

## TABLA DE CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

1.	LA EMPRESA URRÁ S.A. E.S.P. ....	5
2.	EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO URRÁ .....	6
2.1	ASPECTOS TÉCNICOS.....	7
2.2	ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	9
2.3	OPERACIÓN DEL EMBALSE .....	10
2.3.1	RESTRICCIONES AMBIENTALES EN LA OPERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA URRÁ I .....	11
2.3.2	CONTROL DE INUNDACIONES REALIZADO POR LA OPERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA URRÁ I .....	11
3.	CONCEPCIÓN DEL PROYECTO INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE URRÁ .....	14
4.	FACTIBILIDAD.....	16
4.1	ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO DE AMPLIACIÓN DEL EMBALSE URRÁ I .....	18
4.2	VIABILIDAD AMBIENTAL DEL PROYECTO .....	19
4.3	BENEFICIOS DE LA OBRA .....	20
4.3.1	AUMENTO GENERACIÓN ENERGÍA.....	20
4.3.2	CONTROL DE INUNDACIONES.....	23
5.	EL PROYECTO.....	26
5.1	DIQUES FUSIBLES Y CLAPETAS.....	26
5.1.1	CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL SISTEMA DE COMPUERTAS FUSIBLES .	28
5.1.2	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE VÁLVULAS DE TIPO CLAPETA .....	28
5.2	DEMOLICION .....	31
5.3	OBRAS CIVILES .....	33
6.	LA OBRA.....	34
6.1	ASESORÍA .....	34
6.2	INTERVENTORÍAS.....	35
6.2.1	INTERVENTORÍA TÉCNICA.....	35
6.2.2	INTERVENTORÍA AMBIENTAL.....	36
6.3	INGENIERIA BASICA Y DE DETALLES .....	41
6.4	FABRICACIÓN ELEMENTOS .....	46
6.5	DEMOLICIÓN .....	54
6.5.1	VANOS INTERMEDIOS PARA INSTALACIÓN FUSIBLES .....	55
6.5.2	VANOS EXTERNOS PARA INSTALACIÓN CLAPETAS.....	57



6.5.3	OBRA CIVIL.....	64
6.5.4	MONTAJE.....	68
6.6	PRUEBAS DE LOS EQUIPOS INSTALADOS PARA EL REALCE DEL REBOSADERO.....	83
6.7	SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	83
6.8	PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA.....	86
6.9	EMPRESAS PARTICIPANTES EN LA OBRA .....	87
6.10	PROFESIONALES PARTICIPANTES EN LA OBRA .....	87
6.11	ACTAS DE RECIBO DE OBRAS .....	88
7.	ANEXOS .....	88
8.	PLANOS.....	88
9.	REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	88

## TABLAS

Tabla 1 Comparativo sistemas de realce.....	16
Tabla 2 Simulación Operación 2001 – 2009 .....	21
Tabla 3 Análisis creciente Julio 2007 .....	25
Tabla 4 Procedimientos de demolición estudiados.....	32
Tabla 5 Posible Afectación Ambientales y Buenas Prácticas de Manejo .....	37
Tabla 6 Secuencia de Vuelco de los Fusibles .....	45
Tabla 7 Cambios en el sistema de anclaje.....	65
Tabla 8 Costos totales.....	86
Tabla 9 Profesionales participantes en la Obra .....	87

## FIGURAS

Figura 1 Localización de la Central Hidroeléctrica URRÁ I.....	6
Figura 2 Características de la Central Hidroeléctrica URRÁ I.....	7
Figura 3 Curvas máximas y mínimas antes del proyecto.....	10
Figura 4 Análisis de alternativas Hydroplus.....	17
Figura 5 Curvas máximas y mínimas después del Proyecto .....	20
Figura 6 Curvas de la eficiencia de la turbina .....	22
Figura 7 Comparación entre los niveles del embalse .....	23
Figura 8 Comparación entre los caudales descargados agua abajo.....	24
Figura 9 Comparación entre las producciones hidroeléctricas .....	24
Figura 10 Organigrama de la obra .....	34
Figura 11 Esquema de niveles y volúmenes del embalse .....	39
Figura 12 Plano de vista lateral de vano intermedio .....	47
Figura 13 Plano de vista lateral de un vano .....	49
Figura 14 Esquema de demolición Programado vs Ejecutado.....	56
Figura 15 Esquema de perforaciones .....	57
Figura 16 Esquemas de corte Programado vs Ejecutado .....	58
Figura 17 Sección a demoler con excavadora .....	59
Figura 18 Esquemas de izaje Programado vs Ejecutado (Seis secciones) .....	60
Figura 19 Esquemas de demolición Programado vs Ejecutado .....	63
Figura 20 Plano de posición final de los diques fusibles sobre la gola del Rebosadero .....	69

# INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ

---

## INTRODUCCIÓN

Se presenta en este documento toda la información concerniente a la obra desarrollada por la empresa URRÁ SA ESP, denominada "INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ", dentro del marco de los requisitos del Premio Nacional de Ingeniería, versión 2010, la cual ha sido postulada por la Sociedad Cordobesa de Ingenieros.

Esta obra fue construida y finalizada en el año 2009, con el concurso de la Ingeniería Nacional e Internacional constituyéndose en la primera experiencia de esta naturaleza en Centrales Hidráulicas en Latinoamérica, experiencia registrada en revistas técnicas internacionales (Ver Anexo 1).

La obra aquí presentada, es sin duda un gran aporte para la ingeniería nacional, puesto que en ella se conjugan aspectos técnicos novedosos en el país, relacionados con las técnicas de demolición utilizadas, así como el propio sistema utilizado para configurar la elevación del nivel de rebose del vertedero de la central, constituye igualmente un gran aporte para la región; en lo social, dado que se tiene una mayor capacidad de almacenamiento en el embalse de la central y con ello se logra un mejor control de crecientes, lo que a su vez constituye una gran ayuda para el control de las inundaciones causadas por el Río Sinú que anualmente afectan a poblaciones ribereñas, en lo ambiental, al tenerse mayor capacidad de generación se contribuye con la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, por sustitución de generación térmica por generación hidráulica, lo que se enmarca dentro del concepto de producción limpia. A lo anterior se suma la ganancia en materia energética por el incremento del volumen del embalse en 150 millones de metros cúbicos, ganancia establecida en una energía media anual adicional de 122 GWh; equivalente ésta a la operación de una térmica de 20 MW.

Los aspectos ambientales tuvieron un tratamiento especial, desde la concepción del proyecto mismo hasta la ejecución total de obra, siendo el objetivo en este sentido de obtener una obra con impactos irrelevantes o menores, lo cual finalmente se logro gracias al compromiso manifiesto de todo el personal involucrado de una u otra manera en el desarrollo de los trabajos.

Por todo lo anterior consideramos que la obra aquí presentada reúne todos los requisitos para ser merecedores del reconocimiento de la Ingeniería Nacional y en razón de ello, hacemos la descripción de todo el proceso que conllevó concebir el proyecto y hacer realidad la obra.

## 1. LA EMPRESA URRÁ S.A. E.S.P.

El Gobierno Colombiano a través del Concejo de Política Económica y Social, CONPES, definió la construcción del Proyecto Multipropósito URRÁ I como prioritaria en el Plan de Expansión del Sector Eléctrico, para aportar 1.421 GWh anuales de energía media al sistema nacional y múltiples beneficios adicionales a la región Caribe y al país.

Para adelantar este proyecto, el 2 de octubre de 1992 fue creada la Empresa Multipropósito URRÁ S.A., la cual recibió autorización de la Asamblea Extraordinaria de Accionistas para la reforma estatutaria que le permitió convertirse en empresa de servicios públicos a partir del 27 de noviembre de 1997.

URRÁ S.A. E.S.P. es una empresa de servicios públicos mixta, constituida como sociedad anónima, de carácter comercial del orden nacional, sometida al régimen jurídico establecido en las Leyes 142 y 143 de 1994 (Ley de Servicios Públicos Domiciliarios y Ley Eléctrica, respectiva-

mente), y vigilada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios,

La misión de la Empresa es operar y administrar en forma sostenible la Central Hidroeléctrica URRÁ I y comercializar competitivamente la energía eléctrica y su potencia asociada. Sus operaciones son desarrolladas con base en criterios de eficiencia, calidad, idoneidad, confiabilidad, mínimo costo, sostenibilidad ambiental y alto sentido de responsabilidad social.

URRÁ S.A. E.S.P., trabaja para consolidarse como una de las empresas generadoras y comercializadoras de energía, más confiable y eficiente del sector eléctrico colombiano, satisfaciendo oportunamente las necesidades y expectativas de los clientes, adelantando un adecuado manejo ambiental de los recursos naturales y contribuyendo al desarrollo socioeconómico de la región Caribe y el país.



Empresa

URRÁ S.A. E.S.P.

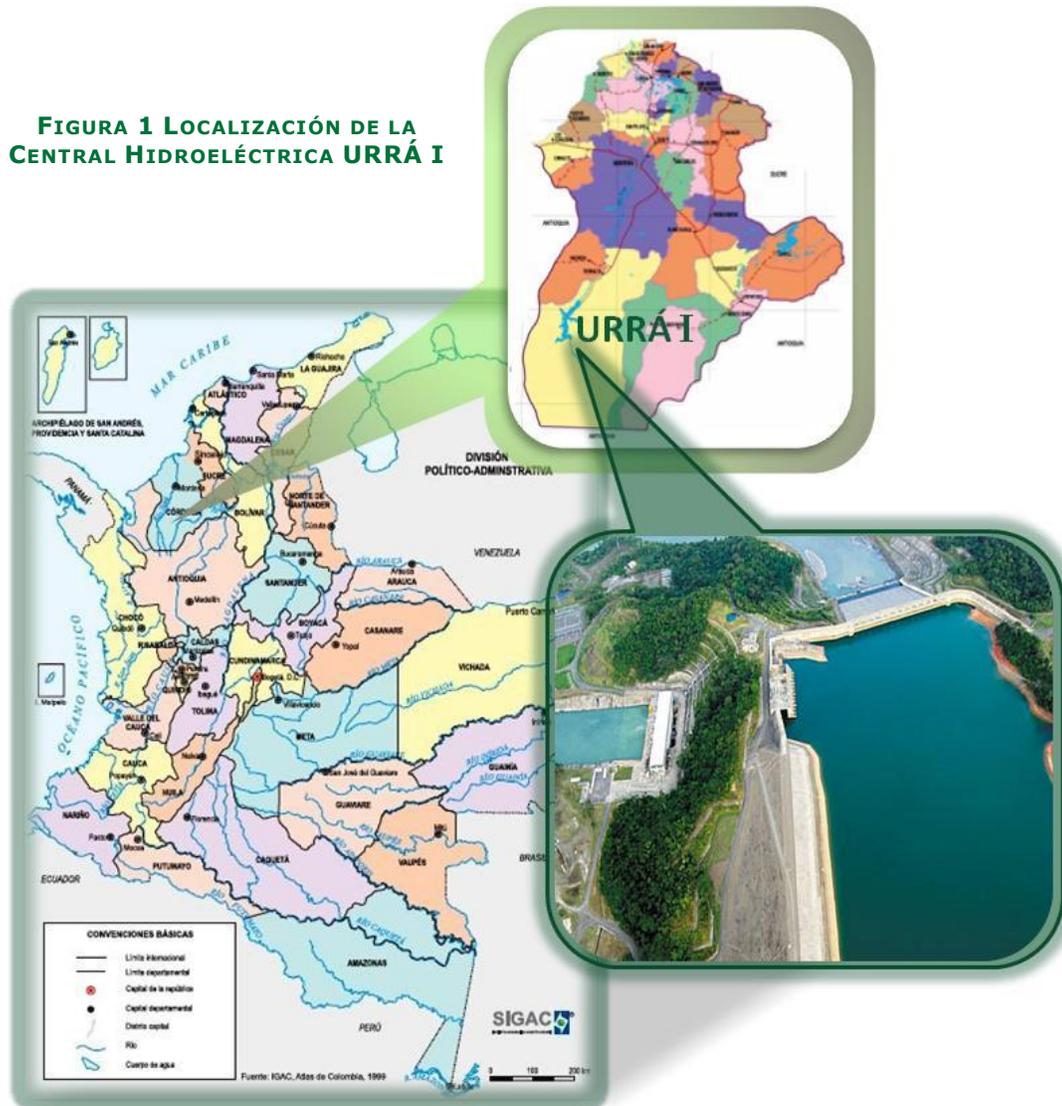
## 2. EL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO URRÁ

La Central Hidroeléctrica URRÁ I, está localizada en el noroccidente Colombiano, sobre el Río Sinú, 30 km al sur del Municipio de Tierralta en el Departamento de Córdoba, su principal fuente de abastecimiento de agua la constituye el Río Sinú y sus afluentes, que nacen en el Parque Natural Nacional de Paramillo, cubierto en su mayor parte por bosque húmedo tropical y con niveles de

precipitación del orden de 3.000 mm/año, factores que contribuyen a mantener un caudal promedio de 342 m<sup>3</sup>/s.

