

**PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA  
DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO  
SOGAMOSO EN LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P, ENFOCADO A REALIZAR  
UN MANUAL TÉCNICO SOBRE LOS TIPOS DE SELLOS PARA LAS JUNTAS  
DE DILATACIÓN DE LA PRESA EN LA CARA DE CONCRETO**

**ÁLVARO ANDRÉS ROCHA VELASCO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2015**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA  
DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO  
SOGAMOSO EN LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P, ENFOCADO A REALIZAR  
UN MANUAL TÉCNICO SOBRE LOS TIPOS DE SELLOS PARA LAS JUNTAS  
DE DILATACIÓN DE LA PRESA EN LA CARA DE CONCRETO**

**ÁLVARO ANDRÉS ROCHA VELASCO**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR**

**Álvaro Viviescas Jaimes  
Ingeniero Civil, PhD.**

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

**2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por darme la fuerza y fortaleza para alcanzar esta meta.*

*A mis padres por todo su apoyo y motivación incondicional, a mi hermana Lady y Amy por su amistad y consejos.*

*A Yenny mi compañera y amiga quien me apoyo durante todo el proceso.*

*Al Ingeniero Daniel Ruiz y al equipo de proyectos de ISAGEN, por todas las enseñanzas que aportaron grandes conocimientos para mi crecimiento personal y laboral durante el periodo de la práctica.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	13
1 LA EMPRESA.....	14
1.1 Misión .....	14
1.2 Propósito Superior .....	14
1.3 Descripción de la Central hidroeléctrica Sogamoso .....	15
2 ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	16
2.1 Actividad N°1 - Elaboración de informes semanales y mensuales .....	16
2.2 Actividad N°2 - Revisión organización y actualización de planos .....	18
2.3 Actividad N°3 - Actualización de la programación de obra. ....	20
2.4 Actividad N°4 - Análisis de los informes diarios de ejecución de obra enviados por la Interventoría.....	21
3 MANUAL TÉCNICO SOBRE TIPOS DE SELLOS USADOS EN LA CARA DE CONCRETO DE LA PRESA.....	23
3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS .....	23
3.1.1 Cara de concreto.....	25
3.1.2 Bordillo de soporte de la cara concreto. ....	26
3.1.3 Plinto. ....	27
3.1.4 Pantalla cortaflujo. ....	28
3.1.5 Muro parapeto. ....	28
3.2 CLASES DE JUNTAS EN LA CARA DE CONCRETO .....	29

3.2.1	Junta perimetral. ....	29
3.2.2	Juntas verticales.....	31
3.2.3	Juntas horizontales de construcción .....	32
3.3	SELLO DE COBRE (PRIMERA BARRERA) .....	34
3.3.1	Sistema constructivo - Tratamiento de superficie. ....	35
3.3.2	Sistema constructivo –Instalación. ....	36
3.3.3	Sistema constructivo – Uniones. ....	37
3.4	SELLO DE PVC CON CENIZA VOLANTE O FLY ASH.....	40
3.4.1	Sistema constructivo – Instalación. ....	41
3.4.2	Sistema constructivo – Uniones. ....	43
3.5	SELLO DE PVC .....	44
3.5.1	Partes del sello de PVC. ....	44
3.5.2	Sistema constructivo – Instalación. ....	45
3.5.3	Sistema constructivo - Uniones. ....	47
4	CONCLUSIONES .....	48
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
	BIBLIOGRAFÍA.....	52
	ANEXOS .....	53

## LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Presa la Tora, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.....	15
<b>Figura 2.</b> Armado del tapón en túnel de desvío.....	18
<b>Figura 3.</b> Análisis gráfico de los tapones de los túneles de desviación .....	18
<b>Figura 4.</b> Hoja de cálculo para control de modificaciones .....	19
<b>Figura 5.</b> Fechas de vaciado para seguimiento gráfico de los tapones de los túneles de desviación.....	21
<b>Figura 6.</b> Avance de concretos en las casetas operación de las compuertas del vertedero .....	22
<b>Figura 7.</b> Perfil presa, P.H Sogamoso .....	24
<b>Figura 8.</b> Cara de concreto – distribución de sellos Fly Ash.....	25
<b>Figura 9.</b> Colocación de bordillo de concreto extruido .....	26
<b>Figura 10.</b> Construcción del plinto de estribo, costado derecho.....	27
<b>Figura 11.</b> Muro parapeto aguas arriba .....	28
<b>Figura 12.</b> Esquema de juntas en la cara de concreto .....	29
<b>Figura 13.</b> Junta talón-losa de concreto .....	30
<b>Figura 14.</b> Junta verticales de tensión y compresión .....	31
<b>Figura 15.</b> Primera etapa constructiva de la Cara de Concreto.....	32
<b>Figura 16.</b> Junta de Construcción .....	33
<b>Figura 17.</b> Partes del sello de cobre.....	35
<b>Figura 18.</b> Tratamiento superficie, colocación del relleno de neopreno .....	35
<b>Figura 19.</b> Soporte del sello con cama de mortero y banda de PVC.....	36

<b>Figura 20.</b> Sello de cobre - soldadura en campo.....	37
<b>Figura 21.</b> Prueba de estanqueidad en el sello .....	38
<b>Figura 22.</b> Muestras falladas en la prueba de tensión y dobléz guiado.....	39
<b>Figura 23.</b> Junta Perimetral, partes del sello Fly Ash .....	40
<b>Figura 24.</b> Distribución de los tapones de poliuretano en los sellos.....	41
<b>Figura 25.</b> Instalación de pernos .....	42
<b>Figura 26.</b> Unión en banda de PVC .....	43
<b>Figura 27.</b> Perfiles disponibles .....	44
<b>Figura 28.</b> Modificación de formaleta para acople del sello.....	46
<b>Figura 29.</b> Detalles de la unión en campo y taller .....	47

## LISTADO DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Plantilla para la elaboración de la presentación del informe semanal. ..54	
<b>Anexo B.</b> Registro histórico de visitas a los frentes de obra, para la entrega de informes. ....55	
<b>Anexo C.</b> Procedimiento para la revisión y organización de los planos. ....57	
<b>Anexo D.</b> Formato de hoja de vida de los planos para construcción.....58	
<b>Anexo E.</b> Proyecciones realizadas para la actualización de cronogramas.....59	
<b>Anexo F.</b> Formato de informe diario de la Presa de la Interventoría. ....60	
<b>Anexo G.</b> Formato de informe diario del Vertedero de la Interventoría. ....61	
<b>Anexo H.</b> Registro fotográfico de los frentes de las obras principales. ....62	

## RESUMEN

**Título:** PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO EN LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P, ENFOCADO A REALIZAR UN MANUAL TÉCNICO SOBRE LOS TIPOS DE SELLOS PARA LAS JUNTAS DE DILATACIÓN DE LA PRESA EN LA CARA DE CONCRETO\*

**Autor:** Álvaro Andrés Rocha Velasco\*\*

**Palabras clave:** Presa, Cara de Concreto, Plinto, Juntas, Sellos, Impermeabilidad.

## DESCRIPCIÓN

Uno de los aspectos más importantes y delicados en el diseño y construcción de una presa CFRD de gran altura es garantizar su impermeabilidad, para ello se utilizan distintas estructuras y elementos aguas arriba de la presa como: el plinto, la cara de concreto, la cortina profunda de inyecciones o la pantalla cortaflujo, que conforman un eje impermeable que evita el flujo de agua no deseado, que pudiese alterar o poner en riesgo tanto a la presa como a la roca de fundación.

Considerando la cara de concreto como el principal elemento de estanqueidad de la presa, se debe garantizar su buen funcionamiento; esto se logra con la incorporación de juntas y sellos que en conjunto con la estructura eliminan o disminuyen considerablemente los caudales de infiltración a través del cuerpo de la presa. Estos sellos están diseñados con la finalidad de permitir los movimientos relativos de las losas que conforman la cara de concreto y plinto; por lo tanto se deben utilizar materiales duraderos para resistir los esfuerzos, la naturaleza y magnitud de los movimientos esperados.

El objetivo del presente documento es describir los procesos constructivos, las características de los materiales y funcionamiento de los tipos de sellos usados para impermeabilizar las juntas de la cara de concreto de la presa La Tora; así mismo presentar una síntesis de las actividades realizadas durante la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la etapa final del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

---

\* Trabajo de Grado. Modalidad Práctica Empresarial

\*\* Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Ing. PhD Álvaro Viviescas Jaimes

## ABSTRACT

**Title:** BUSINESS PRACTICE AS ASSISTANT ENGINEER IN THE AREA OF MAIN CIVIL WORKS OF SOGAMOSO HYDROELECTRIC PROJECT IN THE COMPANY ISAGEN S.A E.S.P, FOCUSED TO MAKE A TECHNICAL MANUAL ON TYPES OF STAMPS FOR EXPANSION JOINTS OF DAM IN THE CONCRETE FACE\*

**Author:** Álvaro Andrés Rocha Velasco\*\*

**Keywords:** Dam, Concrete Face, Plinth, Joints, Seals, Impermeability

## DESCRIPCIÓN

One of the most important and delicate aspects in the design and construction of a high-rise CFRD dam is to ensure impermeability, in order to do this, there are used different structures and elements upstream of the dam used as: a plinth, and the concrete face, curtain deep of injections or flow cutter screen, that form a waterproof shaft that prevents unwanted water flow, which could alter or jeopardize both the dam and the foundation rock.

Considering the concrete face as the primary sealing of the dam, it should ensure its smooth operation; this is achieved by incorporating joints and seals which together with the structure eliminate or considerably reduce the infiltration flows through the body of the dam. These seals are designed in order to allow the relative movements of the slabs forming the plinth face and concrete; therefore it should be used durable materials to withstand the stresses, the nature and magnitude of the expected movements.

The purpose of this document is to describe the construction process, the characteristics of the materials and operation of the types of seals used to waterproof joints in the concrete face of the dam called the Tora; likewise, to present a synthesis of the activities undertaken during business practice as an assistant engineer in the final stage of the Sogamoso Hydroelectric Project.

---

\* Project of Grade. Modality Business Practice

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Engineer. PhD Álvaro Viviescas Jaimes

## INTRODUCCIÓN

ISAGEN S.A E.S.P es una empresa Colombiana de servicios públicos, dedicada a la generación de energía eléctrica, reconocida por desarrollar grandes proyectos, en pro de innovar y de satisfacer la presente y futura demanda energética del país. En febrero de 2009, inició la construcción de una central hidroeléctrica en el río Sogamoso, donde se llevaron a cabo múltiples actividades relacionadas con ingeniería civil, convirtiéndola en un ambiente propicio para el desarrollo de una práctica empresarial.

