

**PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA
DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES ENFOCADO EN EL TEMA DE
INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO
SOGAMOSO QUE ADELANTA LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P.**

DIDIER ALONSO PEDRAZA FLÓREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA
DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES ENFOCADO EN EL TEMA DE
INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO
SOGAMOSO QUE ADELANTA LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P.**

DIDIER ALONSO PEDRAZA FLÓREZ

**Trabajo de Grado en la modalidad de práctica empresarial para optar al título
de Ingeniero Civil**

Director

**ING. ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES
Docente Escuela de Ingeniería Civil – UIS**

Tutor

**ING. RUBÉN OSPINA ARGUELLES
Profesional Proyecto Sogamoso ISAGEN S.A. E.S.P**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios, por ser mi guía durante toda mi carrera, por darme la fortaleza cada día en mi formación personal y profesional.

A mis padres José Alonso y Ana Leonor, por su incondicional, incansable y constante apoyo en todas las etapas de mi vida. A mi hermana Ivonne, por estar siempre presente, acompañándome para poder realizar mi proyecto de vida, por el cariño y la amistad incondicional.

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 los ingenieros Adolfo, Hedmer, Juan Carlos, Daniel y a mi tutor Rubén por todas las lecciones compartidas, el apoyo y la orientación recibida durante este proceso.

A Natalia, quien con su incondicional acompañamiento y comprensión hizo de este tiempo una experiencia enriquecedora y maravillosa como prueba de vida.

A mis compañeros de práctica Eliana, Gisela, Laura, Luis Orlando, Erika y Daniela, por el incondicional apoyo y por los excelentes e inolvidables recuerdos que quedarán de esta experiencia.

A Integral VQ e Ingetec, por su disposición de ayuda en la recopilación y explicación de la información del Proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander, a todos los profesores, especialmente al profesor Álvaro Viviescas, por compartir sus valiosas lecciones académicas y ser el director de mi práctica empresarial.

RESUMEN

TÍTULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES ENFOCADO EN EL TEMA DE INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO QUE ADELANTA LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P.¹

AUTOR: DIDIER ALONSO PEDRAZA FLÓREZ.²

PALABRAS CLAVE: Inyección, consolidación, impermeabilidad, macizo, perforación, mezcla.

DESCRIPCIÓN:

En la práctica empresarial realizada en el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, propiedad de la empresa ISAGEN S.A. E.S.P. el cual se encuentra en su fase constructiva; se logra realizar el acompañamiento en el área de obras civiles principales, enfocado en el tema de inyecciones de consolidación.

La técnica de inyección que se emplea generalmente es mediante tubos-manguito, que consiste en la perforación y colocación en el terreno de unos tubos provistos de válvulas. Una vez colocados, se sella el espacio anular tubo-terreno con una mezcla plástica. La inyección se realiza posteriormente a través de estas válvulas, mediante la introducción de un obturador neumático. La inyección se realiza por fases introduciendo volúmenes limitados en cada episodio. Se emplean como recalce, en túneles como mejora previa o para subsanar inestabilidades, como consolidación de terraplenes, en cimentaciones, etc.

Estas inyecciones se realizan bajo el diseño previo de un sistema de anillos de perforaciones como parte del programa de consolidación del macizo, principalmente con el objeto de impermeabilizar los sectores donde fluiría agua; para que al trabajar con las presiones del embalse, las filtraciones en los túneles que se puedan producir, se minimicen o anulen y adicionalmente sirven para proporcionar un macizo de roca circundante a estas estructuras mejorado, proporcionándole mayor competencia y consolidación, como base de apoyo de estas estructuras. En la ejecución del programa de inyecciones de consolidación del Proyecto, se utiliza el método de engrosamiento sucesivo de la mezcla.

¹ Proyecto de grado. Modalidad Práctica Empresarial.

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Álvaro Viviescas Jaimes. Tutor Rubén Ospina Arguelles.

ABSTRACT

TITLE: INTERNSHIP AS ENGINEERING ASSISTANT IN THE MAIN CIVIL WORKS AREA, FOCUSED ON THE CONSOLIDATION INJECTIONS OF THE SOGAMOSO HYDROELECTRIC PROJECT UNDERTAKEN BY THE COMPANY ISAGEN S.A E.S.P.¹

AUTHOR: DIDIER ALONSO PEDRAZA FLÓREZ.²

KEYWORDS: Injection, consolidation, impermeability, massif, drilling, mixture.

DESCRIPTION:

In the business practice that was developed in the Sogamoso Hydroelectric Project, owned by the company ISAGEN SA E.S.P., which is in construction phase, the support was made in the area of main civil works, focusing on the issue of consolidation grouting.

Injection technique that is generally employed by tube-sleeve, which consists of the drilling and placement in the field of pipes provided with valves. Once placed, the annular space is sealed tube-land with a plastic mixture. Injection takes place subsequently through these valves, by introducing a shutter tire. The injection phase is performed by introducing limited volumes in each episode. They are used as underpinning, in tunnels as prior improvement or to correct instabilities, such as consolidation of embankments, in foundations, etc.

These injections are performed under the previous design of a drilling rings system as a part of the consolidation of the massif, mainly in order to seal the areas where water will flow, so that, when working with reservoir pressures, leaks that may occur in the tunnels could be minimized or canceled. Additionally, the injections serve to give a rock solid surrounding of these structures, providing greater competition and consolidation, working as a supporting base of these structures. The consolidation injections of the Sogamoso Hydroelectric Project, is done by the method of successive thickening of the mixture.

¹ Undergraduate Thesis Project. Internship Mode.

² Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Álvaro Viviescas Jaimes. Tutor Rubén Ospina Arguelles.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	18
1.1 MISIÓN	18
1.2 PROPÓSITO SUPERIOR	18
1.3 VALORES	18
1.4 EXPERIENCIA	19
1.4.1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN CARLOS	20
1.4.2 CENTRAL HIDROELÉCTRICA MIEL I	20
1.4.3 CENTRAL HIDROELÉCTRICA JAGUAS	21
1.4.4 CENTRAL HIDROELÉCTRICA CALDERAS	22
1.4.5 CENTRAL HIDROELÉCTRICA AMOYÁ	22

1.4.6	CENTRAL TÉRMICA TERMOCENTRO	23
1.4.7	PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO	24
2.	METODOLOGÍA	29
2.1	CONSIDERACIONES	29
2.1.1	MARCO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO	30
2.1.2	MARCO GEOLÓGICO	30
2.1.3	MARCO GEOTÉCNICO Y GEOMECÁNICO	31
2.2	ETAPAS DE LA TÉCNICA DE INYECCIONES	32
2.2.1	TOPOGRAFÍA INICIAL	33
2.2.2	PERFORACIÓN	34
2.2.3	PRUEBAS DE AGUA, LAVADO Y LIMPIEZA	40
2.2.4	INYECCIÓN	44
3.	RESULTADOS	57

4. CONCLUSIONES

61

BIBLIOGRAFÍA

63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de RMR.	32
Tabla 2. Variaciones de presión en la prueba de agua.	43
Tabla 3. Gradación de la arena.	46

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Logo ISAGEN S.A E.S.P	18
Figura 2: Central Hidroeléctrica San Carlos	20
Figura 3: Central Hidroeléctrica Miel I	21
Figura 4: Central Hidroeléctrica Jaguas	21
Figura 5: Central Hidroeléctrica Calderas	22
Figura 6: Proyecto Hidroeléctrico Amoyá	23
Figura 7: Central Térmica Termocentro	24
Figura 8: Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso	24
Figura 9: Localización del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso	25
Figura 10: Imagen virtual de la presa y el vertedero.	26
Figura 11: Imagen Virtual de la Central Subterránea.	28
Figura 12: Estructuras tratadas mediante la técnica de inyecciones de consolidación.	29

Figura 13: Etapas de la técnica de inyecciones de consolidación.	33
Figura 14: Topografía inicial.	34
Figura 15: Perforación a roto percusión.	35
Figura 16: Atlas Copco Diamec 262.	36
Figura 17: Atlas Copco Jumbo.	37
Figura 18: Atlas Copco Roc D7.	38
Figura 19: Atlas Copco Roc D7.	38
Figura 20. Atlas Copco Track drill PW HIDRO.	39
Figura 21. Obturador simple: (A) En reposo, (B) Inflado.	41
Figura 22. VOPI.	42
Figura 23: Caballete.	43
Figura 24: Esquema inyecciones de consolidación.	44
Figura 25: Materiales empleados en la técnica de inyecciones de consolidación.	45
Figura 26: Equipo utilizado en la técnica de inyecciones de consolidación.	48

Figura 27: Tanque mezclador y tanque agitador.	49
Figura 28: Esquema del equipo utilizado en la técnica de inyecciones de consolidación.	50
Figura 29: Función del Obturador bimbar.	51
Figura 30. VOPI y computador portátil (Software).	51
Figura 31: Resultados del Vopi.	52
Figura 32: Resultados del Computador portátil.	53
Figura 33: Herramienta menor.	53
Figura 34: Visita a obra – Construcción Codos inferiores de carga.	57
Figura 35: Visita a obra – Panorámica Vertedero.	58
Figura 36: Visita a obra – Vertedero, Construcción Estructura de control.	58
Figura 37: Visita a obra – Construcción Presa.	59
Figura 38: Visita a obra – Construcción Túnel vial 2 (Vía sustitutiva Bucaramanga-Barrancabermeja).	59

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, está localizado en el departamento de Santander, específicamente en el cañón donde el río Sogamoso cruza la Serranía de La Paz y pretende aprovechar las aguas del río Sogamoso, por medio de la construcción de una presa de tipo de gravas con cara de concreto que tendrá 190 metros de altura, 345 metros de ancho en su parte más alta y creará un embalse con un volumen útil de 4.800 millones de metros cúbicos; que ocuparán 7000 hectáreas, y que generará una potencia máxima de 820 MW.

En el presente documento se describe el procedimiento implementado para las inyecciones de consolidación del Proyecto, tomando en cuenta las características geológicas, hidrogeológicas, geomecánicas y geotécnicas del macizo rocoso que servirá de fundación para las estructuras que conforman el Proyecto.

Entre los métodos más usados para garantizar la impermeabilidad en las estructuras, se destaca el conocido como inyecciones de consolidación. Este método consiste esencialmente en introducir en el terreno materiales muy viscosos como lechadas de cemento, morteros o productos químicos a diferentes presiones, de manera que desplazan y comprimen el terreno circundante.

Esta técnica puede ser aplicada a cualquier tipo de suelo, sin embargo se recomienda para suelos arenosos no cohesivos, donde el proceso de compactación, con un aumento de las tensiones efectivas en la zona afectada, se produce más rápidamente.

1. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

1.1 MISIÓN

ISAGEN desarrolla la capacidad de generación, 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.

Figura 1: Logo ISAGEN S.A E.S.P



Fuente: ISAGEN S.A E.S.P

1.2 PROPÓSITO SUPERIOR

“Generamos energía inteligente y prosperidad para la sociedad. Generamos energía eficiente que contribuya a la mitigación del cambio climático, manteniendo la competitividad de la empresa en la industria, utilizando redes colaborativas y prácticas coherentes con el desarrollo humano sostenible y generando valor compartido con los grupos de interés”.

1.3 VALORES

Actitudes que definen la forma de actuar de la Organización y la forma en que quiere ser percibida por el entorno.

Ética: valor fundamental. Para ISAGEN la ética es hacer las cosas correctamente y de buena fe; ser coherente entre lo que se piensa, se dice y se hace; y privilegiar el bien común sobre el particular, contribuyendo a la sostenibilidad de la sociedad y del medio en que ésta se desarrolla.

Los valores con los que ISAGEN se relaciona con el entorno son: Responsabilidad social y ambiental, enfoque al cliente y sentido económico.

Los valores que se proyectan en la relación con las demás personas y para el crecimiento individual son: Respeto a las personas, trabajo en equipo, autocontrol, disposición al cambio y humildad.

1.4 EXPERIENCIA

ISAGEN posee y opera seis centrales de generación, ubicadas en los departamentos de Antioquia, Santander, Caldas y Tolima.

Tiene una capacidad instalada total de 2.212 MW distribuida en 1.912 MW hidráulicos y 300 MW térmicos. Su generación total durante 2012 contribuyó a satisfacer en un 16,45% la demanda de energía eléctrica de Colombia, ubicándola como la tercera generadora más grande a nivel nacional y como agente fundamental en el desarrollo de la industria energética.

Esta capacidad se complementa con la representación que tiene ISAGEN de 150 MW de la interconexión con Venezuela.

1.4.1 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 2: Central Hidroeléctrica San Carlos



Fuente: www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/

1.4.2 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 3: Central Hidroeléctrica Miel I



Fuente: www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/

1.4.3 CENTRAL HIDROELÉCTRICA JAGUAS

La central hidroeléctrica Jaguas, con una capacidad instalada de 170 MW, está localizada en el departamento de Antioquia, sobre las hojas 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 m³. Su operación comercial se inició en 1988.

