

**SEGUNDA ETAPA DEL MANUAL TÉCNICO DE TRATAMIENTOS A  
SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN EN OBRAS SUPERFICIALES Y  
SUBTERRÁNEAS IMPLEMENTADOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL  
PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO, CON SU LOCALIZACIÓN EN EL  
PROYECTO**

**DANIEL JAIMES MEJÍA**

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

**2012**

**SEGUNDA ETAPA DEL MANUAL TÉCNICO DE TRATAMIENTOS A  
SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN EN OBRAS SUPERFICIALES Y  
SUBTERRÁNEAS IMPLEMENTADOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL  
PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO, CON SU LOCALIZACIÓN EN EL  
PROYECTO**

**DANIEL JAIMES MEJÍA**

**Trabajo de grado realizado en la modalidad de práctica empresarial  
Para optar al Título de Ingeniero Civil**

**Director**

**Álvaro Viviescas Jaimes  
Ingeniero Civil, Ph.D.**

**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

*A Dios por acompañarme y ser mi guía durante toda mi carrera, por darme la fortaleza y la disposición de aprender y formarme personal y profesionalmente cada día.*

*A mis padres Gerardo y Nubia por su incondicional, incansable y constante apoyo a cada instante, por su compañía, sus sacrificios, por los valores inculcados y por luchar día a día para brindarme la oportunidad de tener una excelente educación profesional.*

*A mis hermanos, primos, tíos y demás familiares por el cariño y por ser parte importante de mi vida, en especial a mis hermanos Juan Carlos y Adriana por ser mi ejemplo, mis cómplices y mis compañeros.*

*A ISAGEN S.A E.S.P, por brindarme la oportunidad de participar en la ejecución de las obras civiles del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, en especial a Hedmer, Juan Carlos y a mi tutor Rubén por su disposición para compartirme de la mejor manera su amplio conocimiento.*

*A mis compañeros de práctica Maritza, Paula y Juan Felipe, muchas gracias por su amistad y por tantos buenos momentos compartidos.*

*A la Universidad Industrial de Santander, especialmente al profesor Álvaro Viviescas por su incansable interés por conocer de cerca los grandes proyectos en pro de la formación profesional de sus alumnos.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. DESCRIPCIÓN DE ISAGEN S.A. E.S.P	20
2.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA	20
2.1.1. Misión	20
2.1.2. Visión	20
2.1.3 Centrales y Proyectos de Generación	21
2.1.3.1 Central Hidroeléctrica San Carlos.	21
2.1.3.2 Central Hidroeléctrica Miel I.	22
2.1.3.3 Central Hidroeléctrica Jaguas.	23
2.1.3.4 Central Hidroeléctrica Calderas.	24
2.1.3.5 Central Térmica Termocentro	25
2.1.3.6 Proyecto Hidroeléctrico Amoyá.	26
2.1.3.7 Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.	27
3. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	33
3.1. REVISIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PLANOS	33
3.2 REMISIÓN DE PLANOS Y HOJAS DE VIDA	34
3.3 ENVÍO A LA INTERVENTORÍA DE LOS COMUNICADOS EMITIDOS POR EL DISEÑADOR	34

3.4 SEGUIMIENTO A LA PROGRAMACIÓN DE OBRA	35
3.5 REGISTRO Y SEGUIMIENTO A LOS INFORMES DIARIOS ENVIADOS POR LA INTERVENTORÍA	36
3.6 RECORRIDOS SEMANALES A LOS DIFERENTES FRENTE DE OBRA Y ELABORACIÓN DE INFORMES DEL ESTADO DE LAS OBRAS	37
3.7 RECORRIDOS DIARIOS A LA ZONA DE EXPLOTACIÓN DE MATERIAL ALUVIAL DEL RÍO SOGAMOSO DESTINADO PARA LOS LLENOS DE LA PRESA Y ELABORACIÓN DE INFORMES DIARIOS DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS.	37
3.8 APOYO EN LA ACTUALIZACIÓN MENSUAL DEL INFORME GERENCIAL DE AVANCE EN LOS FRENTE DE OBRA	38
3.9 APOYO EN LA ELABORACIÓN DE PRESENTACIONES EN POWER POINT PARA LAS PONENCIAS DE LOS PROFESIONALES DEL PROYECTO	39
4. SEGUNDA ETAPA DEL MANUAL TÉCNICO DE TRATAMIENTOS A SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN EN OBRAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS IMPLEMENTADOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO, CON SU LOCALIZACIÓN EN EL PROYECTO.	40
4.1. RESUMEN Y COMPLEMENTO DE LA INFORMACIÓN SOBRE EL CONCRETO LANZADO	40
4.1.1. Superficies donde se aplica y ventajas que ofrece el concreto lanzado	41
4.1.2. Comparación del método seco con el método húmedo	41
4.1.3 Información resumida de los pasos a seguir para la correcta aplicación del concreto lanzado	42
4.1.4 Información complementaria sobre el concreto lanzado	44
4.1.4.1 Concreto lanzado con fibra de acero.	45
4.2. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN SOBRE LOS TENDONES DE ANCLAJE	46
4.2.1. Partes de un tendón de anclaje	47

4.2.2. Proceso constructivo de los tendones de anclaje	47
4.3. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN SOBRE PERNOS DE ANCLAJE	49
TERRENO TIPO I: Compuesto por roca dura, poco fracturada y estable.	49
4.3.1. Tipos de pernos	50
4.3.1.1. Perno Tipo A1.	50
4.3.1.2. Pernos Tipo A2.	50
4.3.1.3. Pernos Tipo B.	51
4.3.1.4. Pernos Tipo C.	51
4.3.2. Resumen de la información del procedimiento de instalación de los pernos de anclaje	51
4.4. RESUMEN Y COMPLEMENTO DE LA INFORMACIÓN SOBRE BARRAS DE ANCLAJE	52
4.5. RESUMEN Y COMPLEMENTO DE LA INFORMACIÓN SOBRE LA EMPRADIZACIÓN	53
4.5.1 Detalle del procedimiento de empradización de taludes	53
4.5.1.1. Construcción de zanjas de coronación.	53
4.5.1.2. Limpieza del terreno.	53
4.5.1.3. Replanteo.	53
4.5.1.4. Instalación de trinchos.	53
4.5.1.5. Tipos de empradización	54
5. LOCALIZACIÓN DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EN EL PROYECTO	57
5.1. PRESA	57
5.2. VERTEDERO	62
5.3. DESCARGA DE FONDO	68
5.4. TÚNELES DE DESVIACIÓN	73
5.5. CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN	77
5.6 CENTRAL SUBTERRÁNEA	81
5.7. TÚNEL DE DESCARGA Y RESTITUCIÓN	85

5.8. PLATAFORMA Y POZOS DE SALIDA DE CABLES Y HUMOS	88
6. CONCLUSIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	94

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Central Hidroeléctrica San Carlos	21
Figura 2. Central Hidroeléctrica Miel I	22
Figura 3. Central Hidroeléctrica Jaguas	23
Figura 4. Central Hidroeléctrica Calderas	24
Figura 5. Central Térmica Termocentro	25
Figura 6. Proyecto Hidroeléctrico Amoyá	26
Figura 7. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso	27
Figura 8. Localización del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso	28
Figura 9. Imagen virtual de la presa, el vertedero y el embalse del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.	29
Figura 10. Imagen Virtual de la Central Subterránea del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso	31
Figura 11. Diseño de la presa, corte longitudinal.	58
Figura 12. Cara de concreto y pantalla cortaflujo, vista en planta.	59
Figura 13. Tratamientos a taludes a corte abierto para la construcción de los plintos	60
Figura 14. Detalle de pernos de anclaje	61
Figura 15. Detalle de los drenajes cortos	61
Figura 16. Localización del Vertedero, vista en planta.	62
Figura 17. Estructura de control y canal de descarga del Vertedero, perfil.	63
Figura 18. Detalle de las superficies de excavación a las cuales se les debe aplicar concreto lanzado en la parte alta del vertedero	64
Figura 19. Detalle de las superficies de excavación a las cuales se les debe aplicar concreto lanzado en la parte baja del vertedero, y la empradización del cuenco de disipación.	65

Figura 20. Disposición de tendones de anclaje en la zona rápida del canal de descarga del vertedero	66
Figura 21. Detalle de los 348 tendones de anclaje de la zona rápida del canal de descarga del vertedero	67
Figura 22. Losas del machón del canal de aproximación, vista en planta.	68
Figura 23. Túnel de descarga de Fondo, vista en planta.	69
Figura 24. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas en el tramo a presión del túnel de descarga de fondo, según el tipo de terreno encontrado.	70
Figura 25. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas en el tramo a flujo libre del túnel de descarga de fondo, según el tipo de terreno encontrado.	70
Figura 26. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal salida del túnel de descarga de fondo.	71
Figura 27. Detalles de pernos de anclaje y huecos de drenaje, y su posicionamiento.	72
Figura 28. Localización de pernos de anclaje de la cámara de compuertas del túnel de descarga de fondo.	73
Figura 29. Vista en planta de los Túneles de Desvío.	74
Figura 30. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal entrada de los túneles de desvío.	75
Figura 31. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal salida de los túneles de desvío.	75
Figura 32. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los túneles de desvío, según el tipo de terreno encontrado.	76
Figura 33. Perfil de localización de las excavaciones subterráneas	78
Figura 34. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los túneles superiores de carga, según el tipo de terreno encontrado.	79
Figura 35. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los pozos de carga, según el tipo de terreno encontrado.	79

Figura 36. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los tramos sin blindaje de los túneles inferiores de carga, según el tipo de terreno encontrado.	80
Figura 37. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los tramos blindados de los túneles inferiores de carga, según el tipo de terreno encontrado.	81
Figura 38. Vista en planta del tratamiento a superficies de excavación y disposición de anclajes de la central subterránea.	83
Figura 39. Corte Longitudinal del tratamiento a superficies de excavación y disposición de anclajes de la central subterránea.	84
Figura 40. Esquema de pernado para cada una de las cavernas	84
Figura 41. Detalle de los tendones de anclaje de las ménsulas de apoyo de la viga carril del puente grúa.	85
Figura 42. Vista en planta y corte longitudinal del túnel de descarga y restitución.	86
Figura 43. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas en el túnel de descarga y restitución, según el tipo de terreno encontrado.	87
Figura 44. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal salida del túnel de descarga y restitución.	87
Figura 45. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto la plazoleta de salida de cables y humos.	89
Figura 46. Tratamiento a superficies de excavación subterráneas en los pozos de cables y humos, según el tipo de terreno encontrado.	89

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Comparación entre los métodos Seco y Húmedo para la aplicación de concreto lanzado.	94
Anexo 2. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial de los plintos	95
Anexo 3. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial del vertedero	96
Anexo 4. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación del machón del canal de aproximación.	98
Anexo 5. Tabla de cantidades de barras de anclaje de las losas del machón del canal de aproximación del vertedero. La numeración está de acuerdo a la Figura 20.	99
Anexo 6. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea del túnel de descarga de fondo.	100
Anexo 7. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial del portal de salida del túnel de descarga de fondo	101
Anexo 8. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial de los portales de entrada y salida de los túneles de desvío	102
Anexo 9. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea de los túneles de desvío.	103
Anexo 10. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea de los ductos de la conducción.	104
Anexo 11. Cantidades de pernos de anclaje Tipo A1 para cada una de las cavernas de la Central Subterránea.	106

Anexo 12. Cantidades concreto lanzado reforzado con malla por metro cuadrado de superficie para cada una de las cavernas de la Central Subterránea.	107
Anexo 13. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea del túnel de descarga y restitución.	108
Anexo 14. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial del portal salida del túnel de descarga y restitución.	109
Anexo 15. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial de la plazoleta de salida de cables y humos.	110
Anexo 16. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea de los pozos de cables y humos.	111

## RESUMEN

**TÍTULO:** SEGUNDA ETAPA DEL MANUAL TÉCNICO DE TRATAMIENTOS A SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN EN OBRAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS IMPLEMENTADOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO, CON SU LOCALIZACIÓN EN EL PROYECTO\*.

**AUTOR:** DANIEL JAIMES MEJÍA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** EXCAVACIONES, TRATAMIENTOS, CONTENCIÓN, ESTABILIDAD.

### DESCRIPCIÓN

El propósito de la práctica empresarial en el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso es complementar la información recopilada en el trabajo de grado titulado "MANUAL DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE SOPORTE Y PROTECCIÓN DE SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO", autoría de Julián Bernardo Cárdenas Rueda (Universidad Industrial de Santander), con la localización en un mapa del proyecto de los diferentes sistemas de estabilización y soporte ejecutados en las diversas superficies de excavación de toda la obra.

Durante el desarrollo de la práctica se pudo evidenciar que la gran mayoría de frentes de trabajo ya se encuentran habilitados para la construcción de las obras necesarias para el funcionamiento de la Central Hidroeléctrica, por lo tanto las superficies de excavación (taludes en corte abierto y excavaciones subterráneas) ya se encuentran estabilizadas o en proceso final de estabilización. Cabe mencionar que constantemente se realiza un monitoreo con instrumentación a las excavaciones verificando el buen funcionamiento de los sistemas empleados.

En vista de que es clara la ubicación de los sistemas de estabilización y soporte en los todos frentes de obra, éste nuevo manual incluye la elaboración de un mapa de la obra, localizando por medio de convenciones básicas los diferentes sistemas implementados, esto con el fin de dar claridad no solo a la ubicación sino también a las dimensiones de los mismos.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Ing. Civil - Ph.D. Álvaro Viviescas Jaimes. Tutor: Ing. Rubén Ospina Argüelles

## ABSTRACT

**TITLE:** SECOND STAGE OF TECHNICAL MANUAL ABOUT TREATMENTS TO EXCAVATION SURFACES IN SURFACE AND UNDERGROUND WORKS IMPLEMENTED DURING THE CONSTRUCTION OF SOGAMOSO HYDROELECTRIC PROJECT, WITH HIS LOCATION IN THE PROJECT\*.

**AUTHOR:** DANIEL JAIMES MEJÍA\*\*

**KEYWORDS:** EXCAVATIONS, TREATMENTS, CONTAINMENT, STABILITY.

### DESCRIPTION

The purpose of the professional practice in the Sogamoso Hydroelectric Project is to complement the information gathered in the undergraduate project entitled "MANUAL OF THE MAIN SUPPORT AND PROTECTION METHODS OF EXCAVATION SURFACES USED IN THE CONSTRUCTION OF SOGAMOSO HYDROELECTRIC PROJECT", written by Julian Bernardo Cardenas Rueda (Universidad Industrial de Santander), with the location on a map of the project, the different stabilization and support systems implemented in various excavation surfaces in the entire work.

During the development of the professional practice was possible to observe that the vast majority of work fronts are already enabled for the construction of the necessary works for the operation of the Hydroelectric Central, therefore, excavation surfaces (slopes in open cut and underground excavations) are already stabilized or in the final stabilization process. It is important to mention that constantly a monitoring with instrumentation to excavations is performed to verify the proper performance of the systems used.

Considering location of stabilization and support systems in all work fronts is clear, this new manual includes the development of a map of the work, locating through basic conventions the different systems implemented, this, in order to clarify not only the location but also the dimensions thereof.

---

\* Undergraduate Project

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

## INTRODUCCIÓN

ISAGEN es una empresa Colombiana de servicios públicos, dedicada a la generación y comercialización de energía eléctrica. Con la intención de atender la creciente demanda de energía del país, y como parte de su estrategia de crecimiento, ISAGEN se encuentra ejecutando desde febrero del año 2009 la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

El proyecto consiste en aprovechar el caudal del río Sogamoso mediante la construcción de una presa de gravas con cara de concreto y una central hidroeléctrica que contará con 3 unidades de generación de energía.

Durante la construcción de la obra, se ha generado la necesidad de identificar, clasificar y ubicar la variedad de tratamientos que se han llevado a cabo en las superficies de excavación, por esta razón se hace necesario crear un manual en donde se describan los diferentes sistemas de estabilización y soporte implementados en las superficies de excavación en obras superficiales y subterráneas de una manera asequible y comprensible para cualquier persona con conocimientos técnicos básicos en el tema.

En este manual se muestra un mapa de la obra, en el cual se encuentra localizado por medio de convenciones básicas los diferentes sistemas implementados, esto con el fin de dar claridad no solo a la ubicación sino también a las dimensiones de los mismos. Se pretende que este mapa se convierta en una importante fuente de información durante la etapa de operación del proyecto.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar una práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, propiedad de la empresa ISAGEN S.A. E.S.P., dejando como aporte la segunda etapa del manual técnico de tratamientos a superficies de excavación en obras superficiales y subterráneas implementados durante la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Esta segunda etapa será complementada con la localización de los tratamientos mostrada en planos generales y de detalle, lo cual será de gran utilidad para la empresa.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Diseñar y producir la segunda etapa del manual técnico de tratamientos a superficies de excavación en obras superficiales y subterráneas implementados durante la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, con su respectiva localización mostrada en planos generales y de detalle.
- ✓ Recolectar, comparar y verificar la información obtenida de los planos verificando su equivalencia con lo ejecutado en la obra, identificando los casos de cambios por condiciones constructivas.
- ✓ Identificar los casos especiales de los tratamientos que fue necesario llevar a cabo por las condiciones geológicas particulares durante la construcción del proyecto.

- ✓ Servir de apoyo en las tareas de revisión y organización de planos y en el control del registro fotográfico, labores necesarias para la elaboración de informes y presentaciones de los avances de las obras del proyecto.
  
- ✓ Elaborar una tabulación donde se registre la información de la correspondencia prioritaria del proyecto.

## **2. DESCRIPCIÓN DE ISAGEN S.A. E.S.P**

ISAGEN es una empresa de servicios públicos mixta, constituida en forma de Sociedad Anónima, de carácter comercial, de orden nacional y vinculada al Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Su objeto social principal es la generación y comercialización de energía eléctrica, así como la comercialización de gas natural por redes, carbón, vapor y otros energéticos de uso industrial.

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

#### **2.1.1. Misión**

ISAGEN desarrolla la capacidad de generación y produce y comercializa energía con el propósito de satisfacer las necesidades de sus clientes y crear valor empresarial. La gestión se desarrolla con ética, enfoque al cliente, sentido económico y responsabilidad social y ambiental.

#### **2.1.2. Visión**

ISAGEN es líder en generación y transacciones de energía en tiempo real en Colombia, es el aliado de la productividad de los clientes y es reconocido por sus negocios de energía en mercados internacionales.

El desarrollo integral de los trabajadores y la responsabilidad empresarial son la base de la creación conjunta de valor para los accionistas y la sociedad.

### 2.1.3 Centrales y Proyectos de Generación

Para responder a las crecientes demandas energéticas de Colombia, ISAGEN posee y opera cinco centrales de generación con recursos de origen hídrico y térmico, ubicadas en los departamentos de Antioquia, Santander y Caldas.

Tiene una capacidad instalada total de 2.132 MW, equivalente al 18,8% de la capacidad total del Sistema Interconectado Nacional al finalizar el 2011, distribuida en 1.832 MW hidráulicos y 300 MW térmicos, ubicándola como la tercera generadora más grande de Colombia, lo cual la consolida como agente fundamental en el desarrollo de la industria de energía del país.

**2.1.3.1 Central Hidroeléctrica San Carlos.** Está localizada en el departamento de Antioquia, 150 km al oriente de Medellín, en jurisdicción del municipio de San Carlos, cerca al corregimiento El Jordán. Con más de 20 años de operación comercial, continúa siendo la de mayor capacidad instalada del país, con 1.240 MW, distribuidos en ocho unidades de 155 MW cada una, y con la infraestructura necesaria para la instalación de dos unidades adicionales. Su primera etapa entró en funcionamiento en 1984 y la segunda, en 1987.

**Figura 1. Central Hidroeléctrica San Carlos**



Fuente: [www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/](http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/)

La presa Punchiná está localizada sobre el río Guatapé, cerca del caserío de Puerto Belo. Forma un embalse de 3,4 Km<sup>2</sup>, con una capacidad de almacenamiento de 72 Mm<sup>3</sup>, de los cuales aproximadamente 53,23 Mm<sup>3</sup> son de embalse útil. La presa tiene una altura de 70 m sobre el nivel medio del río, 800 m de longitud, 6 Mm<sup>3</sup> de lleno de suelos residuales compactados, con cresta en la cota 781 m.s.n.m.

**2.1.3.2 Central Hidroeléctrica Miel I.** La central Miel I, localizada en el municipio de Norcasia, forma parte del potencial hídrico del oriente del departamento de Caldas, región conformada por las cuencas de los ríos Guarinó, La Miel, Moro, Manso, Samaná Sur y afluentes menores como los ríos Pensilvania y Tenerife. La Central tiene una capacidad instalada de 396 MW en tres unidades, la cual, en operación aislada, puede generar una energía firme de 1.135 GWh/año y promedio de 1.638 GWh/año al adicionarle el Trasvase de Guarinó a los caudales naturales del río.

**Figura 2. Central Hidroeléctrica Miel I**



Fuente: [www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/](http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/)

La presa tiene un volumen de 1,73 millones de m<sup>3</sup> y con 188 m de altura es una de las presas más altas del mundo, construida en Concreto Compactado con Rodillo (CCR). Es de tipo gravedad, con rebosadero incorporado. Está situada sobre el río La Miel, aguas abajo de la desembocadura del río Moro. Forma el embalse Amaní de 1.220 ha y con una capacidad de almacenamiento de 571Mm<sup>3</sup>.

La corona de la presa tiene 340 m de longitud, corresponde a la cota 454 m.s.n.m. y el nivel máximo normal del embalse está a la cota 445,5 m.s.n.m.

**2.1.3.3 Central Hidroeléctrica Jaguas.** La central hidroeléctrica Jaguas, con una capacidad instalada de 170 MW, está localizada en el departamento de Antioquia, sobre las hoyas de los ríos Nare y Guatapé, a 117 km al oriente de Medellín por la vía Medellín - El Peñol - Guatapé - San Rafael. Aprovecha el caudal del río Nare, aguas abajo de la presa Santa Rita, embalse del Peñol, mediante una presa de tierra, que forma un embalse con una capacidad total de 185,5 M m<sup>3</sup>. Su operación comercial se inició en 1988.