La práctica empresarial se desarrolló como auxiliar de ingeniería, enfocada al seguimiento de las actividades técnicas y administrativas en el área de obras principales; en donde realizaron tareas como: elaboración de informes de avance semanales, revisión y organización de planos, revisión de especificaciones particulares y generales; así mismo, se elaboró un manual de consulta sobre los sellos empleados en las juntas de dilatación en la cara de concreto de la presa, como aporte del practicante a la empresa.

La finalidad del manual es mostrar una guía informativa sobre el funcionamiento, los materiales utilizados, los procedimientos constructivos y el control de calidad realizado a cada uno de los sellos de las juntas de la cara de concreto de la presa.

## **1 LA EMPRESA**

ISAGEN S.A E.S.P se dedica a la producción de energía, actualmente está posicionada como la segunda empresa generadora más grande de Colombia, cuenta con siete centrales de generación en donde 90.11% de la capacidad es hidráulica correspondiendo a 6 centrales: San Carlos, Jaguas, Miel, Amoyá, Calderas y Sogamoso, y el 9.89% es térmica perteneciendo a la central térmica Termocentro.

### **1.1 Misión**

ISAGEN S.A. E.S.P. construye proyectos de generación, produce y comercializa energía eléctrica con el propósito de satisfacer las necesidades de sus clientes, siempre orientada a generar valor empresarial. Trabaja para ser líder en generación y transacción de energía en Colombia, aliada de la productividad de sus clientes, y ser reconocida por sus negocios de energía en mercados internacionales. La gestión se desarrolla con ética, enfoque al cliente, sentido económico y responsabilidad social y ambiental.

### **1.2 Propósito Superior**

Generar energía inteligente y prosperidad para la sociedad, energía 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 Descripción de la Central hidroeléctrica Sogamoso

La Central utiliza las aguas del río Sogamoso en la generación de energía eléctrica mediante la construcción de una presa de 190 m de altura y una casa de máquinas subterránea con las tres unidades de generación más grandes del país. Con 820 MW de capacidad instalada y una generación media anual de 5.056 GWh-año, es la cuarta central más grande de Colombia, la cual incrementa la producción de energía de la empresa en alrededor del 60% y pondrá al servicio del país cerca del 8% de la energía que consumen los colombianos en un año.

**Figura 1.** Presa la Tora, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso



**Fuente.** Registro Fotográfico ISAGEN S.A.

## **2 ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL**

El desarrollo de la práctica tiene como fin apoyar la supervisión y gestión de la información emitida por parte del contratista, la interventora y la asesoría, con respecto a los avances en la ejecución de las obras principales del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Dentro de las funciones desempeñadas se destacan las siguientes:

- 1) Elaboración de informes periódicos con base a los recorridos por las obras principales, verificando rendimientos, recursos, personal y cantidades ejecutadas.
- 2) Apoyo en el trámite de la revisión, organización y actualización de los planos de construcción.
- 3) Actualización de los programas de finalización de los frentes críticos, necesarios para iniciar la operación de la central.
- 4) Análisis de los informes diarios de ejecución de obra enviados por la interventoría, verificando las cantidades de concretos y aceros, etc.
- 5) Elaboración del manual de consulta sobre los sellos de la cara de concreto.
- 6) Seguimiento de la correspondencia enviada por el contratista, la interventoría y la asesoría.

### **2.1 Actividad N°1 - Elaboración de informes semanales y mensuales**

Periódicamente se realizaba una visita a los distintos frentes de las obras principales del proyecto, donde se verificaba y tomaba nota de los siguientes elementos dependiendo de la prioridad de cada actividad:

- ✓ Los equipos y maquinaria para construcción.
- ✓ Personal activo en obra de los contratistas y subcontratistas.
- ✓ Rendimientos y avances constructivos.
- ✓ Cotas y abscisas para referencia de la zona de trabajo.
- ✓ Actividades pendientes.

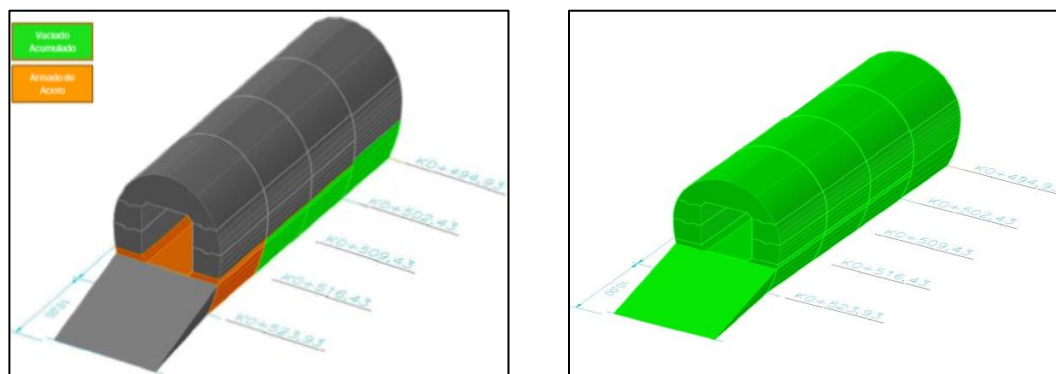
Para la ejecución de estas visitas y la elaboración del informe semanal y mensual (ver anexo A y B), se tenía en cuenta el cumplimiento de las especificaciones técnicas, los detalles registrados en los planos para construcción, notas de campo y los informes diarios de obra ejecutada enviados por la interventoría. La información era entregada a la gerencia del proyecto con un registro fotográfico (ver figura 2), con su correspondiente análisis gráfico del avance constructivo (ver figura 3), además se debían incluir los rendimientos y fecha de finalización aproximada de algunas actividades; algunos de los estos frentes a los que se le hizo seguimiento desde el inicio de la práctica fueron:

- ✓ Los túneles de desviación.
- ✓ la captación.
- ✓ El vertedero.
- ✓ la cámara de compuertas del sistema de carga
- ✓ La presa.
- ✓ Conformación de lagunas en la hacienda la Flor
- ✓ Central subterránea

**Figura 2.** Armado del tapón en túnel de desvío



**Figura 3.** Análisis gráfico de los tapones de los túneles de desviación



**Fuente:** Interventoría Integral VQ ingeniería

## 2.2 Actividad N°2 - Revisión organización y actualización de planos

Por la magnitud del proyecto y la cantidad de frentes de obra, en algunas ocasiones era necesario realizar modificaciones puntuales a los planos para construcción. Para ISAGEN es muy importante llevar un registro en Excel donde se describen dichas modificaciones hechas por la asesoría del proyecto INGETEC.

Para realizar estos registros se analizaban los planos y se identificaban elementos clave como:

- ✓ El frente de obra.
- ✓ La revisión vigente (R).
- ✓ La causa y tipo de la modificación (estructural, geotécnica geométrica, topográfica o electromecánica).
- ✓ Motivo de la revisión.
- ✓ Origen del plano (plano nuevo, plano de construcción o de licitación).
- ✓ Código y lote al asignado al plano.

Una vez hecho el análisis (Ver anexo C), para cada uno de los planos con revisión mayor a 1 ( $R > 1$ ) se elaboraba la hoja de vida (ver anexo D); en ella se consignaba el frente de obra, el número de revisión, código del plano, y los cambios que había sufrido en la última modificación, a continuación en la figura 4 se muestra un esquema de la plantilla de la hoja de vida.

**Figura 4.** Hoja de cálculo para control de modificaciones

PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO					
PLANO No.: <b>E3-4.2-EST-TV-002</b>			REVISIÓN VIGENTE: <b>R3</b>		
<b>HOJA DE VIDA DE PLANOS DE CONSTRUCCIÓN</b>					
TÍTULO DEL PLANO	<b>VÍA SUSTITUTIVA BUCARAMANGA BARRANCABERMEJA</b> <b>LOSA DUCTO DE VENTILACIÓN</b> <b>PLANTA Y DETALLES GENERALES</b>			PLANO TIPO: GEO EST <input checked="" type="checkbox"/> ELE_MEC GEN_ARO	
LOTE DE TRABAJO No.: <b>(4.2)</b>		NOMBRE LOTE: <b>TÚNELES VIA SUSTITUTIVA</b>			
REVISIÓN 0					
RESPONSABLE	FIRMA	ÁREA	FECHA ENVÍO	ORIGEN DE PLANO	
				PLANO NUEVO	No.PLANO LICITACIÓN / No.PLANO CONSTRUCCIÓN
		<i>Estructuras</i>	<i>26-Mar-10</i>		<i>E3-4.2-EST-TV-002</i>
DESCRIPCIÓN OBRAS (PLANOS NUEVOS):					

**Fuente:** ISAGEN S.A

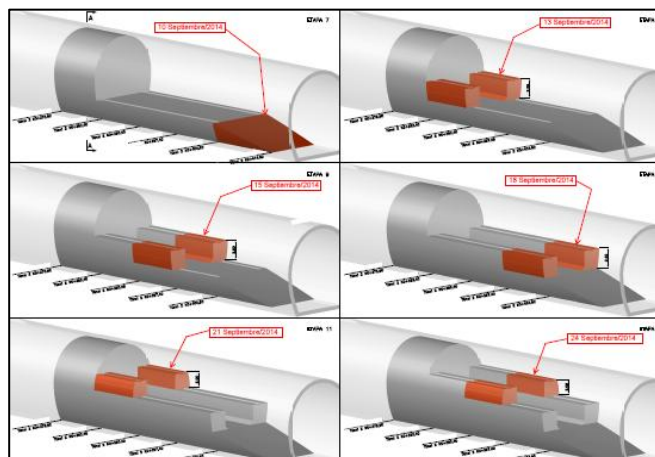
Finalmente si no se tenía ninguna observación o comentario respecto a las modificaciones de los planos, estos eran remitidos a la interventoría para su correspondiente revisión y entrega oficial al contratista para la construcción.

### **2.3 Actividad N°3 - Actualización de la programación de obra.**

Con base en los recorridos de las obras principales del proyecto, la información proporcionada en campo y los informes diarios de avance constructivo enviados por la interventoría; se elaboraba y actualizaba la programación con ayuda de la herramienta Ms Project, teniendo en cuenta los rendimientos reales de obra ejecutada, principalmente de las actividades más críticas del proyecto como la construcción de los 2 tapones en concreto, correspondientes a los túneles de desviación del río Sogamoso y la edificación de las cuatro casetas de control y operación de la compuertas radiales del vertedero.

En la figura 5 se puede observar un esquema donde se detalla parte de la secuencia constructiva del tapón utilizado para el cierre definitivo de los túneles de desviación, uno de los frentes más críticos del proyecto, en donde se estimaban las fechas de vaciado de cada etapa del tapón de acuerdo a los rendimientos reales de obra, estas proyecciones eran recalculadas con las fechas de vaciado, de acuerdo a los reportes de liberación de concretos enviados por la interventoría. De esta manera se actualizaba el cronograma de obra cada semana, con el fin de establecer información confiable e independiente de la proporcionada por el contratista (ver anexo E).