Figura 4: Central Hidroeléctrica Jaguas



Fuente: www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/

1.4.4 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 m³/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 5: Central Hidroeléctrica Calderas



Fuente: www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/

1.4.5 CENTRAL HIDROELÉCTRICA AMOYÁ

La Central Hidroeléctrica del Río Amoyá está localizada en el sur del departamento del Tolima, en jurisdicción del municipio de Chaparral, a unos 150 km de Ibagué. Tiene una capacidad instalada de 80 MW en dos unidades de

generación, puede generar una energía firme de 215 GWh/año y promedio de 510 GWh/año.

Consiste en el aprovechamiento de las aguas de los ríos Amoyá y Davis con un sistema de captación a filo de agua, por lo tanto, no tiene embalse reduciendo así su impacto sobre el medio ambiente. Adicionalmente cumple con los requisitos de Mecanismo de Desarrollo Limpio, lo que confirma su contribución a la mitigación del cambio climático.

Figura 6: Proyecto Hidroeléctrico Amoyá



Fuente: <http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacion-hidroelectrica/central-hidroelectrica-amoya/>

1.4.6 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 7: Central Térmica Termocentro



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

1.4.7 PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO

El Proyecto consiste en el aprovechamiento del caudal del río Sogamoso mediante la construcción de una presa. Se estableció una capacidad instalada de 820 MW con lo cual se produce una energía media anual de 5.056 GWh.

Figura 8: Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso



Fuente: Proyecto hidroeléctrico Sogamoso, Material Fotográfico.

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 9: Localización del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso



Fuente: www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/

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 100.000 m³ de Concreto Compactado con Rodillo (CCR). Esta estructura queda incorporada dentro de la presa y servirá de apoyo a la cara de concreto que consiste en una losa de 82.000m² de área construida sobre la cara aguas arriba de la presa, la cual está diseñada para garantizar la impermeabilidad de la misma.

Figura 10: Imagen virtual de la presa y el vertedero.



Fuente: Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

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.

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.

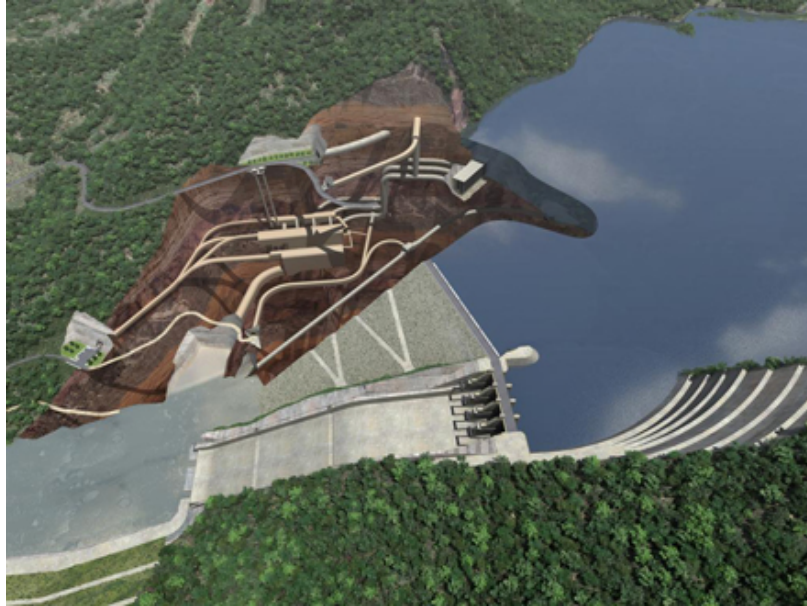
El canal del vertedero tiene 72 metros de ancho, 354 metros de longitud y finaliza en un deflector tipo salto de esquí. Para operar el rebosadero, la descarga del agua es controlada por 4 compuertas radiales de 15 metros de ancho y 20 metros de alto.

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 11: Imagen Virtual de la Central Subterránea.



Fuente: Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

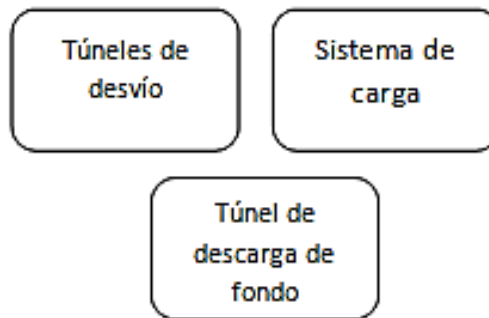
Con el fin de disponer de la zona del cauce del río sobre la cual se construye la presa, fue necesario desviarlo a través de dos túneles revestidos en concreto que tienen cada uno 11 metros de diámetro y longitudes de 830 y 860 metros. Estos túneles permiten el paso de crecientes del río y devuelven el agua a éste inmediatamente aguas abajo de la zona de los trabajos, conservando sus caudales naturales.

La descarga de fondo 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.

2. METODOLOGÍA

Las estructuras que se seleccionaron para ser tratadas mediante la técnica de inyecciones de consolidación del proyecto se muestran a continuación:

Figura 12: Estructuras tratadas mediante la técnica de inyecciones de consolidación.



Fuente: El autor.

2.1 CONSIDERACIONES

Es importante desarrollar investigaciones previas en un terreno que se desea tratar mediante inyecciones, ya que a partir de ellas se podrán obtener detalles sobre las características del terreno.

Dentro de estas características se numeran las siguientes: hidrológicas e hidráulicas, geológicas, geotécnicas y geomecánicas del macizo, como son: índices de permeabilidad, grado de fracturamiento de la roca, calidad del macizo rocoso y características de las discontinuidades; resultados que se deberán tener en cuenta durante la implementación de las inyecciones en el terreno.

En consecuencia a lo anterior se explicarán las condiciones en las cuales se encuentra enmarcado el Proyecto.

2.1.1 MARCO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

El río Sogamoso se forma de la confluencia de los ríos Chicamocha y Suárez y desemboca en el río Magdalena por su margen derecha. Tiene un caudal medio multianual de 540 m³/seg.

Los meses en los cuales se presentan los mayores caudales medios son Abril y Mayo para el primer semestre y para el segundo semestre los meses de Octubre y Noviembre.

La precipitación media anual multianual en la cuenca del río Sogamoso varía espacialmente desde 700 mm/año en la parte alta de la cuenca (estación Cucunuvá), hasta 3362 mm/año en la parte baja cerca al sitio de presa (estación río Sogamoso Puente La Paz).