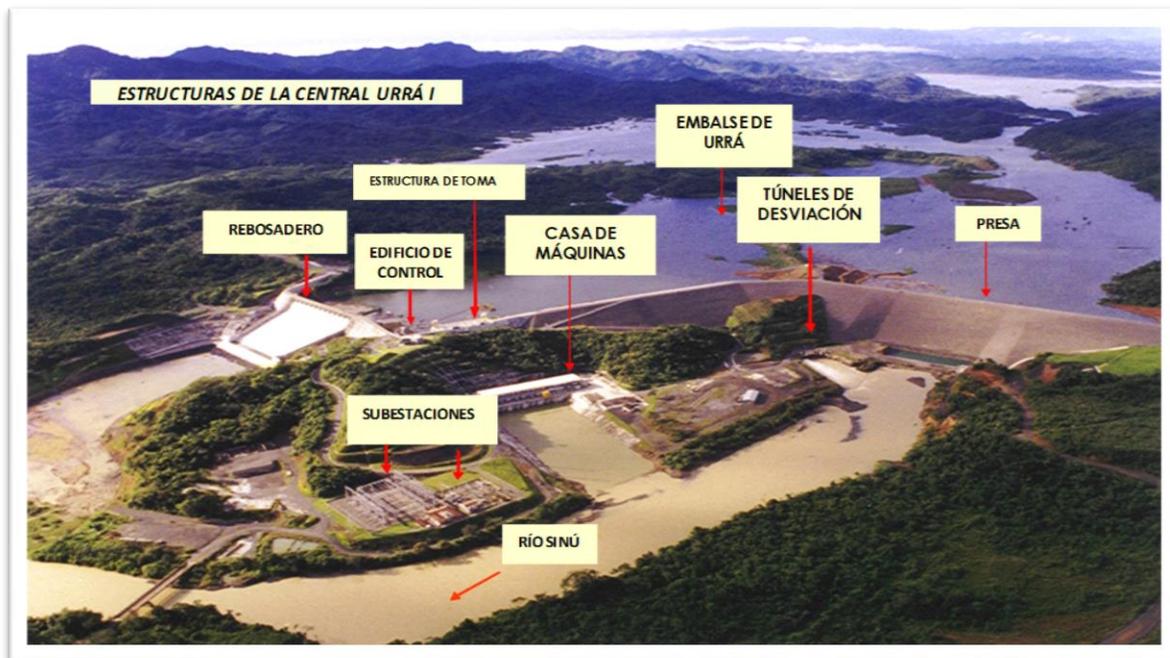
La zona de influencia directa de URRÁ comprende la zona rural del municipio de Tierralta. El embalse tiene una longitud de 45 km y penetrando en el resguardo indígena Embera Katio del Alto Sinú, por los ríos Verde y Sinú, inundando un área a su máxima cota de 417 ha.

**FIGURA 1 LOCALIZACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA URRÁ I**



## 2.1 ASPECTOS TÉCNICOS

FIGURA 2 CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA URRÁ I



La Central Hidroeléctrica URRÁ I tiene una capacidad instalada de 340 MW, con una energía media registrada de 270 GWh-año y embalsa las aguas del río Sinú mediante una presa con un núcleo central impermeable de 73 metros de altura, de gravas arcillosas y con espaldones de gravas arenosas, protegido, el de aguas arriba, por bolsacretos.

✓ **Sistema de Desviación:** Localizado sobre la margen derecha del Río Sinú, consta de un canal de aproximación, dos (2) túneles paralelos de 7,0 m de diámetro y longitud total de 1.183 m. En el Túnel No. 2 se encuentra instalada la descarga de fondo con un sistema de compuertas deslizantes con una capacidad máxima de descarga de 1.108 m<sup>3</sup>/s, con sus correspondientes tablonés de cierre.

✓ **Presa:** Conformada por un terraplén zonificado con núcleo central de gravas arcillosas y espaldones de gravas limpias, tiene una altura de 73 m, terminando en una cresta de 660 m de longitud y 12 m de ancho.

✓ **Dique Auxiliar:** Localizado sobre la margen derecha y contiguo a la presa, posee una altura de 50 m y una longitud de 600 m.

✓ **Estructura de Toma:** Está compuesta por cuatro (4) bocatomas (con un caudal de diseño por cada una de ellas, de 175 m<sup>3</sup>/s), con cuatro (4) compuertas de servicio y una (1) compuerta de guarda.

✓ **Rebosadero:** Localizado sobre la margen derecha del río y con una capacidad máxima de descarga de 9.500 m<sup>3</sup>/s, posee una longitud de 196,4 m con vertedero de ancho variable entre 120 m en la cresta hasta 80 m en la entrada al río.

✓ **Casa de Máquinas:** De tipo superficial, alberga cuatro (4) conjuntos Turbina-Generador, con turbinas tipo Francis de 85 MW por unidad. La Casa de Máquinas tiene una altura de 44 metros de ancho y 130 metros de largo, incluyendo una zona de montaje. La conducción de agua desde el embalse hasta las turbinas se realiza por cuatro (4) Túneles de carga con blindaje de acero, cada uno de los cuales tiene 6,5 metros de diámetro y 215 metros de longitud.

✓ **Características del embalse**

Área a la cota 128,50	74 km <sup>2</sup>
Volumen a la cota 128,50	1.740 mm <sup>3</sup>
Volumen Útil	1.212 Mm <sup>3</sup>
Nivel Mínimo Técnico	107,00 msnm
Nivel Máximo Físico	128,50 msnm
Nivel Mínimo Físico	90,50 msnm

✓ **Equipos Electromecánicos**

La Central tiene cuatro (4) turbinas verticales tipo Francis, con los siguientes parámetros:

Potencia nominal	85.000 KW
Velocidad de rotación de	120 rpm
Caída neta máxima de	56,44 m
Regulador Electrohidráulico	
Caída neta de diseño de	54,41

Caída neta mínima de	33,62
Caudal a Potencia Nominal de	175 m <sup>3</sup> /s
Diámetro del rodete de	4.700 mm

Los Generadores de la Central son de eje vertical, del tipo sombrilla con las siguientes características:

Potencia Nominal	92,7 MVA
Número de fases	3
Voltaje de generación	13,8 KV
Frecuencia Nominal	60 HZ
Número de polos	60
Factor de Potencia	0,9
Velocidad Nominal de rotación	120 rpm
Peso Total	740 Ton

Los Transformadores de Unidad tienen las siguientes características:

Cantidad	4
Capacidad Nominal	105 MVA
Número de fases	3
Voltaje primario	13,8 KV
Voltaje secundario	241,5 KV
Grupo de Conexión	Dyo1
Tipo de enfriamiento	OFAF
Peso Total	150 Ton

## 2.2 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

El Río Sinú nace en el Municipio de Ituango, Departamento de Antioquia en el Nudo de Paramillo, y desciende desde el área de páramo aproximadamente desde la cota 3.700 msnm y desemboca directamente al mar en la zona del delta de Tinajones a través de tres bocas denominadas Mireya, del Medio y Corea, localizadas en jurisdicción del municipio de San Bernardo del Viento.

El área de la cuenca hasta el sitio de presa URRÁ I es de unos 4.600 km<sup>2</sup>, mientras su área total hasta su desembocadura en el mar Caribe es de aproximadamente 13.952 km<sup>2</sup>, con una longitud total del cauce de 438 km desde su nacimiento hasta su desembocadura. Por otro lado, de acuerdo con el sistema de clasificación de Horton es una corriente de orden 7, estimado de acuerdo con un plano en escala 1:100000.

El río presentaba antes de la puesta en marcha de la hidroeléctrica de URRÁ I, según datos de IDEAM entre enero de 1970 y diciembre de 1999, un caudal promedio diario de 397 m<sup>3</sup>/s, con caudales máximos hasta de 858 m<sup>3</sup>/s y mínimos de 29 m<sup>3</sup>/s en la estación de La Doctrina próximo a su delta.

El régimen de lluvias de la cuenca URRÁ I presenta una época de lluvias y una de estiaje o seca. La primera corresponde al período comprendido entre los meses de

Mayo y Noviembre, mientras la segunda corresponde de Diciembre a Abril. Para época de lluvias, con aproximadamente el 67 % del tiempo, ocurre una precipitación que en promedio corresponde a aproximadamente al 87% de la lluvia anual. En el restante 33 % del año ocurra solamente una precipitación promedio del 13% de la lluvia anual. Este hecho hace que tanto la época seca como la de invierno sean bien marcadas o severas para la zona de URRÁ I.

A nivel promedio mensual multianual, según datos de las estaciones que estaban ubicadas en la zona de URRÁ I, el mes con mayor precipitación en 24 horas es Octubre, mientras que el mes que presenta el menor registro de precipitación máxima en 24 horas es Febrero.

En cuanto a la temperatura media de la zona se calcula en 26,5° C, la cual presenta pequeñas variaciones durante el año. En lo referente a temperatura máxima absoluta promedio a nivel anual, se tiene una variación entre 33,9°C y 35,4°C. La temperatura mínimas absolutas promedio a nivel anual multianual oscila entre 16,2 °C en el mes de febrero y 20,0°C en el mes de Septiembre.

En cuanto a la humedad relativa media anual varía entre 83% y 89%. A nivel multianual, durante la época de invierno se presentan los mayores valores de humedad relativa, con un promedio del 85%, mientras que durante la época seca la humedad relativa promedio es del 80%.

## 2.3 OPERACIÓN DEL EMBALSE

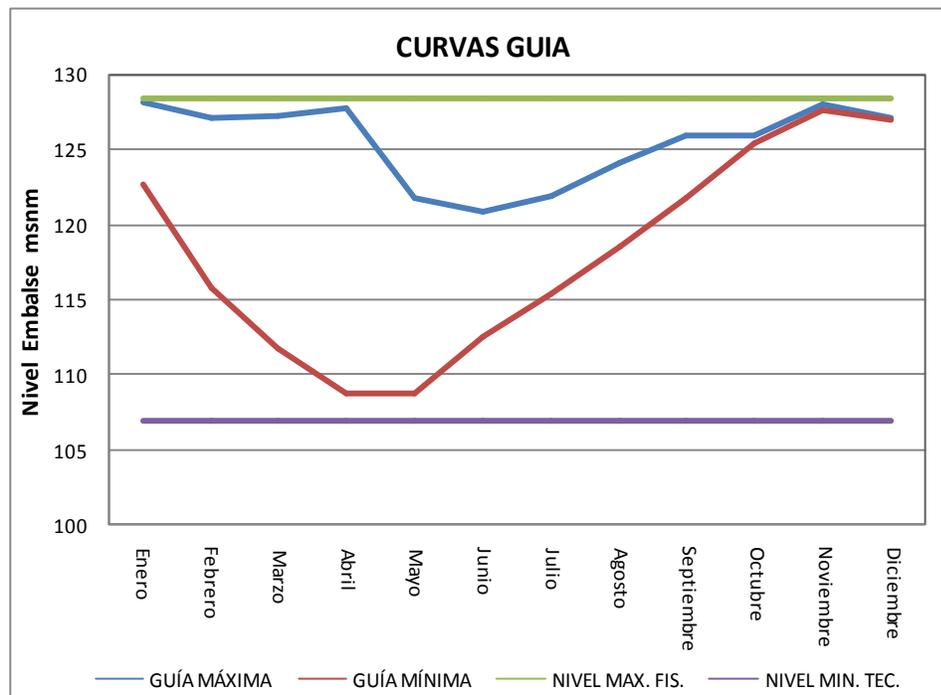
El nivel máximo de operación del embalse de la Central URRÁ I, está limitado por un vertedero de borde libre, sin ningún tipo de compuertas. Cuando el embalse se encuentra lleno hasta el nivel máximo de operación el caudal afluente de crecida se evacua con el aumento del mencionado nivel máximo de operación, también llamado nivel máximo normal. Este nivel corresponde a la cota 128,50 msnm y es la misma que tiene la cresta de la gola (cimacio) que constituye la estructura de control del rebosadero a la entrada del mismo. El rebosadero descarga la crecida del proyecto sin que se comprometa la seguridad de la presa, ni se genere una crecida hacia aguas abajo mayor que la que ocurriría si no estuviera la presa.

Para el diseño del Rebosadero del embalse de URRÁ I, se utilizó el criterio conocido como el de la crecida máxima probable

(CMP) que corresponde a un modelo lluvia-escorrentía con las combinaciones más extremas de condiciones meteorológicas y de parámetros hidrológicos. La CMP no tiene un periodo de recurrencia determinado, pero su caudal pico para el Río Sinú es tres veces mayor que el caudal pico de la creciente de los 10 000 años. Se seleccionó el criterio de la CMP para diseñar el rebosadero de URRÁ I porque es el método moderno a nivel mundial más utilizado cuando aguas abajo del embalse hay poblaciones grandes y el colapso de la sería un evento catastrófico por la pérdida de vidas humanas, vida animal, bienes, cultivos y otros grandes valores materiales y económicos, incluyendo la central hidroeléctrica.

La Central de URRÁ, por ser un embalse Multipropósito, su operación se enmarca dentro de las curvas guías superior e inferior definidas para ello.

FIGURA 3 CURVAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS ANTES DEL PROYECTO



La curva de operación superior actual, contempla un rango por debajo del nivel máximo técnico, para el control de crecientes sobre el valle del Río Sinú aguas abajo de la Central, la curva de operación inferior por su parte desciende hasta alcanzar la cota 107 msnm en la época de verano, considerando las reservas necesarias para cumplir con las restricciones ambientales asociadas con caudales mínimos, equilibrio natural de intercambio de aguas entre el Río Sinú y las ciénagas, crecientes artificiales en el río, calidad del agua en el Río Sinú.

Con base en la hidrología histórica de la zona y las características técnicas de los equipos, se lleva a cabo la operación diaria de la Central URRÁ I, operación que tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- √ Adecuado control de inundaciones aguas abajo de la central; para evitar desbordamientos del Río Sinú aguas debajo de la central URRÁ I se tiene como caudal máximo de descarga al río 700 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a la máxima generación acota máxima de operación.

- √ La descarga mínima de la central es de 75 m<sup>3</sup>/s, está garantizada con la generación de al menos una unidad al 70% de su capacidad.

- √ La descarga por las compuertas de fondo se efectúa en el caso de crecientes extremas aportantes al embalse.

### **2.3.1 RESTRICCIONES AMBIENTALES EN LA OPERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA URRÁ I**

Dentro de las obligaciones de la licencia ambiental (Resolución No 0838 del 5 de octubre de 1999) para el llenado y operación del complejo URRÁ, y obligaciones emanadas de la HCC

mediante Sentencia T-652/98, existen algunas que tienen incidencia directa en la operación de la central:

- √ Garantizar en todo momento una descarga mínima de 75 m<sup>3</sup>/s que permita la descarga por la estructura de carga de las turbinas

- √ Garantizar el intercambio de agua río-ciénagas simulando las curvas históricas de caudales naturales del río

- √ Crear crecientes artificiales para asegurar el estímulo gonadal de las especies ícticas, simulando las curvas de caudales naturales históricos que se han registrado para el río

- √ Diseñar e implementar programas encaminados a compensar los impactos sobre las tortugas de río

- √ Monitoreo en la zona deltaico estuarina del Río Sinú, encaminado a determinar los posibles impactos que la operación de la Central esté causando en tan importante ecosistema.