**Figura 5.** Fechas de vaciado para seguimiento gráfico de los tapones de los túneles de desviación.



**Fuente:** Contratista - Grupo ICT II Impregilo

Aunque en varias ocasiones surgían imprevistos que alteraban la programación en los distintos frentes de obra, se hizo necesario contar con un registro actualizado que brindara un panorama real, sobre la fecha de finalización aproximada de cada frente crítico necesario para la puesta en servicio de la central.

#### **2.4 Actividad N°4 - Análisis de los informes diarios de ejecución de obra enviados por la Interventoría**

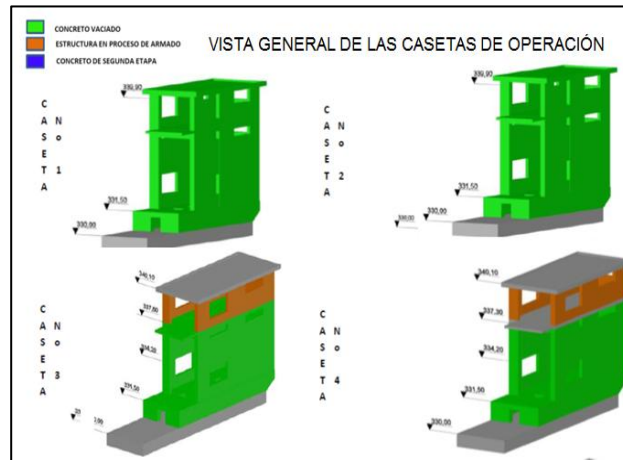
La interventoría del proyecto Integral VQ Ingeniería envía un informe vía correo electrónico a ISAGEN, donde se detallan las actividades realizadas diarias en cada frente de obra (ver anexo F y G), cada uno de estos informes es leído y analizado para posteriormente corroborar dicha información con una visita a cada frente, una vez hecha la visita se toma un registro fotográfico (ver anexo H) y se verifican los rendimientos, el cumplimiento de las especificaciones técnicas, y los avances de obra ejecutada en los distintos frentes del proyecto; posteriormente se envía un

correo a los ingenieros de ISAGEN S.A encargados del frente, con los comentarios y la información.

Igualmente, la asesoría envía constantemente notas de campo donde responden a las solicitudes que hacen la interventoría e ISAGEN; en estas se resuelven inconvenientes sobre situaciones que surgen en la construcción a medida que avanzan las obras; a cada una de estas notas se le debe hacer seguimiento y verificar que el contratista cumpla con las instrucciones dadas por la asesoría.

En la figura 6, se puede ver el avance de las casetas de operación del vertedero, imagen elaborada por la interventoría del proyecto consorcio Integral VQ Ingeniera, para el seguimiento de los concretos y aceros incluidos en los informes diarios.

**Figura 6.** Avance de concretos en las casetas operación de las compuertas del vertedero



**Fuente:** Interventoría Integral VQ Ingeniería

### **3 MANUAL TÉCNICO SOBRE TIPOS DE SELLOS USADOS EN LA CARA DE CONCRETO DE LA PRESA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO.**

La impermeabilización de las juntas en las pantallas de concreto es un proceso de gran importancia que compromete el comportamiento de toda estructura; estos procesos han ido evolucionando con la experiencia de forma empírica y varían en cada proyecto dependiendo principalmente de la altura de la presa, factor de forma y de la deformabilidad de los rellenos. Otro componente principal de estos procesos, es la adecuada inspección durante la construcción y colocación de los sellos en las juntas, pues cualquier daño se traduciría directamente en infiltraciones y sobrecostos al efectuar las reparaciones.

El manual elaborado como aporte a ISAGEN S.A tiene como finalidad describir estos procedimientos constructivos, basados en la experiencia adquirida durante la práctica empresarial; el contenido se desarrolla en 3 capítulos:

- ✓ Descripción de las obras y estructuras que están directamente relacionadas con la impermeabilización de las juntas.
- ✓ Clases de juntas, ubicación, partes y sellos usados.
- ✓ Descripción del proceso constructivo empleado en los tres sellos principales (Cobre, Fly Ash, y PVC)

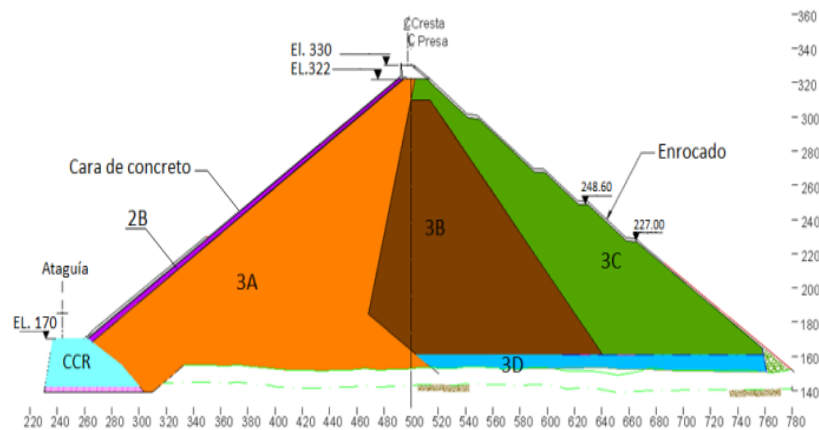
#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS**

La presa, del tipo de gravas con cara de concreto, cuenta con 190 m de altura y 345 m de longitud de cresta, para la construcción se requirieron 8.5 millones de m<sup>3</sup> de

relleno de gravas naturales provenientes de zonas de préstamo y de las excavaciones del vertedero (para tareas de lleno y compactación).

El sistema de estanqueidad de la presa está conformado por 3 elementos principales: una pantalla o cara de concreto en el talud aguas arriba, la cual esta incrustada cerca de 40 m en las estribaciones de la montaña con 85.500 m<sup>2</sup> de área total construida; el plinto de conexión construido entre la pantalla y la roca de fundación de los estribos; y una cortina profunda de inyecciones para impermeabilizar y reforzar la roca de fundación, con profundidades entre los 40 y 120 m.

**Figura 7.** Perfil presa, P.H Sogamoso



**Fuente:** Interventoría Integral VQ Ingeniería

Si llegara ocurrir cualquier infiltración, a través de la cara de concreto o la fundación rocosa antes mencionada, esta sería evacuada rápidamente gracias a la permeabilidad de las distintas zonas del enrocado y a la existencia de los filtros y las galerías drenantes, sin llegar a comprometer la seguridad de la estructura [1].

**3.1.1 Cara de concreto.** La cara o pantalla de concreto constituye uno de los principales elementos de estanqueidad de la presa, su función es desempeñarse como una membrana impermeable y duradera, además debe tener la capacidad de adaptarse a las deformaciones producidas principalmente por los asentamientos del relleno o los cambios de temperatura del concreto. Para que esta membrana tenga un buen comportamiento se le presta especial cuidado a la impermeabilización de juntas, que se obtiene mediante la utilización de sellos adecuados como bandas de PVC, llenantes y láminas de cobre incrustadas o embebidas en el concreto etc.

La pantalla cuenta con una inclinación de 1.5H:1V, un área total de 85.500 m<sup>2</sup> y está conformada por 23 losas de concreto reforzado vinculadas únicamente con juntas verticales y sellos (sin acero de refuerzo continuo en el sentido horizontal), esto con el fin de permitir el libre movimiento entre losas contiguas.

**Figura 8.** Cara de concreto – distribución de sellos Fly Ash



Con respecto al espesor de la pantalla pudo ser determinado por métodos basados en las solicitaciones de carga y deformación, sin embargo fue diseñado con la

ecuación empírica de tipo  $E=0.30+0.0035H$  (siendo H la altura de la presa), que ha resultado útil hasta la fecha, para muchas presas de gran altura ( $H>160$  m) <sup>[2]</sup>.

**3.1.2 Bordillo de soporte de la cara concreto.** Un problema que han tenido muchas presas del tipo CFRD durante la colocación de los rellenos es la erosión, la cual genera inestabilidad por la pérdida de agregados en la zona de soporte próxima a la cara de concreto; para evitar que la zona 2B pierda capacidad de soporte, los ingenieros de la presa Itá en Brasil idearon un método conocido como bordillo extruido, el cual fue adoptado en muchas presas incluyendo la Tora de la Central Hidroeléctrica Sogamoso. La técnica consiste en la colocación de un bordillo continuo, compuesto de cemento con proporción de 70-90 kg/m<sup>3</sup>, agua 125 L, arena y agregado <sup>[3/4]</sup> 1173 kg/m<sup>3</sup>, el cual se coloca con una máquina que traslapa los bordillos, creando una barrera para evitar la erosión <sup>[3]</sup>.

**Figura 9.** Colocación de bordillo de concreto extruido



**Fuente:** Interventoría Integral VQ Ingeniería

El método proporciona algunos beneficios adicionales, como brindar soporte, estabilidad y una superficie más limpia para la colocación de los sellos, el acero de refuerzo, y la posterior colocación del concreto.

**3.1.3 Plinto.** Está compuesto por una losa construida perimetralmente a la cara de concreto, apoyada en la roca inclinada del talud, y conectada a la roca por medio de barras de anclaje; su función principal es proveer una conexión impermeable entre la cara de concreto y la fundación de la presa, ya sea la pantalla cortaflujos o la cortina de profunda de inyecciones; esta conexión hermética se logra con ayuda de la junta perimetral.

**Figura 10.** Construcción del plinto de estribo, costado derecho



**Fuente:** ISAGEN S.A

**3.1.4 Pantalla cortafluj.** El diseño particular de la presa La Tora contempla una pantalla cortafluj, construida a los costados de la cara de concreto como prolongación de la misma, a través del plinto con profundidades entre 40 y 50 m. La idea de usar una pantalla cortafluj se basa en que una cortina de inyecciones a través del plinto para impermeabilizar la roca sería ineficiente, debido el alto grado de fracturamiento que tiene la roca en esta zona del macizo <sup>[4]</sup>.

**3.1.5 Muro parapeto.** En la parte más alta de la presa se encuentra el muro de coronación o parapeto, el cual conforma la cresta de la presa con una altura de 9 m; este muro tiene dos funciones, en primer lugar reducir el volumen total de enrocado evitando costos excesivos, y en segundo resistir el oleaje e impedir el paso del agua en una creciente máxima de diseño <sup>[5]</sup>.

Para impermeabilizar este muro, su base empalma las losas de la cara de concreto, mediante la junta de dilatación horizontal con triple sello.