2.1.2 MARCO GEOLÓGICO

El proyecto está localizado en rocas del terciario y en formaciones del cuaternario. De las formaciones del terciario, se resalta la formación La Paz, la cual es atravesada en sus diferentes niveles por los túneles construidos. Tiene orientación general Norte-Sur y presenta altitudes de 150 a 600 msnm. El río Sogamoso la atraviesa en sentido Este - Oeste, conformando un cañón en forma de "V" asimétrica profunda, estrecha en la parte inferior y amplia en la parte superior, con pendientes fuertes, controladas por diaclasas verticales. De las formaciones del

cuaternario se destacan los depósitos de coluvión, los cuales de acuerdo a su génesis son suelos transportados.

2.1.3 MARCO GEOTÉCNICO Y GEOMECÁNICO

Se analizó la roca extraída en perforaciones de exploración que se localizaron sobre las márgenes izquierda y derecha del lugar de construcción de la Presa.

A dicha roca se le realizó ensayos con el fin de establecer las propiedades de resistencia y deformabilidad.

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso, se evaluaron varios factores representativos de la estructura del macizo como son; el índice de la calidad de la roca obtenida de las perforaciones (RQD), las condiciones de las discontinuidades más importantes, las condiciones de agua subterránea y los niveles de esfuerzo a las que podrá estar sometida la roca circundante a las excavaciones subterráneas.

Con base en los resultados se aplicaron las clasificaciones geomecánicas más aceptadas en la práctica actual, como son; Barton y Bieniawski, quienes plantean que para realizar la clasificación geomecánica de los macizos se calcula el RMR (Rock Mass Rating) que indica la calidad de la roca.

Este valor se calcula conociendo los siguientes valores: la resistencia del material, el RQD (Rock Quality Designation), el espaciamiento de las discontinuidades, el estado de las discontinuidades, la presencia de agua y la orientación de las discontinuidades.

El RMR se obtiene como la suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enunciados anteriormente.

El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de RMR.

CALIDAD DE ROCA	RMR
Muy buena	81- 100
Buena	61 – 80
Regular	41 – 60
Mala	21 – 40
Muy mala	0 – 20

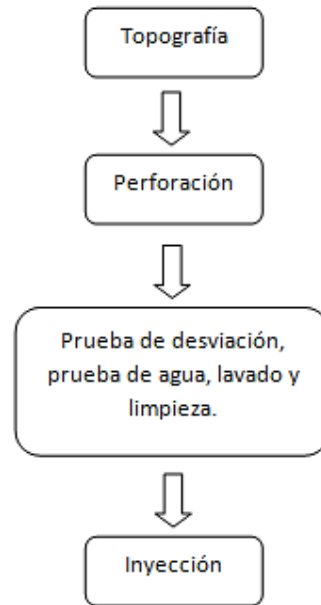
Fuente: Ingetec.

Se tiene que la roca superficial presenta valores de RMR en promedio de 43 para el nivel inferior, 50 para el nivel medio y 48 para el nivel superior; teniendo como un promedio un valor de RMR de 47, lo cual la clasifica como roca regular.

2.2 ETAPAS DE LA TÉCNICA DE INYECCIONES

Las diferentes etapas involucradas en la técnica de inyecciones de consolidación del proyecto se muestran en la Figura 13.

Figura 13: Etapas de la técnica de inyecciones de consolidación.



Fuente: El autor.

La topografía inicial, la perforación, las pruebas de agua, el lavado y la limpieza se consideran procedimientos constructivos preliminares a la inyección.

2.2.1 TOPOGRAFÍA INICIAL

Esta etapa consiste en materializar los puntos en las estructuras en las cuales se requieran las perforaciones para realizar las inyecciones de consolidación.

La información necesaria para la ubicación de los puntos, se toma de la última revisión de los planos para construcción o donde la Interventoría lo instruya.

La comisión de topografía ubica los puntos para las perforaciones y los marca con un círculo de color llamativo para que sean identificados fácilmente por el personal que va a realizar las perforaciones

Figura 14: Topografía inicial.

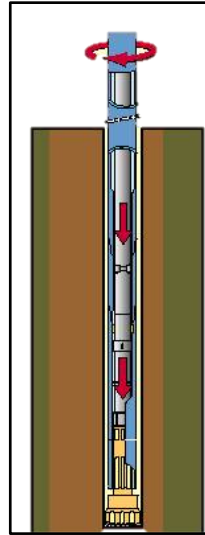


Fuente: El autor

2.2.2 PERFORACIÓN

Las perforaciones en los puntos a inyectar, deben seguir los lineamientos indicados en los planos de construcción, teniendo en cuenta la profundidad, diámetro, la inclinación y el rumbo de los huecos a ejecutar; o como lo instruya la Interventoría. Las perforaciones son ejecutadas con el método a roto percusión, lo cual garantiza un corte uniforme y el diámetro en toda la longitud de la perforación.

Figura 15: Perforación a roto percusión.



Fuente: El autor

ROTACIÓN: La rotación hace girar la broca entre impactos sucesivos, tiene como misión hacer que ésta actúe sobre puntos distintos de la roca en el fondo de la perforación.

En cada tipo de roca existe una velocidad óptima de rotación para la cual se producen los detritos de mayor tamaño al aprovechar la superficie libre del hueco que se crea en cada impacto.

PERCUSIÓN: La energía mecánica utilizada por este método de perforación es Energía Cinética, que se transmite desde el pistón hacia la broca en forma de onda de choque. Cuando la onda de choque alcanza la broca, una parte de la energía se transforma en trabajo haciendo penetrar la broca y el resto se refleja y retrocede a través del varillaje.

EMPUJE: Con el fin de asegurar una buena transmisión de la energía a la roca, la broca o bit debe estar en contacto permanente; esto se consigue con la fuerza de empuje suministrada por un motor o cilindro de avance, que debe adecuarse al tipo de roca y bit.

En los túneles de desvío, las perforaciones fueron ejecutadas con maquinaria eléctrica Atlas Copco Diamec 262 y Atlas Copco Jumbo. Estas máquinas se muestran en las Figuras 5 y 6. En el túnel de descarga de fondo y en los túneles del sistema de carga, las perforaciones son ejecutadas con maquinaria eléctrica Atlas Copco Roc D7, Atlas Copco Track drill PW HIDRO.

Figura 16: Atlas Copco Diamec 262.



Fuente: El autor.

Figura 17: Atlas Copco Jumbo.



Fuente: El autor.

