que es el encargado de generar un nuevo plano que refleje y se adapte a las condiciones reales encontradas en la obra; una vez se cuente con el plano actualizado, este se debe revisar cuidadosamente analizando los cambios introducidos y se debe verificar además si los nuevos diseños se adaptan a las necesidades de la obra.

Una vez verificada y aprobada la revisión del plano este debe estar disponible para cualquier consulta por parte de la ingeniería del proyecto; estos se organizan por lotes correspondientes a los frentes de obra, clasificación por temas y secuencia de detalle; luego se juntan varios lotes, en lo posible que sean de un frente de obra similar o complementario, para después encuadernarlos en paquetes de fácil manejo.

El plano obsoleto debe ser retirado y archivado inmediatamente con el fin de evitar confusiones, y que por accidente se tome este plano como la revisión vigente; para una mayor claridad se suele poner un sello de “OBSOLETO”.

### **3.2 REMISIÓN DE PLANOS Y HOJAS DE VIDA**

Una vez recibido y revisado el plano en revisión vigente, es necesario que el contratista conozca y tenga en su poder el plano actualizado lo más pronto posible; en este orden el plano es remitido a la interventoría del proyecto para que esta a su vez se lo remita al contratista además de ejercer el control correspondiente en la ejecución de las obras.

Esta remisión a la interventoría se hace por medio de una comunicación en la cual se cita a su vez la comunicación enviada por el diseñador; el comunicado contiene la descripción del lote a la que pertenece el plano, el nombre del plano y su respectiva revisión; adicionalmente a cada plano con revisión se le hace una hoja de vida la cual consiste en una tabla en donde se registran todos los cambios a los que ha sido sometido el plano desde su diseño inicial.

### **3.3 ENVÍO A LA INTERVENTORÍA DE LOS COMUNICADOS EMITIDOS POR EL DISEÑADOR**

En el desarrollo de las obras con frecuencia en el constructor se generan dudas y se proponen cambios en sistemas constructivos, materiales y especificaciones impartidas en los planos; por tal razón el diseñador debe realizar una constante revisión de dichos temas expuestos por el constructor; el diseñador después de analizar dicha situación modifica o por el contrario ratifica lo expresado en las especificaciones dadas.

Para esto se debe remitir una comunicación a la interventoría del proyecto en donde se relacione el comunicado del diseñador, el tema a analizar y la fecha de remisión; esta comunicación debe remitirse con los anexos correspondientes a los comentarios del diseñador.

### **3.4 APOYO EN LA GESTIÓN DE DOCUMENTOS**

Debido a la gran área de influencia del proyecto con frecuencia se reciben comunicaciones relacionadas con la parte técnica, social, socioeconómica, ambiental, entre otros; a dichos comunicados se les da respuesta lo más pronto posible y deben contener los soportes correspondientes.

### **3.5 SEGUIMIENTO A LA PROGRAMACIÓN DE OBRA**

La programación para un proyecto de esta magnitud se establece desde la etapa de licitación sujeto a cambios en el momento de la ejecución de las obras; para dicha programación se tienen en cuenta los procesos constructivos, la importancia de los trabajos, las secuencias constructivas, entre otras.

Con el fin de tener un control y una proyección del correcto avance de las obras es necesario realizar un seguimiento a cada actividad propuesta en la programación; se deben identificar los frentes en donde se presentan retrasos especialmente si estos hacen parte de la ruta crítica del proyecto; adicionalmente se deben proyectar dichos retrasos y determinar la incidencia de este en la fecha de terminación del proyecto.

### **3.6 REGISTRO Y SEGUIMIENTO A LOS INFORMES DIARIOS ENVIADOS POR LA INTERVENTORÍA**

La interventoría en su ejercicio natural de verificar y controlar los trabajos que se ejecutan en la obra emite reportes diarios de cada frente en donde se hace una descripción detallada de los avances de los trabajos, rendimientos obtenidos, descripción de anomalías y registro fotográfico.

Es necesario procesar la información contenida en los reportes de la interventoría debido a que es una información completa y confiable la cual refleja el estado actual de las obras; en este sentido y con base en los reportes se realizan gráficos y proyecciones que complementa los trabajos de seguimiento a la programación de obras.

### **3.7 RECORRIDOS DE OBRA**

Como complemento a los controles y seguimientos citados anteriormente se realizan recorridos de obra semanales con el fin de tener un acercamiento y una visión clara del avance de las obras; estas visitas se hacen periódicamente o cuando se presente una situación en la que se requiera una verificación en campo.

Los recorridos de obra consisten básicamente en el desplazamiento hasta el frente en cuestión; se debe tener un conocimiento previo de la situación presentada; el personal de la interventoría debe servir de apoyo para referenciar el problema en campo.

Se debe recopilar la información que sea posible complementándola con un registro fotográfico claro en el que se pueda observar y referenciar el problema en cuestión.

### **3.8 ELABORACIÓN DE INFORMES DEL ESTADO DE LAS OBRAS**

Una vez realizado el recorrido de obra se debe consolidar la información recopilada en un informe en el cual se haga una descripción general del problema seguido de la descripción observada en campo; las apreciaciones que se incluyan en el informe deben estar soportadas técnicamente.

Este informe debe elaborarse rápidamente de una forma clara y concisa refiriéndose a la situación en cuestión; se deben citar planos, comunicaciones, notas de campo y fotografías siempre y cuando estas lo ayuden a contextualizar y aclarar la situación; el anexo del registro fotográfico es de vital importancia para una mayor comprensión de la situación a informar.

## 4. MANUAL DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE SOPORTE Y PROTECCIÓN DE SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO

En el presente manual se busca generar un texto de consulta claro, con lenguaje asequible para profesionales con diferente formación, de los diferentes sistemas de estabilización y soporte usados durante la construcción del proyecto hidroeléctrico Sogamoso, específicamente en la contención de taludes en corte abierto y excavaciones subterráneas.

### 4.1. CONCRETO LANZADO

Figura 2. Talud Revestido En Concreto Lanzado.



Fuente: El Autor.

**4.1.1. Generalidades.** El concreto lanzado se define como una mezcla de cemento, agregados grueso y fino, agua y un aditivo acelerante el cual es conducido neumáticamente por una maquina impulsora a través de una manguera a altas velocidades siendo proyectado sobre una superficie a proteger.

La mezcla puede estar acompañada de refuerzo o no dependiendo de la carga a la que se solicite y a las características de la superficie a proteger; los refuerzos más comunes son las mallas electro-soldadas y las fibras de acero.

**4.1.2. Superficies donde se aplica el concreto lanzado.** El concreto lanzado se puede aplicar en superficies de concreto, piedra, terreno natural, mampostería, acero, madera entre otros, ubicados principalmente en:

- ✓ Túneles y minas.
- ✓ Estabilización de taludes y muros de contención.
- ✓ Muelles, diques y represas.
- ✓ Cisternas y tanques de agua.
- ✓ Albercas y lagos artificiales
- ✓ Canales y drenajes.
- ✓ Rehabilitación y refuerzo estructural.
- ✓ Recubrimiento sobre panel de poliestireno.
- ✓ Concreto refractario para chimeneas, hornos y torres.

**4.1.3. Ventajas que ofrece el concreto lanzado**

- ❖ Se coloca y se compacta al mismo tiempo debido a la fuerza con que se proyecta desde la boquilla a diferencia del concreto convencional, que se coloca y luego se compacta en una segunda operación (*vibrado*).
- ❖ Se evita la colocación de cimbras.
- ❖ Presenta baja permeabilidad, alta resistencia, adhesividad y durabilidad.
- ❖ Disminuyen las grietas por temperatura en el proceso de fraguado.
- ❖ Puede dársele cualquier acabado y coloración.
- ❖ Permite el diseño de formas libres.
- ❖ Su técnica de aplicación permite el acceso a sitios difíciles.
- ❖ Las técnicas de aplicación son ideales para estructuras de pared delgada.

El concreto lanzado se utiliza en el proyecto, en las excavaciones subterráneas como soporte en la realización del siguiente avance de la excavación evitando desprendimientos de roca; en excavaciones a cielo abierto se utiliza de un modo similar, con diferencias en la perfilación de la excavación.

#### **4.1.4. Métodos de aplicación del concreto lanzado**

**4.1.4.1. Método seco:** Se conoce como método seco cuando a la mezcla de cemento, agregados y aditivos, después de haber sido impulsada neumáticamente se le añade el agua en la boquilla ubicada al final de la manguera utilizada para lanzar el concreto.

El acelerante de fraguado se adiciona y se integra a la mezcla en la boquilla ubicada al final de la manguera.

Este concreto se aplica sobre malla electro-soldada como refuerzo; adicionalmente se le instalan lagrimales para el drenaje de aguas subterráneas y de infiltración.

**4.1.4.2. Método húmedo:** Se conoce como método húmedo cuando a la mezcla de cemento, agregados y aditivos, se le añade el agua antes de entrar por la manguera siendo impulsada cuando todos sus componentes ya están mezclados por completo; el acelerante de fraguado se adiciona y se integra a la mezcla en la boquilla ubicada al final de la manguera.

La mezcla es preparada en una planta dosificadora con anterioridad a la conducción y aplicación mediante la máquina impulsora.