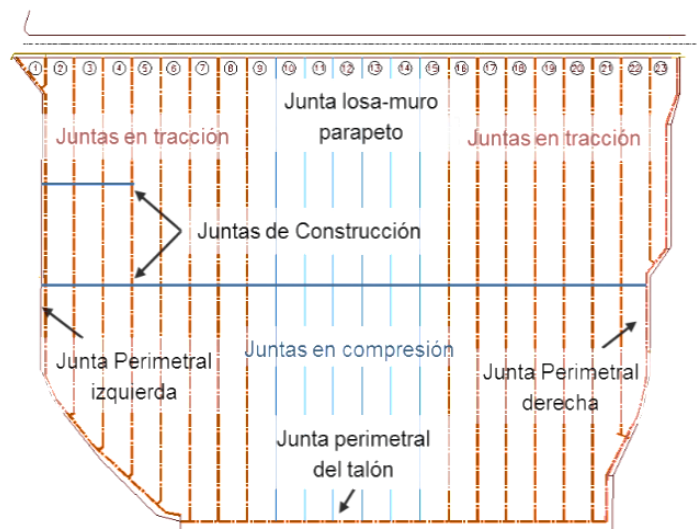
**Figura 11.** Muro parapeto aguas arriba



### 3.2 CLASES DE JUNTAS EN LA CARA DE CONCRETO

Durante la construcción de la cara de concreto se ejecutaron las siguientes juntas; la junta perimetral entre el plinto y las losas de arranque, las juntas verticales de compresión entre las losas centrales, las juntas verticales de tensión entre losas exteriores, las juntas de construcción y la junta de la losa con el parapeto.

**Figura 12.** Esquema de juntas en la cara de concreto

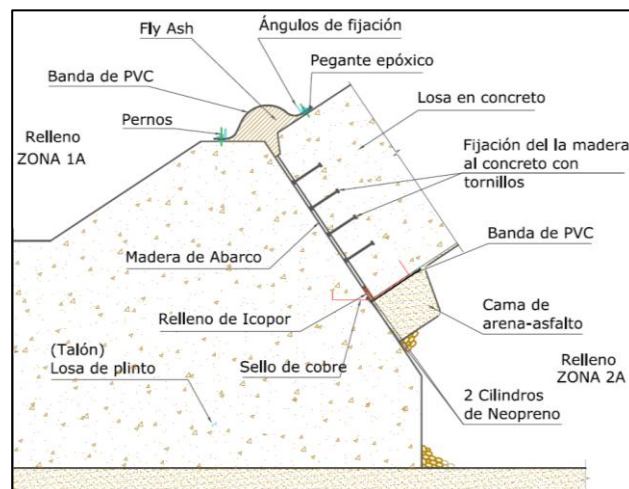


**Fuente:** INGETEC (Modificado por el Autor)

**3.2.1 Junta perimetral.** La junta perimetral vincula las losas de la cara de concreto y el plinto para completar la barrera aguas arriba de la presa. Su función principal es mantener un sello hermético, permitiendo los movimientos previstos en las tres direcciones entre el plinto y las losas exteriores (apertura normal a la junta, asentamiento normal a la pantalla, y de cizalla paralelo a la junta); atendiendo esta necesidad se precisa del uso de sellos conformados de la siguiente manera <sup>[5]</sup>:

- ✓ **Primera barrera:** compuesta por un sello de cobre en forma de *W* o *F* empotrado a la estructura ubicado en la parte inferior, este cuenta con un bulbo central de neopreno para protección durante la construcción y una cama de arena - asfalto para apoyo y protección del sello.
  
- ✓ **Segunda barrera:** compuesta por una banda de PVC que contiene ceniza volante ubicada en la parte superior; esta trabaja como material llenante cuando ocurre.

**Figura 13.** Junta talón-losa de concreto



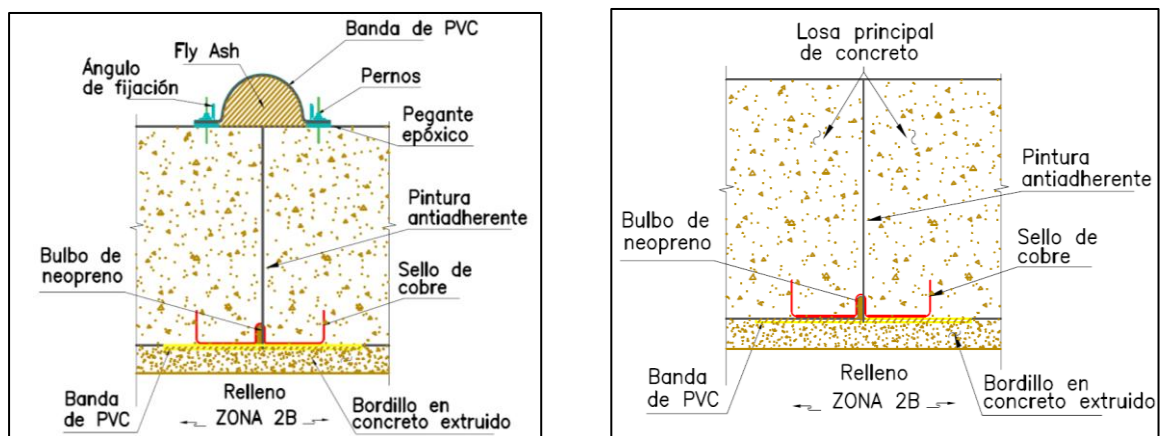
**Fuente:** INGETEC 2010 (Modificado por el Autor)

En la figura 13 se detalla el arreglo de la junta perimetral, en donde se ha optado por la utilización de un relleno de madera de abarco en el centro de la junta, fijado con tornillos al concreto; la madera garantiza la separación mínima entre los 2 elementos y evita la concentración de esfuerzos de compresión, protegiendo de fisuras al concreto por contactos localizados durante el proceso de construcción <sup>[6]</sup>.

**3.2.2 Juntas verticales.** Las juntas verticales vinculan las losas o paneles que componen la cara de concreto. Debido a la deformación del relleno bajo la carga hidrostática del embalse, existe la tendencia de que se generen esfuerzos de compresión en las losas centrales, y esfuerzos de tensión en las losas exteriores próximas a los estribos; de acuerdo a este comportamiento se destacan 2 tipos de juntas <sup>[7]</sup>:

- ✓ **Juntas verticales de tensión:** tienen la tendencia a abrirse en el sentido horizontal paralelo al eje de la presa, por tal razón se diseñan para permitir el libre movimiento entre losas.
- ✓ **Juntas verticales de compresión:** relacionadas con los esfuerzos de compresión de las losas centrales; tienen la tendencia a cerrarse, por lo que no fue necesario colocar un sello superior, debido a que el mismo movimiento se encarga de sellar las juntas <sup>[3]</sup>.

**Figura 14.** Junta verticales de tensión y compresión



**Fuente:** INGETEC 2010 (Modificado por el Autor)

**3.2.3 Juntas horizontales de construcción – cara de concreto.** Con el fin de disminuir el número de juntas horizontales se ha utilizado el sistema de encofrado deslizante formando paneles verticales de 15 m de ancho, obteniendo rendimientos cercanos a los 25 m<sup>3</sup>/hora. Aunque este sistema resulta útil para reducir discontinuidades, algunas losas deben ser fundidas por métodos convencionales, como las losas de arranque, ya que por sus condiciones geométricas no pueden usar el sistema.

Por otro lado, debido a las limitaciones en la colocación de los llenos de la presa, se dividió el proceso de construcción de la cara de concreto en 2 etapas, formando una junta horizontal ubicada a la EL.250 (ver figura 15 y 16) al 50% de altura de la pantalla.

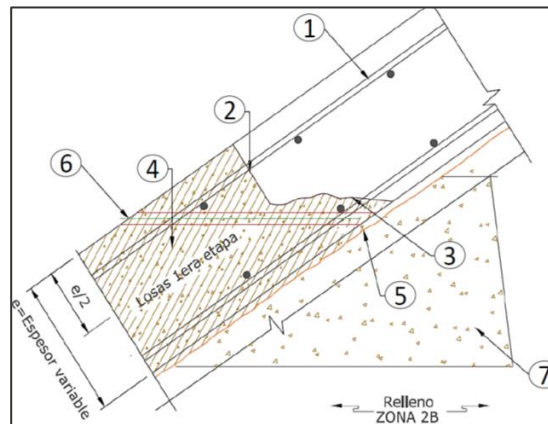
**Figura 15.** Primera etapa constructiva de la Cara de Concreto



**Fuente:** ISAGEN S.A

En la figura 16 se muestra el detalle de la junta de construcción de la primera etapa constructiva.

**Figura 16.** Junta de Construcción



**Fuente:** INGETEC 2010 (Modificado por el Autor)

Detalles de la junta horizontal de construcción:

1. Acero de refuerzo pasante
2. Cara formaleteada, tratada con el sistema de corte verde (superficie rugosa) y con pegante epóxico
3. Cara desformaleteada, tratada con el sistema de corte verde (superficie rugosa) y con pegante epóxico
4. Losa en concreto de primera etapa
5. Superficie de contacto bordillo-loza
6. Hueco para inyección de contacto (bordillo-loza).
7. Bordillo en concreto extruido.

En estas juntas el refuerzo es continuo y no se usan sellos de PVC, según ICOLD<sup>[5]</sup> (Comité Internacional de Grandes Presas) esta medida se adopta principalmente porque es difícil obtener una buena calidad del concreto alrededor del sello, ya que en otros proyectos en los que si se usaron se presentaron desprendimientos en las zonas de compresión alrededor de la junta.

Para unir las losas de cada etapa, se tratan las de primera etapa con el sistema de corte verde, creando una superficie rugosa, retirando todo tipo de finos hasta exponer los agregados gruesos, adicionalmente se usa pegante epóxico (Sikadur 32) como puente de adherencia entre el concreto endurecido y el concreto nuevo, con esto se garantiza que la junta se comporte de forma similar a un elemento fundido monolíticamente.

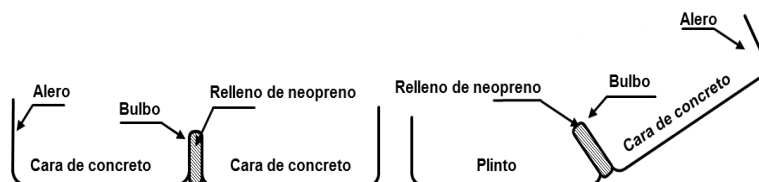
Con el fin de rellenar las posibles cavidades que se presenten en el contacto bordillo-losa, se utilizan las inyecciones de contacto. El método consiste en inyectar lechada a presión en orificios con tamaño de 1 pulgada, dispuestos antes de realizar el vaciado de la losa, las inyecciones de contacto generalmente se ejecutan cuando ya se ha terminado la estructura, y son una medida para contrarrestar las zonas donde puedan ocurrir infiltraciones.

### **3.3 SELLO DE COBRE (PRIMERA BARRERA)**

La función de este sello es proporcionar impermeabilidad a la junta, y adaptarse a las deformaciones que se produzcan en la cara de concreto y plinto sin que llegue a producirse una ruptura, por esta razón se usa un material de gran ductilidad como lo es cobre.