Estas máquinas se utilizan para perforar tanto a cielo abierto como en túneles. La flexibilidad de los brazos de estas máquinas permiten realizar perforaciones en cualquier dirección. Además, realiza el barrido, para que la perforación resulte eficaz, es necesario que el fondo de la perforación se mantenga constantemente limpio evacuando el detrito justo después de su formación. Si esto no se realiza, se consumirá una gran cantidad de energía en la trituración de esas partículas traduciéndose en desgastes y pérdidas de rendimientos, además del riesgo de atascos.

Todos los huecos para las inyecciones de consolidación son perforados con agua como fluido de perforación, la cual con su circulación asegura la expulsión de las rebabas y/o sedimentos producidos en la perforación, y demás garantiza el lavado de las paredes del hueco.

Figura 18: Atlas Copco Roc D7.



Fuente: El autor.

Figura 19: Atlas Copco Roc D7.



Fuente: El autor.

Figura 20. Atlas Copco Track drill PW HIDRO.



Fuente: El autor.

Todos los datos e información recopilada de las perforaciones que se realizan; tales como, frente de trabajo, fecha, turno, profundidad de la perforación, entre otros, se deben registrar en un formato específico para su posterior análisis.

Ese formato es diligenciado por el Contratista en cada turno de trabajo y es sometido a la aprobación y firma de la Interventoría.

Una copia de este formato se lo lleva la Interventoría para su respectivo seguimiento.

2.2.3 PRUEBAS DE AGUA, LAVADO Y LIMPIEZA

Antes de realizar la inyección de un hueco se procede a lavar y limpiar cuidadosamente con agua y aire a presión máxima ("P_{máx}") de 1 MPa (10 kg/cm²).

Este lavado y limpieza se realiza con el fin de remover todos los sedimentos (roca descompuesta), rebabas de la máquina perforadora, lodo (material blando) y cualquier otra sustancia extraña que esté dentro de la perforación.

El tiempo que dura el lavado oscila entre 3 y 5 minutos o, hasta que el agua retorne completamente limpia, es decir, que la perforación se considera libre de cualquier impureza.

Teniendo en cuenta, que el tiempo no puede ser excesivo ya que puede viajar agua a sitios indeseables del macizo.

La prueba de agua que se realiza a la perforación, es para medir la permeabilidad del macizo en ese punto, es decir, para determinar la cantidad de agua que se infiltra

La permeabilidad está dada por el consumo de agua en cada metro de perforación (litro/metro).

La sección de hueco en que se tiene que medir la permeabilidad es aislada por medio del obturador bimbar, el cual cumple la función de adherirse a las paredes

del hueco y no permitir que el agua se vaya por caminos indeseados a lo largo de la perforación.

Figura 21. Obturador simple: (A) En reposo, (B) Inflado.



Fuente: El autor.

Después de iniciar la inyección de agua a través del obturador, se eleva la presión hasta la presión asignada y se espera a que la presión se estabilice. Seguido a esto, se realiza el registro de los parámetros de presión, caudal y tiempo, estos parámetros son registrados en el VOPI, mostrado en la Figura 11 y son memorizados, impresos y entregados a Interventoría para su posterior análisis e interpretación de datos en oficina y así tabular las tomas (consumos) de cada hueco.

Figura 22. VOPI.



Fuente: El autor.

El agua para este procedimiento debe ser limpia y libre de impurezas, y es enviada a presión al hueco por acción de una bomba que no genere alta oscilación en la presión de bombeo.

Es decir, esta prueba es regulada con equipos utilizados en las inyecciones, que consta de un caballete equipado con válvulas y manómetro.

El obturador se conecta al caballete por medio de una manguera de alta presión, la cual permite la conducción y transporte del agua como fluido para el proceso de obturación.

Figura 23: Caballete.



Fuente: El autor.

La presión de la bomba es de vital importancia ya que es la que está encargada de realizar el trabajo con mayor potencia; los incrementos y decrementos de presión, y el tiempo por cada presión para la prueba, están dados en la Tabla 2, o en dado caso como lo indique la Interventoría en el sitio de la prueba.

Tabla 2. Variaciones de presión en la prueba de agua.

PRESIÓN	TIEMPO TRANSCURRIDO
$P_1 = P/4$	5 minutos
$P_2 = P/2$	5 minutos
$P_3 = P$	5 minutos
$P_2 = P/2$	5 minutos
$P_1 = P/4$	5 minutos

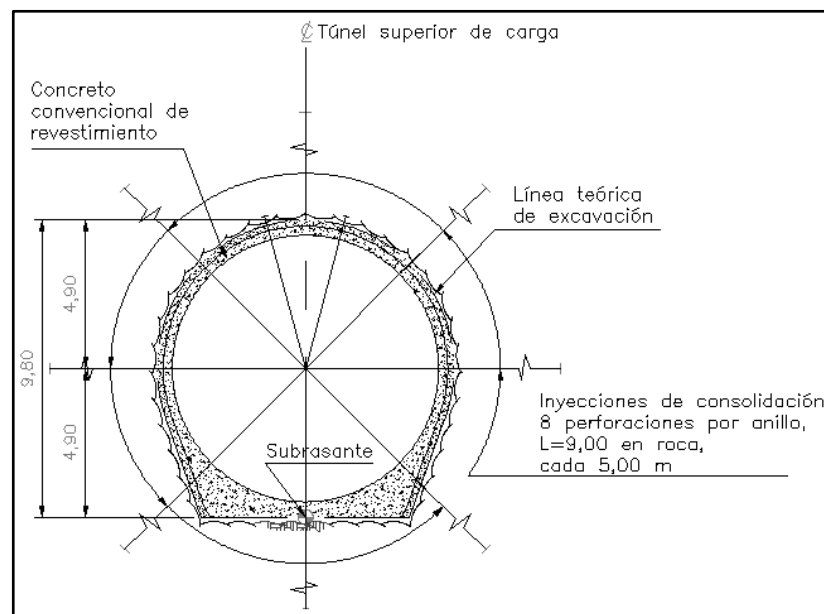
Fuente: Ingetec.

2.2.4 INYECCIÓN

En el Proyecto, estas inyecciones se realizan bajo el diseño previo de un sistema de anillos de perforaciones como parte del programa de consolidación del macizo, principalmente con el objeto de impermeabilizar los sectores donde fluiría agua, y que las filtraciones en las estructuras que se puedan producir, se minimicen o anulen.

En los planos de construcción se muestra la localización, longitud y separación de las inyecciones de consolidación.