- √ Adelantar estudios para determinar la incidencia de la operación de la central en los procesos erosivos del Río Sinú.

### **2.3.2 CONTROL DE INUNDACIONES REALIZADO POR LA OPERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA URRÁ I**

El valle del Río Sinú en su cuenca media y baja históricamente se ha encontrado sometido a los continuos desbordamientos de esta corriente de agua, con las consecuentes pérdidas que se derivan de la ocurrencia de tales fenómenos en un área con un importante aprovechamiento agrícola y ganadero. Solamente en el año de 1988, con la creciente ocurrida durante

ese año, las pérdidas materiales ascendieron a la suma de 25 mil millones de pesos (Comité Regional de Emergencia, 1990).

La Central Hidroeléctrica URRÁ I, si bien tiene una capacidad limitada de almacenamiento, ha permitido controlar en un gran porcentaje las inundaciones que recurrentemente se venían presentando en el valle del río Sinú antes de construcción de la presa. La situación vivida en los años 2007 y 2008, en los cuales debido a la alta hidrología se superó la capacidad de almacenamiento del embalse, hubiese sido mucho peor si no hubiese estado operando la hidroeléctrica.

El control de crecientes en URRÁ I por debajo del nivel máximo normal del embalse se lleva a cabo permitiendo volúmenes de espera en el embalse, de tal manera que cuando llega una creciente al embalse ésta se puede manejar descargando por las turbinas hasta un máximo de 700 m<sup>3</sup>/s, mientras en el embalse se almacena el remanente de la creciente (en caso de que la creciente tenga caudales mayores a este valor), haciendo que el nivel del agua apenas llegue al nivel máximo normal, de tal manera que no hay reboses de agua o en casos excepcionales, rebosen caudales limitados; de esta manera se controlan las crecientes restringiéndolas a un pico máximo de los 700 m<sup>3</sup>/s, y en casos excepcionales cuando el vertedero opera, en valores algo mayores. Es claro que los volúmenes de espera en épocas de invierno deben ser mayores a los de verano por la mayor probabilidad de que se presenten crecientes grandes.

Como se mencionó anteriormente, existen eventos excepcionales de creciente, como los ocurridos en los años 2007 y 2008, en

los cuales es tal la magnitud de éstas, que aún operando la central hidroeléctrica a máxima capacidad con las cuatro (4) unidades de generación a plena carga, descargando un total de 700 m<sup>3</sup>/s, se copa el volumen de espera, y hay que dejar que ocurran reboses por el rebosadero. En todo caso, la regla de operación en este caso cuando comienzan a ocurrir reboses por esta estructura, con el fin de causar el mínimo de inundaciones hacia aguas abajo sobre el valle del Río Sinú, es ir disminuyendo el caudal de salida de las máquinas o apagando éstas para preservar el caudal hacia aguas abajo en un valor máximo de 700 m<sup>3</sup>/s, como la suma de lo que sale por el Rebosadero y Casa de Máquinas. Puede llegar el momento, como ocurrió en el año 2007, que con todas las máquinas apagadas (sacrificando URRÁ S.A., E.S.P., generación de energía en aras del control de crecientes hacia aguas abajo) por el rebosadero se exceda este caudal de 700 m<sup>3</sup>/s.



Ahora bien, definiendo una creciente entrante al embalse de URRÁ I como aquella que tiene un caudal promedio diario igual o superior a 700 m<sup>3</sup>/s, que corresponde con el máximo caudal evacuado por turbinas de la central, en diez (10) años de operación de la hidroeléctrica se han controlado 170 crecientes de este tipo, con un promedio por año igual a 17 y un máximo anual

para el año 2007 igual a 41. La creciente más alta se presentó en julio 27 de 2003, con un caudal promedio diario de  $1.844 \text{ m}^3/\text{s}$  y un pico de  $3.263 \text{ m}^3/\text{s}$ , no descargándose desde el embalse al Río Sinú más de  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  durante ese evento. Es indudable la gran capacidad que tiene este embalse para ejercer un control de crecientes adecuado.

No obstante lo anterior, debe anotarse que han existido eventos históricos en

donde ha habido un incremento significativo de caudales hacia aguas abajo de la Central, debido a los caudales de creciente de quebradas que le entran libremente al Río Sinú aguas arriba de Montería, los cuales se unen a los caudales máximos de salida de URRÁ I; sin embargo, es claro que la operación de la hidroeléctrica no puede hacer nada al respecto, especialmente si se está en invierno y al embalse se encuentra entrando una creciente de importancia.



### 3. CONCEPCIÓN DEL PROYECTO INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE URRÁ

Desde los inicios de la operación de la central Hidráulica URRÁ, a principios del año 2000, se empezó a indagar de qué manera se podría incrementar la capacidad de almacenamiento del embalse sin comprometer la seguridad estructural y operacional del complejo, sin tener implicaciones en el proyecto URRÁ II, hoy denominado Río Sinú ubicado aguas arriba de URRÁ I, pero aún mas importante sin sobrepasar la cota máxima 132 msnm, cota esta de seguridad alrededor del embalse, la cual fue licenciada por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, y sobre la cual están los colonos residentes en este entorno y los indígenas Embera Katios, en las colas del embalse, donde estas penetran en el resguardo a través de los Ríos Sinú y Verde.

El proyecto URRÁ, en sus inicios fue concebido como la segunda hidroeléctrica del Alto Sinú, dispuesta en serie con URRÁ II, la cual está ubicada aguas arriba dentro del gran Proyecto. La operación conjunta garantizaba el control total de las crecientes provenientes de la cuenca aportante, que representan más del 95% del caudal que transita por la angostura de URRÁ, sitio donde se encuentra la Central URRÁ I. Cuando se decide construir solo URRÁ I, aún con las anteriores consideraciones, éste fue concebido como Multipropósito, energía y control de inundaciones pero de manera parcial por el volumen del embalse.

En el año 2007 se consolidó esta idea y se da inició a la gestión ante el Ministerio del Medio Ambiente, evidenciándose la necesidad del Proyecto con la inundación del año 2007.

Por política de Responsabilidad Social Empresarial, la operación de la central, contempla la directiva de no descargar a voluntad más de 700 m<sup>3</sup>/s, por generación, vertedero y descarga de fondo, caudal este que es el máximo que no presenta problemas de desborde aguas abajo. Expresado de otra forma:

$$Q_s = Q_t + Q_v + Q_{df} \leq 700 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

**Q<sub>s</sub>** = Caudal de salida del complejo Hidráulico

**Q<sub>t</sub>** = Caudal Turbinado

**Q<sub>df</sub>** = Caudal por la descarga de fondo

Bajo el evento de una alta hidrología afluente al embalse, como la del año 2007, la capacidad de almacenamiento del embalse se vio copada y el vertedero empezó a rebosar activándose la directiva de la siguiente manera: en la medida que el caudal del vertedero se incrementa, por ejemplo, sí se está generando con las cuatro unidades secuencialmente, se van sacando de operación las unidades de generación de tal manera que se mantenga el tope del caudal máximo, al punto que la central queda toda apagada y el caudal que se evacua del complejo sale por el vertedero sin control. Esta situación, aunada a la alta precipitación en el medio y bajo Sinú ocasionó serios problemas por las inundaciones.

La condición de rebose con caudales por encima de los 700 m<sup>3</sup>/s que implicó tener que apagar la planta, de común acuerdo con las reglas de operación llevó a la Empresa a concretar la idea del aumento de la capacidad del embalse, para lo cual se investigó en el mercado internacional una solución viable técnica y financieramente, planteándose:

- ✓ Incremento de la cota del vertedero mediante hormigón
- ✓ Compuertas
- ✓ Rubber Dam
- ✓ Diques fusibles o Compuertas fusibles

Estudiada la oferta tecnológica se visualizó la viabilidad técnica, descartándose de plano el incremento de la cota del vertedero mediante hormigón por la implicación que tenía al sobrepasar la cota cota 132 msnm bajo crecientes extremas.

Para el caso de las compuertas presentaba altos costos iniciales y mantenimiento, pues implicaba la construcción e instalación de 13 compuertas de 14 m de longitud con una altura de 2,0 m, adicionalmente las implicaciones operacionales y riesgos aguas abajo por fallas como ha ocurrido en otros proyectos.

Las alternativas opcionadas que podrían cumplir los requerimientos hidráulicos y de control de la cota 132 msnm fueron: los diques fusibles y los Rubber Dam.

Al mismo tiempo se plantea la solución financiera, de cómo recuperar el capital de la inversión y hacer más atractiva esta. De hecho no permitir que rebose agua, son ingresos que no deja de percibir la empresa pero al mismo tiempo, aumentar la capacidad del embalse lo cual se logra subiendo la cota de la cresta del vertedero, implicaba una condición favorable para las unidades de generación, al operar con cabeza más alta.

Se estiman de antemano dos grandes beneficios:

- ✓ Incremento en la generación.
- ✓ Mejoramiento en el control de inundaciones.

Estos aspectos definieron el inicio de un estudio más detallado, pasándose a una etapa de factibilidad.

## 4. FACTIBILIDAD

De acuerdo a las investigaciones en el mercado de los Diques Fusibles y de los Rubber Dam, se realizó el siguiente estudio:

**TABLA 1 COMPARATIVO SISTEMAS DE REALCE**

CONCEPTO	DIQUES FUSIBLES	RUBERDAM
SEGURIDAD	* POR SER EN MATERIAL DE ACERO SON MENOS VULNERABLES FRENTE A ACTOS VANDÁLICOS. - * MÍNIMO RIESGO DE DAÑOS DURANTE REBOSE	* ALTAMENTE SUCEPTIBLES A SER DAÑADOS POR ACTOS VANDÁLICOS. * ALTO RIESGO DE DAÑO EN CASO DE REBOSE. * POTENCIALES GRAVES PROBLEMAS AGUAS ABAJO. IMPLICACIONES ECONÓMICAS.
DURABILIDAD	ALTA DURABILIDAD	BAJA DURABILIDAD, SUCEPTIBLE A DETERIORO POR CONDICIONES AMBIENTALES
PRECIO	* INVERSIÓN INICIAL: MENOS COSTOSOS. - * OM: BAJO COSTO	* INVERSIÓN INICIAL: MÁS COSTOSOS * OM: ALTO COSTO
OPERACIÓN	* PROPIA DEPENDIENDO DE CONDICIONES DEL CAUDAL DE DESCARGA. * SIN INTERVENCIÓN HUMANA. PÉRDIDA DE MÓDULOS EN CRECIENTES EXTREMAS	* REQUIERE DE ALTO GRADO DE AUTOMATISMO * DEPENDENCIA DE FUENTE DE ENERGÍA * NO SE DA PÉRDIDA DEL RUBBER DAM POR CRECIENTE EXTREMA
TIEMPO DE SUMINISTRO	DENTRO DEL DESARROLLO DE LA OBRA	DOS AÑOS PARA INICIO DE FABRICACIÓN
ALTURA LAMINA DE DESCARGA	PARA VERTEDERO ORIGINAL Y MODIFICADO PRACTICAMENTE IGUAL. Hdescarga PARA EL MISMO Qdescarga	MAYOR CABEZA DE DESCARGA PARA EL MISMO Q EN EL VERTEDERO ORIGINAL. (SE DISMINUYE EL AREA DE VERTIMIENTO, POR FORMACIÓN DE CATENARIA) SUPERANDO LA COTA 132,00 msnm
ESTABILIDAD DURANTE VERTIDO	ESTABILIDAD A SEGURADA	PRESENTA VIBRACION, IMPLICACIONES EN LA INTEGRALIDAD DEL RUBER DAM
PATENTE	AUTORIZACIÓN PARA CONTRUCCIÓN DE MÓDULOS DE REPOSICIÓN	COMPRA AL PROVEEDOR
AFECCIÓN VERTEDERO	SE REQUIERE DE DEMOLICIÓN	MÍNIMA DEMOLICIÓN

Ambas alternativas cumplen con el objeto de almacenar agua pero se escoge la alternativa de los diques fusibles en esencia, por los aspectos de seguridad y por el funcionamiento bajo crecientes extremas, al no sobrepasar la cota 132 msnm para el mismo caudal con el vertedero original.

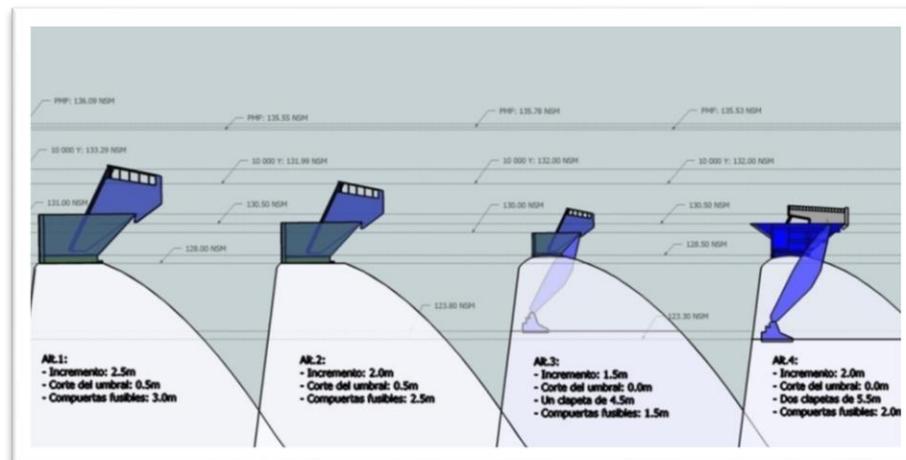
Dentro de la alternativa de la tecnología de compuertas fusibles, se estudió conjuntamente con la firma Hydroplus (En el Anexo 2, se presenta el listado de obras similares realizadas por esta Empresa Francesa), sub-alternativas con el fin de determinar la altura óptima que elevaría la cresta del vertedero, teniendo en cuenta e integrando variable costo,

ambiental, seguridad y beneficios en la generación.