El sello está conformado por 2 aleros que deben ir empotrados en la estructura, ya sea el plinto o la losa de concreto, sin interferir con la disposición del acero de refuerzo, y un nervio o bulbo central que permite a la junta abrirse o cerrarse, desplegándose aproximadamente entre  $\approx 10$  y  $13$  cm (ver figura 17).

**Figura 17.** Partes del sello de cobre



**3.3.1 Sistema constructivo - Tratamiento de superficie.** Antes de la instalación del sello, se debe tratar para garantizar el agarre y anclaje a la estructura; el tratamiento consiste en pegar material fino de 2 a 5 mm con resina epóxica, en este caso particular Sikadur 31 o un producto similar; Es importante tener en cuenta que el tratamiento de superficie se realiza en los dos aleros y la mitad del sello excluyendo el bulbo central, esto con el fin de evitar rigidez por la adherencia al concreto y permitir el libre movimiento entre losas contiguas. Por otra parte al nervio central se le coloca un relleno de neopreno para su protección, este evita que el bulbo sea deformado o aplastado por la presión del hormigón durante el vaciado.

**Figura 18.** Tratamiento superficie, colocación del relleno de neopreno

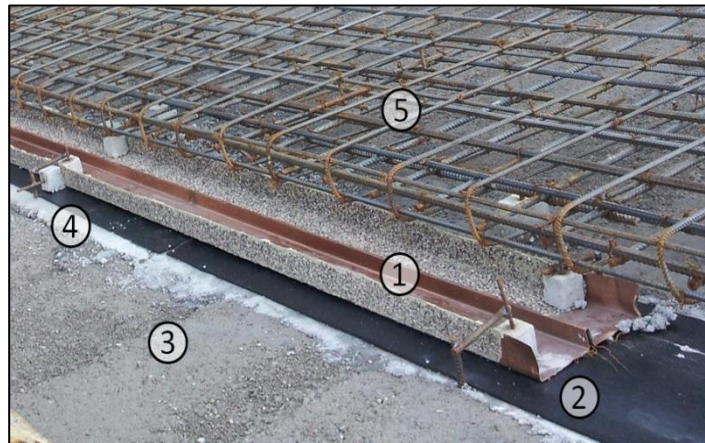


**Fuente:** Interventoría Integral VQ Ingeniería

**3.3.2 Sistema constructivo –Instalación.** Previo a la instalación se debe proteger el sello de cobre de los daños que puedan producirse al entrar en contacto directo con los agregados del relleno de la presa o en este caso particular el bordillo en concreto extruido, esto se logra utilizando como soporte una cama de arena -asfalto o mortero y una banda de PVC que amortiguan y proporcionan una superficie plana que impide el punzonamiento, y con ello la aparición de orificios o depresiones, que pueden causar infiltraciones de agua en el sello <sup>[3]</sup>.

La cama de arena de asfalto al igual que el relleno de la zona 2B de la presa, también tiene como función retener el material fino no cohesivo del sello Fly Ash, creando una zona de estancamiento que impide las infiltraciones. En la figura 19 se puede apreciar el sello de cobre en la junta formada entre paneles de la cara de concreto.

**Figura 19.** Soporte del sello con cama de mortero y banda de PVC



Detalles de la colocación del sello de cobre:

1. Sello inferior de cobre
2. Banda de PVC (L= 40 cm, e=6mm)

3. Bordillo en concreto
4. Cama de mortero embebida en el bordillo
5. Acero de refuerzo no pasante

**3.3.3 Sistema constructivo – Uniones.** Una vez terminado el soporte del sello se procede a su colocación y a realizar los empalmes; las uniones que son necesarias para formar las piezas de conexión entre tramos rectos, se realizan en campo traslapando el sello ya formado una distancia de 15 mm con soldadura autógena mediante el proceso brazing <sup>[8]</sup>.

Los quiebres y las conexiones en forma de *T*, se fabrican en taller empalmando entre sí con soldadura pedazos de tramos rectos del sello ya formado.

**Figura 20.** Sello de cobre - soldadura en campo



**Fuente:** Interventoría Integral VQ ingeniería

Luego de realizar el proceso de soldadura, de forma aleatoria se extrae una muestra por cada vigésima unión soldada en campo, y como control de calidad se le realizan pruebas de estanqueidad, tensión y dobléz guiado.

✓ **Prueba de estanqueidad.** Este procedimiento se lleva a cabo con la intención de determinar si realmente la unión soldada es homogénea y no presenta irregularidades u orificios. Consiste en la extracción de una muestra del sello que contenga soldaduras en campo, seguidamente se le deben cerrar los extremos y los costados con láminas de cobre adecuadas, para convertirlo en un recipiente con paredes de 0.60 m. de altura. Al recipiente elaborado se le debe llenar con agua y verificar si presenta fugas durante un periodo de 36 horas, en caso de que se presenten fugas, se exigen más pruebas al constructor y se ordenan las reparaciones adicionales <sup>[8]</sup>.

**Figura 21.** Prueba de estanqueidad en el sello



**Fuente:** Contratista - Grupo ICT II Impregilo

✓ **Prueba de tensión y doblado guiado.** Estos ensayos se realizan con el propósito de verificar si las resistencias a la tensión y al doblado cumplen con los requisitos establecidos por la asesoría del proyecto y las especificaciones técnicas.

Para la prueba de tensión y doblado se extrae una muestra del sello que contenga soldadura de campo y se envía al laboratorio. Cada unión debe proporcionar 3 probetas para la prueba de tracción y 3 para la prueba de doblado.

✓ **Prueba de doblez guiado.** Se realiza mediante el código ASME SECCIÓN IX, numeral QB 160 y se usa para determinar la ductilidad de la soldadura en las juntas. El ensayo consiste en aplicar una carga en el punto central de una probeta rectangular con soldadura, mientras que el resto de la probeta se apoya en los extremos de la fijación, seguidamente se dobla la probeta 180° buscando que tome forma de U. El criterio principal para la aceptación de la unión soldada, se basa en la inspección visual, donde la muestra no deberá presentar roturas o grietas en la soldadura o alrededor de ella.

✓ **Prueba de tensión.** Se realiza mediante el código ASME SECCIÓN IX, numeral QB 150, y se usa para determinar la resistencia última a la tensión de un material soldado, en donde ninguna de las muestras ensayadas puede presentar la falla en la zona de la soldadura.

**Figura 22.** Muestras falladas en la prueba de tensión y doblez guiado



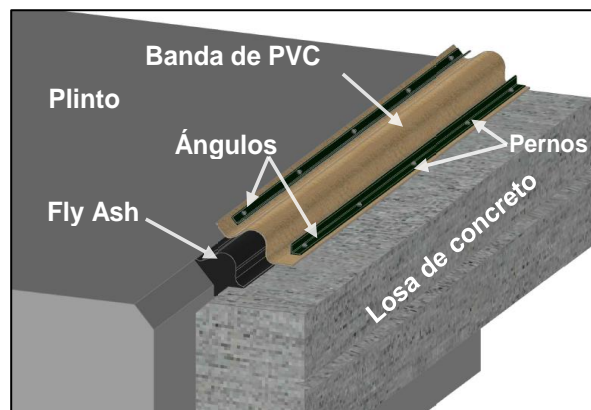
**Fuente:** Joint and Welding Ingenieros Ltda

### 3.4 SELLO DE PVC CON CENIZA VOLANTE O FLY ASH

El sello de Fly Ash se utiliza con el fin de proveer a la junta una segunda barrera de protección, principalmente en caso que el sello de cobre (primera barrera) sufra algún daño. El sello está conformado por una banda de PVC adosada a las juntas de la cara de concreto y/o plinto con la ayuda de ángulos metálicos, pernos de expansión y resina epóxica.

La banda almacena un material fino no cohesivo (ceniza volante), el cual penetra en la junta cuando esta experimente una deformación producida por el asentamiento del relleno; la idea de utilizar material fino no cohesivo como material sellante, se basa en que cuando ocurre la abertura de la junta, dicho material es arrastrado y retenido por los rellenos de la zona 2B de la presa, que poseen una gradación similar a la de un material de filtro fino con baja permeabilidad, los finos obstruidos en el filtro disminuyen considerablemente la infiltraciones hacia el cuerpo de la presa <sup>[6]</sup>.

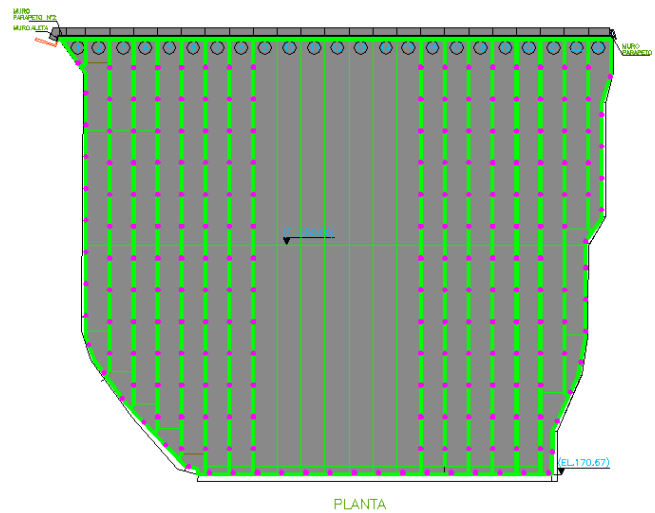
**Figura 23.** Junta Perimetral, partes del sello Fly Ash



**Fuente:** Grupo ICT II, Impregilo (Modificado por el Autor)

Como una medida adicional de seguridad se colocan tapones de poliuretano líquido dentro del sello cada 10 m, con el fin de evitar que una zona defectuosa extienda las infiltraciones, a continuación en la figura 24 se muestra la distribución en planta de los tapones.

**Figura 24.** Distribución de los tapones de poliuretano en los sellos



**Fuente:** Interventoría Integral VQ Ingeniería

**3.4.1 Sistema constructivo – Instalación.** Para la instalación de los sellos en zonas inclinadas se utilizó una escalera apoyada sobre la cara de concreto a cada lado de la junta, este es un sistema de seguridad industrial indispensable para que los trabajadores puedan realizar su trabajo de manera segura.

En la instalación del sello se tuvo en cuenta la siguiente secuencia constructiva planteada por el contratista Grupo ICT II de Impregilo:

- ✓ **Etapa N°1.** Perforaciones con taladro electro-neumático para la instalación de pernos de 3/8" cada 40 cm.
- ✓ **Etapa N°2.** Limpieza en el área donde se aplica pegante epóxico Sikadur 31, que sirve como sellante entre el concreto y la banda de PVC.
- ✓ **Etapa N°3.** Instalación de los ángulos L de 4x4x0.5 con los pernos de 3/8", esto se debe hacer mientras el pegante está fresco.
- ✓ **Etapa N°4.** Una vez el pegante se seque y alcance una resistencia considerable (1 hora), se coloca la ceniza volante en tramos compactados cada 3 m con un pistón metálico; se debe tener en cuenta que la ceniza debe estar previamente húmeda para facilitar la compactación y evitar que sea arrastrada por el viento.