### Figura 3. Central Hidroeléctrica Jaguas



Fuente: [www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/](http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/)

La presa está localizada sobre el río Nare, un kilómetro aguas abajo de la confluencia con el río San Lorenzo, tiene una longitud de cresta de 580 m, una altura máxima de 63 m y un volumen de 3,2 M m<sup>3</sup>. Construida en limo y roca descompuesta, forma un embalse de 10,6 km<sup>2</sup> de extensión, con una capacidad total de 185,5 M m<sup>3</sup>, de los cuales 162,65 Mm<sup>3</sup> corresponden al volumen útil. Su nivel máximo normal está en la cota 1.247 m.s.n.m. La presa de Zona Baja, construida sobre la margen derecha del río Nare para cerrar una depresión en la línea divisoria de las hoyas de los ríos Nare y Guatapé, tiene una longitud por la cresta de 715 m y una altura máxima desde su fundación, de 50 m.

**2.1.3.4 Central Hidroeléctrica Calderas.** La central hidroeléctrica Calderas está ubicada en el departamento de Antioquia, Colombia. Aprovecha las aguas de los ríos Calderas y Tafetanes, con un caudal promedio de 6,7 m<sup>3</sup>/s, produciendo anualmente 87 GWh. Las aguas turbinadas en la Central descargan finalmente en el río San Carlos que alimenta el embalse Punchiná, incrementando la producción de la central hidroeléctrica San Carlos en 269 GWh-año.

La casa de máquinas está localizada en el municipio de San Carlos y los embalses de los ríos Tafetanes y Calderas están en jurisdicción del municipio de Granada.

**Figura 4. Central Hidroeléctrica Calderas**



Fuente: [www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/](http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/)

La zona de la Central se encuentra en la estribación Oriental de la cordillera Central entre 1.000 y 2.200 msnm, en inmediaciones de la carretera que conecta a Medellín con los municipios de Santuario, Granada y San Carlos, y a una distancia de aproximadamente 100 km desde Medellín.

El 30 de junio de 2006 entró nuevamente en operación comercial como planta menor de 19,9 MW, luego de la construcción de la subestación de 115 kV y de la recuperación de la misma, con lo cual ISAGEN fortalece el complejo hidroeléctrico del Oriente Antioqueño en 356 GWh-año.

La Central consta de una presa de concreto, tipo gravedad de 25 m de altura por 152 m de longitud y un volumen de 25.000 m<sup>3</sup>. La presa cuenta con un vertedero central de 60 m de ancho y 24 m de longitud. La capacidad de almacenamiento del embalse Calderas es de 330.000 m<sup>3</sup>

**2.1.3.5 Central Térmica Termocentro.** La central Termocentro está ubicada en el valle medio del río Magdalena, en el corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra (Santander) y distante aproximadamente 5 kilómetros de Puerto Berrío (Antioquia). Posee una capacidad instalada de 300 MW, conformada por dos unidades turbogeneradoras a gas de 100 MW cada una, y una unidad a vapor de 100 MW. Entró en operación en configuración de Ciclo Simple en febrero de 1997.

**Figura 5. Central Térmica Termocentro**



Fuente: [www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-termica/central-termocentro-ciclo-combinado/](http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-termica/central-termocentro-ciclo-combinado/)

La conversión de la planta de Ciclo Simple a Ciclo Combinado permite aprovechar, a través de un ciclo a vapor, los gases de escape calientes emitidos a la atmósfera durante el proceso de combustión de las turbinas a gas, lo cual incrementa la eficiencia de la planta en un 50%, al no requerirse combustible adicional para generar 100 MW. Esta conversión demandó una inversión de US\$ 82,7 millones y entró en operación comercial el 30 de noviembre de 2000.

**2.1.3.6 Proyecto Hidroeléctrico Amoyá.** El Proyecto Hidroeléctrico del Río Amoyá está localizado al sur del departamento del Tolima, en jurisdicción del municipio de Chaparral, a unos 150 km de Ibagué. El Proyecto tendrá una capacidad instalada de 80 MW para una generación media anual estimada en 510 GWh/año.

Las obras para el aprovechamiento hidroeléctrico consisten en la construcción de una pequeña presa-vertedero con una captación con reja de fondo ubicada aguas abajo de la desembocadura del río Davis en el río Amoyá, un canal de aducción, tres desarenadores, un tanque de carga, un túnel de conducción, una casa de máquinas subterránea y un túnel de descarga.

**Figura 6. Proyecto Hidroeléctrico Amoyá**



Fuente: [www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/](http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/)

El túnel de carga tiene 8,7 km de longitud y 3,5 m de diámetro. En la caverna de máquinas se instalarán dos unidades de generación accionadas por turbinas tipo Pelton de eje vertical. El túnel de descarga tiene 2,9 km de longitud y un diámetro de 3,8 m.

**2.1.3.7 Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.** El Proyecto consiste en el aprovechamiento del caudal del río Sogamoso mediante la construcción de una presa. A partir de los estudios se estableció una capacidad instalada de 820 MW con lo cual se produce una energía media anual de 5.056 GWh. La entrada en operación comercial está prevista para el primer trimestre del año 2014.

**Figura 7. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso**



Fuente: Proyecto hidroeléctrico Sogamoso, Material Fotográfico.

**2.1.3.7.1 Localización y área de influencia.** El conjunto de obras que conforman el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso se encuentran localizadas en el departamento de Santander, en el cañón donde el río Sogamoso cruza la Serranía de La Paz, 75 km aguas arriba de su desembocadura en el río Magdalena y 62 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Suárez y Chicamocha. La presa y el embalse se localizan en jurisdicción de los municipios de Girón, Betulia, Zapatoca, Los Santos y San Vicente de Chucurí.

**Figura 8. Localización del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso**



Fuente: [www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/](http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/)

Aparte de las obras del Proyecto, ISAGEN debe construir las obras necesarias para reponer la infraestructura que interfiere con su construcción:

- Vía Bucaramanga - Barrancabermeja, tramo comprendido entre Capitancitos y Linderos.
- Vía a San Vicente de Chucurí, en el tramo comprendido entre La Renta y La Cananá.
- Puente Gómez Ortiz sobre el río Sogamoso, en la vía al municipio de Zapatoa.
- Puente Geo Von Lenguerke sobre el río Sogamoso, en la vía que conduce al municipio de Betulia.
- Líneas de transmisión de energía, redes de fibra óptica y un tramo del poliducto Galán - Chimitá.

**2.1.3.7.2 Descripción del proyecto.** La presa, del tipo de gravas con cara de concreto, tiene 190 metros de altura y 345 metros de ancho en su parte más alta.

El volumen de los rellenos para su construcción es de 9,3 millones de metros cúbicos y los materiales provienen de las zonas de explotación de material aluvial del río Sogamoso.

La Ataguía es una estructura con un volumen aproximadamente 100.000m<sup>3</sup> de Concreto Compactado con Rodillo (CCR), con  $f'c=17,5$  MPa (compresión) y  $ft=1,68$  MPa (tensión) a los 365 días con un contenido mínimo de 100 kg de cemento por metro cúbico de CCR y peso específico de 25 KN/m<sup>3</sup>. Esta estructura queda incorporada dentro de la presa y servirá de apoyo a la cara de concreto que consiste en una losa de 82.000m<sup>2</sup> de área construida sobre la cara aguas arriba de la presa, la cual está diseñada para garantizar la impermeabilidad de la misma.

El embalse almacenará el agua del río Sogamoso para la generación de energía eléctrica. Hasta su nivel normal de operación, ocupará un área aproximada de 7.000 hectáreas y tendrá un volumen de agua almacenada de 4.800 millones de metros cúbicos.

**Figura 9. Imagen virtual de la presa, el vertedero y el embalse del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.**



Fuente: Proyecto hidroeléctrico Sogamoso, Material Audiovisual.

El vertedero es una estructura que tiene como finalidad evacuar los excesos de agua cuando, por las condiciones climáticas, se supere la capacidad de almacenamiento del embalse.

El canal del vertedero tiene 72 metros de ancho, 354 metros de longitud y finaliza en un deflector tipo salto de esquí. Para operar el rebosadero, la descarga del agua es controlada por 4 compuertas radiales de 15 metros de ancho y 20 metros de alto.

El agua almacenada en el embalse llega a los equipos de generación alojados en la central subterránea a través del sistema de carga, el cual con una bocatoma ubicada a 90 metros de altura sobre el lecho del río, que consiste en una estructura de concreto con una reja de aproximadamente 82 metros de longitud por 30 metros de altura, pasa posteriormente a los tres túneles de carga que la conducen hasta la central subterránea.

Después de recorrer los conductos de carga, el agua llega a las unidades de generación alojadas en la central subterránea que está constituida por tres cavernas: la caverna de máquinas que tiene 142 metros de longitud, 24 metros de ancho y 49 metros de altura.

En ella se alojarán tres grupos de turbinas y generadores de 273 MW de potencia cada uno y el edificio de control. La caverna de transformadores que tiene 119 metros de longitud, 14 metros de ancho y 16 metros de altura. En ella se alojarán de manera independiente los transformadores de potencia de 324 MVA. La caverna de oscilación que tiene 100 metros de longitud, 20 metros de ancho y 43 metros de altura. Allí se recogen las aguas después de haber impulsado las turbinas para permitir el proceso de generación de energía.

### **Figura 10. Imagen Virtual de la Central Subterránea del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso**



Fuente: Proyecto hidroeléctrico Sogamoso, Material Audiovisual.

Con el fin de disponer de la zona del cauce del río sobre la cual se construye la presa, fue necesario desviarlo a través de dos túneles revestidos en concreto que tienen cada uno 11 metros de diámetro y longitudes de 830 y 860 metros. Estos túneles permiten el paso de crecientes del río y devuelven el agua a éste inmediatamente aguas abajo de la zona de los trabajos, conservando sus caudales naturales. Para su excavación se utilizaron dos túneles auxiliares de 151 y 127 metros de longitud denominados ventanas de construcción, los cuales permitieron incrementar el número de frentes de trabajo para agilizar el proceso de construcción.

A partir del momento del cierre del sistema de desvío, el embalse tardará tres meses en llenarse y llegar hasta su nivel de operación. Durante este tiempo estará en funcionamiento la descarga de fondo que es una estructura concebida para garantizar, aguas abajo de la presa, el caudal ecológico definido en la Licencia Ambiental del Proyecto. La descarga de fondo está conformada por un túnel de 605 metros de longitud y 7,8 metros de diámetro con sección en herradura,

ubicado en la margen derecha del río Sogamoso, que cuenta con una compuerta radial graduable con una capacidad máxima de 486m<sup>3</sup> por segundo y que permite controlar la velocidad del llenado del embalse.

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

A continuación se presenta un detalle de las actividades desarrolladas durante el desarrollo de la práctica empresarial en el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

#### **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 “PLANO 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 al que pertenece el plano, el nombre del plano y su número de 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 preparar un oficio remisorio dirigido a la interventoría del proyecto en donde se relacionen los comunicados del diseñador dando respuesta a las consultas y/o propuestas del constructor; el oficio remisorio contiene el número de comunicado, el tema y la fecha de remisión; esta comunicación debe remitirse con los anexos correspondientes a los comentarios del diseñador.

### **3.4 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 hitos contractuales, 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, todo esto con el fin de tomar medidas de recuperación oportunamente.

En esta oportunidad se hizo indispensable hacer un especial seguimiento a los trabajos desarrollados en la construcción de la estructura de control del vertedero y la construcción y puesta en operación del túnel vial 1, ya que la presa se cruza

en un punto con la vía nacional Barrancabermeja-Bucaramanga existente, y para dar continuidad a la construcción de la presa se hace necesario habilitar un nuevo tramo de la vía sustitutiva el cual es comprendido principalmente por el túnel vial 1.

El seguimiento a la estructura de control del vertedero se hizo comparando gráficamente los rendimientos programados con los rendimientos reales, de este gráfico se sacaron conclusiones sobre los métodos constructivos implementados y los impactos programáticos que estos métodos ocasionan. Para el seguimiento a la construcción y puesta en operación del túnel vial 1 se realizan reuniones cada 2 semanas conjuntamente con la interventoría, el contratista y el diseñador del proyecto, en donde se tratan temas técnicos de detalles constructivos, además en estas reuniones se hace seguimiento al programa de obra para la construcción del túnel con el fin de verificar el estado de las rutas críticas del programa y tomar medidas en caso que se requiera.

### **3.5 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.

### **3.6 RECORRIDOS SEMANALES A LOS DIFERENTES FRENTE DE OBRA Y ELABORACIÓN DE INFORMES DEL ESTADO DE LAS OBRAS**

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. Con esta información se debe hacer un informe semanal claro describiendo las actividades desarrolladas en cada uno de los frentes y los avances en las obras. Este informe se debe enviar a los profesionales de ISAGEN encargados de la construcción de las obras civiles principales del proyecto. En el informe se pueden citar planos, comunicaciones, notas de campo y fotografías con el fin de aclarar o detallar la información a entregar.

### **3.7 RECORRIDOS DIARIOS A LA ZONA DE EXPLOTACIÓN DE MATERIAL ALUVIAL DEL RÍO SOGAMOSO DESTINADO PARA LOS LLENOS DE LA PRESA Y ELABORACIÓN DE INFORMES DIARIOS DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS.**

Diariamente se debe realizar un recorrido a la zona de explotación con el fin de llevar un control constante de las actividades desarrolladas, por parte del

contratista, referentes a la explotación de material aluvial para los llenos de la presa. Se debe recopilar información sobre los equipos en operación y sus rendimientos, además se deben verificar las condiciones de humectación en las vías de acceso a los puntos de cargue.

Luego de realizar el recorrido diario se debe elaborar un informe que describa al detalle las actividades desarrolladas las cuales son básicamente explotación de material aluvial, extracción de material de descapote, descargue de material de descapote en depósitos destinados para tan fin, así como adecuación y compactación de los mismos. También se deben incluir información de detalles adicionales que describan el flujo de volquetas, la humectación en las vías de acceso y la construcción y adecuación de jarillones, vías, taludes y bermas.

Este informe también debe ser enviado a los profesionales de ISAGEN encargados de la construcción de las obras civiles principales del proyecto.

### **3.8 APOYO EN LA ACTUALIZACIÓN MENSUAL DEL INFORME GERENCIAL DE AVANCE EN LOS FRENTES DE OBRA**

Con base a la información relacionada con la actividad descrita en los numerales 3.6 y 3.7, mensualmente se debe actualizar un informe de avance de los frentes.

Dado el alcance de la Práctica, esta información a actualizar sólo hace referencia a las obras civiles principales, sin embargo, el informe gerencial también incluye información referente a las obras sustitutivas y a los equipos electromecánicos, por tanto no se envía directamente a la gerencia sino al jefe directo para su revisión y empalme con la información de las demás obras y actividades del proyecto ajenas a la construcción de las obras civiles principales.

### **3.9 APOYO EN LA ELABORACIÓN DE PRESENTACIONES EN POWER POINT PARA LAS PONENCIAS DE LOS PROFESIONALES DEL PROYECTO**

Eventualmente se reciben invitaciones por parte de entidades interesadas en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso; la gran mayoría de estas invitaciones son aceptadas por los profesionales de ISAGEN quienes acceden a realizar una presentación con información específica del proyecto.

Estas presentaciones son expuestas en diferentes escenarios ante un público interesado en temas como el desarrollo, la construcción y la ingeniería civil en general. Por esta razón se debe apoyar a los profesionales del proyecto con la elaboración de presentaciones en power point; este apoyo incluye la búsqueda y recopilación de información puntual del proyecto, material fotográfico y todo tipo de material audiovisual con el fin de crear una presentación clara y concisa que sirva no solo de herramienta y de guía a la hora de realizar la ponencia sino que también pueda ser entregada a los asistentes a la conferencia.

#### **4. SEGUNDA ETAPA DEL MANUAL TÉCNICO DE TRATAMIENTOS A SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN EN OBRAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS IMPLEMENTADOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO, CON SU LOCALIZACIÓN EN EL PROYECTO.**

Con este manual se pretende resumir y complementar la información del trabajo de grado titulado “MANUAL DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE SOPORTE Y PROTECCIÓN DE SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO”, autoría de Julián Bernardo Cárdenas Rueda.

Además se pretenden mostrar las dimensiones y la ubicación de los diferentes tratamientos aplicados a las superficies de excavación del proyecto; esta localización será presentada en el capítulo 5 del presente manual.

##### **4.1. RESUMEN Y COMPLEMENTO DE LA INFORMACIÓN SOBRE EL CONCRETO LANZADO**

El concreto lanzado es un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre la superficie a estabilizar. El concreto, al ser lanzado, es colocado y compactado al mismo a tiempo.

La dosificación de cemento, agregados fino y grueso, agua y aditivos depende únicamente de las características, el diseño y las necesidades de la superficie a

estabilizar, con el criterio de producir un concreto de adecuada plasticidad, resistencia, densidad, impermeabilidad y durabilidad entre otros.

En el proyecto, el costo por la aplicación del concreto lanzado actualmente oscila aproximadamente entre los \$750.000 y los \$840.000 pesos COP por metro cúbico aplicado, la fibra de acero tiene un costo aproximado por kilogramo de \$15.000 pesos COP.

#### **4.1.1. Superficies donde se aplica y ventajas que ofrece el concreto lanzado**

En general, los usos más frecuentes del concreto lanzado en el proyecto se dan en la estabilización de taludes, túneles, plataformas y superficies de excavación en general, además también se usa en canales y drenajes, rehabilitación y refuerzo estructural.

Las principales ventajas que ofrece el concreto lanzado en la estabilidad de superficies del proyecto se centran en que permite el diseño en formas libres, su técnica de colocación permite el acceso a sitios difíciles y su empleo es ideal para estructuras de pared delgada.

En cuanto a sus características cabe mencionar que presenta baja permeabilidad, alta resistencia, adhesividad y durabilidad, además disminuye las grietas por temperatura.

#### **4.1.2. Comparación del método seco con el método húmedo**

La comparación de las características de los concretos lanzados por los métodos húmedo y seco, se muestra la tabla comparativa del Anexo 1.

#### **4.1.3 Información resumida de los pasos a seguir para la correcta aplicación del concreto lanzado**

- *Diseño adecuado de la mezcla:* Se debe especificar resistencia a la compresión, proporción de cemento, agregados, agua, aditivos, fibras, etc. El cemento debe cumplir con los requisitos establecidos correspondientes al cemento Portland Tipo I, las temperaturas del cemento para mezclas durante la colocación no debe exceder los 50°C, en los silos de almacenamiento la temperatura no debe exceder los 70°C, el tamaño de los agregados gruesos y finos depende del equipo de colocación y del diseño de la mezcla; el tamaño máximo nominal de agregados usado en el Proyecto Sogamoso para el concreto lanzado es de 12,7 mm (1/2"), los aditivos en polvo o líquido y acelerantes de fraguado deben proporcionar altas resistencias en corto tiempo, estos acelerantes no deben ocasionar corrosión al acero o malla de refuerzo ni descascaramiento o agrietamiento en el concreto fraguado.

- *Preparación de la superficie sobre la que se va a lanzar:* La superficie debe estar libre de polvo, aceite, agua o materiales extraños sueltos que contamine o disminuya la adherencia entre el concreto a lanzar y la superficie a tratar. Esta limpieza se hace por medio de chorros de aire y agua a alta presión; al llevar a cabo la limpieza se debe evitar aflojar, agrietar o fragmentar la superficie que va a recibir el concreto lanzado. La superficie debe estar humectada antes de la aplicación del concreto.

- *Instalación de calibradores:* Posterior a la limpieza se deben instalar calibradores con el fin de controlar el espesor de las capas de concreto lanzado durante su aplicación. Estos calibradores son varillas de la longitud del espesor de la capa completa a aplicar, el diámetro mínimo de la varilla debe ser de 4 mm y se debe instalar mínimo un calibrador por cada medio metro cuadrado de superficie. Los calibradores se instalan sobre una cama de mortero.

- *Aplicación de la primera capa de concreto lanzado:* Esta debe ser de la mitad del espesor de la capa completa de concreto lanzado, es decir, de la mitad de la longitud de la del calibrador con el fin de garantizar recubrimiento contra la roca de la malla electro-soldada, en el momento en que se haya cubierto la mitad de la longitud del calibrador se suspende la aplicación del concreto lanzado para proceder con la colocación de la malla electro-soldada.

- *Instalación de la malla:* Se debe instalar la malla sobre toda la superficie a la que se le ha lanzado concreto previamente (primera capa). Para la fijación de las mallas sobre la superficie, se anclan con martillo manual unas grapas donde a simple vista se requiera. Adicionalmente se aprovechan elementos ya instalados que sirvan para soportar la malla electro-soldada; en obra, incluso los calibradores sirven de apoyo para la colocación de la malla, pero es importante mencionar que la función principal de los calibradores no es soportar ni fijar la malla.

- *Aplicación de la segunda y última capa del concreto lanzado:* Posterior a la colocación de la malla y habiendo humectado la superficie de la primera capa del concreto lanzado se procede a aplicar la segunda y última capa de concreto lanzado. El lanzado se suspende cuando se haya cubierto la totalidad de la longitud de los calibradores. Finalmente, después de fraguado el concreto, se realizan perforaciones para sistemas de drenaje donde esté estipulado por diseño y se introducen las tuberías o mangueras perforadas de drenaje. Estos drenajes se instalan en perforaciones profundas que generalmente se hacen desde la superficie de excavación hasta la roca, aunque también es común instalar drenajes cortos o lagrimales que se instalan en perforaciones del orden de los 40 centímetros de longitud o menos.

De esta manera culmina el proceso de estabilización de superficies de excavación por medio de la aplicación del concreto lanzado

#### **4.1.4 Información complementaria sobre el concreto lanzado**

La información complementaria se basa en datos puntuales de la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

La resistencia mínima a la compresión inconfiada del concreto lanzando es de 26 Mpa a los 28 días, La relación aproximada de cemento-agregados deberá ser de 1:4 a 1:4,5 con base en el peso seco para agregados que tienen gravedad específica de  $2,7 \pm 0,05$ . La relación agua-cemento está entre 0,3 y 0,5 (exceptuando el concreto lanzado reforzado con fibra de acero que está entre 0,40 y 0,55). Las proporciones de aditivos son variables y dependen de las condiciones del terreno a estabilizar.