A este concreto se le puede adicionar refuerzo con fibras de acero discontinuas, distribuidas aleatoriamente con una concentración uniforme en toda la mezcla;

adicionalmente se le instalan lagrimales para el drenaje de aguas subterráneas y de infiltración.

Los avances tecnológicos tanto en los materiales como en los equipos utilizados en el proceso de aplicación del concreto lanzado hacen a ambos métodos casi intercambiables.

En la mayoría de las aplicaciones, el método preferido está determinado por factores como: La economía, disponibilidad de material y equipo, acceso a la obra, así como por la experiencia y preferencia del contratista o por la exigencia del contratante.

Hoy en día, los niveles de rebote y polvo, así como la resistencia y durabilidad, pueden ser similares, independientemente de qué método se utilice.

**4.1.5. Aplicación del concreto lanzado.** El concreto lanzado es reforzado con fibras de acero o malla electro-soldada; lo anterior está determinado por el tipo de excavación y el proceso constructivo que se adopte; los dos refuerzos cumplen funciones similares en su funcionamiento; en ocasiones se prefiere el refuerzo con fibra de acero debido a la necesidad de una pronta aplicación, y que esta sea de un solo lanzado; si la disponibilidad de tiempo lo permite y las condiciones del sitio son las adecuadas se podría reforzar con malla electro-soldada.

**4.1.6. Pasos para la correcta aplicación del concreto lanzado.** A continuación se hace una descripción de la aplicación del concreto lanzado en excavaciones a cielo abierto.

#### 4.1.6.1. Preparación de las superficies

- El proceso de la aplicación del concreto lanzado inicia con la perfilación del talud o superficie a proteger; dependiendo del tipo de roca y del acabado deseado dicha perfilación se ejecuta al momento de la excavación o posterior a ella en procesos como peines manuales o mecánicos con retro-martillo.
- Las superficies, ya sean de roca descubierta o previamente revestidas con concreto lanzado, que hayan de recibir concreto lanzado, se limpian de material suelto o flojo, polvo, barro o cualquier otro material que contamine o disminuya la adherencia entre el concreto y la superficie.
- La limpieza se hace con chorros de aire y agua a alta presión o por cualquier otro método que muestre resultados similares.
- El método y las operaciones de limpieza que se escojan se llevan a cabo de tal manera que se evite aflojar, agrietar o fragmentar la superficie que va a recibir concreto lanzado.
- Las superficies se mantienen humedecidas desde el momento en que se termine la limpieza hasta cuando se aplique el concreto lanzado

**Figura 3. Perfilación Del Talud.**



Fuente: El Autor

**Figura 4. Limpieza Con Chorros De Agua.**



Fuente: El Autor.

**4.1.6.2. Fijación de la malla con la colocación de clavijas:** Para asegurar la malla a la superficie se instalan clavijas de varilla de 6,3 mm embebidas con mortero en perforaciones de por lo menos 10 cm de profundidad y separadas a 1 m. Según sea el caso se aprovechan elementos ya instalados que sirvan para soportar la malla electro-soldada.

**Figura 5. Clavijas Para Asegurar La Malla De Refuerzo.**



Fuente: El Autor.

**4.1.6.3. Instalación de calibradores para medir el espesor del concreto lanzado:** Antes de aplicar el concreto lanzado, se instalan calibradores con el fin de controlar el espesor de las capas de concreto lanzado durante su aplicación. Las varillas de calibración tienen un diámetro mínimo de 4 mm; estas varillas se

instalan de tal manera que haya por lo menos una varilla de calibración por cada 0,5 m<sup>2</sup> de superficie; la verificación de los espesores se hace con ensayos de perforaciones de control el cual se explica más adelante.

**Figura 6. Varillas De Calibración.**



Fuente: El Autor.

**4.1.6.4. Aplicación de la primera capa de concreto lanzado:** Se aplica una primera capa de concreto lanzado de aproximadamente 5 cm con el fin de garantizar el recubrimiento de la malla de refuerzo.

En concretos reforzados con fibras de acero la aplicación se ejecuta con el espesor definitivo.

**Figura 7. Primera Capa De Concreto Lanzado.**



Fuente: El Autor.

- Los lanzados de concreto se ejecutan cuando el corte en el talud y la longitud del mismo sea moderado con el fin de evitar fallas en el talud excavado. En la Foto No.8 se aprecian dos lanzados en etapas diferentes.

**Figura 8. Concreto Lanzado Según Etapas De Excavación.**



Fuente: El Autor.

**4.1.6.5. Colocación de la malla electro-soldada:** La colocación de la malla electro-soldada se hace en forma tal que quede en contacto el concreto lanzado previamente aplicado; el refuerzo se instala cumpliendo con los espacios de recubrimiento mínimos.

**Figura 9. Colocación De La Malla Electro-Soldada.**



Fuente: El Autor.

**Figura 10. Colocación De La Malla Electro-Soldada.**



Fuente: El Autor.

**4.1.6.6. Aplicación de la segunda capa de concreto lanzado:** Después de la correcta colocación de la malla de refuerzo se hace el segundo lanzamiento de concreto hasta el espesor definitivo.

**Figura 11. Segunda Capa De Concreto Lanzado.**



Fuente: El Autor.

La aplicación del concreto lanzado se lleva a cabo por personal con alta experiencia y criterio en el tema.

#### **4.1.7. Control de los materiales**

**4.1.7.1. Cemento:** El cemento utilizado para cualquier método de lanzamiento cumple con los requisitos establecidos correspondientes para el cemento Portland Tipo I; Las temperaturas del cemento para las mezclas durante la colocación no exceden los 50°C; en los silos de almacenamiento la temperatura no excede los 70°C.

**4.1.7.2. Agregados:** Los agregados gruesos y finos, tienen un tamaño máximo nominal de 12,7 mm. Los agregados combinados son bien gradados y están completamente dentro de los límites granulométricos; en el Anexo A se indican los límites de granulometría.

**4.1.7.3. Aditivos:** Los aditivos en polvo o líquido y acelerantes de fraguado que se utilizan proporcionan altas resistencias en corto tiempo, estos no causan corrosión al acero o malla de refuerzo, ni ocasionan otros efectos indeseables tales como descascaramiento o agrietamiento del concreto.

En el Anexo B se indican los tiempos máximos de fraguado inicial, final y resistencia de la mezcla cemento-aditivo-agregado.

**4.1.7.4. Fibras de acero:** Las fibras que se adicionan al concreto lanzado están conformadas por alambres de acero trefilado, las cuales se distribuyen en forma aleatoria y con una concentración uniforme en toda la mezcla sin presentar la tendencia a formar acumulaciones y/o apelmazamientos.

**4.1.7.5. Malla electro-soldada:** El refuerzo está constituido por elementos de alta resistencia, laminados en caliente y estirados en frío, con una resistencia garantizada a la rotura en ensayos de tracción de 525,0 MPa; el espaciamiento entre varillas y el diámetro de estas corresponden con los especificados comercialmente para los tipos Q2, Q4, y Q-3.1 de Concremalla o similares.

**4.1.8. Pruebas.** Principalmente con el fin de controlar la compatibilidad entre el cemento y el aditivo que se estén empleando en las obras, se realizan los siguientes ensayos:

**4.1.8.1. Pruebas de resistencia a la compresión uniaxial:** Se aplica concreto lanzado por lo menos sobre 2 paneles de madera colocados en posición vertical y 2 paneles de madera colocados en posición horizontal para lanzado hacia arriba o hacia abajo; el concreto lanzado aplicado sobre los paneles de madera se somete al proceso de curado para después cortar probetas cúbicas de aproximadamente 7,5 cm de lado para ensayos a las edades de 8 horas, 3 días y 28 días.

Se suministran un número suficiente de paneles para obtener un mínimo de 10 probetas cúbicas para cada mezcla y para cada una de las edades establecidas anteriormente.

Las mezclas de concreto lanzado se diseñan para obtener resistencias a la compresión en los cubos de prueba del orden de:

- 4,0 MPa a las 8 horas.
- 15,3 MPa a las 72 horas.
- 30,6 MPa a los 28 días de edad.

El criterio de resistencia para las mezclas de concreto lanzado ensayadas se basa en que por lo menos un 80% de los ensayos de resistencia a la compresión deberán dar una resistencia igual o superior a la especificada.

**4.1.8.2. Pruebas de tenacidad:** Las pruebas de tenacidad se realizan al concreto lanzado preparado por el método húmedo reforzado con fibra de acero; la mezcla proporciona una cantidad suficiente de fibras de acero por metro cúbico ( $m^3$ ) de concreto de tal forma que la energía absorbida sea como mínimo 1000 julios; se tiene en cuenta que las cantidades de fibra son de  $45 \text{ kg}/m^3$  de concreto lanzado colocado.

Durante la etapa de construcción y como alternativa a la Norma EFNARC se efectúan ensayos de resistencia residual en vigas para medir la tenacidad del concreto lanzado; el panel para el corte de las viguetas a utilizar en el ensayo es de 600 mm de longitud, 450 mm de ancho y 150 mm de espesor; del panel obtenido anteriormente se cortan tres vigas de dimensiones 150 mm x 150 mm x 600 mm; las vigas se ensayan a los 28 días de aplicado el concreto y después de estar curadas en agua por un mínimo de tres días anteriores al ensayo.