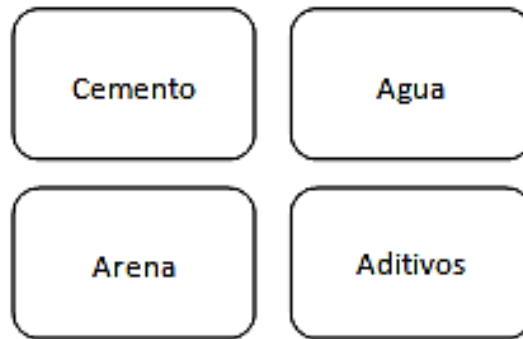
Figura 24: Esquema inyecciones de consolidación.



Fuente: Ingetec I&D.

Los materiales que se utilizan en la técnica de inyecciones de consolidación del proyecto se muestran en la Figura 25.

Figura 25: Materiales empleados en la técnica de inyecciones de consolidación.



Fuente: El autor.

A continuación se detallará sobre los materiales nombrados anteriormente.

El cemento generalmente en las lechadas, se utiliza el Portland normal, en casos especiales puede usarse algún otro tipo de cemento Portland como el de alta resistencia inicial que, además de adquirir resistencia antes, está formado por partículas más pequeñas especialmente para la consolidación, en el caso de tenerse fisuras pequeñas.

El cemento para las inyecciones del Proyecto es tipo Pórtland I. Se usa cemento empacado en bolsas para la preparación de las mezclas, preferiblemente de 42.5 kg, aunque se aceptan bolsas de 50 kg. Como exigencia en el Proyecto no se acepta el uso de cemento a granel. Por consiguiente, en ningún caso se permite el inicio de la inyección de una etapa de un hueco sin la existencia de 50 sacos de cemento, como mínimo, en cercanías del sitio de la inyección.

Simultáneamente, el agua potable es generalmente aceptada como agua de mezcla. El agua que se utiliza en la obra debe ser ensayada para verificar su posibilidad de uso.

En el Proyecto el agua que se usa en las mezclas debe ser limpia, fresca y estar exenta de impurezas, tales como cloruros, aceites, ácido, álcalis, sales, sedimentos, materia orgánica y otras sustancias perjudiciales.

En algunos casos se emplea arena; con el fin de engrosar la mezcla y llenar el hueco con una mezcla más compacta, dicho material siempre debe estar bien lavado, es decir; libre de partículas de limo o arcilla, tamizada, clasificada y mezclada.

La arena para las inyecciones de consolidación del Proyecto debe tener un módulo de finura entre 1,5 y 2,0.

Además, la arena debe cumplir con la gradación que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Gradación de la arena.

TAMIZ ESTÁNDAR (US)	PORCENTAJE POR PESO QUE PASA (%)
No. 16	100
No. 50	20 – 60
No. 200	0 – 3

Fuente: Ingetec.

Hasta la fecha, no ha sido necesario implementar arena en las mezclas de las inyecciones de consolidación del Proyecto.

Además, el aditivo que se emplea en el Proyecto es súper plastificante, el cual incrementa la penetrabilidad de las lechadas de inyección; mejorando así su trabajabilidad y bombeabilidad.

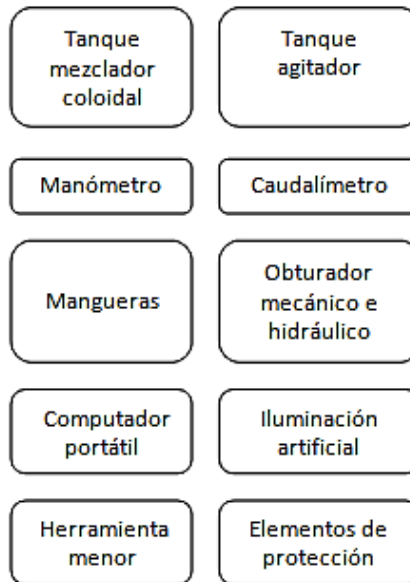
La cantidad de aditivo súper plastificante, se expresa como un porcentaje del peso del cemento, es decir, el porcentaje de aditivo necesario para que la cohesión relativa de la lechada (relación entre la cohesión y el peso unitario de la lechada) expresada en milímetros esté comprendida entre 0,08 mm y 0,15 mm.

También se emplea la Bentonita, que es una arcilla montmorillonítica que le da bombeabilidad a la mezcla. En el Proyecto se utiliza bentonita con una calidad del tipo "Bentonita de Wyoming", o similar, cuando se requiera incrementar la viscosidad de la mezcla base de inyección. Las cantidades de bentonita son expresadas como un porcentaje del peso del cemento.

En algunos casos es posible que además del súper plastificante y la bentonita, se requiera el uso de otros aditivos como por ejemplo; acelerantes de fraguado, llenantes inertes, cenizas volcánicas y expansores

El equipo que se utiliza en la técnica de inyecciones de consolidación del proyecto se muestra en la Figura 26.

Figura 26: Equipo utilizado en la técnica de inyecciones de consolidación.



Fuente: El autor.

El tanque mezclador coloidal cuya velocidad es de 1300 rpm, cuenta con sistema de recirculación y vórtice de alta turbulencia, capaz de mezclar agua, cemento, arena y aditivo.

El mezclador está equipado con un dispositivo medidor de agua calibrado para dar lecturas en litros. El mezclador tiene la capacidad para asegurar el suministro suficiente de mezcla, cuando se está inyectando al gasto máximo especificado.

El tanque agitador tiene una capacidad de 800 litros y una velocidad de 22 rpm; este es el encargado de evitar que el cemento se asiente en el fondo, manteniendo la lechada en condiciones óptimas. Es decir tiene la capacidad para agitar y mantener en suspensión todos los materiales sólidos contenidos en la mezcla.

El agitador está equipado con tamices que permiten remover de las mezcladoras y del tubo de retorno al mezclador, cualquier mezcla endurecida o cualquier material extraño.

La capacidad del agitador es mayor que la del mezclador. El agitador está graduado en litros de modo que se facilite la comprobación manual aproximada del volumen inyectado de mezcla.

Los dos tanques mencionados anteriormente se muestran en la Figura 27.

Figura 27: Tanque mezclador y tanque agitador.