La limpieza de las superficies donde se lanzará el concreto se hace con chorros de aire y agua a presiones mayores a 0,5 Mpa. Los equipos utilizados para lanzar el concreto por los métodos húmedo y seco que manejan y aplican mezclas con agregado máximo de 12,7 mm (1/2") a presiones hasta de 0,6 Mpa.

La longitud de los calibradores instalados y a instalar durante la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso para la posterior aplicación de las capas de concreto lanzado tienen una longitud que generalmente oscila entre 10 y 15 centímetros, ya que los espesores de las capas de concreto lanzado oscila entre esas medidas según los planos de diseño de la obra.

Para la instalación de los sistemas de drenaje se realizan perforaciones de la longitud especificada en el plano para construcción, posterior a eso se instalan tuberías de drenaje que por lo general son mangueras de polipropileno perforadas en toda su longitud, estas mangueras o tuberías están protegidas con geotextil no tejido.

**4.1.4.1 Concreto lanzado con fibra de acero.** La fibra de acero puede ser adicionada al concreto lanzado cuando éste va a ser aplicado por el método húmedo. Luego de su aplicación, este concreto contendrá fibras de acero discontinuas, distribuidas aleatoriamente con una concentración uniforme en toda la mezcla. Cabe mencionar que cuando el concreto se aplica por el método seco el refuerzo estructural es la malla electro-soldada y no la fibra de acero como en el concreto aplicado por el método húmedo.

Las fibras conformadas por alambres de acero trefilado que se adicionan al concreto lanzado cumplen los siguientes requisitos:

- La longitud de la fibra no es mayor que el 70% del diámetro de la manguera de lanzado. Igualmente es como mínimo dos veces el tamaño máximo de agregado utilizado en la mezcla y no excede los 50 mm.
- El diámetro de la fibra está entre 0,25 mm y 0,76 mm.
- La relación longitud/diámetro deberá estar en el rango 50 a 150.
- Las fibras son fabricadas con acero al carbono de una resistencia última a la tracción mayor de 1000 MPa. Las fibras pueden tener los extremos doblados o preformados.
- Las fibras cumplen todo a lo establecido en la Norma ASTM A820 en su última versión.
- Las fibras no disminuyen la durabilidad y propiedades del concreto lanzado a edad temprana ni a largo plazo.
- Las fibras de acero se almacenan de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, manteniéndolas siempre en condición seca. Las fibras deben estar libres de corrosión, aceite, polvo, humedad y cualquier otro material deletéreo que pueda afectar el proceso de elaboración de la mezcla o la calidad del concreto lanzado.

Para este caso la proporción agua-cemento está entre 0,40 y 0,55 y esta cantidad depende del tamaño, gradación y calidad de los agregados usados. El asentamiento de la mezcla sin fibra inmediatamente antes del lanzado debe estar entre 3,81 y 7,62 centímetros (1-1/2" y 3"). La cantidad en kilogramos de fibra de acero a adicionar por metro cúbico de mezcla de concreto aprobada por el diseñador del proyecto es de 45 kilogramos por metro cúbico.

#### **4.2. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN SOBRE LOS TENDONES DE ANCLAJE**

Es un conjunto de cables y elementos que tienen como finalidad contener y estabilizar un corte superficial o subterráneo (generalmente vertical) solicitado a grandes empujes. Este sistema consiste en un conjunto de cables de acero de alta resistencia embebidos en su extremo interior en lechada, este extremo es conocido como Zona de Bulbo la cual se inyecta con lechada en una etapa inicial con el fin de generar una zona en la cual se transfiera la carga a aplicar en los torones.

Posterior al fraguado de la lechada de la zona de bulbo se aplica una fuerza de tracción a los cables desde el extremo exterior por medio de un gato hidráulico produciendo una deformación en los cables y evitando el deslizamiento de los mismos por medio de cuñas metálicas.

Luego de aplicar el tensionamiento nuevamente se inyecta lechada en la perforación, esta vez rellenando el tramo comprendido entre la Zona de Bulbo y la cabeza de tensionamiento ubicada en la parte exterior de la perforación. Esta zona se conoce como Zona Libre y se caracteriza por no presentar fuerzas de anclaje, por tanto se debe tener especial cuidado al inyectarla ya que se pueden generar falsos valores de anclaje.

#### **4.2.1. Partes de un tendón de anclaje**

El principal elemento de los Tendones de Anclaje son los Torones, estos son cables de acero de alta resistencia compuestos por 7 hilos de los cuales 6 están enrollados helicoidalmente en uno central.

En los torones se almacena la fuerza introducida por el gato hidráulico desde la cabeza de tensionamiento hasta la Zona Bulbo. El torón se deforma longitudinalmente y se mantiene dicha deformación, accionando el anclaje cuando se retira el gato hidráulico.

La cabeza de tensionamiento es una placa circular que posee perforaciones simétricas para permitir el paso de los torones y las mangueras de inyección, adicionalmente cuenta con una Platina de Apoyo, la cual es una placa metálica cuadrada que cumple la función de transmitir y distribuir uniformemente la fuerza de tensionamiento a un bloque de concreto construido en la superficie.

Para impedir el deslizamiento de los torones en la cabeza de tensionamiento al momento de soltar el gato hidráulico se instalan cuñas metálicas o tapones metálicos huecos que se introducen a cada torón junto a la platina de apoyo.

#### **4.2.2. Proceso constructivo de los tendones de anclaje**

Inicialmente se debe realizar la excavación y perfilación de la superficie a contener, a medida que se va avanzando, generalmente se aplican capas de concreto lanzado en la superficie que usualmente es vertical.

Posterior a la perfilación y tratamientos de la superficie se realiza la marcación por parte de la topografía de los puntos donde estarán ubicados los tendones, se

ejecutan las filas de perforaciones con equipo de percusión o rotación, cumpliendo con las indicaciones de los planos.

Después de realizada la perforación se verifica la estanqueidad de la misma, realizando el ensayo en la longitud total de la perforación por medio de un obturador, el cual se introduce y se asegura a las paredes de la perforación incrementando su tamaño inyectándole agua a presión, posteriormente se llena la perforación con agua a una presión de 0,35 kgf/cm<sup>2</sup> y se toman lecturas de las pérdidas adicionales de agua minuto a minuto durante los siguientes 10 minutos luego de haber alcanzado dicha presión; si las pérdidas exceden durante este tiempo los 5 centímetros cúbicos por centímetro de diámetro el hueco debe ser impermeabilizado mediante inyecciones de lechada, reperforado y ensayado nuevamente.

Luego se realiza la limpieza de la perforación con chorros de agua a presión, el cual se aplica hasta que el agua de retorno sea limpia asegurando la remoción total de residuos.

Finalizada la limpieza se introduce el tendón en la perforación, colocándolo de tal manera que quede centrado en toda su longitud de adherencia, para esto se usan separadores espaciados a distancias menores a 3 metros y se realiza la inyección de lechada en la Zona de Bulbo teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante de tendones y las indicaciones de los planos de diseño.

Luego se debe conformar una base en concreto para posar la platina de apoyo y la cabeza de tensionamiento. Siete días después de haberse terminado la inyección del anclaje se instala la platina y por medio del gato hidráulico se tensionan los torones hasta el 50% de la resistencia última del tendón, finalmente se colocan las cuñas metálicas, las cuales se clavan a la cabeza de tensionamiento cuando el gato suelta el torón.

La carga de tensionamiento deberá mantenerse por un tiempo mínimo de 72 horas. Si al cabo de este lapso, cualquiera de los tendones de anclaje ensayados muestra una relajación de más del 10% de la carga inicialmente aplicada, se considerará que el tendón de anclaje ha fallado, de lo contrario el tendón se considera aceptable y se procede a cortar los cables de los torones que quedan por fuera de la cabeza de tensionamiento ya que estos sólo son necesarios para realizar el tensionamiento con el gato hidráulico.

Después de haberse revisado la carga de tensionamiento se limpian todos los elementos exteriores del tendón con chorro de arena o equivalente, se aplica una capa de base de alquitrán de hulla en el cabezal, luego dos capas de pintura epóxica para finalmente ser embebido en concreto.

#### **4.3. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN SOBRE PERNOS DE ANCLAJE**

Son barras de acero corrugado ancladas al terreno por medio de lechada de cemento con acelerante, resinas sintéticas o anclajes mecánicos. A estas barras se les coloca una tuerca hexagonal y una o dos arandelas en su extremo exterior con el fin de asentar una platina de acero contra la superficie a contener, estas platinas tienen un espesor mínimo de 9,5 mm y un área neta mínima de 225 centímetros cuadrados las cuales se utilizan en los pernos tipo A1, A2 y B exceptuando los pernos tipo A1 que se coloquen en “spilling”.

La selección del tipo de perno depende del tipo de terreno a contener, estos terrenos se clasifican como:

TERRENO TIPO I:                    Compuesto por roca dura, poco fracturada y estable.

TERRENO TIPO II:	Compuesto por rocas de dureza media, moderadamente fracturada.
TERRENO TIPO IIIA:	Caracterizado por tener rocas de dureza media a baja y fracturada.
TERRENO TIPO IIIB:	Corresponde a terrenos con roca muy alterada.
TERRENO TIPO IV:	Compuesto por roca bastante meteorizada, alterada y blanda.

#### **4.3.1. Tipos de pernos**

**4.3.1.1. Perno Tipo A1.** El diámetro mínimo es de 25,4 mm (sin tensionar), y el tensionamiento se obtiene mediante el uso de lechadas o mortero de cemento con acelerante (con resistencia mínima de 28 Mpa a los 7 días) o con resinas sintéticas (con resistencia mínima de 60 MPa a los 15 minutos), estas últimas se usan en caso de la presencia de flujos excesivos de agua que laven la lechada o el mortero

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”.

**4.3.1.2. Pernos Tipo A2.** El 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 también se obtiene mediante el uso de lechada o mortero de cemento con acelerante, o resinas sintéticas.

**4.3.1.3. 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.

Cuando se utilizan anclajes mecánicos, después de anclado y tensionado el perno por el sistema mecánico, el hueco se rellena con mortero o lechada.

**4.3.1.4. 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.

#### **4.3.2. Resumen de la información del procedimiento de instalación de los pernos de anclaje**

El proceso inicial para la instalación de los pernos de anclaje es la perfilación, limpieza y en la mayoría de los casos la aplicación de una capa primaria de concreto lanzado en la superficie a contener.

Posterior a la preparación de la superficie se procede a realizar la marcación con topografía de los puntos y a realizar las perforaciones para instalar los pernos de anclaje, las cuales se hacen generalmente en tresbolillo para excavaciones superficiales y radiales para excavaciones subterráneas.

Luego de realizar las perforaciones se realiza la limpieza de las mismas a una presión mínima de 350 kPa para proceder con la instalación del perno el cual en

muchos casos debe sujetar una malla electro-soldada. El perno sujeta la malla por medio de la platina y la tuerca.

Finalmente se procede al tensionamiento del perno por medio de una llave de impacto de par controlado, llevando a una tensión entre el 50% y el 90% de su límite de fluencia.

#### **4.4. RESUMEN Y COMPLEMENTO DE LA INFORMACIÓN SOBRE BARRAS DE ANCLAJE**

Este tipo de sistemas no cumplen una función de tratamiento de superficies, las barras de anclaje se usan para generar conexión entre estructuras en concreto reforzado a construir y las superficies de roca naturales o excavadas, sin embargo al estar introducidas en la superficie del terreno tienden a contener de alguna manera y a generar una masa sólida en la capa superficial de la zona donde se construirá la estructura en concreto reforzado.

El extremo de la barra que queda dentro de la roca es embebido en lechada de cemento en la perforación previamente limpiada con chorros de agua y aire. El extremo de la barra que queda por fuera de la superficie del terreno generalmente es doblada a 90°, y sirve también de apoyo para amarrar acero de refuerzo de la estructura a construir, finalmente se realizará el vaciado en concreto de la estructura y estas barras de anclaje quedarán embebidas en el concreto.

## **4.5. RESUMEN Y COMPLEMENTO DE LA INFORMACIÓN SOBRE LA EMPRADIZACIÓN**

La empradización sirve como método de protección y soporte para taludes en corte abierto, adaptando una especie vegetal seleccionada y mitigando con esto el daño causado al medio ambiente evitando principalmente la erosión del terreno.

### **4.5.1 Detalle del procedimiento de empradización de taludes**

A continuación se presenta un complemento a la información del procedimiento constructivo de la empradización y los detalles del mantenimiento de la misma.

**4.5.1.1. Construcción de zanjas de coronación.** Existen algunos lugares donde es necesario construir zanjas de coronación para el control y conducción de aguas de escorrentía, con el fin de evitar que en temporadas de lluvia la materia orgánica adicionada a los taludes sea removida. Dichas zanjas de coronación se pueden construir en concreto o en costales con suelo-cemento.

**4.5.1.2. Limpieza del terreno.** Una vez listos los materiales a utilizar y puestos en el sitio de trabajo, se procede a realizar la limpieza del lugar para retirar piedras, palos u otros elementos que obstruyan el trabajo.

**4.5.1.3. Replanteo.** Esta actividad consiste en dar uniformidad en el mayor grado posible al terreno, logrando un perfil homogéneo sin cárcavas.

**4.5.1.4. Instalación de trinchos.** Un trincho es una barrera lateral, que se construye a modo de presa en talud, para permitir la acumulación y brindar soporte al sustrato empleado (tierra negra), y por tanto también a la especie

vegetal a plantar, además es muy útil para reducir la velocidad del agua, minimizando la erosión por escorrentía.

En el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso se utilizan varas de bambú ya que estas al poseer bajo peso ayudan a que el talud no quede muy pesado pueda generarse erosión.

Los trinchos se instalan en sentido horizontal y para darles soporte se clavan dos pines de hierro en la parte superior del talud y de ahí se desprenden las líneas de alambre a las cuales se van fijando las varas de bambú.

#### **4.5.1.5. Tipos de empradización**

##### *EMPRADIZACIÓN CON SEMILLA*

Una vez conformada la capa de tierra orgánica se procede a la aplicación de la semilla que puede ser por voleo o incorporándola a la tierra orgánica a través de una mezcla previa y aplicada en la capa superior. La especie que se siembra en el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso es *Brachiarias. p.*

Luego se procede a la instalación de polisombra sobre los terrenos donde se aplicó la semilla con el fin de protegerlas de la acción de las aves, el viento y el agua.

Para su mantenimiento se programan jornadas de riego de acuerdo al régimen de lluvias, una vez se evidencie el crecimiento de las plántulas, se inicia con el proceso de fertilización a través de compuestos edáficos y foliares.

##### *EMPRADIZACIÓN CON ESTOLÓN*

Inicialmente se aplica una capa de aproximadamente 10 centímetros de suelo orgánico (libre de residuos como madera y piedras grandes) en la superficie a empradizar.

Los estolones de 20 centímetros de largo se siembran a través de surcos ubicados entre las varas de bambú los cuales están distanciados aproximadamente a 20 centímetros uno del otro, estos surcos se hacen con azadón o pica. Finalmente se llenan o se cubren con tierra y se pisan.

Inmediatamente se ha ejecutado la siembra se procede con el riego, durante la primera semana se hace diariamente, y a partir de la segunda, día por medio hasta tener un prendimiento adecuado el cual se evidencia por la producción de nuevos estolones. El primer corte se realiza luego de la primera floración, aproximadamente 40 días después de la siembra.

### *EMPRADIZACIÓN CON MACOLLAS*

Inicialmente se aplica una capa de aproximadamente 10 centímetros de suelo orgánico (libre de residuos como madera y piedras grandes) en la superficie a empradizar.

La selección de las macollas se realiza en potreros establecidos donde las plantas presentan mayor vigor. Una vez seleccionadas las plantas a extraer, se podan con guadañadora a una altura de 10 centímetros, luego con el uso de la pica se extraen las macollas que en promedio son cuadrados de 7cm X 7 cm, con 4cm de espesor de tierra y raíz.

La siembra se hace de manera localizada, con la pica se cava un hueco donde se deposita cada macolla, éstos se hacen aproximadamente cada 15 centímetros en un sistema de tresbolillo para ofrecer mayor resistencia a la escorrentía, finalmente se pisa para darle mayor consistencia.

Para su mantenimiento se realizan riegos día por medio, ya que las macollas presentan mayor resistencia a la sequía y un mejor y más rápido prendimiento, a los 15 días de realizada la siembra se efectúa la fertilización con úrea para inducir la floración y de esta manera iniciar el proceso de regeneración natural a través de las nuevas plántulas.

## **5. LOCALIZACIÓN DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EN EL PROYECTO**

A continuación se presenta una descripción de la mayoría de las obras principales (Presa, Vertedero, Túnel de descarga de fondo y Túneles de desviación) y las obras de generación (Captación, Conducción, Cavernas de Maquinas, Transformadores y Oscilación, Túnel de descarga y restitución y la Plataforma y Pozos de salida de cables y humos), con la información de los diferentes tratamientos a las superficies de excavación que se implementaron o que se están implementando durante su construcción.

Cabe mencionar que toda la información y datos de localización y cantidades de los tratamientos ejecutados en la construcción del proyecto pueden variar por situaciones particulares del terreno, o por cambios en el diseño posteriores a la elaboración de este documento.

### **5.1. PRESA**

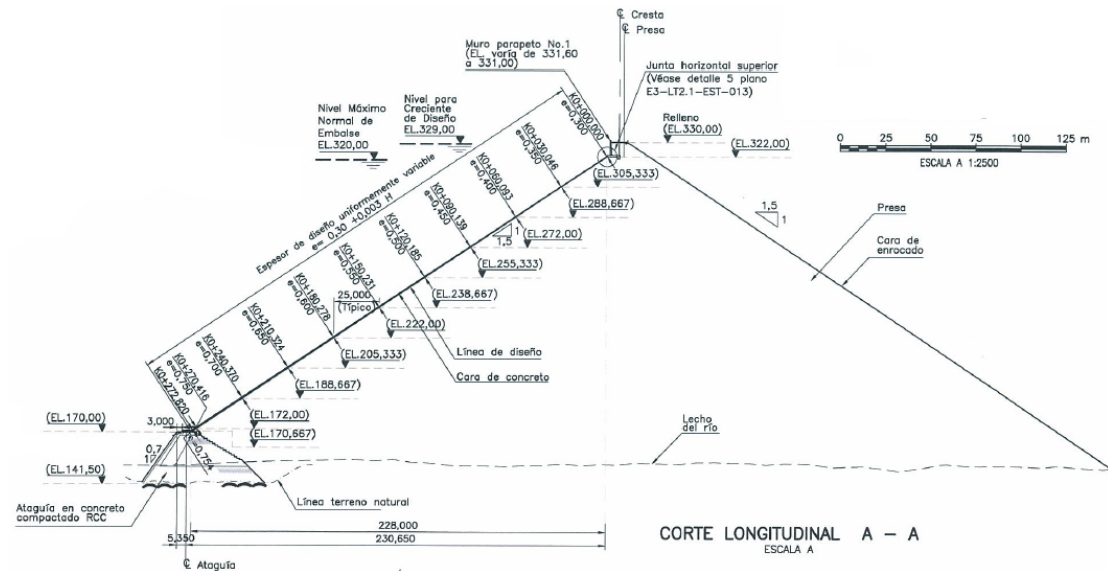
La presa, del tipo de gravas con cara de concreto, tendrá 190 m de altura y 345 m de longitud de cresta, la cota de cresta corresponderá a la cota 330 msnm. El volumen de relleno será de 9,3 millones de metros cúbicos provenientes de las zonas de préstamo de gravas naturales y de enrocados de las excavaciones del vertedero y otras obras del Proyecto.

Para la construcción de la presa actualmente se están excavando los materiales de coluvión localizados bajo el espaldón de aguas arriba de la presa. Y para completar el tratamiento de la fundación de la presa sobre el lecho del río y sobre los estribos, se construye una cortina de inyecciones con lechada.

La ataguía en CCR, quedó incorporada dentro del cuerpo de la presa y sirve de apoyo a la cara de concreto, recibe el plinto a la cota 170 msnm, elevación desde la cual se construye la cortina de inyecciones.

La altura de la presa desde el nivel actual del lecho del río será de 180 m, y la altura desde el nivel de fundación para la ataguía será de 191 m. Su diseño contempla taludes de 1,5H:1,0V.