Entre estas alternativas se destacan cuatro, las cuales fueron diseñadas con unas compuertas que permanezcan en sitio hasta las crecientes de un periodo de retorno de los 100 años, y tomando apertura secuencial de la pantalla de compuertas para ofrecer una restitución secuencial de las crecientes con un aumento progresivo de la capacidad de descarga.

Todas las alternativas respetan la evacuación de la creciente de proyecto para un nivel igual o inferior alcanzado con el vertedero actual.

**FIGURA 4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS HYDROPLUS**



La alternativa 1 (compuertas fusibles 3,0 m recrecimiento de 2,5m) presentaba el interés de aumentar de manera importante el volumen de almacenamiento de la presa hasta 190 millones de  $m^3$ , ofreciendo mayor cabeza en las turbinas de la Central Hidroeléctrica, pero presentaba dos incidencias negativas:

Necesidad de recorte del umbral del vertedero de los 13 vanos, interfiriendo con los hierros de refuerzos de superficie del concreto y necesidad de plataforma.

El nivel que se alcanzaba para la creciente de los 10 000 años era superior a la cota requerida de 132 m.

La alternativa 2 (compuertas fusibles 2,5 m recrecimiento de 2,0 m) fue diseñada para cumplir con el requerimiento de laminación de crecida de periodo de retorno de 10 000 años. Esta solución permitía almacenar 150 millones de  $m^3$  pero seguía requiriendo demolición del umbral del vertedero en los 13 vanos.

La alternativa 3 (compuertas fusibles 1,5 m + una compuerta de tipo clapeta de 4,5 m \* 12 m recrecimiento de 1,5 m) fue diseñada para reducir el impacto de demolición de concreto, fue propuesta con un sistema mixto de compuertas fusibles y

de una compuerta de tipo clapeta. Este tipo de diseño fue inicialmente propuesto con un aumento de capacidad reducido de 90 millones de  $m^3$  para cumplir con los datos de partida, pero este aumento limita la capacidad de almacenamiento y no era atractivo, desde el punto de vista financiero y técnico.

La alternativa 4 (compuertas fusibles 2,0 m + dos compuerta de tipo clapeta de 5,5 m \* 12 m recrecimiento de 2,0 m) fue diseñada como optimización de todos los parámetros de diseño para aumentar la capacidad de almacenamiento de 150 millones de  $m^3$  y laminando la creciente de periodo de retorno de los 10 000 años por la cota 132 m.

Para esta alternativa 4, se contempla la necesidad de usar compuertas fusibles con alta capacidad de vertimiento de una forma innovadora que fueron probadas en modelo reducido en el laboratorio hidráulico de Hydroplus.

Con esta alternativa implicaba una demolición de unos 1.050  $m^3$  de concreto en los vanos externos donde se planteo la localización de las clapetas.

Por las consideraciones anteriores, fue escogida la alternativa No 4.

## 4.1 ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO DE AMPLIACIÓN DEL EMBALSE URRÁ I

Para determinar la factibilidad del proyecto se efectuaron las proyecciones necesarias con el fin de determinar indicadores como la Tasa Interna de Retorno, Periodo de Recuperación y Costo/Beneficio. Dentro de las consideraciones más importantes se destacan:

✓ Horizonte de Evaluación 2008-2018. Periodo de Estudio 11 años.

✓ Se determino los Ingresos Adicionales Netos a obtener con el proyecto, los cuales resultan de la diferencia entre la generación estimada con realce y sin realce del embalse. Las proyecciones de la Generación de Energía se basa en comportamientos de hidrologías de años anteriores y los precios de bolsa.

✓ Dentro de los costos asociados al proyecto se encuentra los costos ejecutados en los años 2008 y 2009 y los gastos estimados para el 2010, prima de seguros, mantenimiento cada cinco años.

Los indicadores de evaluación económica para el proyecto muestran que:

INDICADORES EVALUACION ECONOMICA FLUJO DE FONDOS	
TMAR	14.35%
TIR	18.83%
VPN 2008 (Millones de Pesos)	\$ 5,511.86
PRI	AÑO 7
COSTO BENEFICIO	1.15

*La Tasa Interna de Retorno TIR (18,83%) supera la Tasa mínima aceptada por el Inversionista (14,35%) en 4,48 puntos porcentuales.*

*El valor Presente Neto resulta superior a cero lo que confirma la viabilidad del proyecto.*

*La recuperación de la Inversión se gestaría a partir del año siete 0 2014. A partir de este año el flujo de fondos acumulado resulta positivo.*

*Por último la relación Costo/Beneficio muestra que por cada \$1 de gasto se obtendría \$1,15 para cumplir las obligaciones.*

En general, se concluye de acuerdo a los resultados del análisis financiero y los indicadores de evaluación económica que el proyecto de ampliación del embalse se considera viable. La Tasa Interna de Retorno TIR se considera atractiva en comparación con otras del mercado (DTF 3,84% E.A) y superior al costo de capital. Por su parte, el gasto de inversión que a 2010 asciende a de \$17.803 Millones de Pesos se recuperaría a partir del año 2014.

## 4.2 VIABILIDAD AMBIENTAL DEL PROYECTO

Dado que lo que se pretende es la modificación de una estructura existente que hace parte del complejo hidroeléctrico URRÁ, con la consecuente presunción de la modificación de la operación de la central se estudiaron los posibles impactos ambientales.

El estudio que se desarrolló, mostró que no había ningún impacto ambiental relevante, y lo más importante, aspecto este que se usó como premisa para elegir la alternativa correspondiente, la cota 132 no se superaba bajo el evento de una creciente extraordinaria. Esta cota la cual ya fue licenciada en la resolución 838 de 1999, es la máxima permitida que se puede alcanzar en el embalse.

Lo que se demostró, es que con la nueva cota de rebose, impuesta por la alternativa escogida al elevarla de la 128,50 a la 130,50 msnm, se mantiene como máxima la cota 132,00 msnm. El estudio concluyó a la luz de la normatividad existente que no se requiere de modificación de licencia.

URRÁ elevó solicitud de concepto al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) sobre si se requería modificación de la Licencia Ambiental, mediante oficio del 4 de octubre de 2007, que incluyó como anexo el documento "Implicaciones ambientales por el incremento del volumen del embalse URRÁ I", el cual se muestra en el Volumen 2.

Dentro del proceso de la gestión ambiental para el proyecto se realizó visita al embalse por parte de la Dirección de Etnias del Ministerio del Interior y de Justicia, con el objeto de verificar la presencia de mejoras y viviendas de indígenas Embera Katios por debajo de la cota 132 msnm.

La respuesta de la oficina de Etnias se muestra en el anexo del Volumen 2, donde se evidencia que para el proyecto no aplica una nueva consulta previa, que era la preocupación inicial del MAVDT.

Finalmente el MAVDT, mediante oficio del 16 de mayo de 2008, se pronuncia favorablemente así: "Teniendo en cuenta que las actividades relacionadas, no implican variación de las condiciones existentes, ni en el uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales autorizado al momento de otorgar la licencia ambiental, no se hace necesaria su aprobación".

Otro aspecto relevante fue el resultado de un censo que se realizó en la faja perimetral del embalse, cuya longitud es de unos 250 kilómetros, dando como resultado que se encontraban mejoras y viviendas por debajo de la cota 132 msnm. Este censo se muestra en el documento enviado al MAVDT referenciado anteriormente.

## 4.3 BENEFICIOS DE LA OBRA

Básicamente con la obra en operación se esperan dos grandes beneficios:

### 4.3.1 AUMENTO GENERACIÓN ENERGÍA

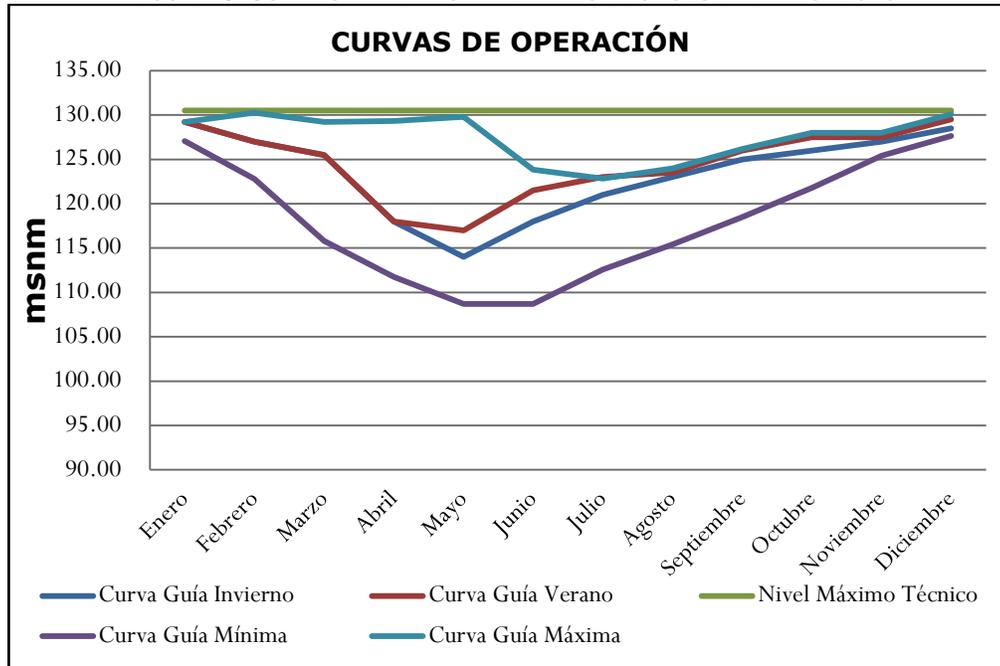
Para la generación de energía se espera un incremento estimado de la generación anual de 122 GWh-año.

La ganancia que obtendría la empresa URRÁ se vería reflejada en la diferencia de energía que se tendría entre la curva de operación actual y la nueva curva de operación del embalse.

Con el fin de maximizar la generación de la Central se analizaron dos curvas para la operación de la Central con el fin de

garantizar un control adecuado a las inundaciones aguas abajo de la Central, una curva guía de operación para cuando el año manifieste una hidrología por abajo de los promedios históricos denominada Curva de Operación años secos y una curva guía de operación para cuando el año manifieste una hidrología por encima de los promedios históricos denominada Curva operación años húmedos, lo anterior con el fin de garantizar el control de crecientes aguas abajo de la Central.

FIGURA 5 CURVAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DESPUÉS DEL PROYECTO



Siguiendo el criterio descrito anteriormente, se simularon las operaciones de los años 2001 al 2009 y se catalogó a la hidrología del año 2007 como húmeda, ya que esta hidrología estuvo un 9% por encima de la media histórica y a las

hidrologías restantes como secas o muy próximas a la media histórica.

Los resultados de esta simulación se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2 Simulación Operación 2001 – 2009**

AÑO	Operación Real				Ampliación Embalse		Diferencia
	Aportes Promedio (m3/s)	Descargas Promedio (m3/s)	Generación (GWh)	Mm3/GWh	Mm3/GWh	Generación (GWh)	Generación (GWh)
2001	324.53	322.94	1,204.07	7.41	7.37	1,375.59	171.52
2002	324.58	326.96	1,314.55	8.46	7.54	1,345.81	31.26
2003	354.92	354.63	1,332.27	8.37	7.44	1,489.16	156.89
2004	284.44	285.12	1,045.22	8.62	7.34	1,210.94	165.72
2005	334.88	333.72	1,253.95	8.32	7.41	1,411.25	157.30
2006	337.05	337.06	1,299.62	8.18	7.54	1,398.23	98.61
2007	389.00	356.68	1,466.60	7.12	7.79	1,560.53	93.93
2008	348.73	352.58	1,357.21	8.22	7.47	1,458.29	101.08
2009	339.34	337.43	1,160.91	9.16	7.46	1,420.17	259.26

La ganancia promedio de energía fue de 122 GWh-año, así: 44 GWh-año en el verano y 78 GWh-año en el invierno. El aumento del nivel del embalse nos permite almacenar dos metros de agua al finalizar el año y aprovechar esa energía y venderla el verano siguiente en donde los precios de bolsa por lo general son mejores y así obtener unos mejores ingresos. En los ingresos detallados por año se logra ver el beneficio de la venta de energía tanto de verano como de invierno.

Para el cálculo de la generación promedio se excluyo la generación del año 2009 por ser atípica, por la construcción y montaje de las Clapetas que requirió que la operación se realizara con niveles bajo con el fin de garantizar la ejecución de los trabajos.