Las vigas se prueban de acuerdo con el ensayo de flexión con cargas en los tercios de la luz, la tasa de deformación en el centro de la luz es de  $0,25 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$  por minuto hasta una deflexión de 0,5 mm. A partir de este punto la tasa de deflexión es incrementada a 1,0 mm por minuto. La curva carga vs. Deflexión en el centro de la luz se registra en forma continua. La prueba se finaliza cuando la deflexión en el centro de la luz sea de 4 mm.

Los valores de resistencia residual registrados del concreto son como mínimo los que se indican en el Anexo C.

Para que la mezcla cumpla los requisitos de tenacidad en la prueba de resistencia residual, por lo menos 2 de las 3 viguetas cumplen los valores especificados. En el caso de que una de las vigas presente valores inferiores a los indicados en el Anexo C *Resistencia mínima residual para dos de tres vigas ensayadas*, y a su vez esta misma viga presente valores de tenacidad superiores a los indicados en el Anexo D -*Resistencia Mínima Residual para la Viga que no Cumpla con los Criterios del Anexo C*, se considera que el concreto lanzado si cumple los requisitos de tenacidad.

En el caso que 2 o las 3 viguetas no cumplan la resistencia residual indicada en la *Tabla No.3 Resistencia mínima residual para dos de tres vigas ensayadas*, así como en el caso que una vigueta no cumpla los valores mínimos indicados en la *Tabla No.4 Resistencia Mínima Residual para la Viga que no Cumpla con los Criterios de la Tabla No.4*, se considera que el concreto lanzado **no cumple** los requisitos de tenacidad y será rechazado para su uso en la obra.

**4.1.8.3. Contenido de fibra de acero en el concreto lanzado aplicado:** Para la determinación del contenido de fibra de acero en el concreto lanzado aplicado fresco, se toma una muestra de mínimo 5 kg de la superficie recién recubierta; seguido con el lavado previo del cemento por la malla #200, antes que la mezcla haya endurecido. Una vez lavado el cemento, se extraen las partículas de fibra de acero con un imán. El contenido de fibra en el concreto lanzado colocado se determina según se indique en las especificaciones técnicas.

**4.1.8.4. Perforaciones de control.** Una vez completada la aplicación de concreto lanzado en un sector determinado, y con el objeto de hacer una comprobación adicional a los espesores colocados, se ejecutan perforaciones de control; estas perforaciones tienen 38 mm de diámetro como mínimo ejecutados en grupos de 5 perforaciones por cada 100 m<sup>2</sup> de área soportada en corte abierto o excavación subterránea.

**4.1.6.3. Aumento de espesores por baja resistencia a la compresión inconfiada o por bajos contenidos de fibra:** Cuando la resistencia promedio de los núcleos sometidos al ensayo de compresión, indica que el concreto lanzado colocado no tiene la resistencia especificada de 26 MPa, se colocan espesores adicionales de concreto, de acuerdo con lo establecido en el Anexo E *-Aumento de espesores de concreto lanzado debido a bajas resistencias a los 28 días-*.

Cuando en las pruebas para la verificación del contenido de fibra de acero en el concreto lanzado colocado se encuentra que éste es inferior a 30 kg/m<sup>3</sup> de concreto o a la cantidad de fibra por m<sup>3</sup> determinada en los ensayos, se coloca un espesor adicional de concreto reforzado con fibra, de tal forma que se garantice en el producto final una energía absorbida de por lo menos 1000 julios.

**4.1.6.4. Concreto lanzado dañado o defectuoso:** Con la extracción de los núcleos de recobro se verifica en campo la adherencia del concreto lanzado y la roca; esta verificación consiste en revisar que no se presente separación entre la roca y el concreto lanzado del núcleo extraído, aún en el caso en el cual, al núcleo se le ejerza manualmente presión.

Cuando la resistencia al cabo de 28 días determinada en probetas cilíndricas de concreto lanzado endurecido, sea menor que 26 MPa, dicho concreto será retirado y reemplazado.

## 4.2. TENDONES DE ANCLAJE

Figura 12. Talud Contenido Con Tendones De Anclaje.



Fuente: El Autor.

Un tendón de anclaje se define como un conjunto de cables y accesorios que tienen como finalidad contener un talud el cual este solicitado a grandes empujes; básicamente consiste en un conjunto de cables de acero de alta resistencia embebidos en su extremo interior en lechada, a los cuales se le aplica una fuerza de tracción con un gato hidráulico con el objetivo de producir una deformación al sistema de cables; un anclaje ubicado en la parte exterior se acciona al soltar el gato hidráulico evitando el deslizamiento de los cables por medio de cuñas metálicas, teniendo como resultado una fuerza de tensión activa en cada extremo del tendón.

### 4.2.1. Zonas de un tendón de anclaje

**4.2.1.1. Zona de bulbo:** La zona de bulbo es la longitud del tendón ubicada en la parte interior de la perforación la cual es inyectada con lechada en una primera etapa con el fin de constituir una zona en la cual se transfiera la carga aplicada en los torones, hacia las paredes de la perforación generando una zona de anclaje.

La longitud de anclaje depende de las características de la roca y de los posibles tipos de fallas a las que pueda estar expuesto el talud a proteger; esta longitud garantiza una adherencia y una fricción entre la estructura del tendón y las paredes de la perforación suficiente para soportar las cargas de tensión aplicadas a los torones; generalmente esta longitud puede variar entre 8 y 12 metros.

**4.2.1.2. Zona libre:** Esta zona se conforma después de la zona de bulbo hasta la cabeza de tensionamiento ubicada en la parte exterior de la perforación; en esta zona no se presentan fuerzas de anclaje debido a que se inyecta con lechada en una etapa posterior a la inyección del bulbo y al tensionamiento de los torones.

Las inyecciones con lechada en esta zona son de especial cuidado y control debido a que se podrían generar falsos valores de anclaje con posterior falla del sistema generando la relajación de los torones.

**4.2.2. Partes de un tendón de anclaje.** Un tendón está conformado principalmente por torones, platinas de apoyo, cuñas, arandelas, tuercas, accesorios para inyección, dispositivos para tensionamiento y fijación (*Ver ANEXO G. Esquema De Un Tendón De Anclaje.*) ; a continuación se describen algunos de ellos:

**4.2.2.1. Torones:** Los torones son los principales elementos del tendón; deben ser cables de acero de alta resistencia; cada torón está compuesto por 7 hilos o alambres, cuyo hilo central esté rodeado estrechamente por 6 hilos exteriores enrollados helicoidalmente.

El torón se encarga de almacenar la fuerza introducida normalmente mediante un gato hidráulico y aplicarla a la estructura de anclaje en la zona de bulbo; para introducir la fuerza deseada en un torón, éste se deforma longitudinalmente

mediante un gato hidráulico y se mantiene dicha deformación, accionando el anclaje cuando se retira el gato hidráulico.

**4.2.2.2. Platinas de apoyo:** Las platinas de apoyo son básicamente placas metálicas cuadradas de un área determinada que cumplen la función de transmitir y distribuir uniformemente la fuerza de pretensado concentrada en el extremo del tendón al mortero de protección.

**4.2.2.3. Cabezas de tensionamiento:** Las cabezas de tensionamiento son placas circulares de espesor considerable, las cuales poseen perforaciones simétricas para permitir el paso de los torones y las mangueras de inyección.

**4.2.2.4. Cuñas:** Las cuñas metálicas son tapones metálicos huecos que se le introducen a cada torón junto a la platina de apoyo; cumplen la función de impedir el deslizamiento de los torones en la cabeza de tensionamiento al momento de soltar el gato hidráulico.

Los orificios para cada torón tienen forma cónica con el fin de que en cada orificio se ubique y encaje una cuña metálica.

**Figura 13. Elementos Del Cabezote En Los Tendones De Anclaje.**



Fuente: El Autor.

#### **4.2.3. Características de los elementos que constituyen un tendón.**

- ❖ Los tendones de anclaje tensionados están constituidos por dos o más torones de acero de 12,7 mm de diámetro según se requiera; estos son de alta resistencia que cumpla con la última versión de la Norma ASTM A416 Grado 270.
- ❖ Las platinas de apoyo tienen un área y un espesor suficiente para distribuir adecuadamente las fuerzas de tensión, sin causar esfuerzos excesivos en cualquier parte de las mismas y son perforadas adecuadamente, trabajadas a máquina y ajustadas a los accesorios de inyección y ventilación en la forma que se requiera.
- ❖ Las platinas de apoyo y cabezas de tensionamiento son capaces de soportar, sin deformarse, el 95% de la máxima resistencia a la tensión garantizada para los torones.

- ❖ Las características y disposición de las platinas de apoyo, cabezas de tensionamiento y de los accesorios de inyección cumplen con las recomendaciones dadas por el fabricante de los tendones.
- ❖ El agua, el cemento, la arena y los demás componentes que se utilizan para la preparación de la lechada o mortero de inyección cumplen con las especificaciones y requisitos establecidos para cada componente.
- ❖ La resistencia a la compresión del concreto o mortero, en el momento de tensionar el tendón son iguales o mayores a 1,3 veces el esfuerzo de compresión inducido por el tensionamiento.
- ❖ Los aditivos que se usen, proporcionan a las mezclas las propiedades de:
  - Bajo contenido de agua.
  - Buena fluidez.
  - Baja tendencia del agua a subir a la superficie de la lechada fresca.
  - Baja expansión, si se requiere.