**Figura 11. Diseño de la presa, corte longitudinal.**



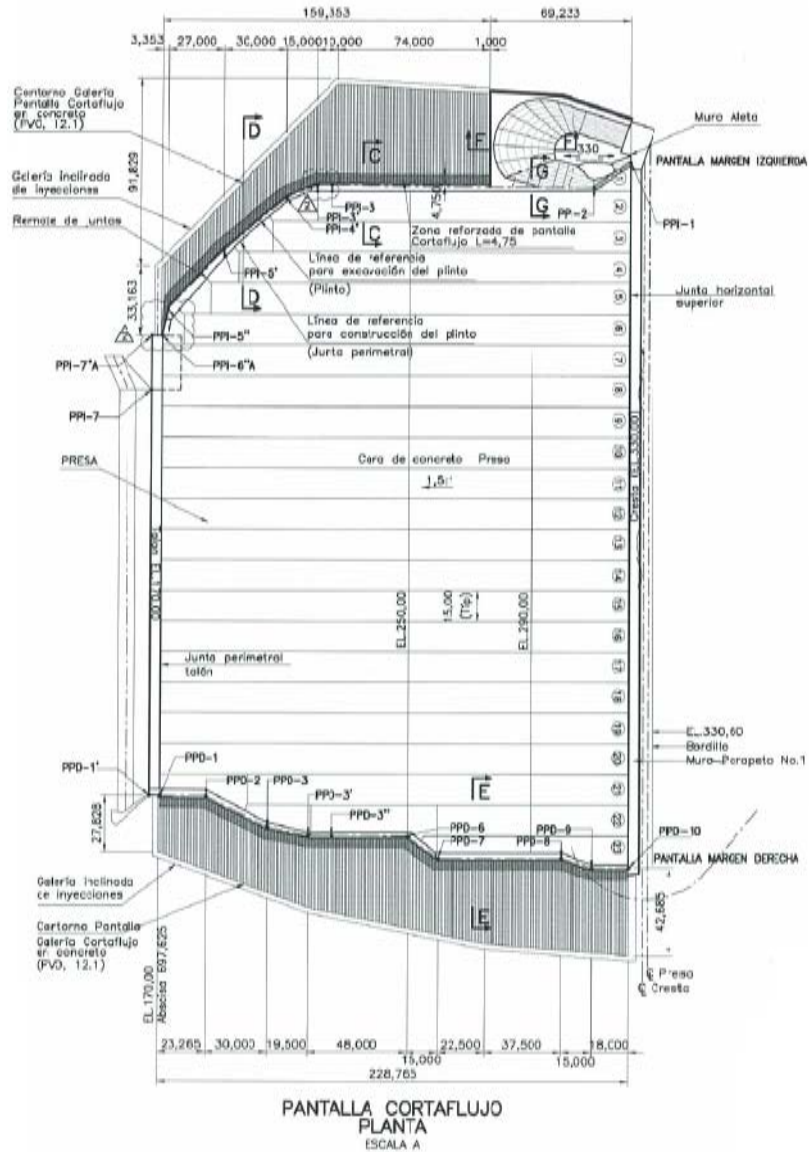
Fuente: Plano E3-LT2.1-EST-004-Rev.5, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

La pantalla cortaflujos, prevista para el control de filtraciones a través de los estribos de la presa se construye mediante la excavación y relleno con concreto de galerías horizontales sucesivas y tangentes entre sí dentro de ambos estribos de la presa, definidas con longitudes variables entre 40 m y 60 m de profundidad.

Dicha pantalla de concreto sirve de fundación al plinto, por lo cual debe concluirse con la debida anticipación para permitir la construcción de las tres fases de la cara de concreto, a las cotas 250 msnm, 290 msnm y 322 msnm.

El área de la pantalla cortaflujo entre las cotas 170 msnm y 250 msnm es de 12.150 m<sup>2</sup> y la cara de concreto tendrá un área total de 82.000 m<sup>2</sup>.

**Figura 12. Cara de concreto y pantalla cortaflujo, vista en planta.**



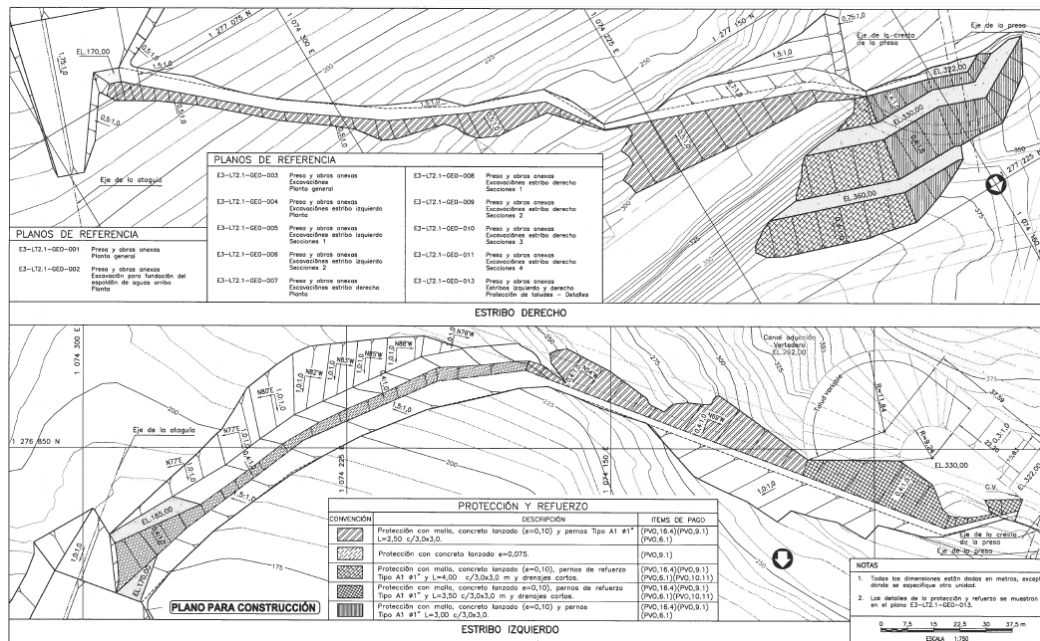
Fuente: Plano E3-LT2.1-EST-005-Rev.2, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

Para realizar la construcción del plinto se deben hacer excavaciones superficiales, lo cual genera taludes en corte abierto. Estos taludes fueron definidos a partir de

curvas de nivel reales en planos de diseño por parte de la asesoría con sus respectivos tratamientos.

En la Figura 13 se muestra el detalle, según los planos de diseño, de las superficies a las cuales se les debe aplicar el concreto lanzado en los estribos derecho e izquierdo de la presa. La relación de las cantidades según el tipo de tratamiento se encuentra en el Anexo 2.

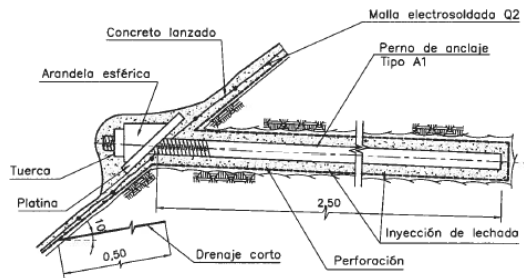
**Figura 13. Tratamientos a taludes a corte abierto para la construcción de los plintos**



Fuente: Plano E3-LT2.1-GEO-012-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

El detalle de los pernos de anclaje para los estribos derecho e izquierdo se muestra en la Figura 14 y el detalle de los drenajes cortos se muestra en la Figura 15.

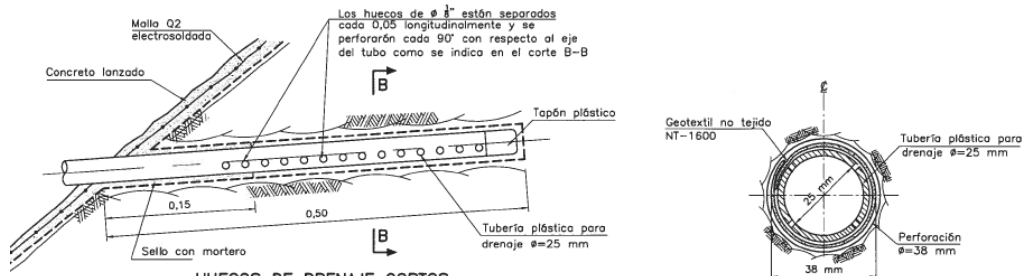
**Figura 14. Detalle de pernos de anclaje**



**DETALLE DE PERNO DE ROCA**  
SIN ESCALA

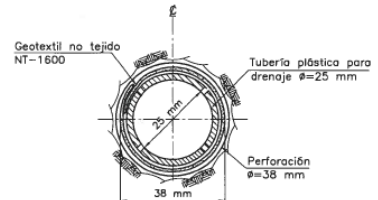
Fuente: Plano E3-LT2.1-GEO-013-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 15. Detalle de los drenajes cortos**



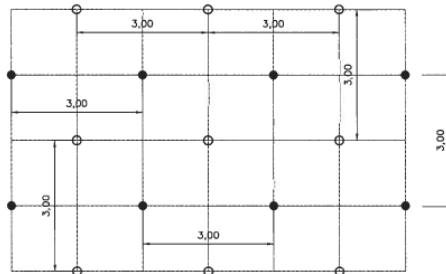
**HUECOS DE DRENAJE CORTOS**

SIN ESCALA



**CORTE B - B**

SIN ESCALA



**PATRÓN DE SEPARACIÓN PERNOS Y DRENAJES CORTOS**

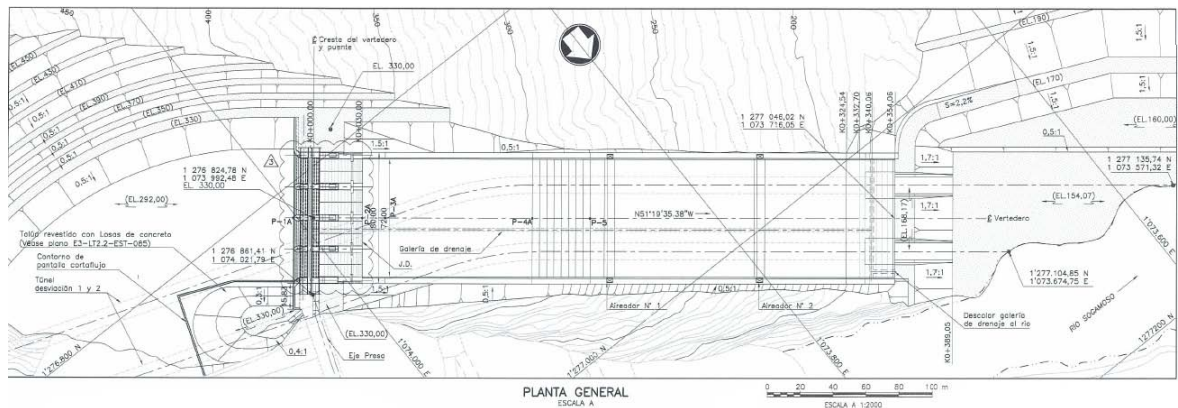
SIN ESCALA

Fuente: Plano E3-LT2.1-GEO-013-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

## 5.2. VERTEDERO

El vertedero está conformado por un canal de 72 m de ancho y 354 m de longitud; con pendientes entre el 8,22 % y el 53,58 %.

**Figura 16. Localización del Vertedero, vista en planta.**

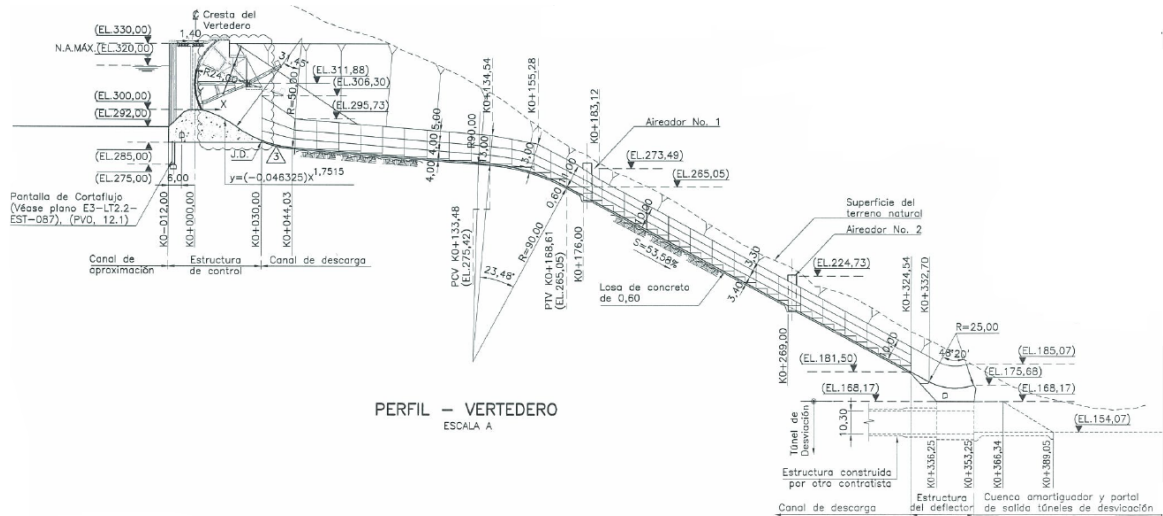


Fuente: Plano E3-LT2.2-EST-001-Rev.3, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

La estructura de rebose finalizará en un deflector tipo salto de esquí con un radio de curvatura igual a 5 veces la profundidad de la lámina a la entrada de esta estructura y un ángulo de disparo con respecto a la horizontal de 20°.

El vertedero será controlado por cuatro compuertas radiales con un ancho de 15 m y una altura de 20 m, se localiza sobre el estribo izquierdo de la presa y contempla un caudal para la creciente de diseño -Creciente Máxima Posible- (CMP) de 22.094 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 17. Estructura de control y canal de descarga del Vertedero, perfil.**



Fuente: Plano E3-LT2.2-EST-001-Rev.3, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

Las obras en la zona de descarga del rebosadero se limitan a preconformar la ladera en la zona de la descarga del vertedero por encima de la elevación 160 msnm, con el objeto de que dicha ladera sea estable ante los eventos de socavación, para las crecientes menores a la creciente de los 50 años.

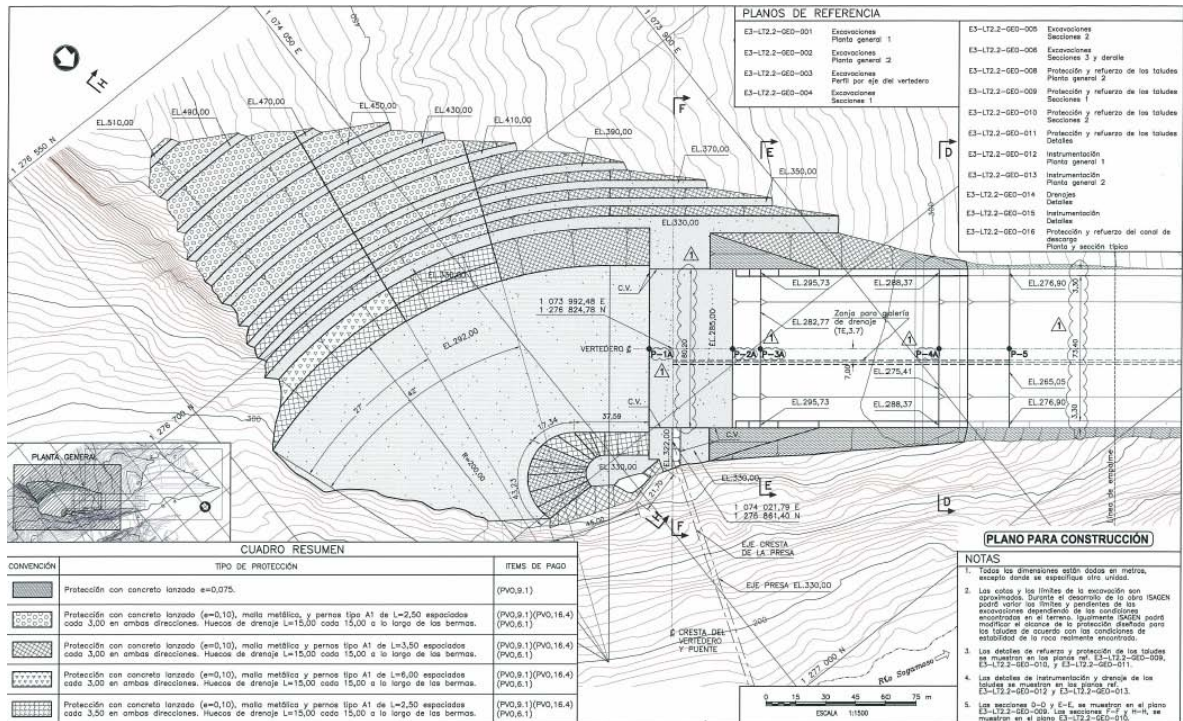
Se debió preconformar la ladera en la zona de descarga desde la cota 154 msnm hasta el nivel 160 msnm, con esto se garantiza que no se ahogará la descarga del vertedero por efectos de acumulación del material socavado aguas abajo de la descarga. Esta zona se conoce como el cuenco de disipación del vertedero.

En las Figuras 18 y 19 se muestra el detalle, según los planos de diseño, de las superficies a las cuales se les debe aplicar el concreto lanzado en las partes alta y baja del vertedero respectivamente.

La relación de las cantidades según el tipo de tratamiento se encuentra en el Anexo 3. En el Anexo 3 no se relaciona el tratamiento del estribo de apoyo

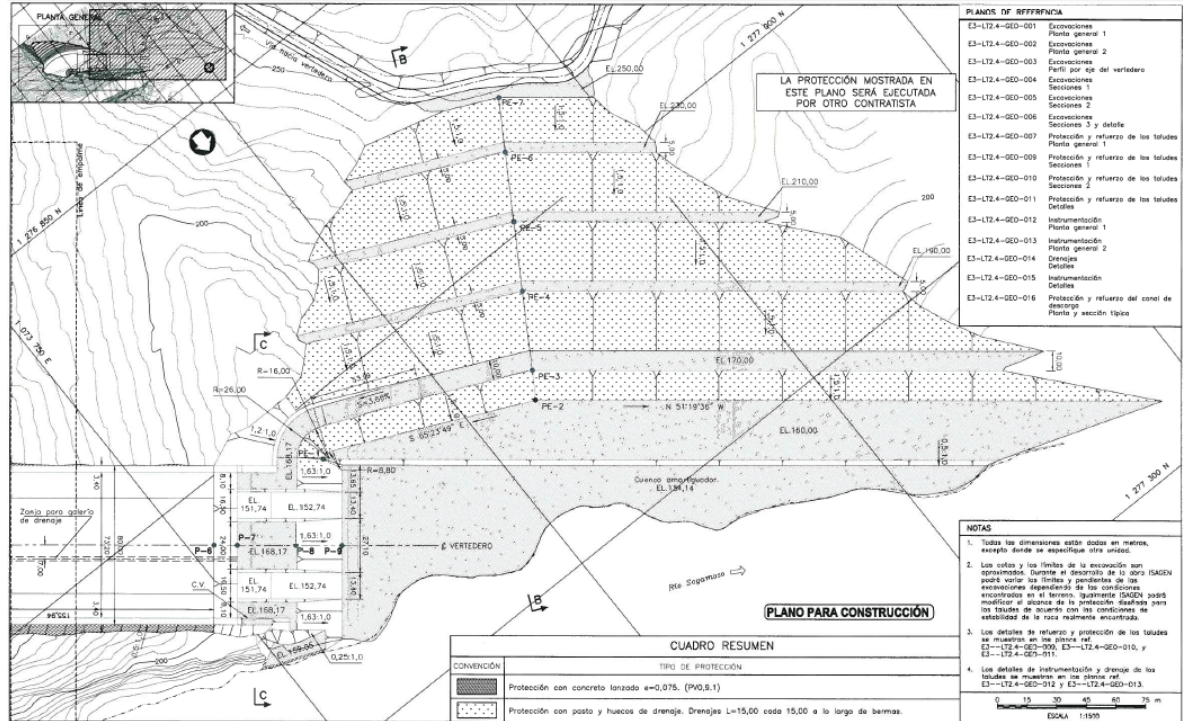
(machón) entre la presa y el vertedero, ya que las cantidades de dicho tratamiento están relacionadas en el Anexo 4

**Figura 18. Detalle de las superficies de excavación a las cuales se les debe aplicar concreto lanzado en la parte alta del vertedero**



Fuente: Plano E3-LT2.2-GEO-007-Rev.1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 19. Detalle de las superficies de excavación a las cuales se les debe aplicar concreto lanzado en la parte baja del vertedero, y la empradización del cuenco de disipación.**

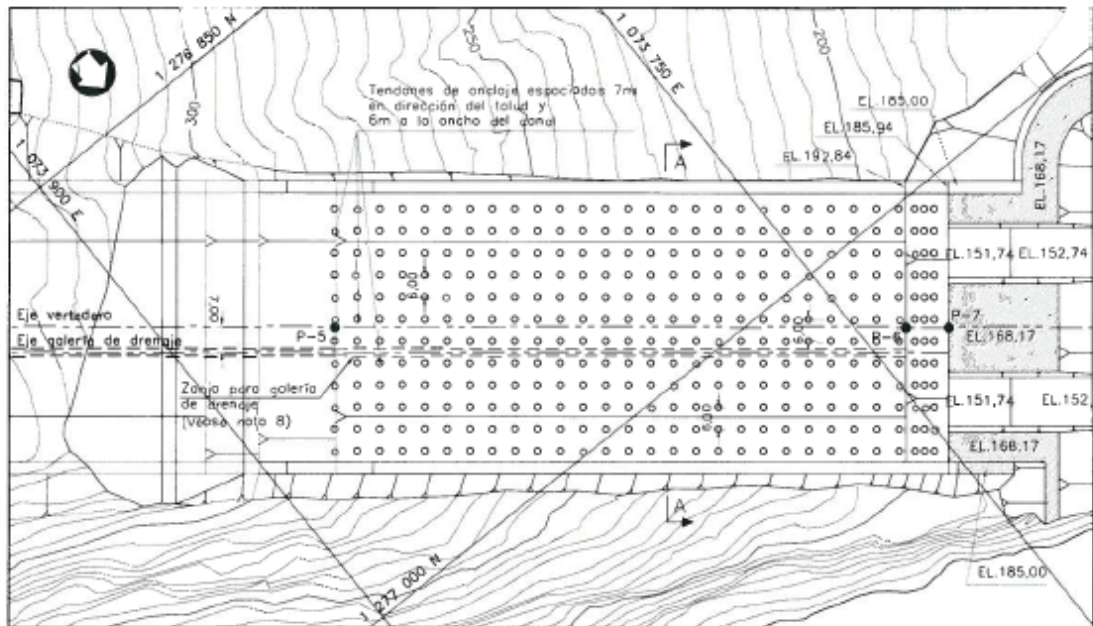


Fuente: Plano E3-LT2.2-GEO-008-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

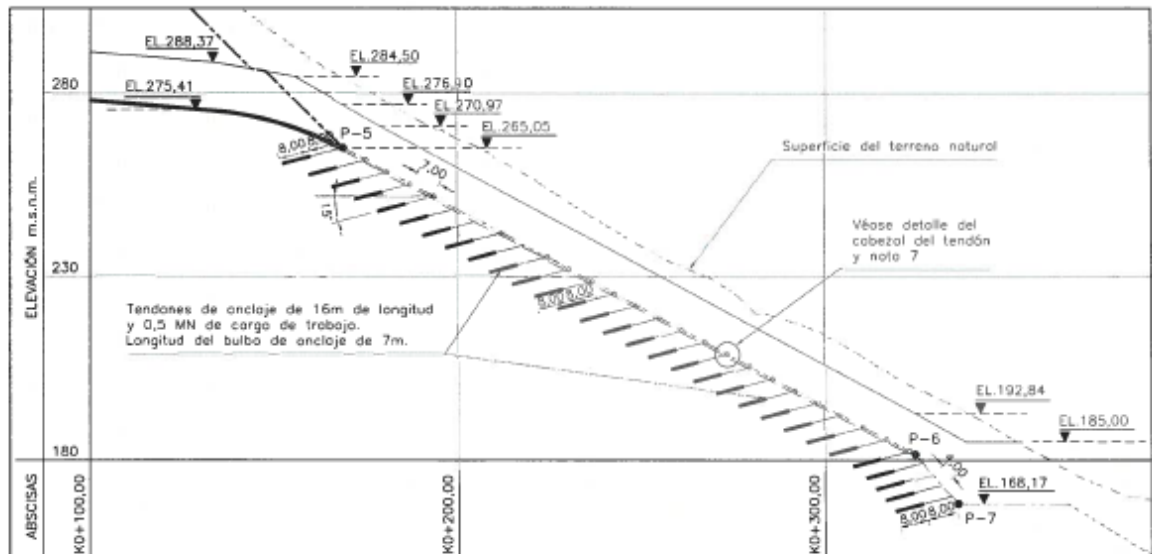
La Figura 20 muestra la disposición de los 348 tendones de anclaje en la zona rápida del canal de descarga del vertedero y la Figura 21 el detalle de los tendones.