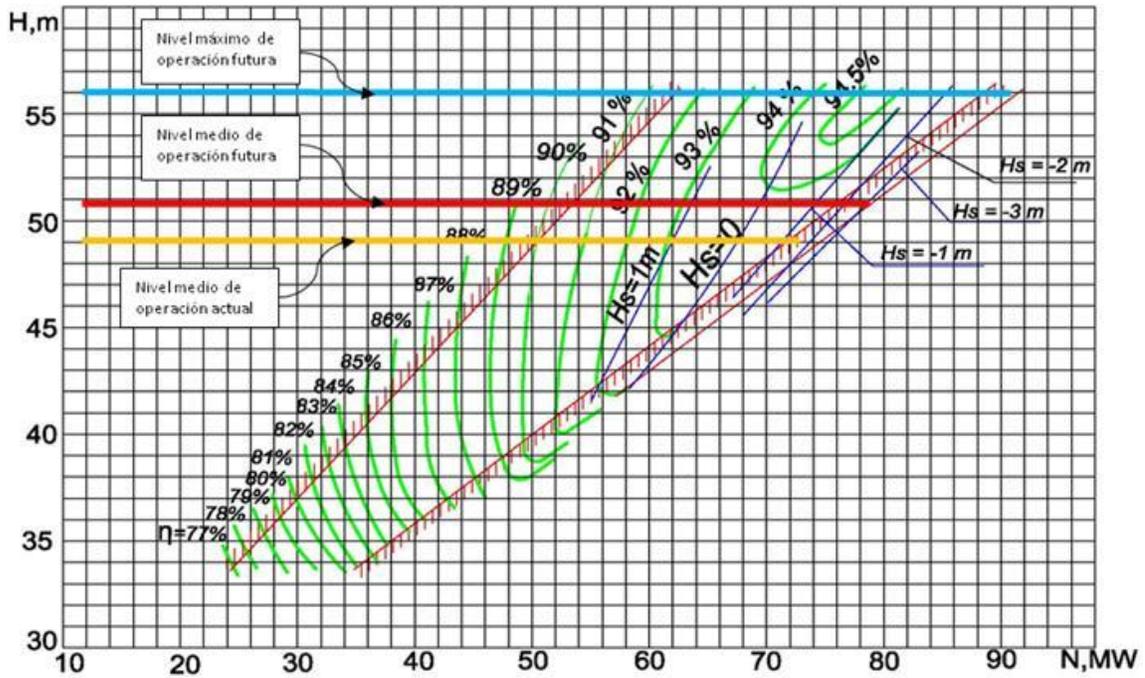
La energía promedio adicional que se obtiene por la elevación del embalse, aprovechando la mejor eficiencia de las Turbinas es equivalente a construir una planta hidráulica de 29 MW o una planta

Térmica de 20 MW ya que con el aumento del nivel hasta los 130,50 msnm se logra elevar en al menos dos metros el punto medio de operación lo cual representa un incremento solo por ganancia de altura, del 4% en el factor de conversión de la planta, además se logra operar la turbina en un punto de mejor eficiencia (ganancia adicional de 0,5% a 1% en eficiencia), con su correspondiente incremento en la generación media de la Central.

En la curva de eficiencia se identifican los niveles medios y máximos de operación tanto en condiciones actuales como en condiciones futuras.

Se contempla también el diseño de una nueva curva de operación óptima, que respetando las restricciones ambientales y de control de inundaciones nos permita incrementar la generación de la Central.

**FIGURA 6 CURVAS DE LA EFICIENCIA DE LA TURBINA**



A la ganancia de generación y Energía Firme se suma una mayor oferta del servicio de regulación secundaria de frecuencia - AGC, teniéndose un incremento en el despacho horario por este concepto de 10 MW.

La cantidad de CO<sub>2</sub> por KWh de energía eléctrica que genera una central térmica, depende del tipo de combustible y la

tecnología utilizada; en la tabla siguiente se muestra esta relación, partiendo de las mejores eficiencias que se alcanzan hoy día.

Para una energía media anual adicional de 122 GWh-año, tenemos:

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (Kg/KWh)	CO <sub>2</sub> (Ton- año)
<b>GAS NATURAL</b>	0,44	53.680,00
<b>FUEL OIL</b>	0,71	86.620,00
<b>BIOMASA</b>	0,82	100.040,00
<b>CARBÓN</b>	1,45	176.900,00
<b>GAS CICLO COMBINADO</b>	0,35	42.700,00

Teniendo en cuenta que no genera impactos relevantes y por las estimaciones efectuadas, podemos concluir que con esta obra, una vez entre en operación se evita la emisión anual de 176.900 toneladas de CO<sub>2</sub> si esta energía se generara en una planta de Carbón convencional o en el mejor de los casos (Gas - Ciclo combinado), se estaría emitiendo un total de 42.700 Toneladas de CO<sub>2</sub>.

La anterior hace que este proyecto califique para emitir CERs (bonos de carbono a las Reducciones Certificadas de Emisiones de Gases Efecto Invernadero o CERs). La Empresa se encuentra desarrollando las gestiones para acceder a estos bonos.

### 4.3.2 CONTROL DE INUNDACIONES

Con los 150 millones de m<sup>3</sup> adicionales, se estima una mejor regulación del embalse

para obtener un mejoramiento en el control de las crecientes aportantes, y las descargas aguas abajo de la central.

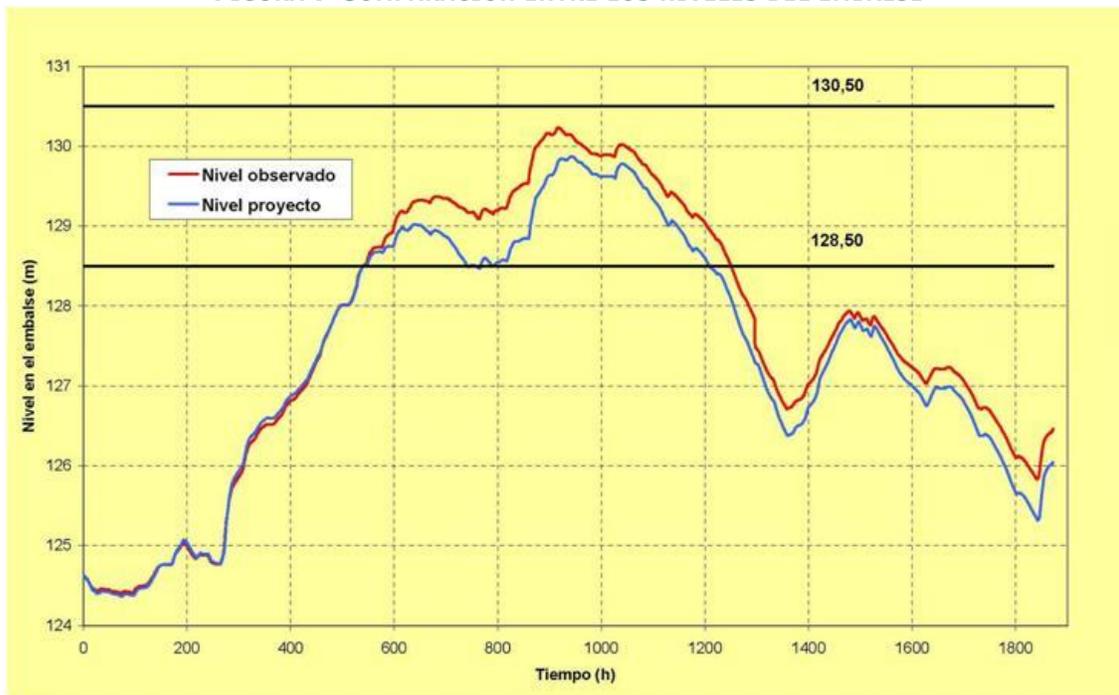
Para conocer las bondades en el manejo del control de inundaciones que se tendría con el incremento del nivel del rebosadero se analizó la creciente del año 2007 y se realizó una proyección en el caso de que se tuviera el proyecto del recrecimiento y este resultado se compara con la creciente real.

Las características de la creciente real fueron:

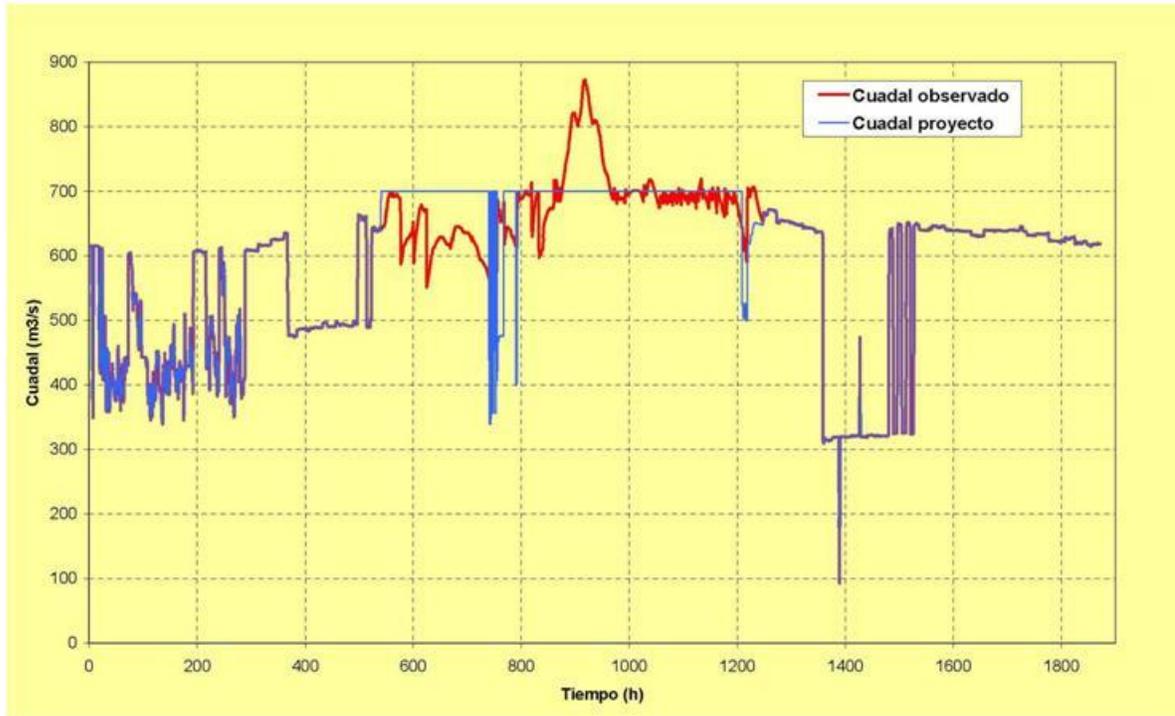
- ✓ Caudal máximo: 2.087 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Tiempo del evento: 78 días
- ✓ Múltiples picos
- ✓ Nivel inicial antes de la creciente: 124,63 msnm
- ✓ Condiciones de operación de las turbinas:  
Q<sub>a.ab.</sub> < 700m<sup>3</sup>/s

Los puntos de comparación que se tuvieron en cuenta para el análisis son:

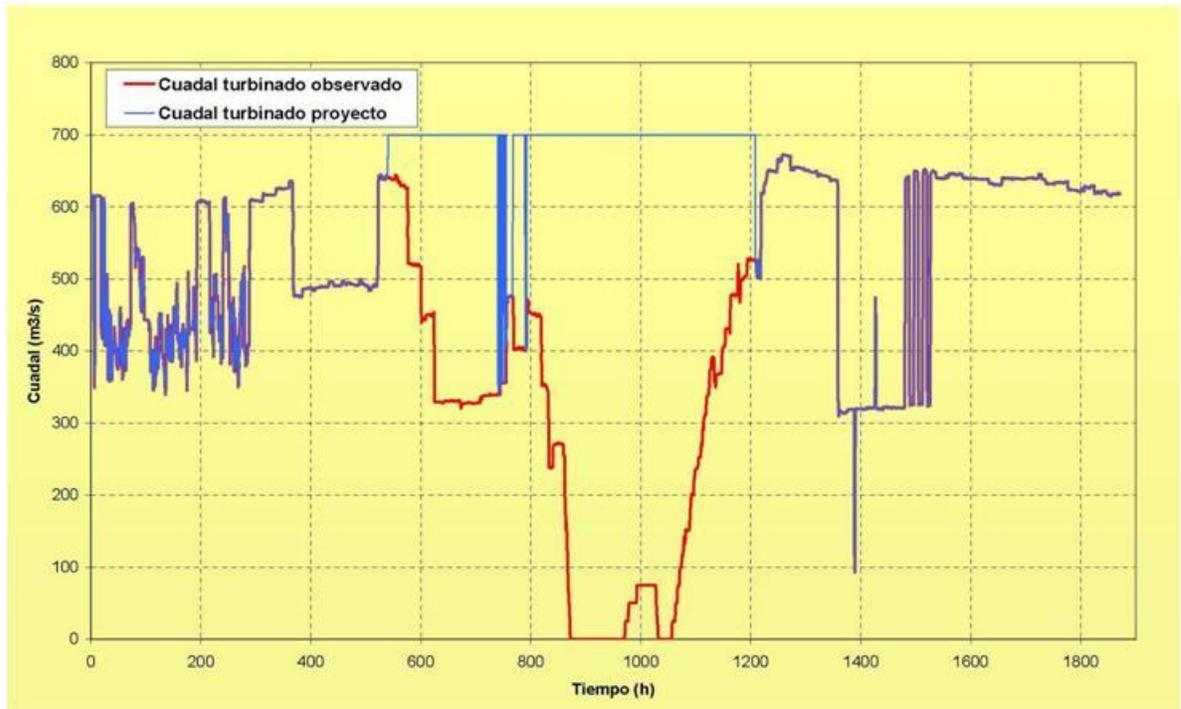
**FIGURA 7 COMPARACIÓN ENTRE LOS NIVELES DEL EMBALSE**



**FIGURA 8 COMPARACIÓN ENTRE LOS CAUDALES DESCARGADOS AGUA ABAJO**



**FIGURA 9 COMPARACIÓN ENTRE LAS PRODUCCIONES HIDROELÉCTRICAS**



Con lo anterior, se resumen las conclusiones del análisis en la siguiente tabla:

**TABLA 3 ANÁLISIS CRECIENTE JULIO 2007**

	<b>Situación creciente junio 2007</b>	<b>Plan de realce</b>	<b>Beneficios del plan de realce</b>
Nivel máximo en el embalse (m.s.n.m)	130,23	129,87	Superficie inundada aguas arriba inferior
Número de días con el nivel superior a los 128,5 m.s.n.m	30	28	Menos días de inundación en la franja de oscilación autorizada
Caudal descargado aguas abajo (m <sup>3</sup> /s)	873 descargando por el rebose	700 descargado por las turbinas	Mejor regulación de los caudales descargados
Número de días con un caudal descargado > 700 m <sup>3</sup> /s	4	0	Menores impactos de las crecientes aguas abajo
Volumen total turbinado (M m <sup>3</sup> )	2 994	3 990	Mayor producción de energía hidroeléctrica

## 5. EL PROYECTO

### 5.1 DIQUES FUSIBLES Y CLAPETAS

Una vez concluidos los estudios pertinentes en cuanto a factibilidad técnica y financiera, se definieron las necesidades específicas para el proyecto de Aumento de la Capacidad del Embalse URRÁ I.

La empresa URRÁ definió con la empresa Francesa Hydroplus, las características de los equipos necesarios para la Central URRÁ I, teniendo en consideración que para cada caso, dependiendo de las condiciones de hidrología y dimensionamientos del rebosadero, de la misma manera varían las características de los equipos a instalar.