**Figura 25.** Instalación de pernos



**Fuente:** Interventoría Integral VQ Ingeniería

**3.4.2 Sistema constructivo – Uniones.** La banda de PVC tiene una presentación comercial en rollos de 50 m, cada vez que se termine o se requiera una pieza especial de conexión se debe hacer una junta de PVC, esto se logra traslapando la banda una distancia mínima de 15 cm con un aparato eléctrico de soldadura de control termostático y una prensa, suministrada y aprobada por el fabricante de la banda de PVC [8].

**Figura 26.** Unión en banda de PVC



**Fuente:** Interventoria Integral VQ ingeniería

Una vez terminado el proceso de soldadura se realiza el control de calidad, el cual consiste en efectuar pruebas de tracción de cinco uniones de taller y de cada vigésima unión de campo en promedio, seleccionadas al azar entre juntas terminadas.

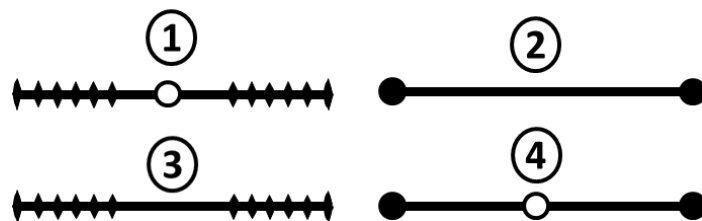
De cada unión entre las seleccionadas, se toman tres probetas que ensayadas deben cumplir un mínimo del 80% de la característica a la tensión especificada del material, además se realizan pruebas de dureza por lo menos en dos especímenes por cada 100 m de banda de PVC.

### 3.5 SELLO DE PVC

El sello también es conocido con el nombre de Waterstops, el cual consiste en la utilización de una banda de PVC, embebida en las juntas de construcción de la pantalla cortaflujo de concreto y las juntas de dilatación del muro parapeto. El sello proporciona impermeabilidad a la estructura y debe contar con propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y corte, para que sea duradero y resista los bordes afilados del concreto.

**3.5.1 Partes del sello de PVC.** Este tipo de sellos se encuentra comercialmente en perfiles, cada uno para aplicaciones y condiciones en sitio distintas, se usan para impermeabilización de canales de drenaje, tanques de almacenamiento, muros de contención hasta Box Culverts. El perfil usado en las estructuras del proyecto es del tipo con bulbo central y estriado longitudinal con una longitud de 9 Pulg (ver figura 27 - 1).

**Figura 27.** Perfiles disponibles



**Fuente:** ICOLD 2004

Detalles de los perfiles comerciales:

1. Sello con bulbo central y nervios longitudinales
2. Sello plano tipo pesa de gimnasia
3. Sello plano con nervios longitudinales
4. Sello con bulbo central, tipo pesa de gimnasia

El sello está compuesto por un bulbo central que permite absorber esfuerzos y deformaciones que pueden generarse en la estructura y un estriado longitudinal con dos semi-bulbos en los extremos que permiten el anclaje y agarre con el concreto.

Algunas de las consideraciones para el dimensionamiento de estos sellos, recomendadas por los fabricantes como *Fester* y *Toxement* son las siguientes.

- ✓ Se debe mantener una distancia del sello al acero de refuerzo, por lo menos dos veces el tamaño máximo del agregado del concreto.
- ✓ El ancho máximo del sello, no debe ser superior al espesor del elemento a impermeabilizar.
- ✓ Para garantizar un anclaje adecuado al concreto, en el caso de los sellos con nervios o estriados longitudinales, se recomienda que el ancho del sello sea por lo menos seis veces el tamaño del agregado máximo.
- ✓ La longitud de la superficie del concreto en contacto con agua, al punto donde el sello será instalado, no debe ser menor a la mitad del ancho del sello.
- ✓ Se debe utilizar sellos con bombillas o bulbos centrales en las juntas, donde se esperan movimientos.

**3.5.2 Sistema constructivo – Instalación.** El proceso de instalación inicia con la ubicación y fijación del sello en la junta; esto se logra modificando la formaleta de tal forma que la mitad del sello quede posicionando con el primer elemento a vaciar, asegurándolo firmemente con sujetadores (argollas metálicas) sin perforar las aletas. En la figura 28 se muestra como se modifica la formaleta para el acople del sello y vaciado de la zarpa del muro parapeto.

**Figura 28.** Modificación de formaleta para acople del sello



**Fuente:** Interventoría Integral VQ Ingeniería

Luego se verifica que el bulbo central este correctamente alineado con la junta y se procede a realizar el primer vaciado; para garantizar un buen funcionamiento del sello se deben tener cuidados especiales en el vaciado como:

- ✓ Vibrar bien el concreto alrededor de la banda para evitar cualquier tipo de hormigueros que puedan reducir la capacidad de impermeabilidad del sello.
- ✓ Realizar el vaciado de tal forma que el impacto de la caída de la mezcla no deforme la banda, ya que ocasionaría una desalineación del bulbo central y como resultado se perdería la capacidad de absorber una deformación.

**3.5.3 Sistema constructivo - Uniones.** Cuando se termina el rollo de la banda o se llega a un quiebre y se necesita de alguna forma especial para dar continuidad a la junta, (ver figura 29) no se debe traslapar la banda, la unión se hace únicamente con soldadura al calor; el proceso consiste en calentar los extremos que se desean unir, con ayuda de una plancha metálica a la temperatura de fusión del material (180°C a 200°C) enfrentados y completamente alineados se sueldan y se hace presión hasta que el material este frio.

**Figura 29.** Detalles de la unión en campo y taller



**Fuente:** Interventoría Integral VQ Ingeniería

## 4 CONCLUSIONES

- La práctica empresarial, afianza y complementa conocimientos obtenidos durante el pregrado, envuelve al estudiante en lo que será su futura vida laboral, permitiéndole explorar múltiples capacidades en las actividades asignadas, otorgándole experiencia en campo y útiles recomendaciones por parte de profesionales; convirtiéndola en una experiencia enriquecedora.
- Con base a los informes realizados, fue posible determinar la importancia que tiene el trabajo en conjunto de los diferentes entes involucrados en el desarrollo del proyecto, la integración de conocimientos de los constructores, supervisores y asesores, combinados con la buena toma de decisiones por parte de ISAGEN, fueron claves para la puesta en servicio de la central.
- El seguimiento y la actualización de la programación de las actividades, teniendo como referencia los rendimientos reales de obra ejecutada, proporcionaron fechas de finalización confiables, que permitieron a los directivos del proyecto tomar decisiones importantes, redistribuir el personal y la maquinaria en cada una de los frentes críticos del proyecto.
- La elaboración del manual se basó en la experiencia adquirida durante la práctica con el apoyo de la Interventoría e ISAGEN S.A, en donde se plasmó la información más relevante de los procesos constructivos, permitiendo resaltar la importancia que implica una adecuada instalación e inspección de los sellos, que son el principal órgano de estanqueidad de la pantalla de concreto.

- El comportamiento de las pantallas de concreto en las presas del tipo CFRD, está estrechamente relacionado con la apropiada ubicación y distribución de las juntas, así como la calidad y tipo de materiales utilizados en los sellos, por tanto se considera que los controles de calidad deben ser estrictos, ya que con ellos se reduce el riesgo de fallas por infiltraciones hacia el cuerpo de la presa.
- Los bajos caudales de infiltración al finalizar el llenado del embalse, medidos con la instrumentación de la presa, son un indicativo de que las estructuras como la cara de concreto y la cortina profunda de inyecciones, presentan comportamientos acordes a lo esperado.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] INGETEC I&D S.A – Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Manual de Llenado del Embalse. Revisión 1. Santafé de Bogotá, Mayo de 2014.

[2] INGETEC I&D S.A - Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Memorando de Diseño Estructural. Presa. Revisión 2. Santafé de Bogotá, Diciembre de 1996.

[3] BARRERA LÓPEZ, C. y CORTÉS ALFARO, J. Construcción De La Cortina de Enrocamiento con Cara de Concreto del P.H. la Yesca. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Ciudad universitaria.: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Civil y Geomática, 2011. 119 p. 18 a 20.

[4] INGETEC I&D S.A - Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Memorando de Diseño Geotécnico. Presa. Revisión 2. Santafé de Bogotá, Diciembre de 1996.

[5] ICOLD. Committee on Materials for fill Dams. Concrete face Rockfill Dams Concepts for Design and Construction. 70 Updating Bulletin. November 2004.

[6] DEL AGUILA SÁENZ, E. Metodologías Constructivas de la Base del Plinto de la Central Hidroeléctrica Chaglla. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Lima, Perú.: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. 2013. 82 p. 12 a 22.

[7] COLQUE, B. NAVARRO, O. Aprovechamiento Hidroeléctrico PICHÍ PICUN LEUFU, Comportamiento de la Presa Luego de 10 de Operación EN: Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. (6: 03-06, noviembre 2010: Neuquén, Argentina). Memorias. Neuquén, Argentina.: Petrobrás Energía. HISSA HIDRONOR Ingeniería y Servicios SA. 2010. 10 p.

[8] ISAGEN S.A. Licitación Pública N° 5/415. Pliego de condiciones – Parte II Copia Conformada. Especificaciones Técnicas. Capítulo 13. Concreto Convencional. Medellín: ISAGEN, 2009.

## BIBLIOGRAFÍA

BARRERA LÓPEZ, C. y CORTÉS ALFARO, J. Construcción De La Cortina de Enrocamiento con Cara de Concreto del P.H. la Yesca. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Ciudad universitaria.: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Civil y Geomática, 2011. 119 p.

ESPINOSA, M. Ingeniería de Presas de Escollera. Mendoza, Argentina.: Ex - Libris, 2010. 437 P.

FELL, R. MACGREGOR, P. STAPLEDON, D. y BELL, G. Geotechnical Engineering of Dams. Leiden, The Netherlands.: A.A. Balkema, 2005. 905 P. ISBN 04-1536-440-x.



ICOLD. Committee on Materials for fill Dams. Concrete face Rockfill Dams Concepts for Design and Construction. 70 Updating Bulletin. November 2004.