Estos tendones tienen 16m de longitud y 0,5 MN de carga de trabajo. La longitud del bulbo de anclaje es de 7m y están espaciados 7m en dirección del talud y 6m a lo ancho del canal, según lo establecido en el plano E3-LT2,2-GEO-016-Rev.0.

**Figura 20. Disposición de tendones de anclaje en la zona rápida del canal de descarga del vertedero**



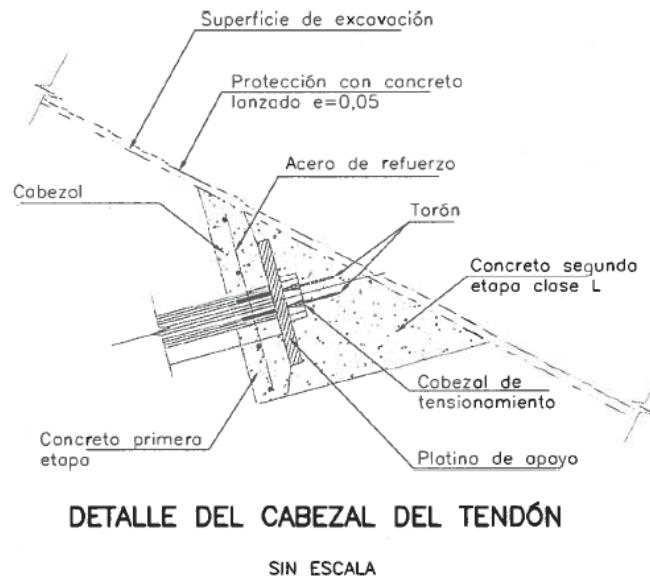
**PLANTA**



**SECCIÓN TÍPICA**

Fuente: Plano E3-LT2.2-GEO-016-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 21. Detalle de los 348 tendones de anclaje de la zona rápida del canal de descarga del vertedero**



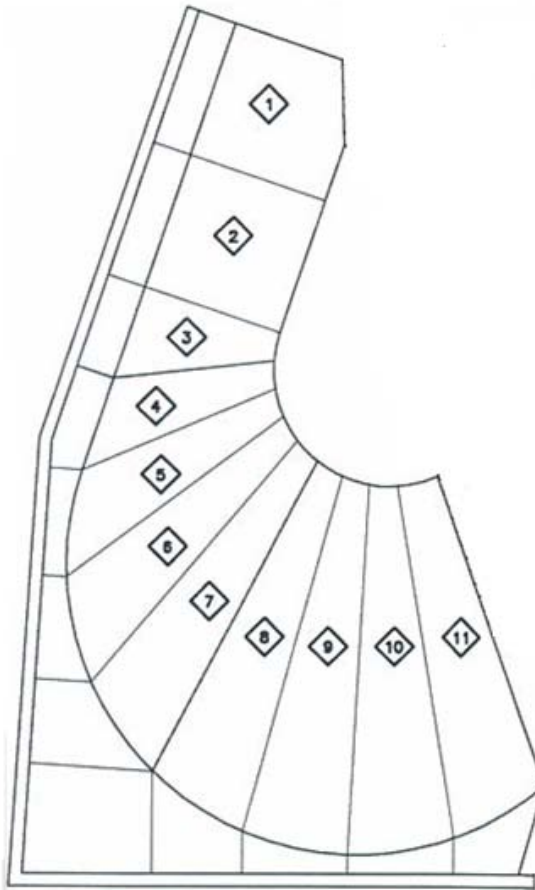
Fuente: Plano E3-LT2.2-GEO-016-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

En la Figura 22 se muestra la vista en planta, según los planos de diseño, de las losas del machón comprendido entre el vertedero y la presa, en la zona del canal de aproximación (aguas arriba de la estructura de control del vertedero). Como parte importante del refuerzo estructural, estas losas tienen un significativo número de barras de anclaje.

En el Anexo 5 se encuentra el detalle de las cantidades de barras de anclaje por losa según lo mostrado en la Figura 22, las losas que tienen numeración hacen referencia a losas inclinadas (talud revestido) y las que no, a la placa de piso de la pata del talud revestido.

Cabe mencionar que estas barras de anclaje del machón son varillas de acero corrugado #10 y están espaciadas generalmente cada 1,70m en ambas direcciones.

**Figura 22. Losas del machón del canal de aproximación, vista en planta.**



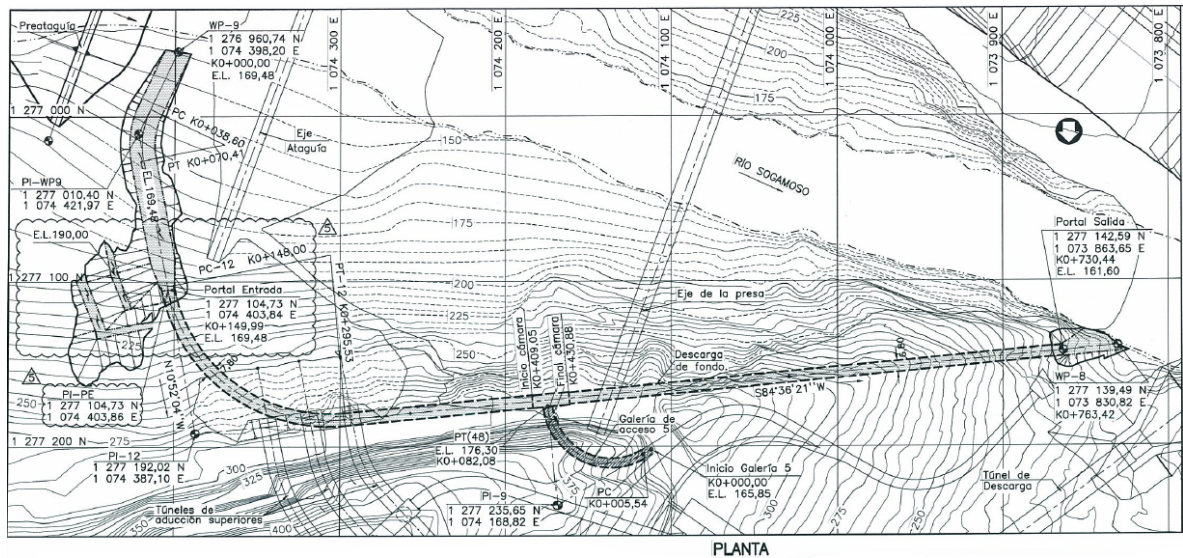
Fuente: Plano E3-LT2.2-EST-089-Rev.1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

### **5.3. DESCARGA DE FONDO**

Para controlar la velocidad de llenado del embalse y para bajar el nivel del mismo para inspección o reparación de obra, se dispondrá de una descarga de fondo en túnel, controlada por una compuerta radial con una capacidad de 486 m<sup>3</sup>/s.

La descarga de fondo se realiza a través de un túnel independiente, por la margen derecha del río Sogamoso con una longitud aproximada de 580 m.

**Figura 23. Túnel de descarga de Fondo, vista en planta.**



Fuente: Plano E3-LT2.3-GEO-001-Rev.5, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

Esta estructura cuenta con un portal de entrada localizado en la cota 170,0 msnm y continúa en un túnel que funciona a presión de aproximadamente 260 m de longitud, de sección herradura de pared curva, con diámetro de 7,0 m en concreto revestido y una pendiente longitudinal de 0,96%.

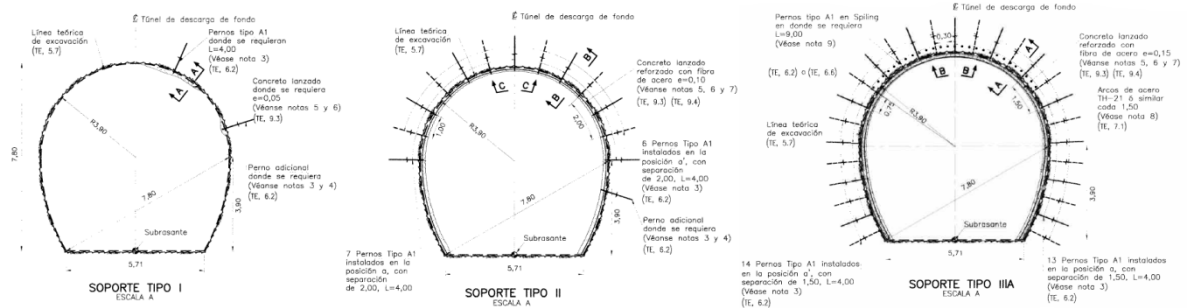
La transición del túnel de sección de herradura a la cámara rectangular de las compuertas de 3,40 m de ancho por 4,45 m de alto, tendrá una longitud de 22 m con revestimiento metálico. El sistema de compuertas estará constituido por una compuerta radial, que obturará el orificio de descarga, con un área de 15,13 m<sup>2</sup>.

Posterior a la cámara de compuertas, la descarga de fondo continúa con un túnel que funciona a flujo libre de aproximadamente 300 m de longitud, de sección en herradura con paredes rectas, con diámetro de 6,0 m en concreto revestido y pendiente longitudinal de 1,64%.

Las Figuras 24 y 25 muestran el detalle de los tratamientos a los diferentes tipos de terreno encontrados en las excavaciones del túnel de descarga de fondo en los

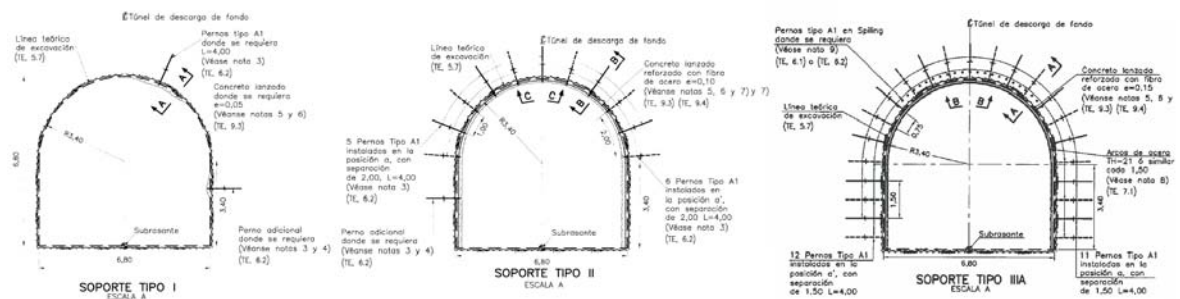
tramos a presión y a flujo libre respectivamente. Las cantidades en porcentaje de dichos tipos de terreno se detallan en el Anexo 6.

**Figura 24. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas en el tramo a presión del túnel de descarga de fondo, según el tipo de terreno encontrado.**



Fuente: Revisión 0 de los planos E3-LT2.3-GEO-005 y E3-LT2.3-GEO-005A, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

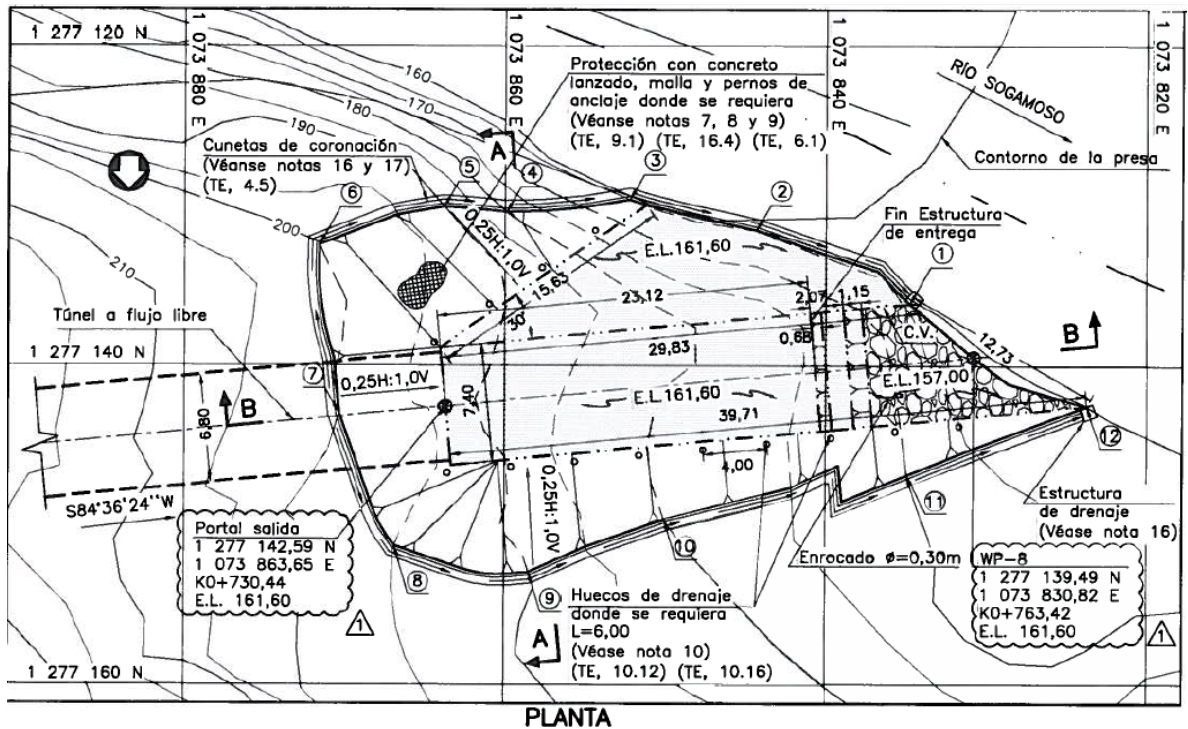
**Figura 25. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas en el tramo a flujo libre del túnel de descarga de fondo, según el tipo de terreno encontrado.**



Fuente: Planos E3-LT2.3-GEO-006-Rev.0 y E3-LT2.3-GEO-006A-Rev.1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

La Figura 26 muestra una vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal de salida del túnel de descarga de fondo y los tratamientos a las superficies de excavación, las cantidades de dichos tratamientos se detallan en el Anexo 7.

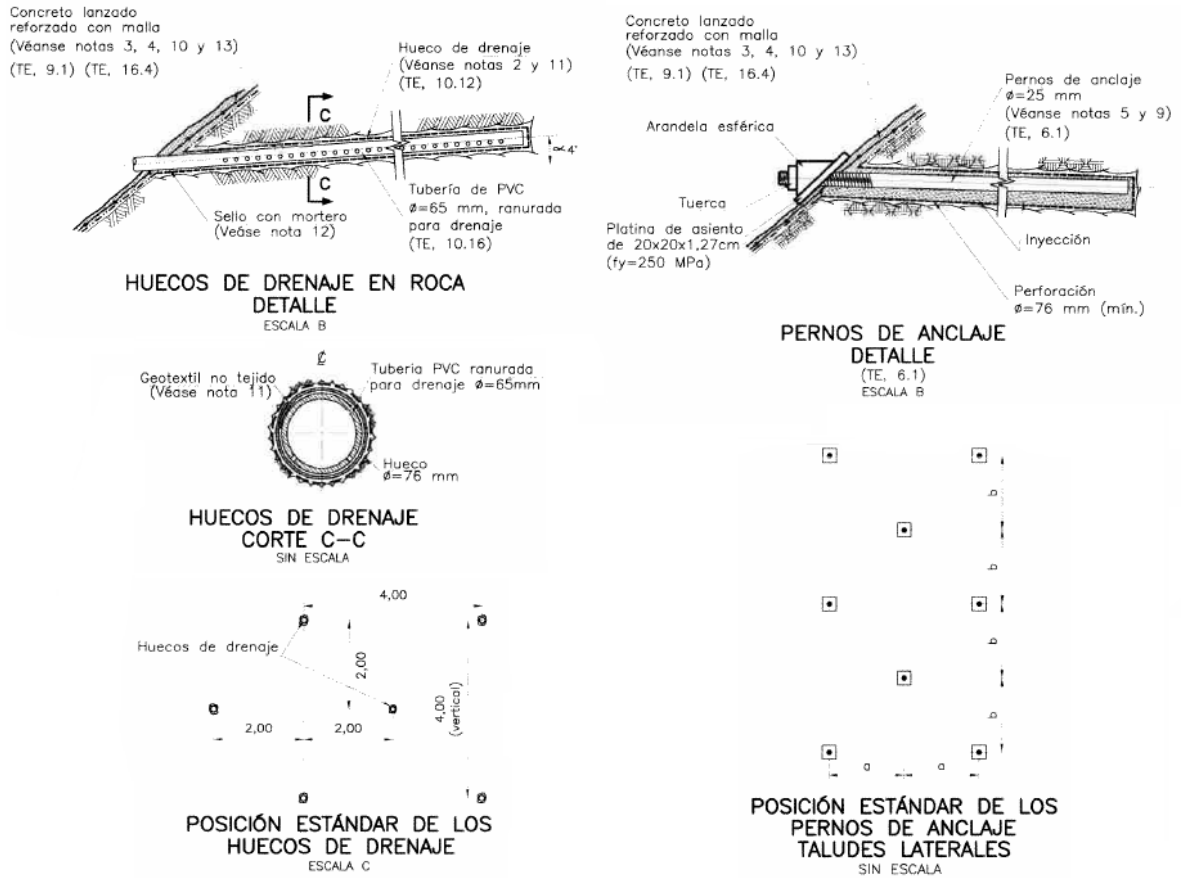
**Figura 26. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal salida del túnel de descarga de fondo.**



Fuente: Plano E3-LT2.3-GEO-003-Rev.1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

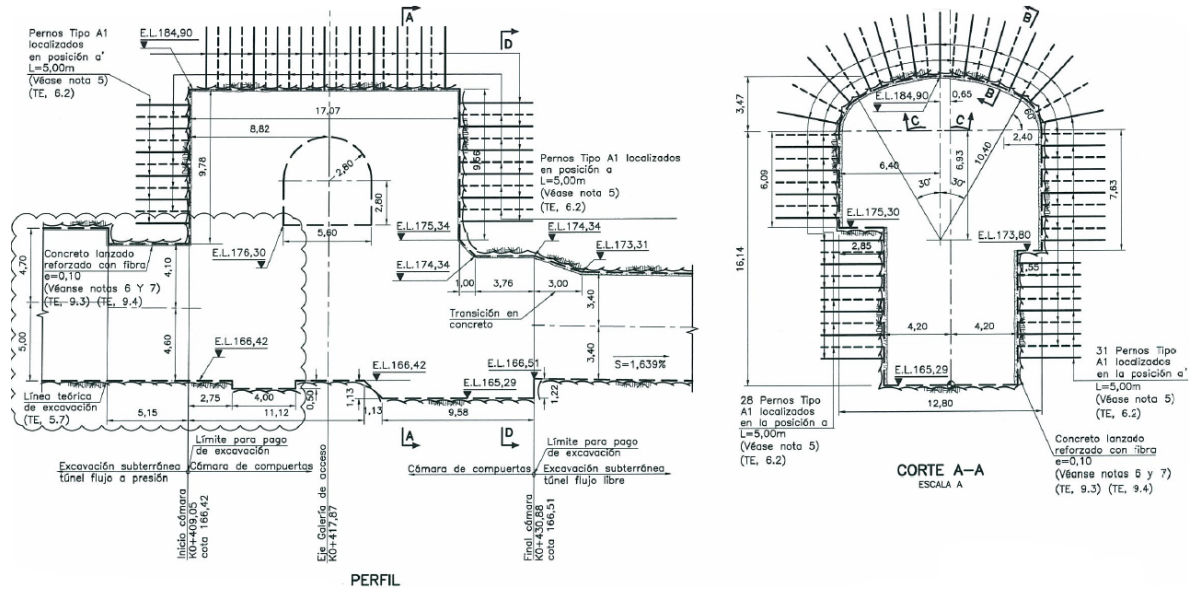
En la Figura 27 se muestra el detalle de los pernos de anclaje y huecos para drenaje así como su posición estándar, según lo establecido en el plano E3-LT2,3-GEO-004-Rev.0

**Figura 27. Detalles de pernos de anclaje y huecos de drenaje, y su posicionamiento.**



Fuente: Plano E3-LT2.3-GEO-004-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 28. Localización de pernos de anclaje de la cámara de compuertas del túnel de descarga de fondo.**



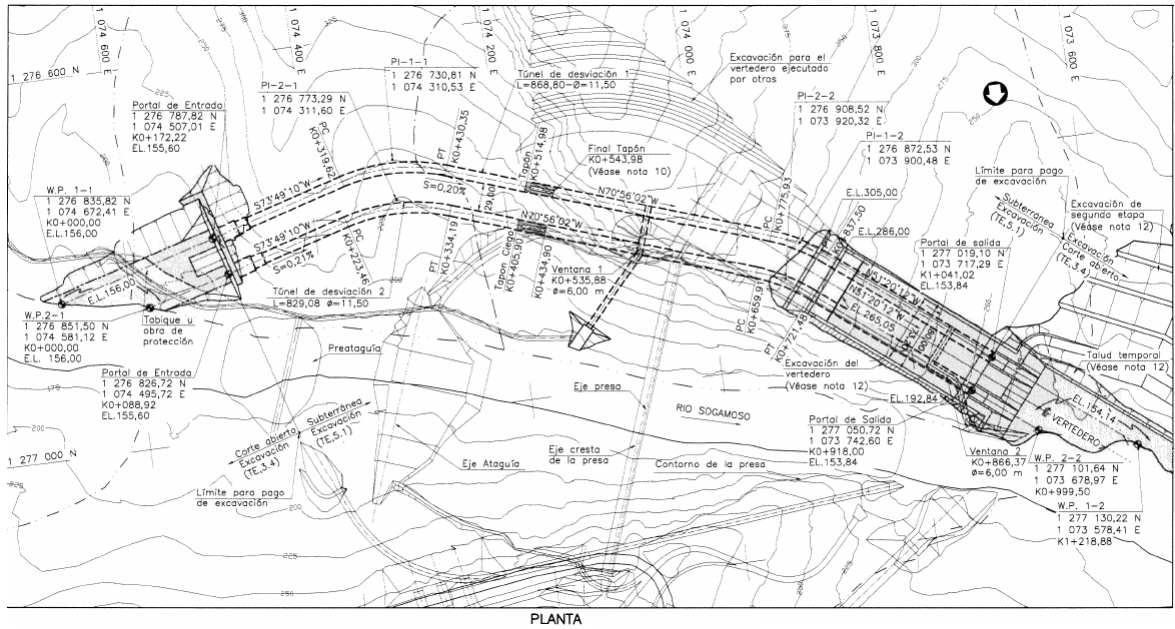
Fuente: Plano E3-LT2.3-GEO-008-Rev.2, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

## 5.4. TÚNELES DE DESVIACIÓN

Los túneles de desviación son dos y están localizados sobre la margen izquierda del río Sogamoso. Los túneles tienen una sección en forma de herradura con paredes curvas de 11 m de altura y bóveda semicircular de 5,65 m de radio.