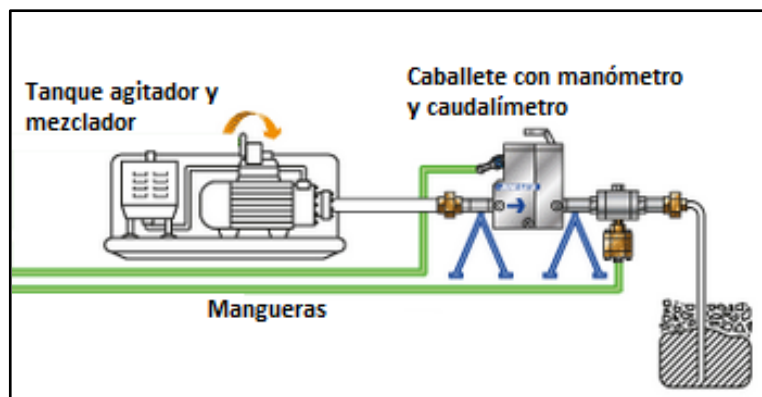


Fuente: El autor.

El manómetro y el caudalímetro son instrumentos de medición. El primero mide la presión con la cual se ingresa la lechada al hueco y el segundo mide el volumen de lechada que consume el hueco. Las mangueras son las encargadas de permitir el paso de la lechada desde los tanques hasta los respectivos huecos.

El esquema del equipo utilizado en la técnica de inyecciones de consolidación se muestra en la Figura 28.

Figura 28: Esquema del equipo utilizado en la técnica de inyecciones de consolidación.

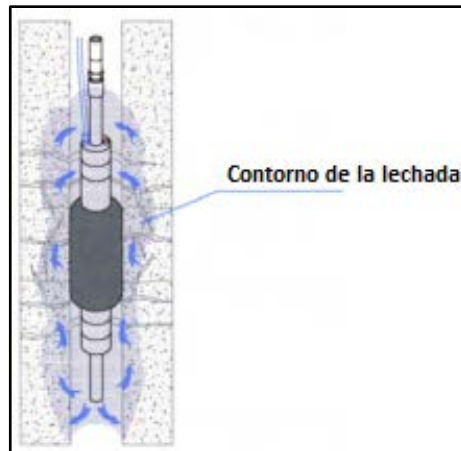


Fuente: El autor.

Las mangueras verdes mostradas en la Figura 28 van conectadas al VOPI y al computador portátil, esto con el fin de observar los datos relacionados con la inyección (caudal, presión, duración, fecha, hora y volumen).

La función de un obturador bimbar es evitar el retorno de la lechada, obligando a esta a llenar todo el hueco, mediante la inyección de agua por una manguera, para que al inflarse restrinja el retorno, como se muestra en la Figura 29.

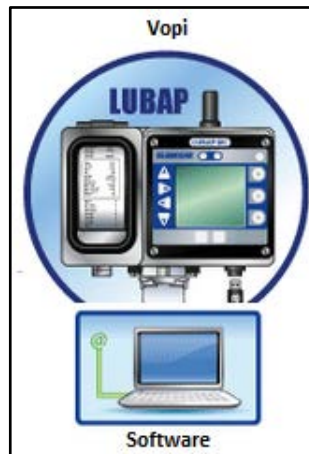
Figura 29: Función del Obturador bimbar.



Fuente: El autor.

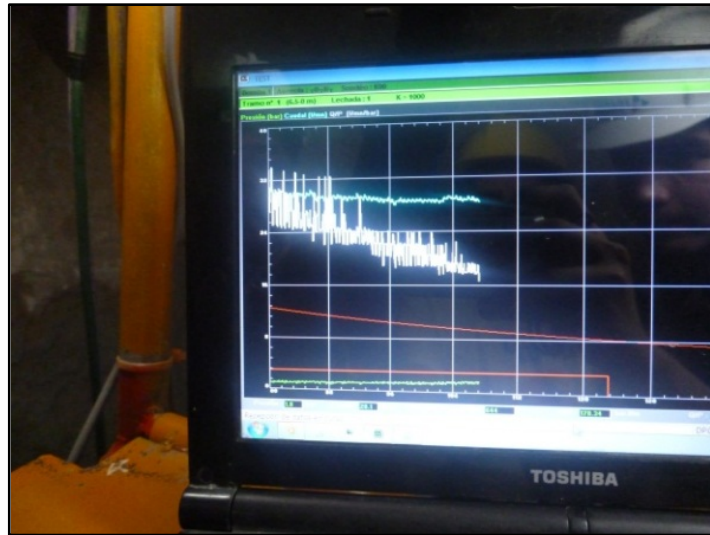
El computador portátil y el VOPI son herramientas tecnológicas de gran ayuda en este proceso, ya que muestran en tiempo real el consumo (volumen de lechada), la presión de inyección y a su vez realiza una gráfica con estos datos.

Figura 30. VOPI y computador portátil (Software).



Fuente: El autor.

Figura 32: Resultados del Computador portátil.



Fuente: El autor.

Dentro de la herramienta menor se destaca el uso de brocas, alicates, hombrosolo, destornillador, llave de tubo, llave bristol, porra (mazo), llave de copa, entre otras.

Figura 33: Herramienta menor.



Fuente: El autor.

Los elementos de protección personal (EPP'S) tienen una función muy importante; proteger a los trabajadores. Se destaca el uso de casco, botas punta de acero, ropa adecuada, guantes, gafas, protector nasal, audífonos, entre otros.

En la ejecución del programa de inyecciones de consolidación del Proyecto, se utiliza el método de engrosamiento sucesivo de la mezcla.

Los aspectos más relevantes del desarrollo del programa son los siguientes:

Uso de una sola mezcla básica para todo el proceso (relación agua - cemento en peso 0,7:1,0), inicialmente empleando un aditivo súper plastificante para incrementar la penetrabilidad y dar la manejabilidad necesaria sin comprometer la resistencia.

Inyección por tramos y definición de presiones por la profundidad del tramo a inyectar, para permitir una adecuada penetración y selle de grietas y fracturas, al cortar las comunicaciones entre ellas, evitando el flujo de agua, sin necesidad de llenar por completo las grietas.

Aumento gradual de la viscosidad de la mezcla base, mediante la adición de pequeños porcentajes de bentonita y/o reducción del súper plastificante, con el fin de incrementar la viscosidad y limitar así la distancia de penetración y el volumen de lechada.

El bombeo de la lechada con mínimas fluctuaciones de presión, a un caudal moderado, para obtener un incremento paulatino de la presión a medida que la lechada penetra en las discontinuidades de la roca.

El monitoreo continuo de la presión, el caudal, el volumen inyectado y la penetrabilidad contra el tiempo, mediante el uso del equipo VOPI, el cual permite observar gráficamente el monitoreo efectuado. El equipo también produce reportes impresos con el desarrollo de la inyección en cada etapa, útiles para el análisis técnico posterior de esos resultados.