Su composición química es tal, que no existen reactivos que tengan efectos nocivos en el cemento o en los torones de anclaje. Los aditivos que contengan cloruros, sulfitos y nitratos **no** son utilizados.

- ❖ Si se considera adecuado, para un caso en particular, se reemplaza la lechada o mortero para fijación de los tendones de anclaje por resinas sintéticas.
- ❖ Se entrega una memoria técnica con la información detallada sobre los métodos, materiales, incluido el nombre del fabricante de los torones, equipos que se proponen emplear para hacer las perforaciones, para ensamblar, instalar, tensionar e inyectar y probar los tendones con el fin de ejercer un control de calidad en los procesos y materiales.
- ❖ Se suministran las curvas esfuerzo-deformación de cada hornada de acero empleado para la fabricación de los torones que se usarán en los tendones de anclaje.
- ❖ Todos los materiales llegan a la obra debidamente empacados en cajas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Además, se toman todas las

precauciones para evitar la oxidación o la corrosión de tales materiales durante su transporte. En la obra se almacenan bajo cubierta y se protegen de los efectos del polvo, grasa, aceite y otras sustancias deletéreas o de la corrosión, hasta que estén permanentemente instalados e inyectados.

- ❖ La instalación de tendones, se realiza en forma paralela con la excavación, evitando grandes taludes que se podrían desestabilizar y además generando rendimientos en la ejecución de las obras.

**4.2.4. Proceso constructivo.** A continuación se describe el proceso para la instalación de un tendón de anclaje con las respectivas recomendaciones para el adecuado funcionamiento del mismo:

**4.2.4.1. Perfilación del talud:** El proceso constructivo para la instalación de un tendón de anclaje inicia con la perfilación del talud a contener; estas excavaciones se hacen para cada línea de tendones y se ejecutan paralelamente a los trabajos de instalación de líneas más avanzadas.

**Figura 14. Perfilación Del Talud.**



Fuente: El Autor.

- Estando perfilado el talud, se protege con concreto lanzado.

**4.2.4.2. Perforación:** Una vez localizados y marcados los puntos de ubicación de la respectiva fila de tendones se ejecutan las perforaciones; los huecos para los tendones de anclaje son perforados con equipo de rotación o de percusión, cumpliendo los requisitos de alineamiento y profundidad mostrados en los planos.

La desviación de la perforación no es mayor de 0,03 m por metro lineal, en cualquier dirección respecto al alineamiento mostrado en los planos; el diámetro de los huecos, depende del número de torones y es el recomendado por el fabricante de los tendones de anclaje.

Si durante la perforación ocurren derrumbes en las paredes del hueco que puedan impedir la instalación del anclaje o posteriormente el llenado completo del hueco con mortero o lechada, se utiliza el sistema OD u ODEX para evitar el derrumbamiento o estabilizar las paredes con un sistema similar, cementándolas y reperforando posteriormente.

**Figura 15. Proceso De Perforación Para Tendones.**



Fuente: El Autor.

**Figura 16. Perforación Ejecutada.**



Fuente: El Autor.

**4.2.4.3. Ensayo de estanqueidad:** Después de realizada la perforación se verifica la estanqueidad de la misma; las perforaciones para los tendones de anclaje son estancos con el objeto de evitar pérdidas de lechada y asegurar un anclaje y una protección contra la corrosión adecuados.

Para comprobar la estanqueidad de la perforación se sigue lo siguiente:

- ✓ Se instala un obturador con el fin de generar la presión deseada en la perforación; la profundidad del obturador define la longitud de obturado; por lo general el ensayo se lleva a cabo en la longitud total de la perforación, en este caso la longitud de obturado resultaría de restarle la longitud del obturador a la longitud total de la perforación; en algunos casos en donde los resultados de los primeros ensayos no son satisfactorios, el ensayo se lleva a cabo solo en la zona del bulbo debido a que en esta zona es que se generan los esfuerzos del anclaje.

**Figura 17. Obturador.**



Fuente: El Autor.

**Figura 18. Introducción Del Obturador.**



Fuente: El Autor.

- ✓ Una vez introducido el obturador se asegura a las paredes de la perforación incrementando su tamaño inyectándole agua a presión.

**Figura 19. Mecanismo Para La Inyección De Agua A Presión Al Obturador.**



Fuente: El Autor.

- ✓ Seguido del obturado, se llena la perforación con agua a una presión igual a  $3,5 \times 10^{-2}$  MPa equivalente a  $0,35 \text{ kgf/cm}^2$ .
- ✓ Una vez alcanzada la presión de  $0,35 \text{ kgf/cm}^2$ , se mide y registra la lectura inicial en él cuenta litros; durante los siguientes 10 minutos se registran las pérdidas adicionales de agua minuto a minuto.

Si las pérdidas de agua durante el período de 10 minutos exceden los  $5 \text{ cm}^3$  por centímetro de diámetro, por metro de perforación y por minuto, el hueco es impermeabilizado mediante inyecciones con lechada, reperforado y nuevamente ensayado.

La reperforación de los huecos se ejecuta después de 24 horas de haberse reinyectado.

En el segundo ensayo se esperan valores menores a los registrados en el primero, no obstante se puede obtener una pérdida de agua mayor a la admisible; en este

caso y después de analizar la roca en donde se realizó la perforación se puede continuar con la instalación del tendón.

- A continuación se cita un ejemplo del proyecto donde se presenta la situación anterior:

Debido a las experiencias presentadas en ensayos anteriores se decidió hacer el ensayo de estanqueidad con una longitud de obturado igual a la longitud de bulbo; el valor de consumo de agua en el ensayo inicial fue de 230.4 cm<sup>3</sup>/cm de diámetro/ml de longitud/minuto con filtración a una perforación cercana.

Para este caso fue necesario reinyectar con lechada buscando impermeabilizar la perforación; 24 horas después de reinyectado se repitió el ensayo obteniendo un valor de consumo de 7.9 cm<sup>3</sup>/cm de diámetro/ml de longitud/minuto, siendo mayor al consumo especificado.

A pesar de los resultados se decide continuar con el proceso de instalación basados principalmente en estudios geológicos que indican que la roca presenta un sistema de diaclasas considerable; adicionalmente en pruebas de chequeo de carga realizadas a tendones con características similares instalados anteriormente se obtuvieron resultados satisfactorios.

**4.2.4.4. Limpieza de la perforación:** Una vez realizado el ensayo de estanqueidad se limpia la perforación de todo residuo de perforación, barro y demás sustancias perjudiciales con agua a presión, con el fin de garantizar una penetración total de las inyecciones con lechada y una adherencia a la superficie. El chorro de agua se aplica hasta que el agua de retorno sea limpia asegurando la remoción total de residuos.

**Figura 20. Limpieza De La Perforación Con Agua A Presión.**



Fuente: El Autor.

**4.2.4.5. Colocación del tendón de anclaje:** Una vez en el sitio de la obra se seleccionan los torones desechando o reparando los tramos que presenten corrosión o daño físico como mangueras dobladas, tubos perforados etc.

- Luego se introduce el tendón colocándolo dentro de la perforación de tal manera que quede correctamente centrado en toda su longitud de adherencia; para esto se usan separadores o dispositivos de apoyo espaciados a distancias no mayores de 3 m; para estos separadores se usan 4 tramos de mangueras convencionales cortadas a longitudes aproximadas de 20 cm.
- Los tendones de anclaje cuentan en su longitud de tensionamiento con una membrana de protección; en dicha membrana deben ir los torones, protegidos a su vez contra la corrosión con una membrana adicional que cubra el torón, pero que permita en cualquier momento el retensionamiento de los anclajes; finalmente quedan en una posición estable para evitar movimiento durante la etapa de inyección.

**Figura 21. Detalle De Los Tendones.**



Fuente: El Autor.

- Cada tendón trae una etiqueta donde se especifica las principales características e información de interés como diámetro, longitud de bulbo, número de referencia de la hornada de acero empleado para la fabricación de los torones, entre otras.

**Figura 22. Tendón Ubicado En La Perforación.**



Fuente: El Autor.

**4.2.4.6. Inyección del tendón:** Una vez ubicado el tendón en la perforación se inicia con el proceso de inyección con lechada; estas operaciones de inyección se ejecutan de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de los tendones.

- La primera etapa se ejecuta en forma continua, llenando primero la longitud de adherencia de la zona interior del anclaje; para esto se utiliza una manguera de inyección (*manguera negra con doble cinta verde, ver Foto No.23*) y otra de retorno (*manguera negra con cinta verde, ver Foto No.23*) ubicadas en medio de los torones.

A su vez se inyecta el espacio anular entre la membrana de protección y la pared de la perforación del anclaje a lo largo de toda la longitud; para esto se utiliza una manguera ubicada en la parte exterior junto a la membrana de protección (*manguera negra sin cinta de color, ver Foto No.23*); debido a fenómenos de segregación, 4 horas después y en esta misma zona se hace una reinyección por medio de un tubo de PVC (*tubo de PVC de color blanco, ver Foto No.23*) el cual posee pequeñas perforaciones para permitir la salida de la lechada en la zona del bulbo.