El túnel de desviación 1 tiene una longitud de 868,80 m, mientras que la longitud del túnel de desviación No. 2 es de 829,08 m.

**Figura 29. Vista en planta de los Túneles de Desvío.**

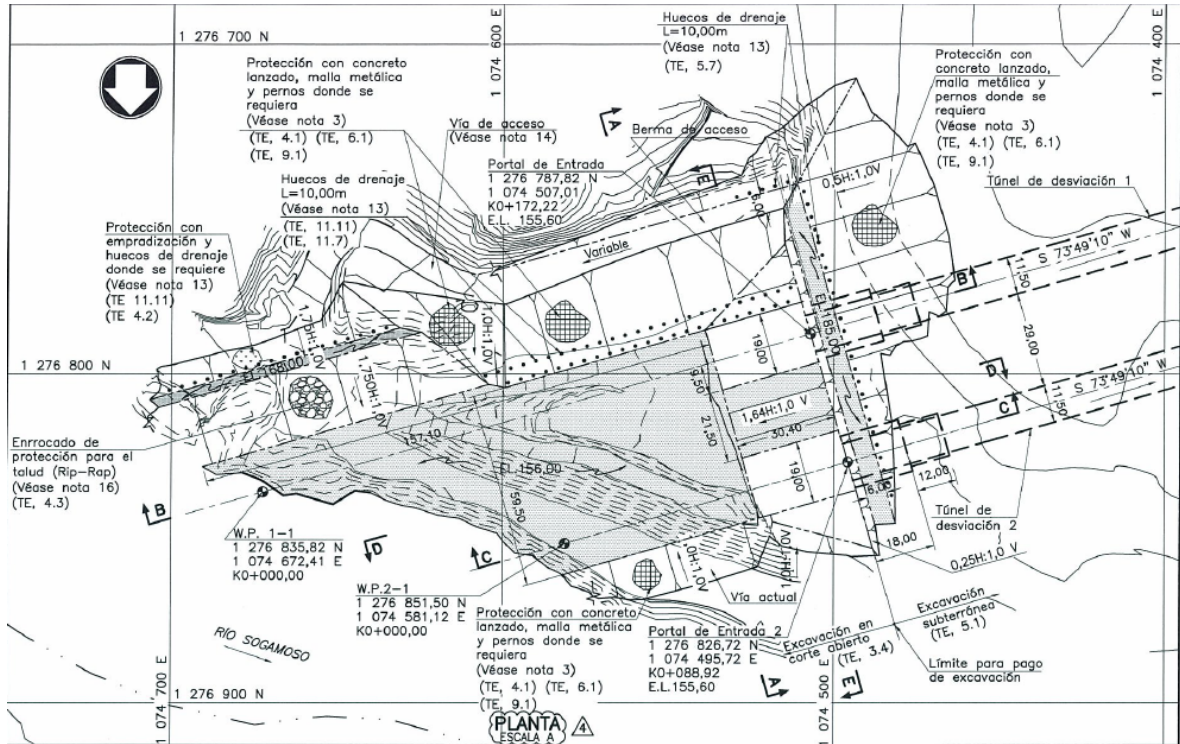


Fuente: Plano E3-LT2.4-GEO-001-Rev.3, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

Bajo el esquema de excavación que se planteó para los túneles de desviación, se previó la ejecución de dos ventanas con una sección en forma de herradura, de paredes rectas y con un diámetro de 6,0 m. Las ventanas 1 y 2 tienen una longitud de 144,96 m y 127,72 m, respectivamente y por medio de ellas se construyeron de los túneles de desviación en un tiempo más corto debido a que es posible crear diversos frentes de excavación.

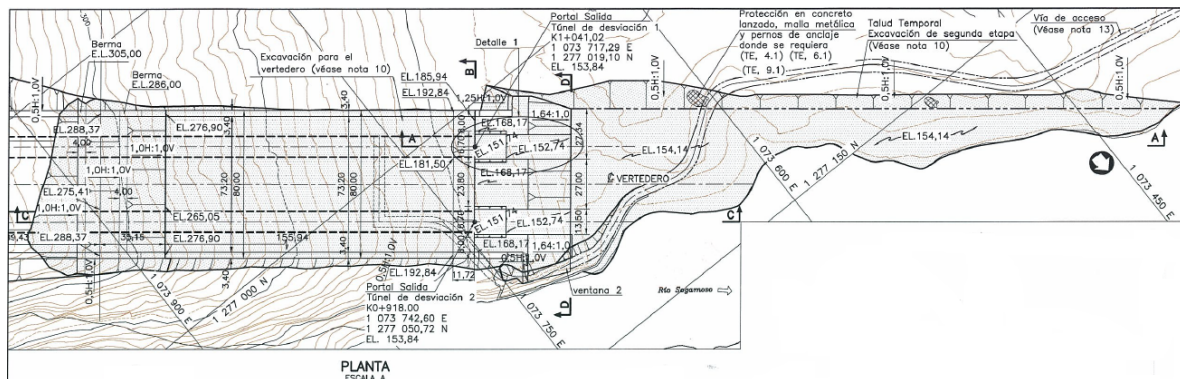
En las Figuras 30 y 31 se muestran las vistas en planta de las excavaciones en corte abierto de los portales de entrada y salida de los túneles de desvío respectivamente y los tratamientos a las superficies de excavación, las cantidades de dichos tratamientos se detallan en el Anexo 8.

**Figura 30. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal entrada de los túneles de desvío.**



Fuente: Plano E3-LT2.4-GEO-003-Rev.4, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

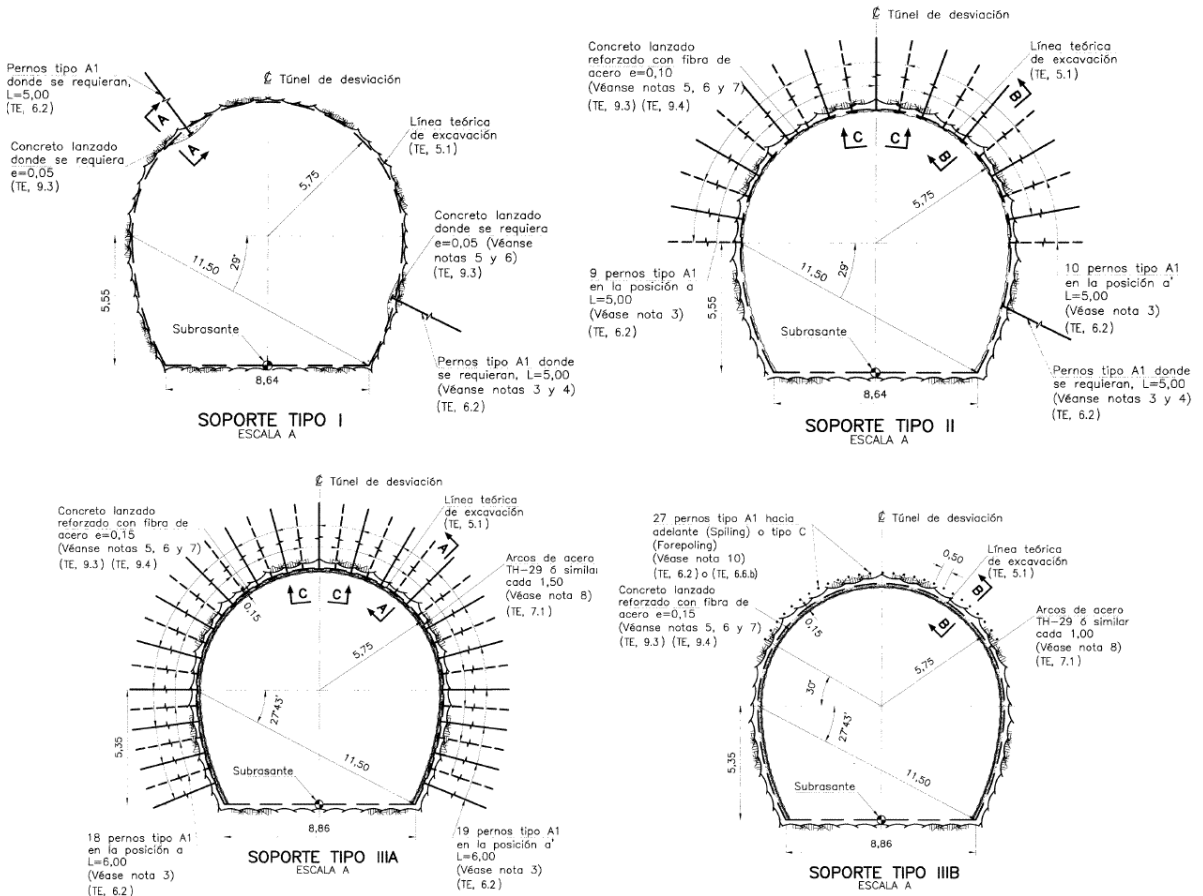
**Figura 31. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal salida de los túneles de desvío.**



Fuente: Plano E3-LT2.4-GEO-004-Rev.4, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

La Figura 32 muestra el detalle de los tratamientos a los diferentes tipos de terreno encontrados en las excavaciones de los túneles de desvío. Las cantidades en porcentaje de dichos tipos de terreno se detallan en el Anexo 9.

**Figura 32. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los túneles de desvío, según el tipo de terreno encontrado.**



Fuente: Planos E3-LT2.4-GEO-013-Rev.3 y E3-LT2.4-GEO-014-Rev.2, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

## 5.5. CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN

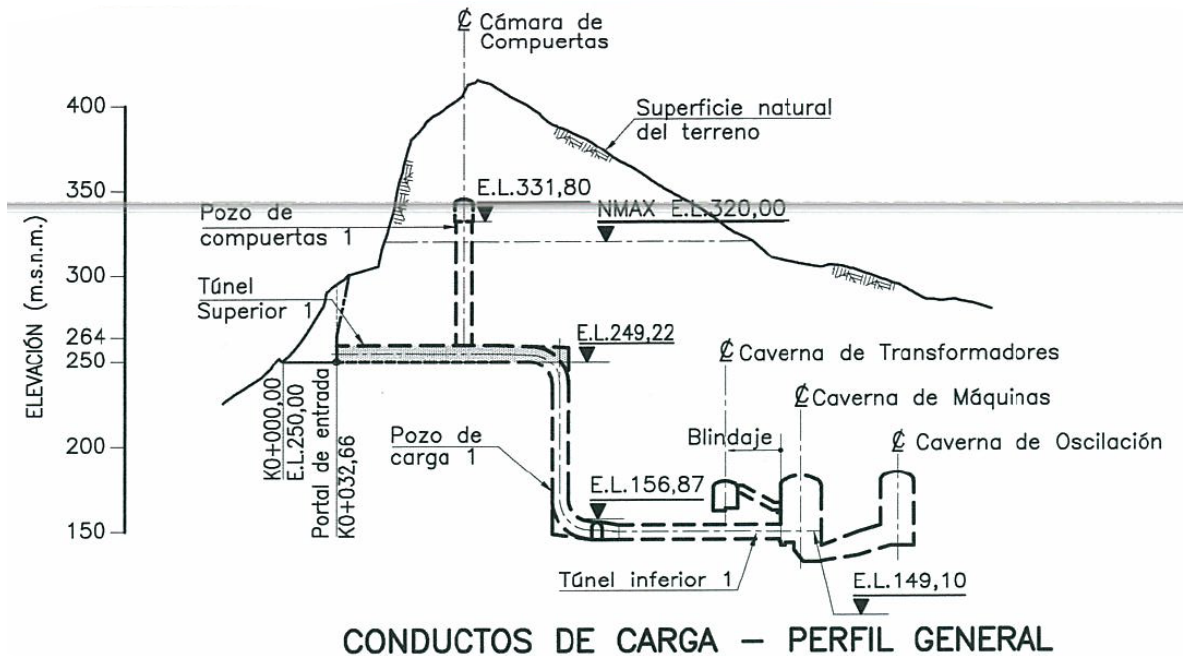
La estructura de captación será una torre en concreto adosada a la excavación del portal de entrada a los tres túneles de conducción. La captación se conforma a partir de una plataforma de aproximadamente 34 m de ancho sobre la cota 250 msnm, la cual cuenta con un cajón con rejas frontales de baja velocidad (0,6 m/s), está será de suficiente área para no requerir de un sistema de limpieza; la reja tendrá 82 m de longitud por 30 m de altura y entre las cotas 250 msnm y 280,20 msnm para los primeros 50 años, el sistema de rejas tiene una previsión de mejora y alargamiento de vida útil a largo plazo.

A partir de la plazoleta de captación se construyeron los tramos horizontales de los tres conductos de carga con una longitud, tres túneles superiores de 130 m de longitud que conectan a tres pozos de carga de 95 m de profundidad y finalmente a tres túneles inferiores de 160 m que conducen hasta la casa de máquinas.

El paso del agua por la conducción es controlado en los túneles de carga superiores, donde se ubican tres compuertas que bajan a través de 3 pozos independientes.

Estas compuertas son operadas desde una cámara de compuertas que tiene una longitud del orden de 67,0 m, altura de 15,80 m y ancho de 11,70 m, en sección en herradura con paredes rectas tipo baúl.

**Figura 33. Perfil de localización de las excavaciones subterráneas**

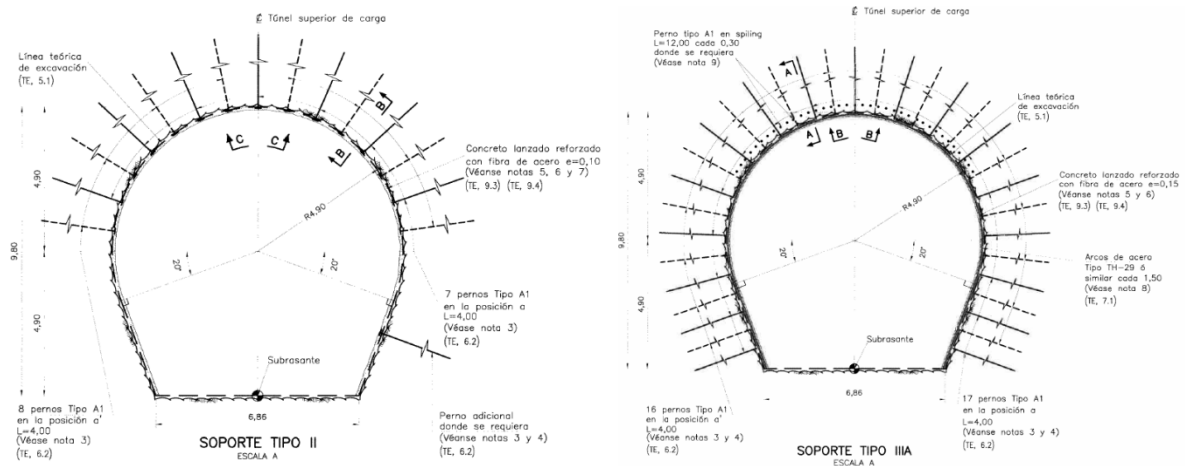


Fuente: Plano E3-LT3.1-GEO-001-Rev.4, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

El diseño de los tres túneles de conducción está previsto para una capacidad de 210 m<sup>3</sup>/s en cada uno, los cuales se construyen con revestimiento en concreto en el tramo inicial, para obtener un diámetro de 8,4 m; así mismo se tienen tramos blindados con un diámetro interno de 7,2 m.

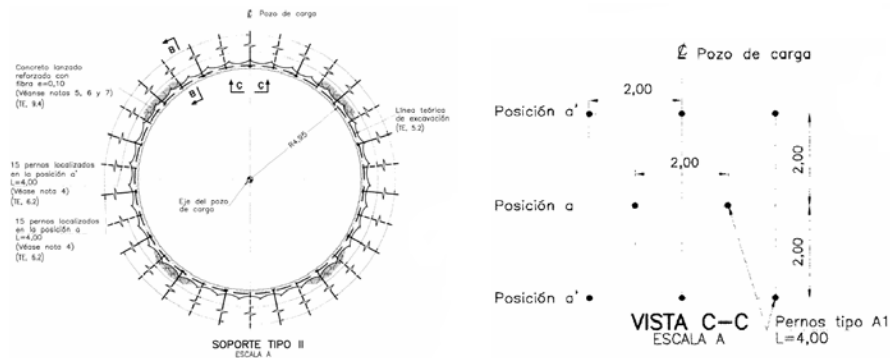
En las Figuras 34, 35, 36 y 37 respectivamente se muestran los detalles de los tratamientos a los diferentes tipos de terreno encontrados en las excavaciones de los túneles superiores de carga, pozos de carga, los túneles inferiores de carga en los tramos sin blindaje y túneles inferiores de carga en los tramos blindados. Las cantidades en porcentaje de dichos tipos de terreno se detallan en el Anexo 10.