El fin del proceso de inyección de una etapa de un hueco se da cuando se alcanza un ritmo bajo de bombeo y se agota uno de los dos parámetros límites establecidos: El volumen máximo de 1600 litros o la presión máxima de 1 MPa.

La mezcla inicial, denominada “Mezcla A”, está constituida por la mezcla básica y un aditivo súper plastificante para aumentar la penetrabilidad.

El proceso se realiza de la siguiente forma:

Si la presión de inyección observada en la pantalla del computador portátil es inferior al 20% de la presión máxima de diseño, “P_{máx}” previamente estipulada para un tramo particular y permanece constante, igualmente, para el caso que la penetrabilidad permanezca constante, hasta llegar a 400 litros; se pasará a la mezcla denominada “Mezcla B” hasta llegar a 800 litros.

La “Mezcla B” consiste en la misma mezcla base pero con un porcentaje inferior de súper plastificante con respecto al de la “Mezcla A”.

Por otra parte, si la presión observada en la pantalla del computador portátil es superior al 20% de la presión máxima de diseño, “Pmáx”, previamente estipulada para un tramo particular, igualmente, se deberá continuar con la “Mezcla A” hasta completar 800 litros.

Esta misma interpretación de la secuencia anterior es aplicable para el resto del proceso y lograr así el cierre de la inyección en una etapa.

Las mezclas implementadas en este proceso van desde la “Mezcla A” hasta la “Mezcla F”. Siendo la primera muy fluida y la última muy viscosa.

3. RESULTADOS

Durante el periodo de realización de la práctica empresarial se logró apoyar la labor de los ingenieros encargados de la construcción de las obras principales del Proyecto. Dichas obras ya fueron descritas anteriormente.

Dentro de las actividades realizadas a diario en el Proyecto se destacan las siguientes:

Se realizó el análisis de los informes diarios de ejecución de obra enviados por la Interventoría y se complementó con visitas periódicas a las obras para corroborar dicha información.

Figura 34: Visita a obra – Construcción Codos inferiores de carga.



Fuente: El autor.

Figura 35: Visita a obra – Panorámica Vertedero.



Fuente: El autor.

Figura 36: Visita a obra – Vertedero, Construcción Estructura de control.



Fuente: El autor.

Figura 37: Visita a obra – Construcción Presa.



Fuente: El autor.

Figura 38: Visita a obra – Construcción Túnel vial 2 (Vía sustitutiva Bucaramanga-Barrancabermeja).



Fuente: El autor.

Las visitas a obra son la experiencia más enriquecedora de la práctica, ya que gracias a ellas se logró aprender y afianzar los conocimientos acerca de procesos constructivos antes vistos en la universidad; profundizando en campo con el personal de la construcción del Proyecto.

A su vez, se revisó y se organizó los planos de construcción de la obra; teniendo en cuenta la revisión vigente y las modificaciones que les realizaba la Asesoría.

También, se elaboró cada semana una tabulación donde se registró y se realizó el respectivo seguimiento de la correspondencia prioritaria del proyecto; esto con el fin de llevar un orden y un control de la documentación.

Así mismo, se revisaron las especificaciones particulares y generales de los temas relacionados con inyecciones de consolidación en la construcción del proyecto; especialmente en el estudio de las notas de campo, que son documentos con los cuales se le dan a conocer las modificaciones y las instrucciones al Contratista, para la ejecución de los trabajos.

Finalmente, se realizó el instructivo técnico sobre inyecciones de consolidación implementadas durante la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, con su respectiva localización. Este instructivo se realizó con base en la información recolectada en oficina y en campo, recopilando fotografías, especificaciones técnicas, procesos constructivos y experiencias en los sitios de ejecución de los trabajos. Se logró gracias a la colaboración del personal de la Asesoría y de la Interventoría.

4. CONCLUSIONES

El conocimiento geológico-geotécnico del sitio de las obras proporciona evidencias suficientes que confirman el alto nivel de permeabilidad del terreno.

Las inyecciones de consolidación cumplen las funciones de reducir la permeabilidad y mejorar las condiciones del terreno.

En las aplicaciones que involucran seguridad estructural; las inyecciones no deben ser consideradas como única defensa, deberán ser combinadas con otros mecanismos, tales como: drenajes, anclajes, refuerzos, entre otros.

Tomando en cuenta que los sitios de inyección no son igualmente inyectables en toda su extensión, se trata por separado los sectores de roca buena (pobremente inyectables) y las zonas fracturadas. Así, es necesario implementar una variante de inyección que resulta de la aplicación del método de engrosamiento sucesivo de la mezcla. Esta variante consiste en la aplicación de lechadas con diferentes contenidos de aditivos, siendo el súper plastificante el más usado.

La profundidad de las perforaciones para la inyección es de al menos 8 m, longitud suficiente para alcanzar una frontera en la cual la permeabilidad se reduce significativamente. Además, con la aplicación de esta medida, es posible garantizar una adecuada impermeabilización de las principales estructuras geológicas que afectan el sitio de las obras.

Durante la inyección de las perforaciones, pueden existir comunicaciones entre estas a través de las fracturas de la roca; en estos casos, lo que suele realizarse es el cierre de esta inyección y la perforación e inyección de un hueco nuevo.

Otro problema que se encuentra, es la fuga de lechada en distintos huecos, este inconveniente se resuelve tapando estas fugas con un mortero que contiene un aditivo acelerante, con lo que se consigue un resultado muy satisfactorio permitiendo alcanzar el sellado necesario.

Con la aplicación de este tratamiento se han logrado los objetivos deseados en cuanto a la consolidación del macizo rocoso en los sitios donde se requiere una mejor calidad e impermeabilidad del terreno circundante a los lugares más críticos de la obra.

BIBLIOGRAFÍA

Clasificación de macizos rocosos. [Consultado el 10 de Mayo de 2013]. Disponible en:<http://www.ing.unlp.edu.ar/constr/g1/Clasificacion%20de%20macizos%20rocosos-UNLP.pdf>

Constructora Lancuyen. [Consultado el 4 de Abril de 2013]. Disponible en internet: http://www.lancuyen.cl/web/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=70.

Isagen S.A. E.S.P. Ejecución Proyectos de Generación; Proyecto Sogamoso. [Consultado el 20 de Febrero de 2013]. Disponible en internet: <http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/proyecto-sogamoso/>.

Ingetec. Memorando de diseño geotécnico. Túneles de desviación y galería de acceso. Rev. 0. Santa Fé de Bogotá, Colombia. Septiembre de 1996.

Licitación pública No. 5/415. Pliego de condiciones- parte II. Copia conformada - Especificaciones técnicas. Capítulo 10.