La firma Hydroplus adelantó la ingeniería detallada, la fabricación, suministro y la correspondiente instalación de 22 compuertas fusibles de 2,00 m de altura y de 7 m de longitud y de 2 válvulas de tipo clapeta de 5,5 m de altura. Para afinar el diseño de los diques fusibles, Hydroplus adelantó ensayos sobre modelos reducidos en el centro de ensayos de dicha empresa (Ver subcapítulo 6.2.3), con los cuales se buscaba definir el correcto funcionamiento

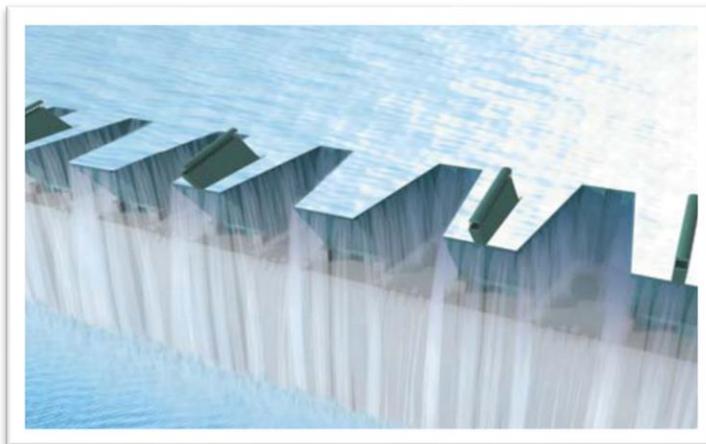
del vertedero de la presa de URRÁ y su capacidad a evacuar las crecidas, incluyendo la laminación de la crecida de proyecto y la crecida de periodo de retorno de los 10 000 años.

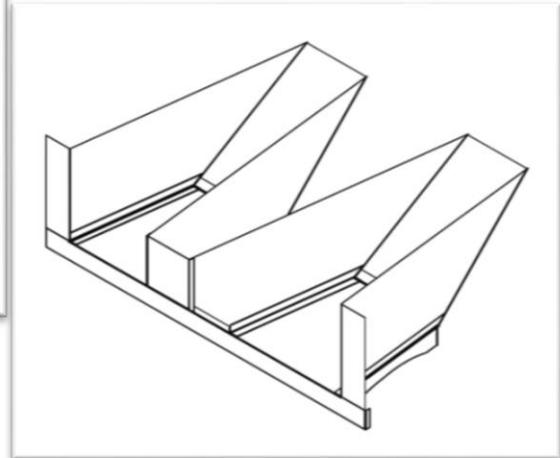
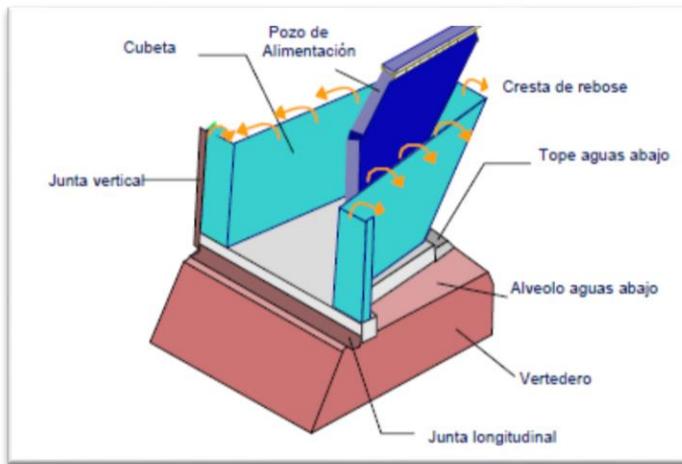
Como característica general las Compuertas Fusibles están diseñadas para elevarse y proteger el vertedero de forma controlada, incrementando su descarga a medida que ascienden los niveles de crecida.

El sistema diseñado para el embalse de URRÁ presenta varias adaptaciones específicas siendo importante destacar:

- ✓ El funcionamiento conjunto de válvulas de tipo clapeta y de compuertas fusibles.
- ✓ La definición de compuertas fusibles “doble onda” con dos laberintos para una sola cámara de Presión.
- ✓ La adaptación de la forma base de las compuertas fusibles a la forma del rebosadero.

Se presenta a continuación una compuerta fusible tipo laberinto clásica.





Durante el proceso de definición de sistema se contemplaron particularmente los aspectos técnicos siguientes:

- ✓ Reducción de trabajos de obra civil.
- ✓ Optimización de la longitud de la sección del aliviadero de Compuertas de Fusible y del aliviadero equipado de válvulas de tipo clapeta.
- ✓ Características del Sistema de Compuerta de Fusible.
- ✓ Estudios hidráulicos.
- ✓ Análisis de estabilidad de las condiciones de funcionamiento normales.
- ✓ Estimación de los costos de diseño y construcción.
- ✓ Requisitos de aireación / introducción de agua en la plataforma, tanto por las tuberías y los pozos.
- ✓ Soluciones adecuadas para los aspectos de vandalismo

En cuanto a los material para fabricación, los componentes de las compuertas fusibles de son elaborados de acero A36.

Los componentes de las válvulas de tipo clapetas son elaborados de acero A36 y de aceros especiales para las partes solicitadas con esfuerzos mayores.

Las tuercas, pernos y arandelas para la fijación de los sellos y las cimas de los pozos son constituidos de acero electro zincado.

Se considera en este proyecto las recomendaciones frente a la presencia de ferro bacterias según ESTUDIO DEL PROCESO DE CORROSIÓN INTERNA ASOCIADO A LA INFRAESTRUCTURA DE LA HIDROELÉCTRICA URRÁ I.

## 5.1.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL SISTEMA DE COMPUERTAS FUSIBLES

Las compuertas de fusibles instaladas tendrán las siguientes características principales:

Tipo de Compuertas	DHH
Número de Compuertas	22
Altura nominal de las Compuertas	2,03 m.
Altura de las Compuertas	aprox. 2,10 m (Debido a la disposición del sello de las juntas).
Longitud nominal de las Compuertas	7 m
Longitud de las Compuertas	6,97 m
Longitud del aliviadero de las compuertas	154 m
Nivel inferior de las Compuertas	128,40 m.
Nivel de crestas de las Compuertas	130,50 m.
Ancho de la base de la cámara de la Compuerta	2,40 m.

## 5.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE VÁLVULAS DE TIPO CLAPETA

### 5.1.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### √ Básico

En este proyecto, se contemplan dos válvulas de rebose tipo clapetas (válvulas de retención), con una anchura nominal de 12 m y una altura nominal de 5,50 m, con partes incrustadas y dos elevadores hidráulicos para cada válvula (Ver plano vista lateral de la Clapeta en la página 49).

#### √ Estructura

La sección de la pared está compuesta por chapas de acero laminado reforzadas por piezas verticales. Todos los componentes estructurales se construirán con la norma ASTM A36 o acero estructural ASTM A500, Grado B, tubos estructurales, de conformidad con las últimas AISC y códigos AWS. Los componentes expuestos a la fricción con los anillos retenedores y

los cojinetes se construirán de acero inoxidable o de acero niquelado (con excepción de la base de la sección de la pared, que va pintada). Los componentes expuestos a la intemperie o el agua se construirán con la protección anticorrosiva adaptada. A todos los componentes de acero de los equipos (excepto los de acero inoxidable o de acero niquelado) les serán aplicados un revestimiento de protección con pintura aprobada para tal efecto.

#### √ Sellos o retenedores

Un sello tipo L ajusta la pared lateral de contacto (que permite +/-1 cm de tolerancia para el muro de hormigón). Un retenedor plano ajusta la plataforma (umbral) de la válvula. Se integrara en la pared lateral una placa metálica de estanqueidad en posición semivertical.

Los sellos se fabrican de caucho sintético, tipo Adiprene, EPDM o equivalente, con una dureza Shore (Prueba de dureza diseñada para materiales elásticos) de alrededor de 70.

#### √ **Gobernador**

El dispositivo estará compuesto por dos gatos hidráulicos horizontales similares tirando de dos cadenas mecánicas a través de un sistema de piñones. El sistema será diseñado para permitir cualquier movimiento de la compuerta de la válvula bajo las condiciones de nivel de agua máximo, y para soportar el mayor nivel de agua actuando en sólo uno de los cilindros laterales (condición de carga excepcional).

#### √ **Control**

Una unidad de alimentación hidráulica permitirá los movimientos de las válvulas. La presión nominal de servicio será de 180 bares. El panel de control adjunto permitirá el accionamiento local de las válvulas y el intercambio de todos los datos necesarios con la unidad principal (tipo de archivos por detallar).

### **5.1.2.2 CRITERIOS MECANICOS GENERALES**

Esta Sección de Especificaciones presenta los criterios básicos para el diseño de las partes de la válvula.

#### √ **Normas de referencias**

- A. Especificaciones AISC para acero estructural de edificios (Especificación AISC)
- B. AWA D1.1 - Código de soldadura estructural
- C. Norma AISE N ° 7
- D. normas ACI
- E. normas ISO

La Especificación AISC se utilizará como base para el diseño de las partes de la válvula. Para condiciones de carga normal, las tensiones admisibles no deberán sobrepasar el 90 por ciento de los permitidos por la Especificación AISC. Para condiciones de carga extrema, los esfuerzos se pueden incrementar en un 33 por ciento, siempre que no sobrepasen el 80 por ciento del límite elástico del material.

#### √ **Conexiones Soldadas**

Las tensiones básicas admisibles en las conexiones soldadas no deberán ser superiores al 90 por ciento de los valores permitidos por la AWS D1.1. Para condiciones extremas, este esfuerzo no deberá exceder el 133 por ciento de los valores permitidos por la AWS D1.1 siempre que no superen el 80 por ciento del límite elástico del material. Excepto cuando los niveles de esfuerzos sean bajos, no serán permitidas soldaduras sobre los principales componentes estructurales realizados en el terreno.

#### √ **Conexiones mediante pernos**

Todas las conexiones realizadas en terreno en el acero estructural, deberán ser diseñadas utilizando pernos de alta resistencia en conexiones tipo fricción, de conformidad con la Especificación AISC. Las cargas no deberán sobrepasar el 90 por ciento de las permitidas por la especificación AISC.

#### √ **Componentes Mecánicos**

Para condiciones normales de carga, los esfuerzos que se admiten no deberán exceder el 33 por ciento de la carga de fluencia (límite elástico) o el 20 por ciento de la resistencia de rotura del material. Los esfuerzos podrán aumentarse 33 por ciento en las conexiones de chavetas de

los cojinetes. Los esfuerzos en las conexiones soldadas no podrán superar el 50 por ciento de los valores permitidos por la AWS D1.1. Para condiciones de carga normales, un coeficiente de seguridad de no menos de 5 se utilizará para el diseño del cable.

Los esfuerzos en los cojinetes de bronce auto lubricados no podrán exceder de 30 MPa para condiciones de carga normales y 50 MPa para condiciones extremas de carga.

La Norma AISE N ° 7 se utilizará para la determinación de las tensiones admisibles para los ganchos sin la aplicación de factores de seguridad adicionales. Los esfuerzos podrán incrementarse en un 33 por ciento para condiciones extremas de carga.

#### √ **Dispositivo de accionamiento**

El dispositivo estará compuesto por dos gatos hidráulicos horizontales similares tirando de dos cadenas mecánicas a través de un sistema de piñones. El movimiento de un metro del gato induce un movimiento de dos metros de las puntas de las cadenas.

#### √ **Capacidad de Operación y Límites**

Los actuadores hidráulicos permiten los movimientos de la válvula de tipo clapeta desde la posición horizontal hasta la posición semi-vertical (alrededor de 30° a la vertical).

Las cadenas son empleadas por su capacidad de enhebrarse y transmisión (reduce el cubo del gato de la cadena o piñón en 2) y para inducir esfuerzos en una dirección interesante (a una estructura incrustada en un pilar de nueva construcción).

La utilización de un diseño con cadena es adaptada para un sistema de válvula que será accionado para recorrido importante y fino sin necesidad de regulación permanente con corto tiempo de actuación.

Una abertura completa o cierre completo se llevará en unos 40 minutos.

#### √ **Datos de operación - sensores**

Sensores de posición de la válvula:

- Un inclinómetro pegado a la puerta dará a conocer su posición angular
- Un sensor inductivo cerca de la cadena detectará la posición superior
- Un sensor inductivo cerca de la cadena detectará la posición inferior

Sensores de nivel de agua:

- Un sensor detectará el nivel aguas arriba
- Un flotador mecánico será capaz de cambiar un componente hidráulico cuando el agua sobrepasa un nivel ajustado.

#### √ **Modos de funcionamiento**

Hay tres modos de accionamiento de las válvulas de tipo clapeta:

- totalmente parado
- modo manual
- modo automático

#### √ **Principios Bases de Regulación**

Las válvulas deben mantener el nivel del agua tan alto como sea posible cuando se permanece bajo el nivel nominal.

Las válvulas requieren cierto tiempo para responder a una rápida subida del nivel del agua.