**Figura 34. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los túneles superiores de carga, según el tipo de terreno encontrado.**



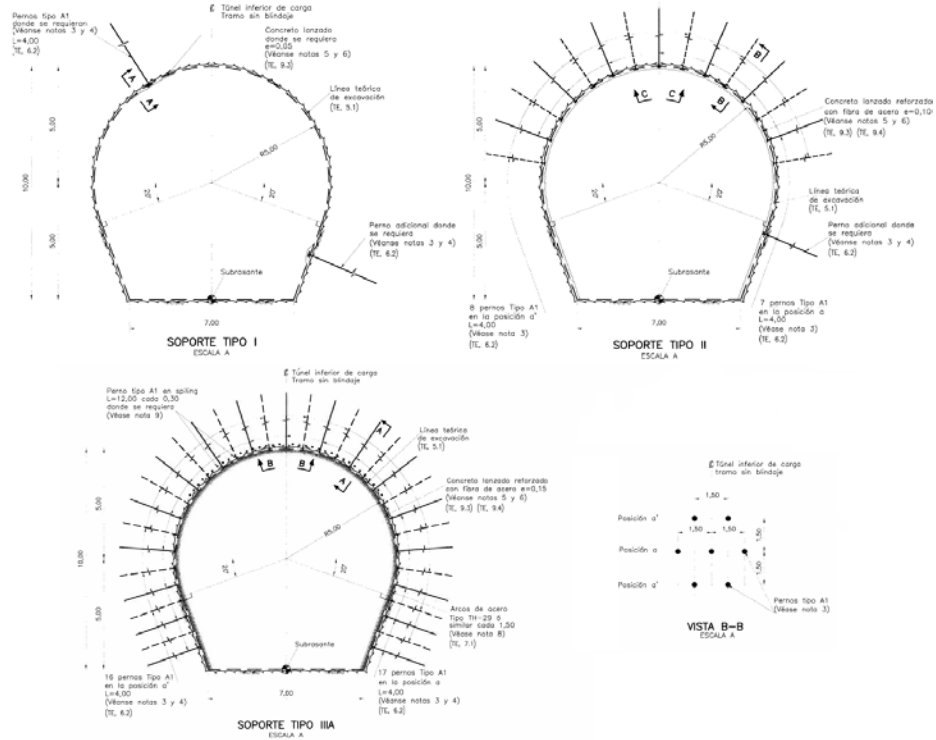
Fuente: Planos E3-LT3.1-GEO-010-Rev.0 y E3-LT3.1-GEO-011-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 35. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los pozos de carga, según el tipo de terreno encontrado.**



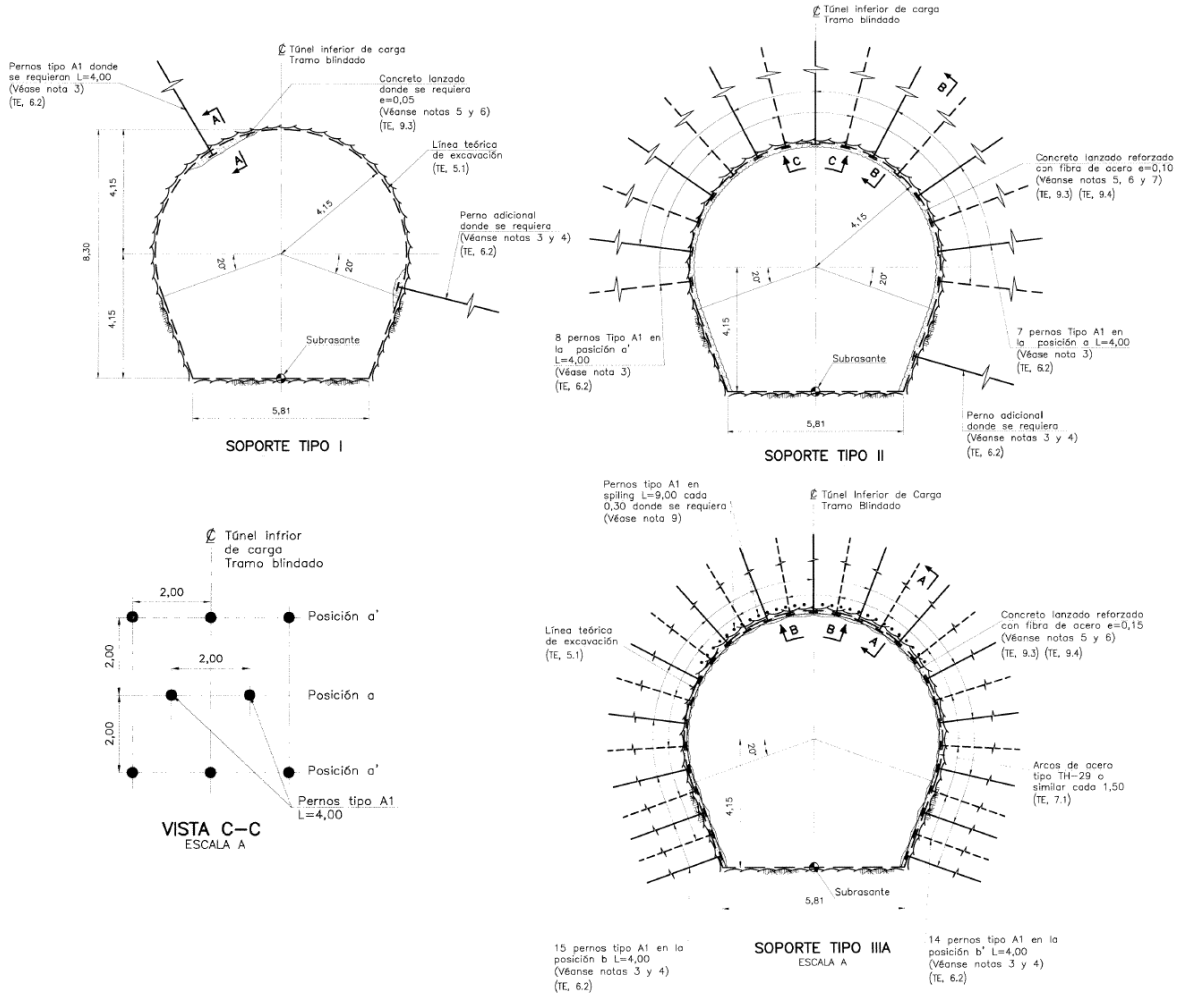
Fuente: Plano E3-LT3.1-GEO-016-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 36. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los tramos sin blindaje de los túneles inferiores de carga, según el tipo de terreno encontrado.**



Fuente: Planos E3-LT3.1-GEO-012-Rev.0 y E3-LT3.1-GEO-013-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 37. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas de los tramos blindados de los túneles inferiores de carga, según el tipo de terreno encontrado.**



Fuente: Planos E3-LT3.1-GEO-014-Rev.0 y E3-LT3.1-GEO-015-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

## 5.6 CENTRAL SUBTERRÁNEA

La central subterránea del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso está compuesta por las cavernas de máquinas, transformadores y oscilación.

El túnel de acceso a la central subterránea es la entrada principal a la caverna de máquinas y está localizado en la margen derecha del río Sogamoso. La longitud total de esta estructura es de 340 m. La sección del túnel es en forma de herradura, de paredes rectas y tiene un diámetro de 7,0 m y pendiente aproximada del 12%.

La caverna de máquinas tiene un ancho de 24 m y longitud de 142 m, conformada en forma de herradura con una altura de excavación de 49 m.

En forma paralela a la casa de máquinas se excavó la caverna de transformadores, como su nombre lo indica tiene como finalidad alojar los tres transformadores de potencia de la central en forma aislada de los equipos de generación. Tiene 114 m de longitud, 14 m de ancho y 16 m de altura.

Para conducir el agua nuevamente al río Sogamoso, se cuenta con un sistema de almenara o caverna de oscilación en conjunto con un túnel de descarga, que funcionará a presión.

La caverna de oscilación tiene sección de herradura abovedada de 20 m de base, 43 m de altura total, de los cuales, los últimos 6 m conforman la bóveda superior de la caverna, la longitud es de 100 m, de manera que el área efectiva de oscilación es de 2.000 m<sup>2</sup>. Se localiza en paralelo a la caverna de máquinas, a 35 m de distancia.

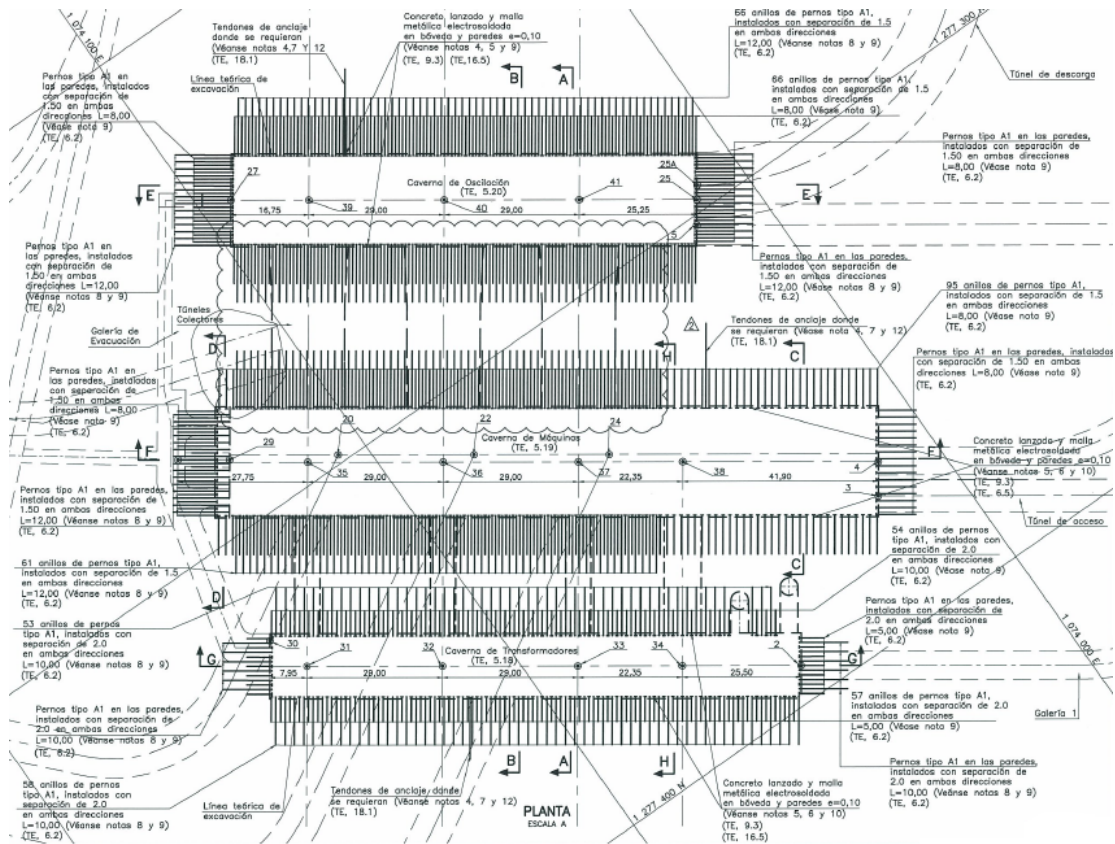
El sistema de soporte de las tres cavernas de la central subterránea se basa en su mayoría en la aplicación de una capa de 10 centímetros de espesor de concreto lanzado en los hastiales y bóvedas y de la instalación de pernos y tendones de anclaje según la disposición mostrada en los planos E3-LT3.2-GEO-031-Rev.2 y E3-LT3.2-GEO-032-Rev.1.

En las Figuras 38 y 39 se muestran una vista en planta y un corte longitudinal del tratamiento a superficies de excavación y disposición de anclajes de la central subterránea según los planos mencionados.

Los Anexos 11 y 12 muestran respectivamente las cantidades de pernos de anclaje Tipo A1 y concreto lanzado reforzado con malla, para cada una de las cavernas (no se incluyen cantidades referentes a las galerías de interconexión y galerías de acceso).

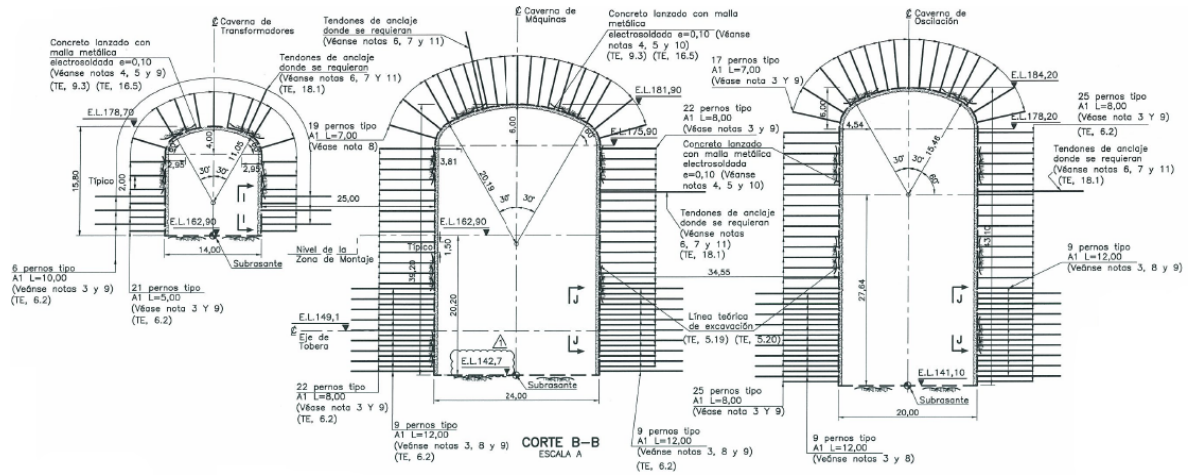
La Figura 40 muestra el esquema de pernado para cada una de las cavernas según lo establecido en el plano E3-LT3.2-GEO-032-Rev.1.

**Figura 38. Vista en planta del tratamiento a superficies de excavación y disposición de anclajes de la central subterránea.**



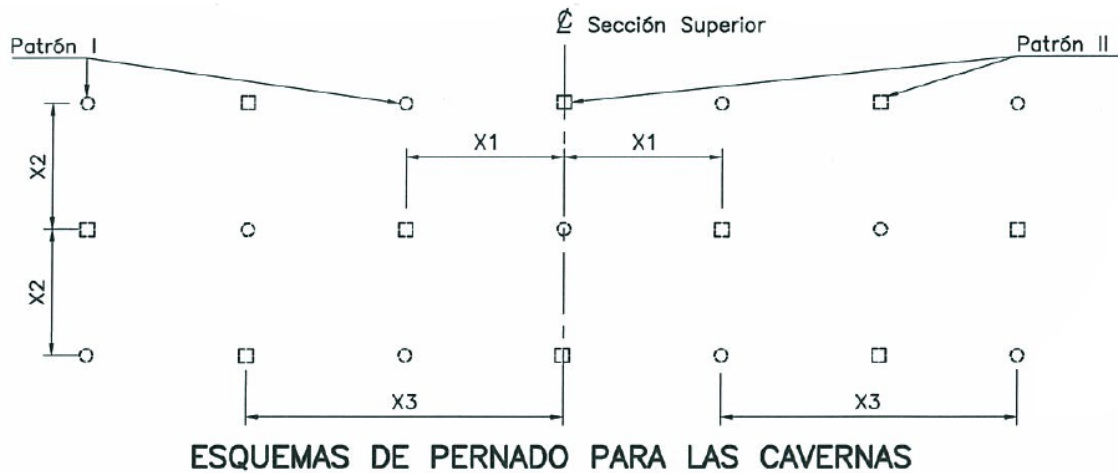
Fuente: Plano E3-LT3.2-GEO-031-Rev.2, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 39. Corte Longitudinal del tratamiento a superficies de excavación y disposición de anclajes de la central subterránea.**



Fuente: Plano E3-LT3.2-GEO-032-Rev.1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

**Figura 40. Esquema de pernado para cada una de las cavernas**

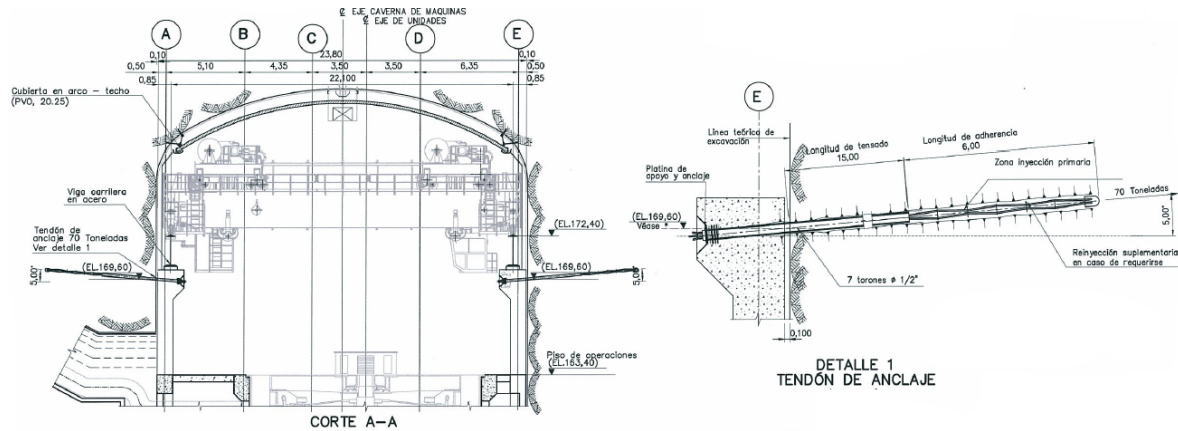


ESPACIAMIENTO PERNOS	X1	X2	X3
Caverna de máquinas	1,50	1,50	3,00
Caverna de transformadores	2,00	2,00	4,00
Caverna de oscilación	1,50	1,50	3,00

Fuente: Plano E3-LT3.2-GEO-032-Rev.1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

En la Figura 41 se muestra el detalle de los 34 tendones de anclaje de las 34 ménsulas de apoyo de las vigas carril del puente grúa, según lo establecido en el plano E3-LT3.2-EST-189-Rev.0

**Figura 41. Detalle de los tendones de anclaje de las ménsulas de apoyo de la viga carril del puente grúa.**



Fuente: Plano E3-LT3.2-EST-189-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

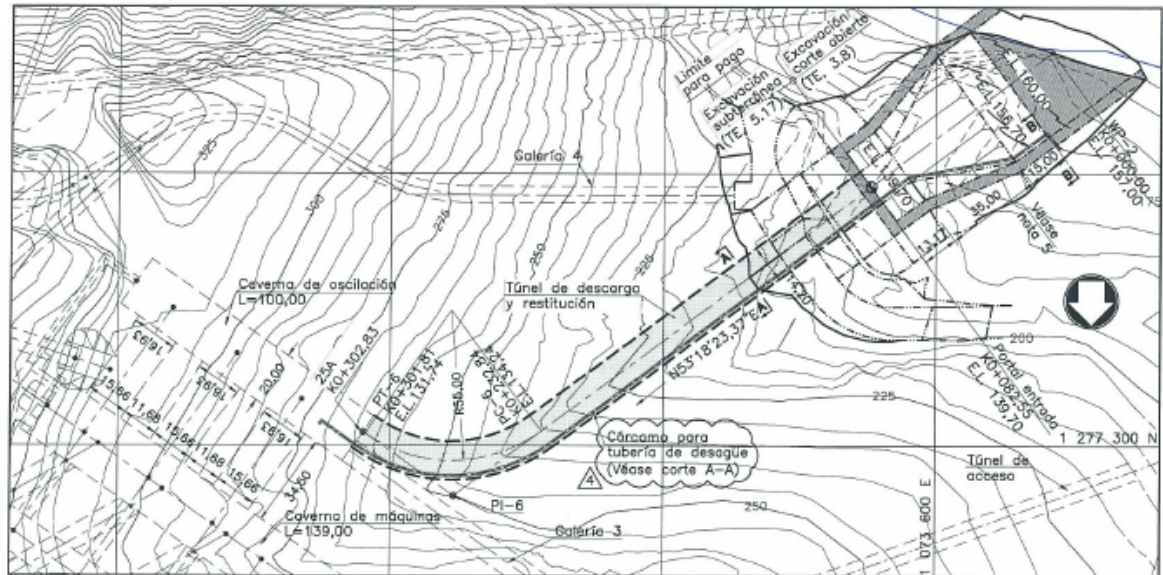
## 5.7. TÚNEL DE DESCARGA Y RESTITUCIÓN

La caverna de oscilación se conecta con el túnel de descarga por medio de una transición de fondo de 12 m de longitud y 10 m de diferencia de nivel, de manera que el inicio de la base del túnel se localizará en la elevación 132 msnm.

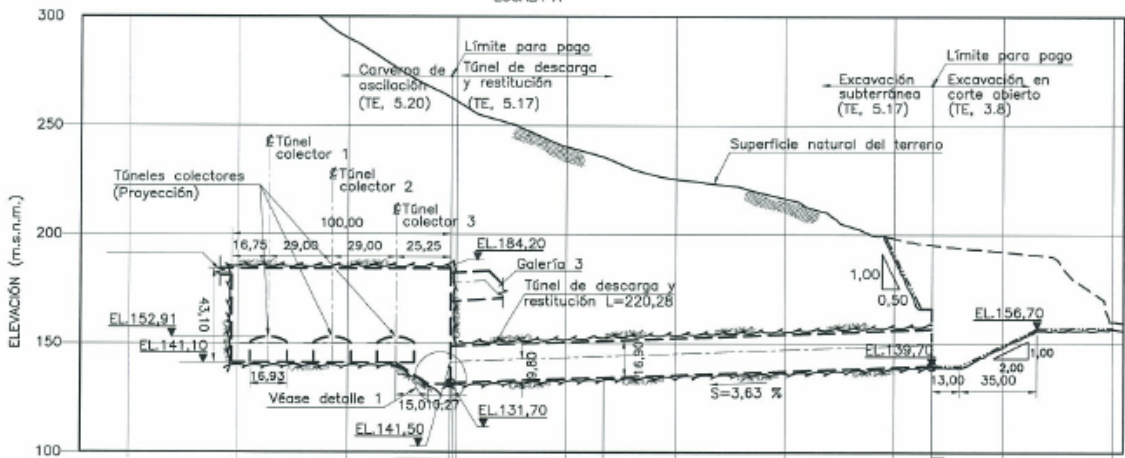
El túnel se inicia al finalizar la transición y se desarrolla con sección de herradura de paredes rectas de 13 m de base, y 16 m de altura, con pendiente adversa de 3,55% en una longitud aproximada de 218 m hasta alcanzar la cota 140 msnm el portal de salida sobre el río Sogamoso.

En el túnel de descarga la velocidad media del flujo es de 3,5 m/s para condiciones normales de operación y caudal de diseño de la central de 660 m<sup>3</sup>/s.

Figura 42. Vista en planta y corte longitudinal del túnel de descarga y restitución.



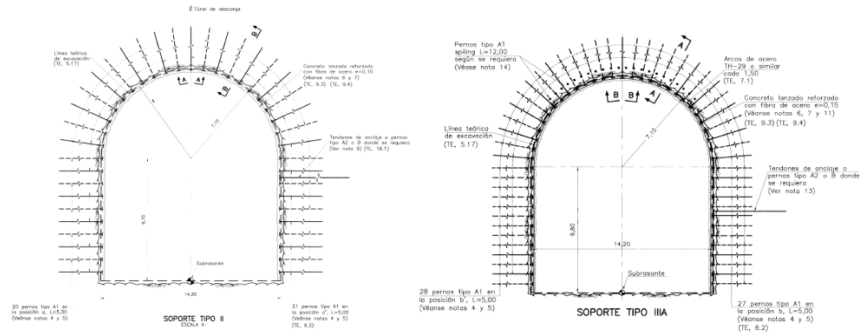
PLANTA  
ESCALA A



Fuente: Plano E3-LT3.3-GEO-001-Rev.4, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

La Figura 43 muestra el detalle de los tratamientos a los diferentes tipos de terreno encontrados en la excavación del túnel de descarga y restitución. Las cantidades en porcentaje de dichos tipos de terreno se detallan en el Anexo 13.

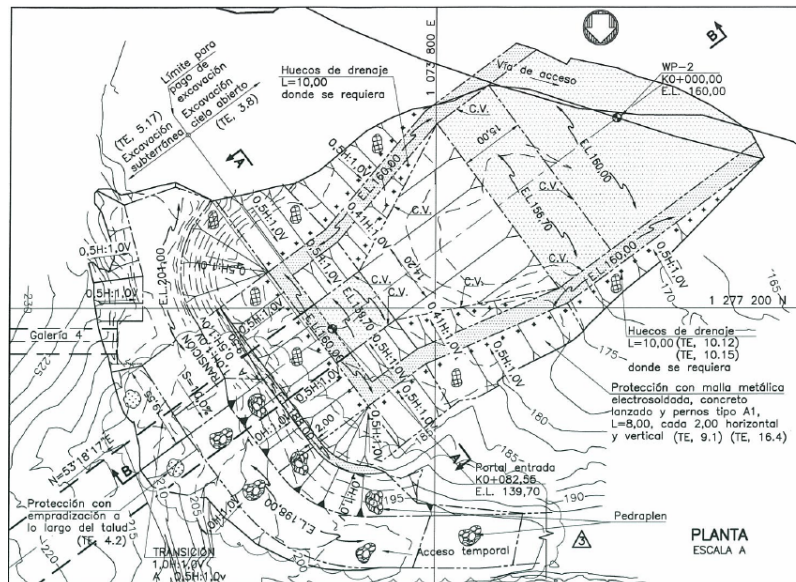
**Figura 43. Tratamientos a superficies de excavación subterráneas en el túnel de descarga y restitución, según el tipo de terreno encontrado.**



Fuente: Planos E3-LT3.3-GEO-002-Rev.0 y E3-LT3.3-GEO-003-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

En la Figura 44 se muestra la vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal salida del túnel de descarga y restitución con los tratamientos a las superficies de excavación, las cantidades de dichos tratamientos se detallan en el Anexo 14.