- La segunda etapa corresponde al relleno con lechada del espacio dentro de la membrana, rodeando con la inyección la membrana adicional de cada torón en la zona libre; para esto se utiliza una manguera de inyección (*manguera negra con doble cinta roja, ver Foto No.23*) y otra de retorno (*manguera negra con cinta roja, ver Foto No.23*) ubicadas en medio de los torones.

Esta inyección se hace **después de haber tensionado el tendón** para evitar la formación de falsos anclajes.

**Figura 23. Detalle De Las Mangueras De Inyección.**



Fuente: El Autor.

**Figura 24. Detalle De Las Mangueras De Inyección.**



Fuente: El Autor.

**Figura 25. Detalles Del Tendón, Tapa Metálica – Tubo De Reinyección.**



Fuente: El Autor.

- Justo antes de inyectar la lechada o mortero se comprueba que los tubos de inyección y ventilación o retorno se encuentren limpios, mediante la inyección de agua y aire comprimido. El agua se inyecta hasta que retorne limpia, y finalmente el agua remanente en el sistema se remueve mediante inyección de aire a presión.
- Las inyecciones se hacen hasta que se observe una salida continua de lechada o mortero por el tubo de ventilación o retorno, de volumen igual al que se está inyectando, sin señales visibles de que aún existe agua o aire dentro del hueco.
- Una vez realizada la inyección los tubos de inyección y ventilación se sellan hasta que la lechada haya fraguado.
- La presión de inyección, si es que se requiere, es suficiente para llenar los huecos, además la presión se mantiene constante por lo menos durante 5 minutos después de sellados los tubos.
- Se conforma una base en concreto para la apoyar la platina de apoyo y la cabeza de tensionamiento; dependiendo de la inclinación del talud la formaleta puede ser plana o tener una sección en forma de cuña.

**Figura 26. Formaleta Para La Base En Concreto.**



Fuente: El Autor.

**Figura 27. Base En Concreto Terminada.**



Fuente: El Autor.

**4.2.4.7. Tensionamiento:** El tensionamiento se hace mediante gatos hidráulicos del tipo recomendado por el fabricante; cada gato hidráulico cuenta con un manómetro y su respectiva curva certificada de calibración que indique la relación entre lecturas del manómetro y la carga aplicada para las acciones de carga y descarga del gato hidráulico.

**Figura 28. Detalle Del Gato Hidráulico.**



Fuente: El Autor.

El tensionamiento del tendón se ejecuta 7 días después de haberse terminado la inyección del anclaje, y se hace de tal forma que pueda medirse en todo momento la carga aplicada y la elongación del tendón.

**Figura 29. Tensionamiento Con Gato Hidráulico.**



Fuente: El Autor.

**Figura 30. Tensionamiento Con Gato Hidráulico.**



Fuente: El Autor.

Los torones se tensionan inicialmente hasta una fuerza igual al 10% de su carga de prueba; en este punto se inicia con las medidas de elongación; a continuación se incrementa progresivamente la tensión, hasta alcanzar la carga de prueba, la cual excede en un 20% la carga de trabajo; la carga de trabajo, es igual al 50% de la resistencia última del tendón.

**Figura 31. Tensionamiento Con Gato Hidráulico.**



Fuente: El Autor.

Cuando se encuentre una diferencia mayor del 5% entre el esfuerzo que se determina por la lectura del manómetro y el esfuerzo que se calcula por la elongación, de acuerdo con la curva esfuerzo-deformación, se suspende el tensionamiento y se alivia de carga el tendón.

Una vez el tendón se ha tensionado se colocan cuñas metálicas, clavándolas ligeramente entre el tendón y el orificio de la cabeza de tensionamiento; cuando el gato suelta el torón, éste intenta retroceder, clavando más estas cuñas que a su vez impiden el movimiento del tendón.

**Figura 32. Tendón Instalado**



Fuente: El Autor.

**4.2.4.8. Pruebas de tensionamiento:** Después de terminar el tensionamiento de un tendón se revisa la carga del mismo, siguiendo un procedimiento similar al de tensión inicial.

Se le aplica al tendón una carga igual a la carga de tensionamiento; se controla que el manómetro del gato hidráulico no presente fluctuaciones considerables en el desarrollo de la prueba; a su vez se hace una inspección visual del estado del tendón en la cabeza de tensionamiento.

Si en el tendón se observa una disminución en el valor de la carga, este se retenciona y se prueba nuevamente.

**4.2.4.9. Protección de los cabezotes del tendón:** Después de haberse revisado la carga de tensionamiento; el extremo del tendón y el ensamble del cabezal metálico de todos los tendones se protegen contra la corrosión de la siguiente manera:

- Limpieza cuidadosa de las láminas con el procedimiento normal de chorro de arena u otro procedimiento de limpieza equivalente.
- Aplicación de una capa de base de alquitrán de hulla en el cabezal y en el anclaje activo.
- aplicación de dos capas de pintura epóxica en el cabezal, antes de su colocación, y aplicación de una capa de pintura epóxica al anclaje activo y al cabezal después de ejecutada la inyección de protección del anclaje.
- Finalmente el cabezal metálico se recubre con concreto; en algunos casos el cabezal del tendón queda embebido en otra estructura de concreto, por lo que no se requerirá dicho recubrimiento.

**Figura 33. Tendón Revestido.**



Fuente: El Autor.

### **4.3. PERNOS DE ANCLAJE**

**Figura 34. Perno Estándar**



Fuente: El Autor.

Los pernos de anclaje son utilizados como sistemas para la contención de taludes y superficies de excavación; consisten básicamente en varillas de acero corrugadas ancladas firmemente en perforaciones, usando lechada de cemento con acelerante, resinas sintéticas o anclajes mecánicos, que garantizan que la barra pueda ser

esforzada a tensión hasta el punto de fluencia del acero sin que falle el sistema de anclaje.

Los pernos están compuestos de una varilla de acero corrugada, una platina de asiento de acero, una arandela plana, una o dos arandelas biseladas y una tuerca hexagonal pesada.

**4.3.1. Tipos de terreno.** La selección del tipo de perno depende directamente de las características del terreno a contener; para esto es necesario tener una clasificación definida del tipo de terreno; en el proyecto se tienen las siguientes clasificaciones:

- Terreno tipo I

La clasificación tipo I corresponde a una roca dura, poco fracturada y estable, caracterizada por bancos gruesos de arenisca, donde se puede avanzar sin necesidad de colocar soporte en el frente de la excavación.

- Terreno tipo II

La clasificación tipo II corresponde a rocas de dureza media, moderadamente fracturada, caracterizada por bancos de arenisca y/o limolita de estratificación media. Pueden existir trazos de meteorización en algunos planos de discontinuidades

- Terreno tipo IIIA

La clasificación de terreno tipo III A corresponde a rocas de dureza media a baja, fracturada, caracterizada por bancos delgados de arenisca, limolita y/o de arcillolita, donde los planos de discontinuidad se pueden presentar alterados o meteorizados.

- Terreno tipo IIIB

La clasificación de terreno tipo IIIB corresponde a materiales de roca muy alterada, friables o deleznable, a zonas de falla o esfuerzo con material muy fracturado, o en aquellos lugares donde se encuentren bolsas de arena.

- Terreno tipo IV

La clasificación tipo IV corresponde a una roca bastante meteorizada, alterada, blanda, de bancos de arcillolita delgada intercalados con arenisca que por su baja resistencia pueden producir desprendimientos en el frente o empujes del terreno.

**4.3.2. Tipos de pernos.** Los pernos se clasifican en los siguientes tipos:

- Perno tipo A1

Este tipo de perno de anclaje consiste en una varilla de acero corrugado con un diámetro mínimo de 25,4 mm, sin tensionar.

El anclaje en estos pernos, se obtiene mediante el uso de lechadas o mortero de cemento con acelerante o con resinas sintéticas.

En caso de que las condiciones del terreno sean desfavorables, se colocan pernos hacia adelante en el frente de excavación subterránea denominados pernos en “spiling”, antes de avanzar.

Sí se presentan flujos excesivos de agua que laven la lechada o el mortero del anclaje, los pernos tipo A1 necesariamente se colocan con resinas sintéticas.

En caso de que por las condiciones del terreno donde se vaya a instalar el perno, los huecos para la instalación de los pernos se colapsen, se utilizan pernos que se

hincarán dentro del material, previo acople de las tuberías plásticas requeridas para la posterior inyección de la lechada o del mortero.

- Pernos tipo A2

Este tipo de perno de anclaje consiste en una varilla de acero corrugado de un diámetro mínimo de 32 mm, con límite de fluencia del acero de mínimo 5270 kg/cm<sup>2</sup>, sin tensionar.

El anclaje de estos pernos se obtiene mediante el uso de lechada o mortero de cemento con acelerante, o resinas sintéticas.

Para el anclaje con resinas, se recomienda tener en cuenta que la rotación requerida en el caso de utilizar resinas sintéticas se dificulta al aumentar la longitud de los pernos.