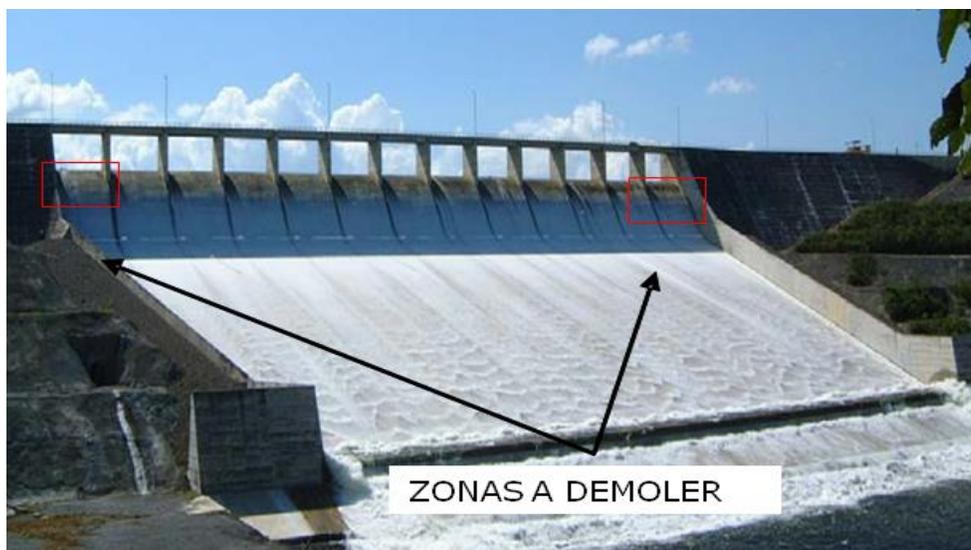
Con el fin de garantizar una respuesta adecuada, las válvulas trabajarán en dos maneras diferentes, en dependencia de si el nivel de agua está cerca o lejos del nivel nominal. Vamos a utilizar un punto de ajuste de nivel ligeramente bajo el nivel nominal y ajustar dos valores que se definen como dos zonas de respuesta. Por encima de esos rangos de nivel, el más alto nivel se determinará, cuando no ha sido dada una adecuada respuesta por el sistema de control (en caso de defecto técnico, por ejemplo) el flotador de seguridad hará que la válvula caiga, sin necesidad de energía.

## 5.2 DEMOLICION

El alcance de los trabajos consiste en la demolición sin explosivos y retiro de los escombros del concreto de la gola del

rebosadero entre el estribo izquierdo y la pila 1 y entre el estribo derecho y la pila 12 en (vanos extremos del rebosadero) entre los niveles 128,50 msnm y 123,30 msnm, incluida la demolición necesaria para conformar 5 huecos de 1,90 m de largo, 1,20 m de ancho y 1,00 m de profundidad por debajo del nivel 123,30 msnm.

Los tramos por demoler tienen cada uno una altura de 5,2 m, 12 m de longitud y 12,40 m de ancho hasta el nivel 123,30 msnm. A partir de este nivel (plataforma general de la demolición) del lado de aguas arriba hay que realizar demoliciones puntuales para conformar 5 huecos de 1,90 m de largo por 1,20 m de ancho y 1,00 m de profundidad y en la zona media (entre aguas arriba y aguas abajo) 2 huecos de 1,00 m de largo por 1,00 m de ancho y 0,30 m de profundidad. El volumen estimado por demoler en cada tramo incluidos los huecos por debajo del nivel 123,30 msnm es 529 m<sup>3</sup>. Ver Anexo 3: Especificaciones Técnicas de demolición.

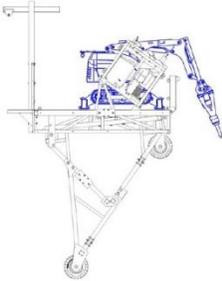
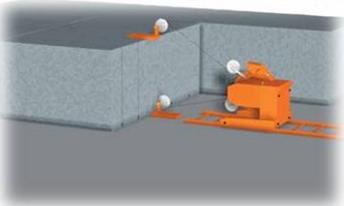


✓ **Técnicas de demolición**

Las técnicas de demolición que se analizaron para la realización de este Proyecto fueron:

**TABLA 4 PROCEDIMIENTOS DE DEMOLICIÓN ESTUDIADOS**

<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<p>Hidrodemolición: chorro de agua</p> 	<p>No generara micro fisuras en el concreto que quede en la estructura.</p> <p>No dañará las barras de refuerzo sino que también las limpiará de restos de oxido y escombros.</p> <p>Menos agresiva con el medioambiente y más segura.</p>
<p>Agente Expansivo para Demolición No Explosivo</p> 	<p>El agente expansivo empieza a trabajar aproximadamente de 30 a 40 minutos. La grieta aparece en 3 horas después del llenado, dependiendo de la temperatura y dureza de la roca y el concreto. Los cortes irán apareciendo cada vez más y al cabo de 24 horas obtendrá los mejores resultados.</p> 
<p>CRAS de Kayati</p> 	<p>Es un producto muy adecuado para la realización de demoliciones en entornos de diques y presas. El CRAS supera en prestaciones y seguridad al explosivo convencional en la demolición. Tienen propiedades expansivas sin generar vibraciones</p>

PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES
<p>Plataforma porta robot</p> 	<p>Los bloques serían demolidos en sitio con un robot generando gran cantidad de escombros con requerimientos de transporte a botadero con mayores tiempos y costos</p>
<p>Con sierra de hilo utilizada en la minería</p> 	<p>Mínima vibración y fracturamiento del yacimiento, cortando grandes mantos con dimensiones aproximadas de 8 m alto x 15 m ancho x 3 m de espesor, con un volumen aproximado de 360 m<sup>3</sup></p> <p>Requiere plataformas de 14 m de ancho.</p>
<p>Con sierra de hilo</p> 	<p>Los bloques, resultado del corte con hilo de diamante, serían retirados con grúa con un mayor rendimiento y menores costos de obra.</p> <p>Esta sierra de hilo se diferencia de la sierra de hilo utilizada en canteras, en que tiene unas poleas que recoge el hilo después del corte por lo que solo se necesita plataformas de 3 m de ancho.</p>

### 5.3 OBRAS CIVILES

El alcance de los trabajos consistió en la construcción de las siguientes estructuras:

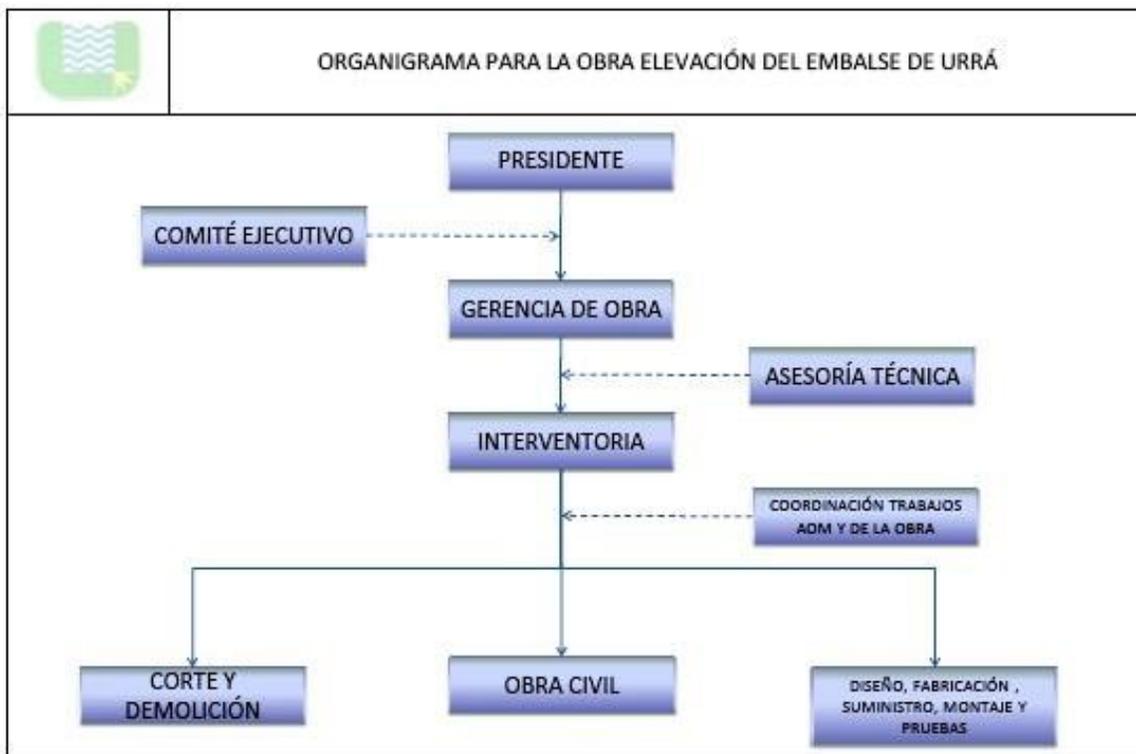
- ✓ Muros laterales de espesor variable entre 1 y 0,85 m que se fundirán contra los estribos y las pilas del puente en los vanos extremos del rebosadero.
- ✓ Concretos de 0.10 m de espesor contra las caras internas de la gola después de la demolición de la misma.
- ✓ Concretos de segunda etapa alrededor de elementos metálicos en los vanos extremos.
- ✓ Concretos de nivelación a la elevación 123,20 msnm en los vanos extremos del rebosadero.
- ✓ Mortero de nivelación de espesor de 5 cm en los muros laterales de los vanos extremos para las clapetas.
- ✓ Concretos de nivelación en los vanos intermedios para las cuñas de apoyo de las compuertas fusibles.
- ✓ Morteros autonivelantes para las compuertas fusibles en los vanos intermedios.

También hace parte de los trabajos de Obra Civil, la instalación de los pernos de nivelación de los elementos metálicos embebidos mostrados en los planos y la colocación del concreto una vez que los elementos estén posicionados (Ver Anexo 4: Especificaciones Técnicas para los concretos)

## 6. LA OBRA

El esquema organizacional aplicado al desarrollo del Proyecto contempló agentes internos y agentes externos según se muestra en el organigrama siguiente:

**FIGURA 10 ORGANIGRAMA DE LA OBRA**



### 6.1 ASESORÍA

La Empresa Gómez y Cajiao Asociados fue la encargada de los diseños de demolición y obras civiles con base en los requerimientos del diseñador de las Válvulas tipo Clapeta y de las Compuertas Fusibles según las cargas mostradas en

los planos 2902-AH-020-00, 2902-CI-210-2, 2902-CI-221-0 y 2902-CI-222-0 del Volumen 4. Adicionalmente, elaboró los planos respectivos y prestó asistencia en el sitio de la obra durante la ejecución.

## 6.2 INTERVENTORÍAS

### 6.2.1 INTERVENTORÍA TÉCNICA

La Interventoría del proyecto se realizó por contratación con la empresa EMEC LTDA, operadora de la central.

Entre otras se realizaron las siguientes actividades generales.

- Seguimiento y ajustes al cronograma del proyecto para el cumplimiento de los plazos contractuales.
- Verificación del cumplimiento por parte de los contratistas de las obligaciones legales para con los trabajadores
- Reuniones técnicas de coordinación de obra y elaboración de actas.
- Revisión de avances de obra.
- Informes de Interventoría.
- Revisión de planos de los diseños de demolición, concretos, clapetas y fusibles.
- Modificaciones sobre los planos de campo para la elaboración de planos As Built.
- Verificación del cumplimiento de normas de seguridad.
- Verificación de acciones de mitigación de impactos ambientales.

Específicamente durante cada etapa del proyecto se ejecutaron las siguientes actividades:

#### ✓ **DEMOLICIÓN**

Control durante los trabajos de demolición asegurando que las modificaciones al rebosadero requeridas por el diseño se ajustaran totalmente a las especificaciones técnicas, para lo cual se realizaron revisiones topográficas antes y después de la ejecución de perforaciones

y cortes con hilo de diamante para asegurar el cumplimiento de las cotas y dimensiones requeridas en etapas posteriores.

Registro y seguimiento de avance de obra para cuantificación de los volúmenes totales demolidos.

#### ✓ **OBRA CIVIL**

Durante la realización de estos trabajos se realizaron los siguientes controles:

- Control de dosificación durante la fabricación del concreto según el diseño de mezcla especificado.
- Verificación del cumplimiento de las especificaciones durante la colocación del concreto (altura de caída, refrigeración, asentamiento, aplicación de aditivos especiales contra la corrosión).
- Toma de cilindros para ensayos de resistencia y registro de resultados.
- Control del curado.
- Pruebas destructivas a los sistemas de anclaje.
- Seguimiento al cronograma de obra civil para el cumplimiento de los plazos acordados.
- Revisión de las cantidades finales de obra ejecutadas.

#### ✓ **FABRICACIÓN**

Se realizaron inspecciones durante la fabricación de los equipos en la planta de Elementos Metálicos en la ciudad de Bogotá, para lo cual se verificaron y/o ejecutaron las siguientes actividades de control de calidad en cada etapa:

- Certificaciones de calidad para los materiales suministrados.

- Controles dimensionales durante los procesos de trazo y corte.
- Calificación de soldadores y procedimientos de soldadura.
- Ensayos no destructivos para control de calidad de las soldaduras.
- Prensamblaje en fábrica de las Clapetas en su eje de rotación.
- Prensamblaje en fábrica de los fusibles completos.
- Verificación de condiciones climáticas, adecuada preparación de superficies metálicas, medición de espesores de película seca y pruebas de adherencia para el proceso de pintura.
- Seguimiento a los tiempos de entrega.
- Verificación de los torques de apriete de las uniones atornilladas según las especificaciones.
- Registro de modificaciones realizadas en campo para la elaboración de planos As Built.
- Verificación del uso de herramientas y equipos en buen estado.
- Control de pruebas hidrostáticas a las tuberías hidráulicas.
- Verificación de las pruebas y operación del sistema de acuerdo con las especificaciones.

Visitas de inspección a las fábricas de equipos importados en Francia y verificación de los embarques para asegurar los suministros requeridos y los tiempos de entrega acordados.

#### ✓ **INSTALACIÓN**

Se realizó la Interventoría durante la instalación y pruebas de los equipos de Clapetas y Diques Fusibles de acuerdo con los planos y especificaciones técnicas realizando los siguientes controles

- Revisión de planos y coordinación con Hydroplus para aclaraciones y modificaciones pertinentes.
- Coordinación entre los trabajos de obra civil e instalación durante el montaje de elementos embebidos para el adecuado desarrollo del cronograma de actividades.
- Controles topográficos durante la instalación de anclajes y partes embebidas según los planos para el montaje posterior de mecanismos.
- Elaboración de protocolos de instalación.

## 6.2.2 INTERVENTORÍA AMBIENTAL

Se realizó un control durante todo el proyecto, tendiente a la identificación y mitigación de los impactos ambientales producto de las actividades realizadas por los diferentes contratistas tales como:

#### ✓ **Emisión de material particulado**

Se controló mediante el uso constante de agua durante los procesos de perforación con brocas y corte con disco e hilo diamantado.