**Figura 44. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto del portal salida del túnel de descarga y restitución.**



Fuente: Planos E3-LT3.3-GEO-010-Rev.3, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

## **5.8. PLATAFORMA Y POZOS DE SALIDA DE CABLES Y HUMOS**

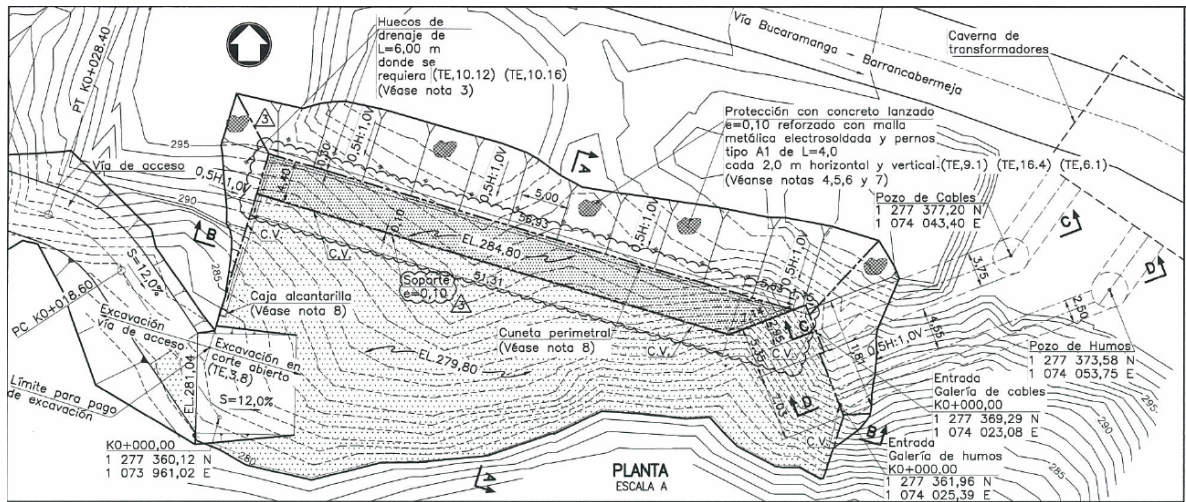
A partir de los transformadores, la energía será conducida por medio de cables de potencia hasta el pórtico de salida de cables en la superficie.

De cada transformador saldrá un circuito trifásico compuesto por tres cables de potencia de tipo seco con aislamiento en polietileno reticulado XLPE para 230 KV. Estos cables saldrán al exterior a través de un pozo vertical, paralelo a un pozo de humos (previsto para evacuar los humos producido por alguna emergencia en la central subterránea), hacia el pórtico de cables para luego dirigirse hacia la subestación Sogamoso, finalmente la energía producida en la Central se entregará al Sistema Interconectado Nacional – SIN.

Al realizar la excavación de la plazoleta de salida de cables donde estará ubicado se generaron taludes 0,5H:1,0V. La protección para estos taludes se realizó con concreto lanzado reforzado con malla electro-soldada y pernos de anclaje Tipo A1.

En la Figura 45 se muestra la vista en planta de las excavaciones en corte abierto de la plazoleta de salida de cables y humos con los tratamientos a las superficies de excavación, las cantidades de dichos tratamientos se detallan en el Anexo 15.

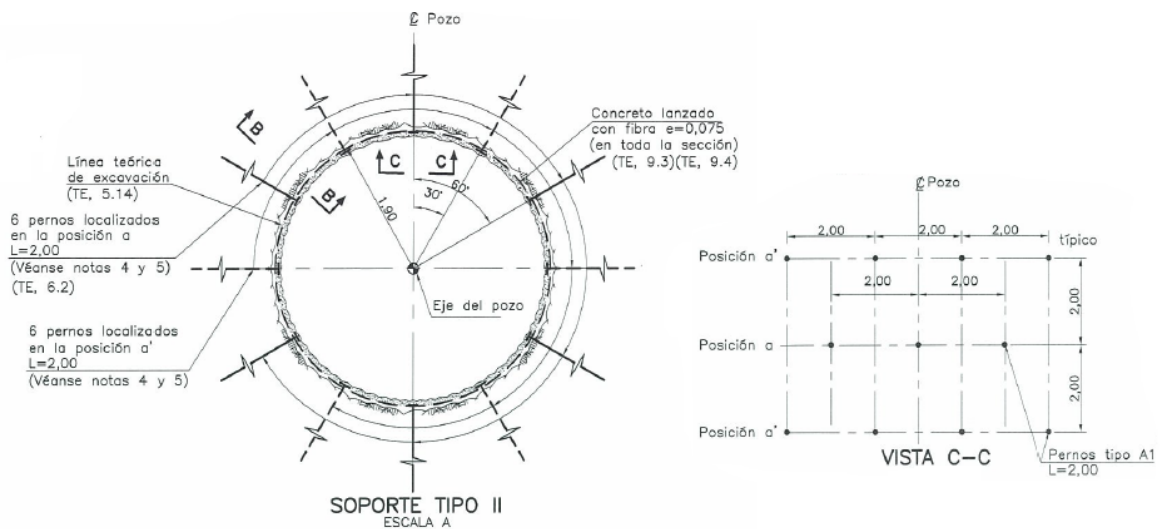
**Figura 45. Vista en planta de las excavaciones en corte abierto la plazoleta de salida de cables y humos.**



Fuente: Planos E3-LT3.2-GEO-051A-Rev.3, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

La Figura 46 muestra el detalle de los tratamientos al tipo de terreno encontrado en la excavación de la los pozos de cables y humos. La cantidad de dicho tipo de terreno se detalla en el Anexo 16.

**Figura 46. Tratamiento a superficies de excavación subterráneas en los pozos de cables y humos, según el tipo de terreno encontrado.**



Fuente: Planos E3-LT3.2-GEO-052-Rev.1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec.

## 6. CONCLUSIONES

La oportunidad otorgada por la UIS e Isagen S.A E.S.P de realizar la práctica en un proyecto de tan amplia variedad y magnitud de obras civiles como lo es el proyecto hidroeléctrico Sogamoso, fortalece considerablemente los conocimientos del estudiante en práctica en materia de ejecución de obras civiles en general. El estar tan cerca de la ejecución de las obras facilita el acceso información sobre especificaciones técnicas, procedimientos y detalles constructivos, lo cual permite que se generen espacios de aprendizaje y enriquecimiento en la formación profesional del practicante.

- En esta segunda etapa del manual sobre tratamientos a superficies de excavación del proyecto hidroeléctrico Sogamoso, se realizó una localización en el proyecto de los tratamientos implementados en los terrenos encontrados durante la ejecución de las excavaciones subterráneas y superficiales describiendo brevemente las características y cantidades de dichos tratamientos. Previo a esta localización se realizó un resumen y en algunos casos complemento de la información presentada en la primera etapa del manual, con el fin de tener relacionados los detalles más relevantes de los tratamientos implementados y de esta manera tener el concepto claro de los tratamientos mencionados en la localización.
- Los tratamientos a superficies de excavación se usan con el fin de contrarrestar las cargas producidas por la excavación y de evitar la erosión de los terrenos. Estos tratamientos se deben implementar posterior al proceso de excavación y tan pronto como sea posible con el fin de evitar alteraciones que compliquen y extiendan el procedimiento constructivo o que pongan en riesgo la integridad física de los trabajadores del frente. Adicionalmente, se deben

instalar drenajes en puntos especificados con el fin de evitar sobrecargas hidráulicas que puedan generar la desestabilización de las superficies de excavación.

- Se pudo observar que en el proyecto hidroeléctrico Sogamoso el tratamiento más implementado sobre superficies de excavación en corte abierto y subterránea es el concreto lanzado reforzado, complementado con la instalación de pernos de anclaje. También se usaron tendones de anclaje en puntos estratégicos donde las características y la geología del terreno así lo exigían. La selección del tipo de refuerzo del concreto lanzado depende de la premura que se tenga para la implementación del tratamiento, ya que el concreto lanzado reforzado con malla requiere más tiempo para su implementación por la instalación de la malla y la aplicación del concreto en 2 etapas, mientras que el concreto lanzado reforzado con fibra mejora notablemente los rendimientos en la ejecución de los trabajos porque la aplicación se hace en una sola etapa.
- Es de vital importancia realizar el monitoreo por medio de la instrumentación geotécnica para el control de la estabilidad de las superficies de excavación con el fin de tener conocimiento y tomar medidas en caso de presentarse deformaciones significativas. Estas medidas están encaminadas a realizar cambios o complementar los tratamientos ya ejecutados.

## BIBLIOGRAFÍA

- CANDELA. J. Sistema de Estabilización de Taludes y Laderas, casos prácticos. Madrid. 2004.
- CÁRDENAS, Julian Bernardo. Manual de los principales métodos de soporte y protección de superficies de excavación utilizados en la construcción del proyecto hidroeléctrico Sogamoso. Bucaramanga, 2012, 81 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil), modalidad: práctica empresarial. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.
- ISAGEN energía productiva [en línea]. < <http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/> > [Citado en 26 de octubre de 2012]
- ISAGEN S.A E.S.P. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Especificaciones técnicas, pliego de condiciones – parte II, licitación pública No.5/415 Contrato II, Cap 3, 4, 6, 9,18. Excav Corte Abierto, ProtecSuperf y Taludes, Pernos y Barras de Anclaje, Concreto Lanzado, Tendones Anclaje.
- ISAGEN S.A E.S.P. Descripción general del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Pliego de Condiciones – Parte I. Licitación Pública No. 5/415. Anexo No.4, 2009.

- Grupo ICT II S.A.S, Nit.900.329.889-9. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Procedimiento de empradización, Comunicación GICT-II-INTER-1397/05/2011.
- MATTEIS. A. Geología y Geotecnia; Tema: Estabilidad de Taludes. Universidad Nacional del Rosario. Bogotá. 2003.
- REYES, Adriana. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C [en línea]. < <http://www.imcyc.com/cyt/abril02/conclanzado.htm> > [Citado en 26 de octubre de 2012]

## ANEXOS

### Anexo 1. Comparación entre los métodos Seco y Húmedo para la aplicación de concreto lanzado.

Método Seco	Método Húmedo
Permite un control instantáneo sobre el agua de mezclado y la consistencia de la mezcla en la boquilla	El agua de mezclado se controla en el equipo de entrega y puede ser medida con precisión
Es más apropiado para mezclas que contengan agregados livianos, materiales refractarios y concreto que requiera resistencia temprana.	Ofrece una mejor seguridad de que el agua es mezclada homogéneamente con el resto de los ingredientes de la mezcla.
Permite ser transportada por largas distancias.	Se genera menos polvo y pérdida de cemento en el proceso de aplicación.
Mejor control de inicio y parado de la colocación	Por su regularidad, ofrece menor rebote, lo que disminuye el desperdicio.
Ofrece menor desperdicio y mayor flexibilidad	Ofrece la posibilidad de lograr una producción mayor.

**Anexo 2. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial de los plintos**

<b>Plinto Estribo Derecho</b>				
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Unidad	Plano de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electro-soldada y pernos	0,5H:1,0V	6231,68	m2	E3-LT2,1-GEO-012-Rev.0
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=2,50 c/3,0x3,0	0,5H:1,0V	301	Un	E3-LT2,1-GEO-012-Rev.0
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=4,00 c/3,0x3,0 y drenajes cortos	0,5H:1,0V	205	Un	E3-LT2,1-GEO-012-Rev.0
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=3,00 c/3,0x3,0 y drenajes cortos	0,5H:1,0V	186	Un	E3-LT2,1-GEO-012-Rev.0
<b>Plinto Estribo Izquierdo</b>				
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Unidad	Plano de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electro-soldada y pernos	0,4H:1,0V	2954,09	m2	E3-LT2,1-GEO-012-Rev.0
Protección con concreto lanzado (e=0,075) sin pernos	0,4H:1,0V	1382,96	m2	E3-LT2,1-GEO-012-Rev.0
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=2,50 c/3,0x3,0	0,4H:1,0V	189	Un	E3-LT2,1-GEO-012-Rev.0
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=3,50 c/3,0x3,0 y drenajes cortos	0,4H:1,0V	139	Un	E3-LT2,1-GEO-012-Rev.0

**Anexo 3. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial del vertedero**

Vertedero					
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Total	Unidad	Planos de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,075)	0,5H:1,0V	5641,51	6797,47	m2	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1
	1,5H:1,0V	1155,96			E3-LT2,2-GEO-008-Rev.0
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electro-soldada y pernos	0,7H:1,0V	2619,77	39763,15	m2	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1
	0,5H:1,0V	21844,89			
	0,25H:1,0V	15298,49			
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=2,50 c/3,0x3,0. Huecos de drenaje L=15,00 cada 15,00 a lo largo de las bermas	0,7H:1,0V	291	1977	Un	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1
	0,5H:1,0V	1291			
	0,25H:1,0V	395			
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=3,50 c/3,0x3,0. Huecos de drenaje L=15,00 cada 15,00 a lo largo de las bermas	0,5H:1,0V	465	974	Un	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1
	0,25H:1,0V	509			
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=6,00 c/3,0x3,0. Huecos de drenaje L=15,00 cada 15,00 a lo largo de las bermas	0,5H:1,0V	174	174	Un	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=2,50 c/3,5x3,5. Huecos de drenaje	0,5H:1,0V	365	949	Un	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1

Vertedero					
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Total	Unidad	Planos de referencia
L=15,00 cada 15,00 a lo largo de las bermas	0,25H:1,0V	584			
Protección con pasto y huecos de drenaje. Drenajes L=15,00 cada 15,00 a lo largo de las bermas	1,5H:1,0V	40551,56	40551,56	m2	E3-LT2,2-GEO-008-Rev.0

**Anexo 4. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación del machón del canal de aproximación.**

<b>Machón del canal de aproximación</b>				
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Unidad	Planos de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electro-soldada y pernos	Variable	4449,00	m2	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=3,50 c/3,0x3,0. Huecos de drenaje L=15,00 cada 15,00 a lo largo de las bermas	Variable	263	Un	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=2,50 c/3,5x3,5. Huecos de drenaje L=15,00 cada 15,00 a lo largo de las bermas	Variable	170	Un	E3-LT2,2-GEO-007-Rev.1

**Anexo 5. Tabla de cantidades de barras de anclaje de las losas del machón del canal de aproximación del vertedero. La numeración está de acuerdo a la**

**Figura 20.**

<b>Barras de anclaje en el machón del canal de aproximación</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Cantidad</b>
Placa de Piso	157
Losa N° 1	159
Losa N° 2	171
Losa N° 3	84
Losa N° 4	68
Losa N° 5	76
Losa N° 6	82
Losa N° 7	92
Losa N° 8	94
Losa N° 9	97
Losa N° 10	95
Losa N° 11	97
<b>TOTAL</b>	<b>1272</b>

**Anexo 6. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea del túnel de descarga de fondo.**

<b>Túnel de descarga de Fondo</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo I	327,61	580,45	56,4%
Terreno tipo II	213,95		36,9%
Terreno tipo IIIA	38,83		6,7%

**Anexo 7. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial del portal de salida del túnel de descarga de fondo**

<b>Portal de Salida al túnel de Descarga de Fondo</b>				
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Unidad	Planos de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electro-soldada y pernos	0,25H:1,0V	1406,23	m2	E3-LT2,3-GEO-003-Rev.1
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=6,00 espaciados en tresbolillo c/2,0x2,0. Huecos de drenaje L=6,00 donde se requiera	0,25H:1,0V	352	Un	E3-LT2,3-GEO-003-Rev.1
Huecos de drenaje de 6,0m de longitud en patrón 4,00x4,00 entre cotas 172,0 y 207,0.	0,25H:1,0V	88	Un	E3-LT2,3-GEO-003-Rev.1

**Anexo 8. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial de los portales de entrada y salida de los túneles de desvío**

<b>Portal entrada de los Túneles de Desvío</b>					
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Total	Unidad	Planos de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electrosoldada y pernos	1,0H:1,0V	5804,10	14944,17	m2	E3-LT2,4-GEO-003-Rev.4
	0,5H:1,0V	7927,38			
	0,25H:1,0V	1212,69			
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=6,00 espaciados en tresbolillo cada c/2,0x2,0.	1,0H:1,0V	1451	3736	Un	E3-LT2,4-GEO-003-Rev.4
	0,5H:1,0V	1982			
	0,25H:1,0V	303			
Protección con empradización y huecos de drenaje. Drenajes L=10,00 en tresbolillo cada 4,00x4,00	1,75H:1,0V	789,72	789,72	m2	E3-LT2,4-GEO-003-Rev.4
<b>Portal salida de los Túneles de Desvío</b>					
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Total	Unidad	Planos de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electrosoldada y pernos	1,0H:1,0V	4311,20	4311,20	m2	E3-LT2,4-GEO-004-Rev.4
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=6,00 espaciados en tresbolillo cada c/2,0x2,0.	1,0H:1,0V	1078	1078	Un	E3-LT2,4-GEO-004-Rev.4

**Anexo 9. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea de los túneles de desvío.**

<b>Túnel de Desvío 1</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo I	423,10	868,8	48,7%
Terreno tipo II	392,61		45,2%
Terreno tipo IIIA	35,10		4,0%
Terreno tipo IIIB	17,97		2,1%
<b>Túnel de Desvío 2</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo I	287,00	829,08	34,6%
Terreno tipo II	462,71		55,8%
Terreno tipo IIIA	60,94		7,4%
Terreno tipo IIIB	17,99		2,2%

**Anexo 10. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea de los ductos de la conducción.**

<b>Túnel Superior de Carga 1</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	125,43	134,4	93,4%
Terreno tipo IIIA	8,94		6,7%
<b>Túnel Superior de Carga 2</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	138,02	149,23	92,5%
Terreno tipo IIIA	11,21		7,5%
<b>Túnel Superior de Carga 3</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	145,45	164,98	88,2%
Terreno tipo IIIA	19,53		11,8%
<b>Pozo de Carga 1</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	92,81	92,81	100,0%
<b>Pozo de Carga 2</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	92,81	92,81	100,0%
<b>Pozo de Carga 3</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	92,81	92,81	100,0%
<b>Túnel Inferior de Carga 1</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	112,96	133,13	84,9%

Terreno tipo IIIA	20,17		15,2%
<b>Túnel Inferior de Carga 2</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	158,35	186,18	85,1%
Terreno tipo IIIA	27,83		15,0%
<b>Túnel Inferior de Carga 3</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo I	47,80	239,22	20,0%
Terreno tipo II	166,04		69,4%
Terreno tipo IIIA	25,38		10,6%

**Anexo 11. Cantidades de pernos de anclaje Tipo A1 para cada una de las cavernas de la Central Subterránea.**

<b>Cantidades de Pernos Tipo A1 en la Central Subterránea</b>			
<b>Frente</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Caverna de Máquinas	7	1292	7722
	8	4996	
	12	1434	
Caverna de Transformadores	5	1260	1632
	10	372	
Caverna de Oscilación	7	1156	6281
	8	3768	
	12	1357	
<i>Total</i>			15635

**Anexo 12. Cantidades concreto lanzado reforzado con malla por metro cuadrado de superficie para cada una de las cavernas de la Central Subterránea.**

<b>Cantidades de Concreto Lanzado reforzado con malla en la Central Subterránea</b>		
<b>Frente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Caverna de Máquinas	15379,44	m2
Caverna de Transformadores	5175,80	m2
Caverna de Oscilación	11672,82	m2
<i>Total</i>	32228,06	m2

**Anexo 13. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea del túnel de descarga y restitución.**

<b>Túnel de descarga y restitución</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	193,97	220,42	88,0%
Terreno tipo IIIA	26,45		12,0%

**Anexo 14. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial del portal salida del túnel de descarga y restitución.**

<b>Portal de Salida al túnel de Descarga y Restitución</b>				
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Unidad	Planos de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electro-soldada y pernos	0,41H:1,0V	773,26	m2	E3-LT3,3-GEO-010-Rev.3
	0,5H:1,0V	6476,37	m2	
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=8,00 c/2,0x2,0. Huecos de drenaje L=10,00 donde se requiera	0,41H:1,0V	193	Un	E3-LT3,3-GEO-010-Rev.3
	0,5H:1,0V	1619	Un	
Protección con empradización a lo largo del talud superior	1,0H:1,0V	682,66	m2	E3-LT3,3-GEO-010-Rev.3

**Anexo 15. Tabla de cantidades según el tipo de tratamiento aplicado en la excavación superficial de la plazoleta de salida de cables y humos.**

<b>Plazoleta de salida de cables y humos</b>				
Tipo de tratamiento	Talud	Cantidad	Unidad	Planos de referencia
Protección con concreto lanzado (e=0,10) reforzado con malla electro-soldada y pernos	0,5H:1,0V	1412,61	m2	E3-LT3,2-GEO-051-Rev.3
Pernos Tipo A1 Ø=1" L=4,00 c/2,0x2,0. Huecos de drenaje L=10,00 donde se requiera	0,5H:1,0V	353	Un	E3-LT3,2-GEO-051-Rev.3

**Anexo 16. Tabla de cantidades reales de tipos de terreno encontrados en la excavación subterránea de los pozos de cables y humos.**

<b>Pozo de Cables</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	136,80	136,8	100,0%
<b>Pozo de Humos</b>			
Tipo de terreno	Longitud encontrada [m]	Longitud Total [m]	Porcentaje
Terreno tipo II	128,50	128,5	100,0%