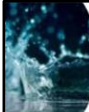

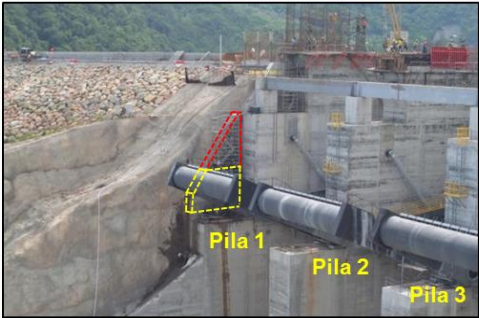
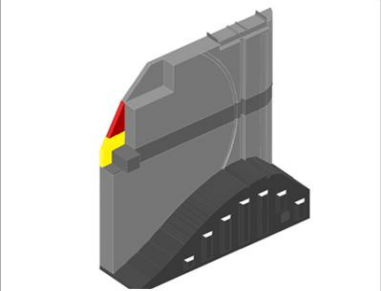
INGETEC I&D S.A - Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Memorando de Diseño Estructural. Presa. Revisión 2. Santafé de Bogotá, Diciembre de 1996.

ISAGEN S.A. Licitación Pública N° 5/415. Pliego de condiciones – Parte II Copia Conformada. Especificaciones Técnicas. Capítulo 13. Concreto Convencional. Medellín: ISAGEN, 2009.

# **ANEXOS**

**Anexo A. Plantilla para la elaboración de la presentación del informe semanal.**

 <b>FRENTE DE OBRA:</b> <b>ACTIVIDAD:</b>		
<b>Registro Fotográfico</b>	<b>Análisis Gráfico del Frente</b>	
Espacio dedicado para el registro fotográfico, en donde se debe señalar la actividad a realizar, e incluir información adicional como las elevaciones de la zona de trabajo y nombres para referenciación	Espacio dedicado para el análisis gráfico de la estructura, se puede incluir imágenes 3D o 2D tomadas de los planos para construcción, en donde se debe señalar el avance constructivo con sus respectivas convenciones.	
Fecha del registro fotográfico	Convenciones	
Espacio dedicado para describir la actividad realizada en el frente, en donde se puede incluir: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porcentaje de avance de la estructura, calculado con las cantidades ejecutas y con la ayuda los planos para construcción.</li> <li>▪ Rendimiento de obra, retraso del contratista, si hace parte de las actividades críticas</li> <li>▪ Fecha estimada de finalización de la actividad del frente, con base a los rendimientos reales de obra ejecutada.</li> </ul>		

 <b>FRENTE DE OBRA: Vertedero – Pila N°1</b> <b>ACTIVIDAD: Construcción de muros posteriores</b>		
		
Agosto 26 - 2014	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">■</span> Instalación de acero de refuerzo</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Tramo ejecutado en muro posterior</li> </ul>	
Se tiene un avance del 55% en la ejecución de concretos del muro posterior de la Pila N°1 del vertedero, la actividad actual corresponde a la instalación del acero de refuerzo; se espera finalizar esta estructura el día 28 de agosto incluyendo reparación de concretos. También se adelanta la instalación de barandas para inspecciones de la compuerta radial N°1.		

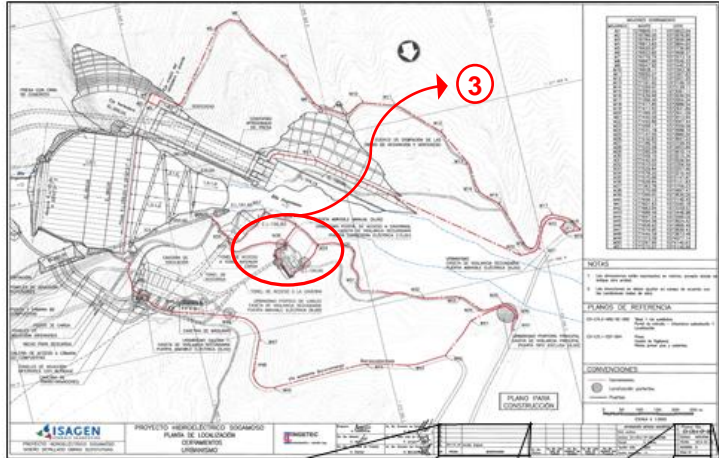
**Anexo B.** Registro histórico de visitas a los frentes de obra, para entrega de informes.

FRENTES DE OBRA PARA SEGUIMIENTO	FECHA DE VISITA	FECHA DE ENTREGA DE INFORME
<b>Julio</b>		
Captación (hormigonado de unidad 3); Presa ( construcción de parapetos); Pozo de compuestas del sistema de carga; Banco de Ductos; Vertedero; Galería 4	21/07/2014	22/07/2014
Captación; Presa (parapetos y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Banco de Ductos; Vertedero; Galería 4	28/07/2014 29/07/2014	30/07/2014
<b>Agosto</b>		
Elaboración del Informe Mensual correspondiente al mes de julio	-	05/08/2014
Captación; Presa (parapetos y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Vertedero; Galería 4; Cuenco disipador	04/08/2014 05/08/2014	06/08/2014
Captación; Presa (parapetos y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Vertedero; Galería 4; Cuenco disipador; Túneles de desviación	07/08/2014 08/08/2014	08/08/2014
Captación; Presa (parapetos y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Vertedero (casetas de control); Galería 4; Cuenco disipador	11/08/2014 12/08/2014	12/08/2014
Captación; Presa (parapetos y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Vertedero (casetas de control); Galería 4; Cuenco disipador	18/08/2014 19/08/2014	20/08/2014
Captación; Presa (parapeto y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Vertedero (casetas de control); Galería 4; Cuenco disipador	25/08/2014	26/08/2014
<b>Septiembre</b>		
Elaboración del Informe Mensual correspondiente al mes de Agosto	-	05/09/2014
Presa (parapeto y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Vertedero (casetas de control); Galería 4; Cuenco disipador	08/09/2014	08/09/2014
Presa (parapeto y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Vertedero (casetas de control); Cuenco disipador ; Conformación de Lagunas	15/09/2014 16/09/2014	16/09/2014
Presa (parapeto y subestación de energía); Cámara de compuestas del sistema de carga; Vertedero (casetas de control); Cuenco disipador ; Conformación de Lagunas	22/09/2014 23/09/2014	23/09/2014
<b>Octubre</b>		
Elaboración del Informe Mensual correspondiente al mes de Septiembre	-	06/10/2014
Presa (parapeto aguas abajo); Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 (portal); Banco de Ductos	29/09/2014 30/09/2014	01/10/2014
Presa (parapeto aguas abajo); Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 (portal); Banco de Ductos	06/10/2014 07/10/2014	07/10/2014
Presa (parapeto aguas abajo); Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 (portal); Banco de Ducto; Conformación de Lagunas	15/10/2014 16/10/2014	17/10/2014
Presa (Banco de ductos); Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 (portal); Banco de Ducto; Conformación de Lagunas ( Gaviones)	21/10/2014 22/10/2014	23/10/2014
Presa (Banco de ductos); Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 y 4; Banco de Ducto; Conformación de Lagunas	27/10/2014	28/10/2014

<b>FRENTE DE OBRA PARA SEGUIMIENTO</b>	<b>FECHA DE VISITA</b>	<b>FECHA DE ENTREGA DE INFORME</b>
<b>Noviembre</b>		
Elaboración del Informe Mensual correspondiente al mes de Octubre	-	04/11/2014
Presa (Banco de ductos); Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 y 4; Banco de Ductos; Conformación de Lagunas	03/11/2014 04/11/2014	05/11/2014
Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 y 4; Banco de Ductos; Canal de aproximación	10/11/2014 11/11/2014	12/11/2014
Presa (pavimentación) Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 y 4; Banco de Ductos; Canal de aproximación	17/11/2014 18/11/2014 19/11/2014	20/11/2014
Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 7 y 4; Banco de Ductos; Canal de aproximación	24/11/2014 25/11/2014	25/11/2014
<b>Diciembre</b>		
Elaboración del Informe Mensual correspondiente al mes de Noviembre	-	05/11/2014
Vertedero (casetas de control de compuertas); Cuenco disipador (obras de drenaje); Galería 4; Banco de Ductos; Canal de aproximación	04/12/2014 05/12/2014	05/12/2014
Presa (pavimentación cresta, obras de drenaje); Vertedero (casetas de control de compuertas) Cuenco disipador (obras de drenaje, estabilización de taludes); Galería 4.	11/12/2014 12/12/2014	12/12/2014
Presa (pavimentación cresta); Vertedero (casetas de control de compuertas) Cuenco disipador (obras de drenaje, estabilización de taludes); Galería 4; Central subterránea	17/12/2014 16/12/2014	18/12/2014
Conformación de lagunas (construcción de gaviones); Central subterránea; Presa	22/12/2014	22/12/2014
<b>Enero</b>		
Elaboración del Informe Mensual correspondiente al mes de Diciembre	-	05/11/2014
Presa (obras de drenaje, Canales y cunetas); Vertedero (cuenco disipador, obras de drenaje)	08/01/2015	09/01/2015
Presa (obras de drenaje, Canales y cunetas); Cuenco disipador (obras de drenaje)	15/01/2015	16/01/2015
	<b>Total informes semanales</b>	24
	<b>Total informes Mensuales</b>	6
	<b>Total informes independientes</b>	5
	<b>Total</b>	35

**Anexo C. Procedimiento para la revisión y organización de los planos.**

### Plano versión original



2014-01-29	Versión Original
FECHA	MODIFICACIÓN

Plano No.:  
**E3-LT6.4-CP-001**

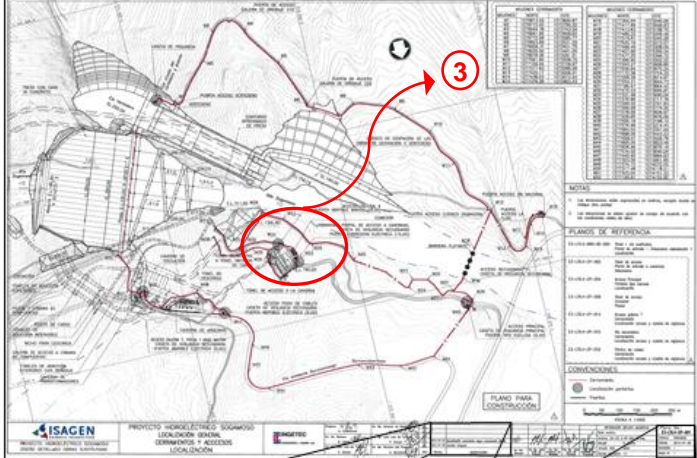
ESCALA: INDICADAS

FECHA: 2014-01-29

REVISIÓN: 0

HOJA N°: 1

### Plano revisión N°1



2014-07-22	Actualización cerramiento según comunicado ISAGEN
2014-01-29	Versión Original
FECHA	MODIFICACIÓN