- Pernos tipo B

Este tipo de perno de anclaje se instala con una tensión nominal de 100 kN; consiste en una varilla de acero corrugado de un diámetro efectivo mínimo de 25,4 mm.

El anclaje de estos pernos se obtiene mediante el uso de resinas sintéticas, o anclajes mecánicos; en el caso de utilizar resinas se tiene en cuenta que la rotación requerida para el anclaje se dificulta al aumentar la longitud de los pernos tipo B; para el caso de utilizar anclajes mecánicos, después de anclado y tensionado el perno por el sistema mecánico, el hueco se rellena con mortero o lechada.

- Pernos tipo C

Los pernos tipo C (forepoling), se requieren para disminuir la luz del arco de roca no soportada inmediatamente después de la excavación, por lo cual se instala hacia delante, antes de ejecutar la excavación del tramo a soportar.

Los pernos tipo C consisten en un tubo de acero de diámetro externo mínimo de 50,8 mm, con rellenos de lechada o mortero con el fin de consolidar el siguiente tramo a excavar.

**4.3.3. Protección de los pernos.** Se garantiza la protección de los pernos contra la corrosión, la cantidad de mortero o resina a utilizada es tal que al momento de instalación del perno, salga mortero o resina hasta la superficie; adicionalmente, se protege contra la corrosión, la platina, arandela y tuercas de los pernos mediante la aplicación de mortero, concreto o pintura anticorrosiva.

**4.3.4. Nomenclatura usada en los pernos.** En campo se utilizan algunas convenciones para que el operario pueda identificar el tipo de perno de la siguiente forma:

❖ **SRL 120 y longitud**

La primera letra indica que es un perno de soporte (activo), la segunda indica el tipo de anclaje con resina, la tercera indica el llenante de la perforación restante, LECHADA. El número indica la carga de trabajo del perno en KN. La longitud es la especificada.

❖ **BAL 8**

El número indica el calibre de la varilla para anclaje de estructuras, con base a la nomenclatura del código Colombiano, el llenante de la perforación restante, LECHADA. La longitud es la especificada.

#### ❖ **BAR 8**

El número indica el calibre de la varilla para anclaje de estructuras, con base a la nomenclatura del código Colombiano, el llenante de la perforación restante, RESINA. La longitud es la especificada.

#### **4.3.5. Características de los elementos que constituyen un perno**

- **Platinas**

Las platinas tienen un espesor mínimo de 9,5 mm y un área neta mínima de 225 cm<sup>2</sup>; se utilizan en los pernos tipo A1, A2 y B, excepto en los pernos tipo A1 que se coloquen en “spiling”; las platinas de asiento cumplen la especificación ASTM A 36 en su última versión.

En el caso de pernos tensionados, las platinas tienen un espesor mínimo de 15 mm y un área neta mínima de 625 cm<sup>2</sup>.

- **Arandelas**

Las arandelas planas y biseladas o planas semiesféricas se utilizan en los pernos tipo A1, excepto en los pernos tipo A1 que se coloquen en “spiling”. Las arandelas cumplen con la norma ASTM F 436 en su última versión.

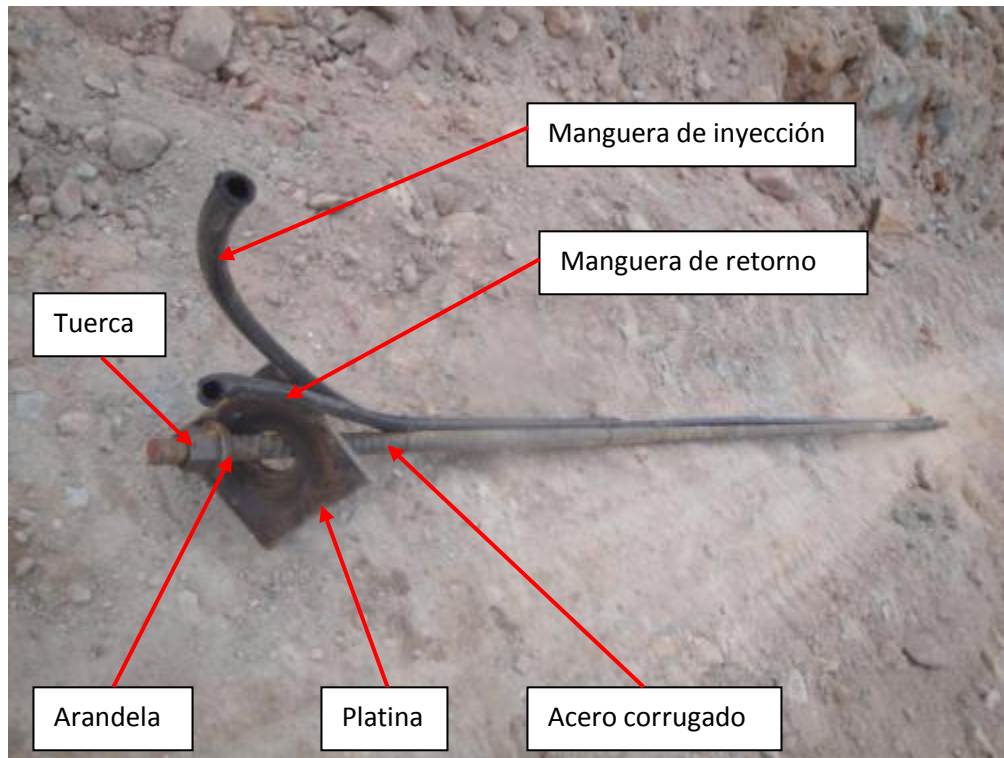
- **Tuercas**

Las tuercas hexagonales se utilizan en los pernos tipo A1, excepto en los pernos tipo A1 que se coloquen en “spiling”; todas las tuercas son de tipo hexagonal pesado y cumplen con la norma ASTM 563 en su última versión.

- Tubos de acero

Los tubos de acero para los pernos tipo C cumplen con la especificación ASTM A501, en su última versión para tubos circulares.

**Figura 35. Detalle De Un Perno Estándar.**



Fuente: El Autor.

#### ✓ **Lechada o mortero**

Para el anclaje de los pernos con mortero o lechada, éstas tienen una resistencia mínima de 28 MPa a los 7 días.

- Acelerante

El acelerante para la lechada o el mortero no se utilizan en proporciones mayores a las indicadas por el fabricante y que además garanticen una protección contra la corrosión y la resistencia a largo plazo de la lechada o mortero.

- Resina sintética

Las resinas desarrollan una resistencia mínima de 60 MPa a la compresión inconfiada cuando están mezcladas y fraguadas completamente; estas se suministran en forma de cartucho y tienen una envoltura plástica que ofrece una protección óptima a la humedad y que se puede romper fácilmente para permitir una mezcla completa durante la instalación.

Existen dos tipos de resina sintética:

- De fraguado rápido de 3 minutos a 5 minutos a 25°C.
- De fraguado lento de 15 minutos a 30 minutos a 25°C.

Las resinas cuentan con propiedades tixotrópicas apropiadas y de viscosidad para permitir una correcta mezcla de los agregados mediante la rotación del perno para prevenir que la resina se escurra fuera de la perforación o dentro de las diaclasas después de mezclada; las resinas alcanzan el 80% de su resistencia final en un tiempo igual a cinco veces el tiempo de gelificación.

- Arena

En la arena a emplearse en la preparación de mortero se tienen las siguientes limitaciones en granulometría indicadas en la Figura 39:

**Figura 36. Granulometría De La Arena**

| <b>Tamaño del tamiz U.S. estándar malla cuadrada</b> | <b>Porcentaje que pasa en peso</b> |
|--|------------------------------------|
| No. 8  | 100                                |
| No. 50   | 20 – 60                            |
| No. 200  | 0 - 3                              |

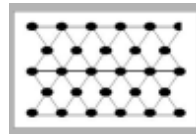
Fuente: Especificaciones Técnicas Del Proyecto.

#### 4.3.6. Procedimiento de instalación

**4.3.6.1. Perfilación:** Una vez perfilado el talud en la excavación superficial o subterránea se procede a realizar la perforación de una longitud especificada por diseño.

**4.3.6.2. Perforación:** En las excavaciones superficiales generalmente las perforaciones se hacen por filas de pernos distribuidos en tresbolillo.

**Figura 37. Distribución En Tresbolillo.**



Fuente: Especificaciones Técnicas Del Proyecto.

- ✓ En excavaciones subterráneas se suelen hacer perforaciones radiales avanzando en forma de anillo; las longitudes y espaciamiento dependen del diseño y en algunas ocasiones se decide directamente en campo.

**Figura 38. Maquinaria Utilizada Para La Perforación**



Fuente: El Autor.

**Figura 39. Perforación Para Instalación De Pernos**



Fuente: El Autor.

**Figura 40. Detalle De La Broca De Tungsteno**



Fuente: El Autor.

**4.3.6.3. Limpieza de la perforación:** Antes de instalar un perno dentro de una perforación, ésta se limpia con aire y agua a una presión mínima de 350 kPa, con el fin de remover las virutas de laminado, óxido suelto, mugre, grasa o cualquier otra sustancia; a su vez, el perno no tiene costras de óxido, mugre, grasa o cualquier otra sustancia objetable.