Plano No.:  
**E3-LT6.4-CP-001**

ESCALA: INDICADAS


FECHA: 2014-01-29

REVISIÓN: 1

HOJA N°: 1

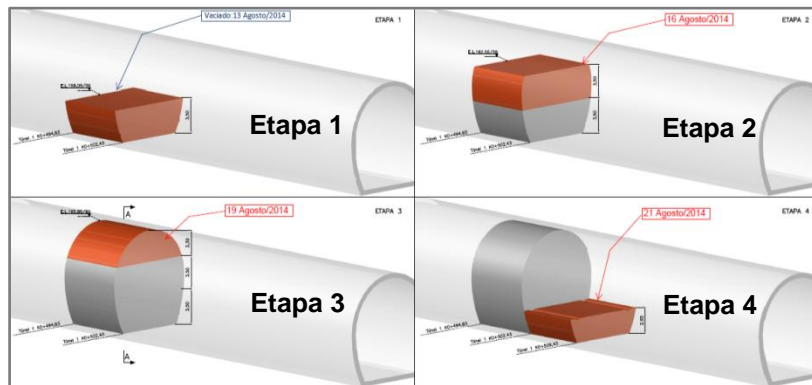
1. Verificar la relación del listado de lo entregado por la asesoría con el código del plano. ①
2. Identificar el frente de obra y el número de revisión del plano. ②
3. Identificar los cambios en los planos y la causa de las modificaciones. ③
4. Elaboración de hoja de vida de modificaciones para planos con R>1. ②
5. Elaboración de carta para emisión del plano a la interventoría para su entrega al contratistas

**Anexo D.** Formato de hoja de vida de los planos para construcción.

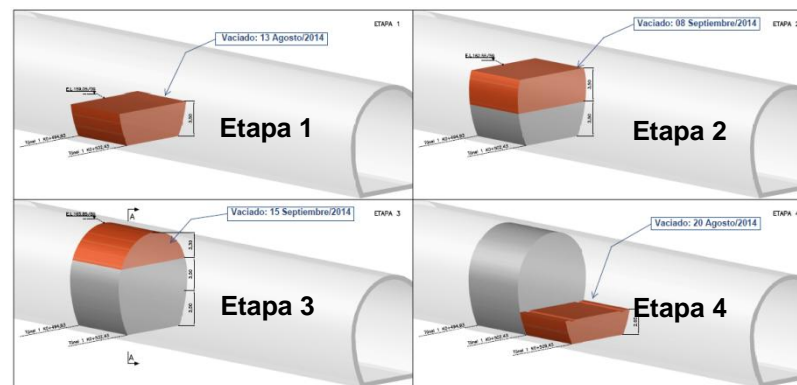
PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO						
<b>PLANO No.:</b>				<b>REVISIÓN VIGENTE:</b> <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px 5px; font-weight: bold;">1</span>		
<b><u>HOJA DE VIDA DE PLANOS DE CONSTRUCCIÓN</u></b>						
TÍTULO DEL PLANO	<i>PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO</i>				PLANO TIPO: GEO — EST — ELE_MEC — GEN_ARQ —	
LOTE DE TRABAJO No.:			NOMBRE LOTE:			
<b>REVISIÓN 0</b> <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px 5px; font-weight: bold;">1</span>						
RESPONSABLE	FIRMA	ÁREA	FECHA ENVÍO	ORIGEN DE PLANO		
				PLANO NUEVO	No.PLANO LICITACIÓN	No.PLANO CONSTRUCCIÓN
DESCRIPCIÓN OBRAS (PLANOS NUEVOS):						
<b>REVISIÓN 1</b> <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px 5px; font-weight: bold;">3</span>						
				<b>% de Modificación:</b>		
				MOTIVO DE REVISIÓN		
				SOLICITUD ISAGEN	SOLICITUD OTROS	POR VERIFICACIÓN INTERNA
DESCRIPCIÓN MODIFICACIONES:	MODIFICACIÓN GEOMETRÍA:  MODIFICACIÓN GEOTECNIA:  MODIFICACIÓN ESTRUCTURAL:  MODIFICACIÓN TOPOGRAFÍA:  MODIFICACIÓN ELECTROMECAÁNICA:  OTRA MODIFICACIÓN:					
<p><b>1.</b> La revisión “0” se conoce como la versión original del plano para construcción. <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px 5px; font-weight: bold;">1</span></p> <p><b>2.</b> Espacio dedicado para describir todas las modificaciones según su categoría. <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px 5px; font-weight: bold;">2</span></p> <p><b>3.</b> La revisión vigente indica la versión con la que se planea construir, anulando cualquier versión anterior del plano. <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px 5px; font-weight: bold;">3</span></p>						

**Anexo E. Proyecciones realizadas para la actualización de cronogramas.**

**Información Real vs Proyectada**



Estimación de fechas de vaciado para etapas con proyecciones realizadas



Fechas reales de vaciado para cada etapa, de acuerdo a los reportes de liberación de concretos de la interventoría.

ETAPA	VOLUMEN DE CONCRETO M3	FECHA ESTIMADA DE VACIADO		FECHA DE VACIADO REAL		OBSERVACIÓN (DEFASES)
		Tapón 1	Tapón 2	Tapón 1	Tapón 2	
Etapa 1	238,9	13/08/2014	23/08/2014	13/08/2014	03/09/2014	Tapón1 (0 días), Tapón 2 (10 días)
Etapa 2	266,2	05/09/2014	26/08/2014	08/09/2014	10/09/2014	Tapón1 (3 días), Tapón 2 (14 días)
Etapa 3	172,7	09/09/2014	29/08/2014	15/09/2014	17/09/2014	Tapón1 (6 días), Tapón 2 (18 días)
Etapa 4	162,8	21/08/2014	01/09/2014	20/08/2014	26/09/2014	Tapón1 (1 día), Tapón 2 (25 días)

**Anexo F. Formato de informe diario de la Presa de la Interventoría.**

ISAGEN ENERGÍA PRODUCTIVA		INFORME DIARIO DE ACTIVIDADES EN LLENOS DE PRESA				CONSORCIO INTEGRAL INGENIERÍA	
PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO							
martes, 15 de julio de 2014							
ACTIVIDAD	LOCALIZACIÓN					Volumen colocado (m <sup>3</sup> )	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD
	Entre ordenadas	Entre abscisas	Entre cotas				
Colocación de material en zona 3A							
Colocación de material en zona 3B							
Colocación de material en zona 3C							
Colocación de material en zona 2A							
Colocación de material en zona 2B							
Colocación de material en zona 1A							
Colocación de material en zona 1B							
Colocación de Rip Rap							
Colocación de Bordillo extrudado							Área día (m <sup>2</sup> )
							Área acumulada (m <sup>2</sup> )
							Porcentaje de avance
Colocación cama arena/asfalto							Actividad terminada
Retiro de material de vía de acceso espaldón aguas abajo							#¡REF!
<b>OBSERVACIONES</b>							
<b>LLENOS DE LA PRESA</b>							
Volumen colocado aproximado durante la jornada				Avance acumulado Presa (%)			
Volumen acumulado Presa (m <sup>3</sup> )				Rendimiento histórico de colocación (m <sup>3</sup> /día)			
Volumen por ejecutar (m <sup>3</sup> )							
<b>AVANCE GRÁFICO</b>							
<b>LLENOS CUERPO DE LA PRESA</b>							
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>							

Anexo G. Formato de informe diario del Vertedero de la Interventoría.

ISAGEN		INFORME DIARIO DE CONCRETOS					INGENIERIA	
CONTRATO 46/3344								
VERTEDERO - CASETAS DE OPERACIÓN								
Caseta 1 entre abscisas k0+028,34/k0+018,34								
C A S E	Actividad casetas	Coloc. turno	Acumulado	Por ejecutar	% Avance por actividad	% Avance total	Avance total casetas	
	Concreto (m3)							
	Acero de refuerzo (kg)							
	Estuco ( m2)							
	Pintura (m2)							
	Piso en mortero endurecido (m2)							
	Impermeabilización losa (m2)							
Caseta 2 entre abscisas k0+028,34/k0+018,34								
T A S D E	Actividad casetas	Coloc. turno	Acumulado	Por ejecutar	% Avance por actividad	% Avance total		
	Concreto (m3)							
	Acero de refuerzo (kg)							
	Estuco ( m2)							
	Pintura (m2)							
	Piso en mortero endurecido (m2)							
	Impermeabilización losa (m2)							
Caseta 3 entre abscisas k0+028,34/k0+018,34								
O P E R A C I Ó N	Actividad casetas	Coloc. turno	Acumulado	Por ejecutar	% Avance por actividad	% Avance total		
	Concreto (m3)							
	Acero de refuerzo (kg)							
	Estuco ( m2)							
	Pintura (m2)							
	Piso en mortero endurecido (m2)							
	Impermeabilización losa (m2)							
Caseta 4 entre abscisas k0+028,34/k0+018,34								
	Actividad casetas	Coloc. turno	Acumulado	Por ejecutar	% Avance por actividad	% Avance total		
	Concreto (m3)							
	Acero de refuerzo (kg)							
	Estuco ( m2)							
	Pintura (m2)							
	Piso en mortero endurecido (m2)							
	Impermeabilización losa (m2)							
OBSERVACIONES GENERALES								
Caseta No.1								
Caseta No.2								
Caseta No.3								
Caseta No.4								

**Anexo H.** Registro fotográfico de los frentes de las obras principales.

### **FRENTES DE OBRA EN EL VERTEDERO**



Muros posteriores (pilas) - Agosto



Cuenco Disipador - Octubre



Casetas de subestación Agosto



Cuenco Disipador Noviembre



Casetas de operación Septiembre



Casetas de operación Octubre

## FRENTES DE OBRA DE LA PRESA



Construcción del muro parapeto en cresta de la presa- Julio



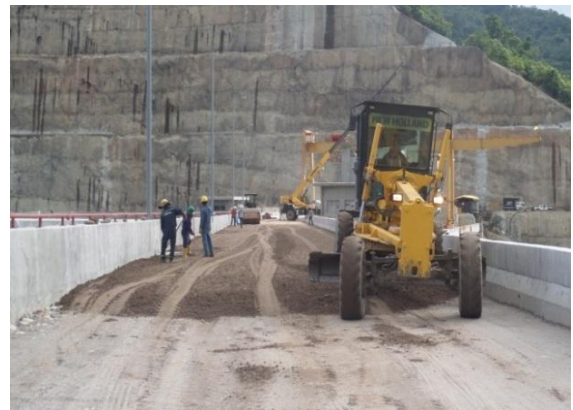
Conformación de llenos zona 3A – Julio



Banco de ductos de la presa - Agosto



Construcción de bordillos – Octubre



Conformación Base granular - Noviembre

## FRENTES DE OBRA DE LA CAPTACIÓN Y EMBALSE TOPOCORO



Estructura de Captación - Julio



Estructura de Captación - Agosto



Estructura de Captación - Agosto



Estructura de Captación – Septiembre



Estructura de Captación - Septiembre



Estructura de Captación - Octubre