**Figura 41. Perno Lista Para Ser Inyectado.**



Fuente: El Autor.

**4.3.6.4. Colocación del perno:** En el caso de pernos que se utilicen en sitios donde se requiere el uso de malla de refuerzo, ésta se sujeta a los pernos mediante las tuercas y platina que se colocan con cada perno.

**Figura 42. Detalle De La Platina Del Perno.**



Fuente: El Autor.

- ❖ Las tuercas de los pernos se localizan de tal manera que, por lo menos, los primeros 4 cm de la rosca quedan libres después de la instalación del perno y de cualquier malla de acero sostenida por el mismo.

**4.3.6.5. Tensionamiento de los pernos Tipo B:** Los pernos tipo B se tensionan en un tiempo corto después de su instalación; dicho tensionamiento se realiza con una llave de impacto de par controlado, de modo que el perno tome una tensión de no menos del 50 % y no más del 90 % de su límite de fluencia.

- ❖ Donde la superficie de roca o de concreto lanzado no sea perpendicular a la dirección del hueco, se cerciora de que la carga del perno sea transmitida uniformemente a la roca usando arandelas biseladas o semiesféricas sobre la platina de apoyo y una arandela plana entre estas arandelas y la tuerca hexagonal.
- ❖ El anclaje de los pernos tipo C se obtiene mediante lechada o mortero de cemento, inyectado en el hueco previamente a la instalación del tubo metálico, de tal forma que se garantice el relleno con lechada o mortero del espacio interno del tubo y entre éste y las paredes de la perforación.

#### **4.4. BARRAS DE ANCLAJE**

**Figura 43. Detalle De La Platina Del Perno.**



Fuente: El Autor.

Las barras de anclaje se utilizan como conexión entre las estructuras de concreto y las superficies de rocas naturales o excavadas.

**4.4.1. Forma y función de una barra de anclaje.** El extremo libre de la barra de anclaje, que sobresale de la superficie de roca, por lo general se dobla a 90°; este tramo que sobresale quedara embebido en la estructura de concreto.

Las barras de anclaje consisten en varillas de acero corrugado de un diámetro mínimo de 25,4 mm y máximo de 38 mm, sin tensionar.

**4.4.2. Materiales y ensayos.** Las barras de anclaje en cuanto a materiales, instalación y ensayos, cumplen y siguen con los procedimientos descritos para los pernos tipo A1 y A2, excepto que no son necesarios el uso de tuercas, arandelas y platinas.

#### **4.5. EMPRADIZACIÓN**

**Figura 44. Talud Tratado Con Empradización.**



Fuente: El Autor.

La empradización es un método natural y alternativo para la protección de taludes de excavaciones que no estén expuestos a grandes cargas de

desestabilización; el objetivo principal de este tratamiento es evitar la erosión del talud.

#### **4.5.1. Proceso constructivo**

##### **4.5.1.1. Extracción de los bloques de grama**

- ✓ La grama se obtiene de fuentes previamente sembradas o que estén en buen estado.
- ✓ su extracción se realiza en bloques rectangulares, de ancho uniforme, cortados por debajo de la grama.
- ✓ Las dimensiones de los bloques no son mayores a las que permitan el manejo de éstos sin que se rompan.
- ✓ Se debe procurar que la tierra vegetal no se desprenda de las raíces; para ello los bloques de grama tienen un espesor adecuado.
- ✓ Si el suelo de donde procede la grama se encuentra muy seco, se riega con agua antes del corte, de modo que la humedad penetre hasta la profundidad de las raíces.

##### **4.5.1.2. Colocación de los bloques de grama**

- ✓ Se prepara la superficie a donde van a ser trasladados los cespedones de grama; sí es el caso la superficie se compacta por métodos manuales; en algunos casos se incluye la colocación de una capa de tierra vegetal de 15 cm de espesor, compactada previamente a la colocación de la grama.
- ✓ El trasplante de la grama se hace dentro de las 24 horas siguientes a su extracción, con el fin de disminuir las consecuencias del traslado.
- ✓ Si se decide almacenar los bloques de grama, se hace de tal forma que siempre estén en contacto dos superficies de tierra o dos superficies de grama;

el tiempo de almacenamiento no es mayor de 7 días, en los cuales los bloques se mantienen húmedos y, en lo posible, protegidos de los rayos solares.

- ✓ Los bloques de grama se colocan en contacto con los adyacentes y apisonan inmediatamente contra el suelo para obtener un buen contacto y una superficie uniforme y para evitar que queden bolsas de aire o que el suelo por debajo de la grama pueda ser arrastrado por el agua lluvia.
- ✓ En los taludes, los bloques de grama se colocan con su mayor dimensión paralela a las líneas de nivel y con las juntas verticales no coincidentes.
- ✓ Cuando la inclinación del talud lo exija, en general con pendientes 1H:1V o mayores, los bloques se clavan por medio de estacas de madera para evitar su deslizamiento por acción del tránsito de personas o de animales, por efecto de la erosión o por su propio peso.

#### **4.5.2 Mantenimiento**

- ✓ En el mantenimiento de las áreas empradizadas se hace un riego periódico hasta que se establezca un crecimiento uniforme y natural de la grama.
- ✓ Se reparan todas las partes defectuosas que no se adhieran a la superficie del suelo, de las zonas que presenten erosión, que contengan vegetación extraña, que se hayan secado o cuya apariencia sea irregular o desagradable.
- ✓ Se Realiza el corte periódico de la grama para evitar su deterioro.
- ✓ Se aplica riegos artificiales y urea en una cantidad no inferior a 50 kg por hectárea, hasta cuando las áreas protegidas adquieran una vegetación estable.
- ✓ Con posterioridad a la actividad de empradización se mantiene un control físico y sanitario de la grama para corregir daños físicos y evitar la aparición de plagas y/o enfermedades.

## CONCLUSIONES

- La realización de la práctica empresarial en un proyecto tan importante y de tal magnitud como lo es el proyecto hidroeléctrico Sogamoso, la variedad en el tipo de obras, la aplicación en diferentes campos de acción de la ingeniería, y la cercanía que se pudo tener en la ejecución de las obras civiles, complementaron mis conocimientos acerca de la ingeniería aplicada en obra y fortalecieron mi perfil profesional.
- Se consolidó la información de los métodos de contención de taludes y superficies de excavación implementados en el proyecto, registrando la secuencia constructiva y haciendo énfasis en aquellas situaciones particulares que en su momento generaron discusión o cambios en los procesos constructivos.
- Los diferentes métodos de soporte se establecen para una disminución de las cargas generadas producto de las excavaciones, y se deben instalar lo más pronto posible después de realizada la excavación con el fin de evitar alteración alguna en el talud.
- En las excavaciones es de vital importancia el control de agua subterránea, de infiltración y de escorrentía; esta agua debe ser captada adecuadamente mediante el uso de cunetas perimetrales construidas en concreto, ejecución de perforaciones y la colocación de drenajes permanentes para la extracción del agua del terreno; con el fin de evitar derrumbes o avalanchas por una sobrecarga hidráulica en los taludes.

- Cualquier presencia de agua presente en el terreno debe ser tratada, aún si es de pequeña magnitud, debido a que con el paso del tiempo se podría generar una saturación en el terreno.
- Se evidenció que durante la ejecución de los diferentes sistemas de soporte se pueden presentar situaciones particulares que dependen netamente de los factores geológicos; en estas situaciones, es posible que algunas de las pruebas para determinar la idoneidad del sistema instalado, difieran de lo especificado; sin embargo se debe tener siempre presente el objetivo principal del sistema y con base en un análisis detallado de la situación particular, se puede continuar con su implementación, concentrándose en los parámetros principales.
- Las características del concreto lanzado, reforzado con fibra de acero o malla electro-soldada, son similares en cuanto a resistencia se refiere; la determinación de cuál refuerzo se utilice está directamente relacionada con los rendimientos en la ejecución de los trabajos y con la rapidez que se requiera la contención, en cuanto que, el refuerzo con malla electro-soldada implica trabajos adicionales en su colocación, además del lanzado en dos etapas.
- El análisis de las condiciones reales del terreno debe ser permanente; una vez excavada la superficie, las características definitivas del sistema de contención y su proceso de colocación pueden ser replanteados de acuerdo a las nuevas condiciones encontradas.
- Durante el desarrollo de las obras se pudo evidenciar que el control de calidad durante la ejecución de los mismos es fundamental; además se deben seguir lo indicado en las especificaciones técnicas y en los procesos

constructivos; lo anterior con el fin de garantizar que el talud quede con la protección adecuada y su duración sea la definida en el diseño.

## BIBLIOGRAFÍA

- MONFORT, J. Cálculo de Losas Postensadas en Edificación. Universidad Politécnica de Cataluña. Capítulo: Características De Los Materiales y Elementos Constructivos. Departamento de Ingeniería Construcción. Cataluña. 2007.
- MATTEIS. A. Geología y Geotecnia; Tema: Estabilidad de Taludes. Universidad Nacional del Rosario. Bogota. 2003.
- CANDELA. J. Sistema de Estabilización de Taludes y Laderas, casos prácticos. Madrid. 2004.
- VELEZ, M. Diseño y Construcción de pozos: Cuaderno de ingeniería geológica; Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia.
- ISAGEN S.A. E.S.P. Especificaciones técnicas del proyecto, Obras principales, CC\_Parte II-5-415 Contrato II, CC Cap 3, 4, 6, 9,18 -Parte II-5-415- Excav Corte Abierto, Protec Superf y Taludes, Pernos y Barras de Anclaje, Concreto Lanzado, Tendones Anclaje.
- PICÓN, V. & VELASCO. A. Elaboración de texto guía para la asignatura de construcción I. Capítulos: planificación, programación y costos de procesos y operaciones en la construcción. Tesis de grado Escuela de ingeniería civil Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 2007.
- “ISAGEN energía productiva”, sitio web, consultado el 03 de enero de 2012, URL:  
[http://www.isagen.com.co/metalnst.jsp?rsc=infoIn\\_informacionInst&tituloPag=I](http://www.isagen.com.co/metalnst.jsp?rsc=infoIn_informacionInst&tituloPag=I)  
SAGEN

ANEXOS

**ANEXO A. Gradación Para Los Agregados Del Concreto Lanzado.**

| <b>Tamaño del tamiz U.S. estándar malla cuadrada</b> | <b>Porcentaje que pasa en peso</b> |
|--|------------------------------------|
| 3/4"(19,1 mm)  | 100                                |
| 1/2"(12,7 mm)  | 80 – 95                            |
| 3/8"(9,5 mm)   | 70 – 90                            |
| No. 4  | 50 – 74                            |
| No. 8  | 35 – 55                            |
| No.16  | 20 – 40                            |
| No. 30   | 10 – 30                            |
| No. 50   | 5 – 17                             |
| No. 100  | 2 – 10                             |
| No. 200  | 0 – 5                              |

**ANEXO B. Tiempos De Fraguado Y Resistencia Inicial Del Concreto  
Lanzado.**

| <b>Criterio</b>   | <b>Tiempo</b> |
|---|---------------|
| Tiempo máximo para el fraguado inicial  | 3<br>minutos  |
| Tiempo máximo para el fraguado final  | 40<br>minutos |
| Resistencia mínima a la compresión inconfiada a las 8 horas,<br>determinada sobre probetas cúbicas con aristas de 75 mm | 4,0 MPa       |

**ANEXO C. Resistencia Mínima Residual Para Dos De Tres Vigas Ensayadas**

| <b>Deflexión en el centro de la luz (mm)</b> | <b>Resistencia residual (MPa)</b> |
|--|-----------------------------------|
| 0,5  | 2,5                               |
| 1,0  | 2,3                               |
| 2  | 2,0                               |
| 4  | 1,5                               |

**ANEXO D. Resistencia Mínima Residual Para La Viga Que No Cumpla Con  
Los Criterios Del ANEXO C.**

| <b>Deflexión en el centro de la luz (mm)</b> | <b>Resistencia residual (MPa)</b> |
|--|-----------------------------------|
| 0,5  | 1,5                               |
| 1,0  | 1,3                               |
| 2  | 1,0                               |
| 4  | 0,5                               |

**ANEXO E. Aumento De Espesores De Concreto Lanzado Debido A Bajas Resistencias A Los 28 Días.**

| <b>Resistencia de los núcleos de prueba (MPa)</b> | <b>Espesor adicional</b>                               |
|---|--|
| 20,9 a 25,9                                       | 20% del espesor aplicado                               |
| 18,3 a 20,8                                       | 30% del espesor aplicado                               |
| 15,6 a 18,2                                       | 40% del espesor aplicado                               |
| Menos de 15,5                                     | El concreto lanzado deberá ser retirado y reemplazado. |

**PLANO No:**

**REVISIÓN VIGENTE:**

**HOJA DE VIDA DE PLANOS DE CONSTRUCCIÓN**

|                  |  |                                  |
|------------------|--|----------------------------------|
| TÍTULO DEL PLANO |  | PLANO TIPO:                      |
|                  |  | GEO<br>EST<br>ELE_MEC<br>GEN_ARQ |

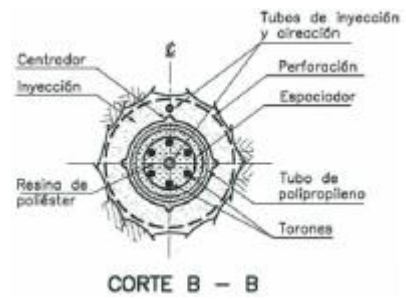
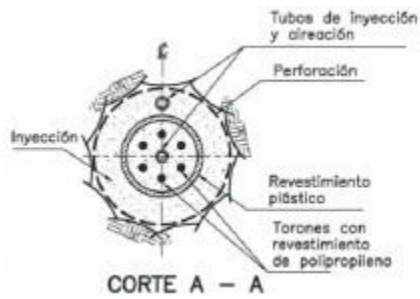
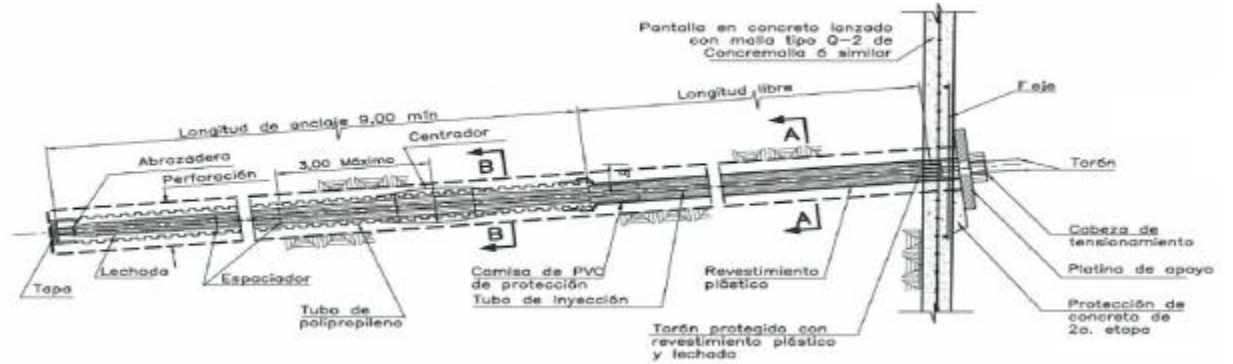
|                      |              |
|----------------------|--------------|
| LOTE DE TRABAJO No.: | NOMBRE LOTE: |
|----------------------|--------------|

| REVISIÓN 0                         |       |      |             |                 |                     |                       |
|------------------------------------|-------|------|-------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| RESPONSABLE                        | FIRMA | ÁREA | FECHA ENVÍO | ORIGEN DE PLANO |                     |                       |
|                                    |       |      |             | PLANO NUEVO     | No.PLANO LICITACIÓN | No.PLANO CONSTRUCCIÓN |
| DESCRIPCIÓN OBRAS (PLANOS NUEVOS): |       |      |             |                 |                     |                       |

| REVISIÓN 1                  |   |      |             |                    |                 |                          |
|-----------------------------|---|------|-------------|--------------------|-----------------|--------------------------|
| RESPONSABLE                 | FIRMA   | ÁREA | FECHA ENVÍO | % de Modificación: |                 |                          |
|                             |   |      |             | MOTIVO DE REVISIÓN |                 |                          |
|                             |   |      |             | SOLICITUD ISAGEN   | SOLICITUD OTROS | POR VERIFICACIÓN INTERNA |
| DESCRIPCIÓN MODIFICACIONES: | MODIFICACIÓN GEOMETRÍA:<br>MODIFICACIÓN GEOTECNIA:<br>MODIFICACIÓN ESTRUCTURAL:<br>MODIFICACIÓN TOPOGRAFÍA:<br>MODIFICACIÓN ELECTROMECAÁNICA:<br>OTRA MODIFICACIÓN: |      |             |                    |                 |                          |

| REVISIÓN 2                  |   |      |             |                    |                 |                          |
|-----------------------------|---|------|-------------|--------------------|-----------------|--------------------------|
| RESPONSABLE                 | FIRMA   | ÁREA | FECHA ENVÍO | % de Modificación: |                 |                          |
|                             |   |      |             | MOTIVO DE REVISIÓN |                 |                          |
|                             |   |      |             | SOLICITUD ISAGEN   | SOLICITUD OTROS | POR VERIFICACIÓN INTERNA |
| DESCRIPCIÓN MODIFICACIONES: | MODIFICACIÓN GEOMETRÍA:<br>MODIFICACIÓN GEOTECNIA:<br>MODIFICACIÓN ESTRUCTURAL:<br>MODIFICACIÓN TOPOGRAFÍA:<br>MODIFICACIÓN ELECTROMECAÁNICA:<br>OTRA MODIFICACIÓN: |      |             |                    |                 |                          |

## ANEXO G. Esquema De Un Tendón De Anclaje.



**ANEXO H. Detalle De La Broca Utilizada En La Perforación Para Tendones.**



**ANEXO I. Montaje Del Cuenta Litros Y Manómetro Para El Control En La Inyección De Agua.**



**ANEXO J. Tendón De Anclaje Con Problemas De Corrosión.**