#### ✓ **Generación de residuos sólidos**

Se realizaron campañas de concientización y educación a los trabajadores al tiempo que se suministraron depósitos identificados para la separación en la fuente y posterior recolección y disposición por el operador de la central.

#### ✓ **Contaminación paisajística**

Se realizaron campañas periódicas de concientización para mantener el área del puente lo menos congestionada posible sin interferir con el desarrollo de la obra.

✓ **Generación de escombros**

Para los trabajos de demolición se consideró causar el menor impacto negativo al agua del embalse por lo cual se consideró depositar los residuos de la

demolición en bloques de gran tamaño en el fondo del embalse y los residuos pequeños que pudieran considerarse como escombros con material particulado fueron recogidos en depósitos y dispuestos en un área adecuada alejada del embalse. requirieron inversiones onerosas en temas como manejo paisajismo, manejo de aguas residuales o gestión social, y con su aplicación se pudo reducir en su totalidad el impacto ambiental.

**6.2.2.1 IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE MANEJO**

En lo concerniente al impacto total, el proyecto de realce del vertedero es de muy bajo impacto negativo teniendo en cuenta sus características técnicas y el área a intervenir. Las obras de ingeniería como son la adecuación de la cresta del vertedero y la instalación allí de los diques fusibles, comprenden un área mínima, según la descripción técnica elaborada, presentada ante el MAVDT y validada por éste.

En la siguiente tabla se presenta una relación entre los impactos ambientales negativos y las medidas correspondientes para su manejo. Su presentación se realiza solo para la etapa de construcción del proyecto ya que durante la operación, las diferentes actividades se integrarán al giro cotidiano de la operación de la central. No se relacionan los impactos positivos dado que ellos no requieren de prácticas de manejo. Además es importante resaltar que URRÁ conserva las actividades de gestión ambiental que actualmente desarrolla por la operación de la central.

Por lo anterior, las buenas prácticas de manejo ambiental que se propusieron para este proyecto son actividades de ingeniería o gestión social sencillas. No se

**TABLA 5 POSIBLE AFECTACIÓN AMBIENTALES Y BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO**

Impacto	Medida de Manejo
<b>INSTALACIÓN DE INFRAESTRUCTURA COMPLEMENTARIA</b>	
Afectación de la calidad del aire por emisiones de vehículos y maquinaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control de emisiones y ruido de maquinaria y vehículos</li> </ul>
Incremento en los niveles de ruido por construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control de emisiones y ruido de maquinaria y vehículos</li> </ul>
Contaminación de agua y suelo por disposición inadecuada de residuos sólidos industriales o domésticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manejo de residuos sólidos</li> </ul>
Posible contaminación por derrame de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adecuado almacenamiento y manejo de hidrocarburos requeridos en el sitio de obra durante el proyecto</li> </ul>
Contaminación del agua superficial y suelos por vertimiento de aguas residuales,	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manejo de aguas residuales domesticas</li> </ul>

Impacto	Medida de Manejo
sin tratamiento	
Deterioro del paisaje por mal manejo de residuos sólidos y por no desmantelamiento de instalaciones temporales hechas para el proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo paisajístico</li> <li>• Manejo de escombros y otros residuos sólidos</li> <li>• Desmantelamiento de instalaciones temporales</li> </ul>
Generación de expectativas en comunidades vecinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gestión social</li> <li>✓ Pruebas al sistema de almacenamiento de combustible</li> </ul>
Aumento del tráfico vehicular	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Manejo del transporte de equipos y materiales.</li> </ul>

### 6.2.2.2 BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

Las buenas prácticas ambientales se dividieron en construcción y seguimiento, y comprendió los siguientes programas:

- ✓ **Manejo físico:** Agrupa las medidas de manejo para prevenir y mitigar los impactos sobre el aire, agua y suelos. Las medidas planteadas se enfocan al manejo de materiales sobrantes, manejo de residuos líquidos y sólidos.
- ✓ **Manejo biótico:** Comprende el conjunto de actividades tendiente al manejo de los impactos que se pueden causar sobre el paisaje al interior de las instalaciones del área de trabajo y sus alrededores.
- ✓ **Manejo Socioeconómico:** Este programa está orientado a presentar las actividades de gestión social a desarrollar en el área de influencia del proyecto.
- ✓ **Seguimiento:** Comprende las actividades de seguimiento a la aplicación de las medidas propuestas y en general a las obras de construcción y su relación con el entorno.

efectividad en la aplicación de las medidas de manejo ambiental, así como verificar periódicamente el estado estas medidas.

Cada programa contenía medidas concretas orientadas a la prevención, mitigación o compensación de los impactos ambientales que podían ocurrir durante el desarrollo del proyecto.

Para tal efecto se elaboraron unas fichas de manejo ambiental, que incluyeron los siguientes aspectos (Ver Volumen 3):

- ✓ Nombre de la medida.
- ✓ Código de identificación.
- ✓ Programa.
- ✓ Responsables.
- ✓ Objetivos.
- ✓ Impactos a manejar.
- ✓ Tipo de medida.
- ✓ Lugar de aplicación.
- ✓ Momento de ejecución.
- ✓ Acciones a desarrollar.
- ✓ Indicadores de Gestión.
- ✓ Seguimiento.

### 6.2.2.3 EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

Las medidas de seguimiento y monitoreo estaban destinadas a conocer la

En general durante las obras todos los impactos ambientales asociados al

desarrollo del proyecto se manejaron adecuadamente, y no se presentaron quejas de las comunidades asociadas al mismo.

✓ **Manejo de los niveles del embalse para el desarrollo de las obras**

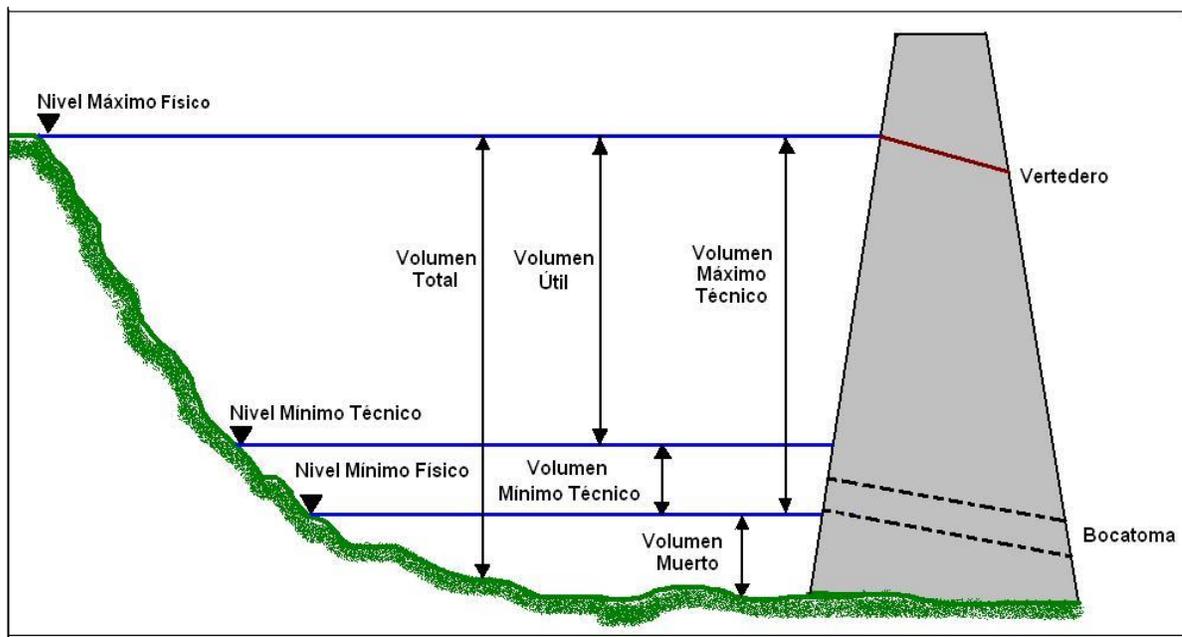
Para desarrollar las obras del proyecto, se necesitaba mantener niveles bajos en el embalse, tal que de presentarse las crecientes históricas, éstas pudiesen ser contenidas en el embalse sin afectación de las obras.

Para fijar los niveles se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Estudio de los pronósticos de lluvias para el presente año a corto, mediano y largo plazo que emiten las agencias especializadas en diferentes partes del mundo: Australia, Estados Unidos, Colombia, etc.

- Análisis de los caudales y aportes registrados en el Río Sinú, durante el período 1960-2008
- Identificación de los meses secos y lluviosos.
- Cálculo de los volúmenes en el embalse que se deben guardar, partiendo de los niveles de la Curva Guía Máxima de operación, niveles que se han venido utilizando.
- Cálculo de los niveles guía mensuales a mantener en el embalse para el año 2009.
- Compromisos de generación mes a mes.
- Cronograma de trabajos: Se efectuarán de abril a Octubre de 2009
- Niveles de trabajos en las clapetas o compuertas, siendo el más bajo 122,30 msnm.

**FIGURA 11 ESQUEMA DE NIVELES Y VOLUMENES DEL EMBALSE**



✓ **Niveles a manejar en el embalse durante el 2009.**

Los niveles determinados son los siguientes:

Mes	Nivel msnm
Febrero	121,50
Marzo	115,00
Abril	114,00
Mayo	113,50
Junio	113,40
Julio	113,40
Agosto	116,40
Septiembre	120,10
Octubre	121,60
Noviembre	126,55

✓ **Niveles de alerta y plan de contingencia.**

Teniendo en cuenta que las crecientes de aportes al embalse URRÁ han llegado a elevar el nivel del embalse hasta 0,90 metros en un día, se hace necesario incrementar las descargas al río utilizando la descarga de fondo para que los ascensos no sean tan altos y rápidos. El requisito para el uso de la descarga de fondo es que la suma de la descarga de lo turbinado y lo evacuado por descarga de fondo no pase los 700 m<sup>3</sup>/s.

Por ello se han calculado niveles del embalse en los cuales turbinando no se llega a los 700 m<sup>3</sup>/s y permitan utilizar la descarga de fondo para completarlos.

Los niveles indicativos para operación de la descarga de fondo se muestran en el cuadro siguiente:

Mes	Nivel msnm
Junio	116,10
Julio	116,50
Agosto	117,30
Septiembre	118,00
Octubre	120,00

De darse niveles superiores a los críticos indicados en el cuadro anterior, se procederá a levantar una barrera provisional, (tablestacado metálico o mampostería) de una altura tal que garantice la seguridad de los trabajos.

✓ **MONITOREO DE LOS NIVELES:**

El monitoreo de los niveles es realizado horariamente.

- Ajustes.

Las Gerencias Técnica y Comercial efectúan reuniones semanales en la que se analiza comportamiento hidrológico y la operación de la Central URRÁ I, de la semana inmediatamente anterior, lo acumulado del mes y finalmente con base en pronósticos hidrológicos se proyecta la operación para la siguiente semana y para el resto del mes que equivaldría a corto y mediano plazo., y de ser necesario los niveles son revaluados, de tal manera que se conserven los volúmenes de espera de manera conservadora, para garantizar la no demora de los trabajos y la seguridad de los mismos.

- Resultados.

A 30 de abril de 2009 se tienen los siguientes resultados.

Mes	Nivel msnm	Nivel monitoreado msnm
<b>Febrero</b>	121.50	120.53
<b>Marzo</b>	115.00	118.83
<b>Abril</b>	114.00	113.02
<b>Mayo</b>	113.50	

### 6.3 INGENIERIA BASICA Y DE DETALLES

Hydroplus realizó ensayos en modelo reducido en el centro de ensayo de Marolles en Hurepoix para determinar la geometría adecuada y las condiciones de estabilidad de las compuertas fusibles. Las características geométricas externas son iguales a las características tomadas para el modelo en escala real (Ver Volumen 4).

Se presentan a continuación las conclusiones con tres enfoques:

- ✓ Capacidad de alivio del modelo
- ✓ Geometría de laminas de agua vertiendo
- ✓ Condiciones de estabilidad

El centro de ensayos hidráulicos dispone de un banco de prueba compuesto por dos bombas sumergidas de caudal nominal de 1000 m<sup>3</sup>/h cada una, de un depósito (que simula la presa) cuyo volumen es de unos 15 m<sup>3</sup> y de un vertedero de 1,80 m de longitud. Además, es dotado de un sistema de adquisición de datos y de aparatos de medición muy precisos.

Las compuertas del proyecto de URRÁ presentan varias características que han

sido desarrolladas para el proyecto. Entre otras, se pueden destacar:

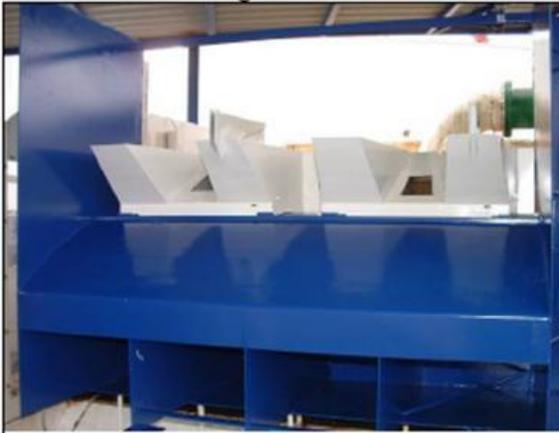
- ✓ Laberinto optimizado
- ✓ Adaptación de la cámara de presión a la forma del umbral ogee del vertedero
- ✓ Instalación sobre cuñas de apoyo

Para requisitos del proyecto de URRÁ se ha realizado un umbral de vertedero a la escala de 1/10 respetando el perfil del vertedero y el ancho entre pilas, así como unas compuertas en modelo reducido de 1/10. Resulta un modelo de 1,40 m de ancho (luz) y 2 compuertas de aprox. 5,60 kg y de dimensiones 0,7 m de ancho \* 0,2 m de alto.

El propósito final de los ensayos en este proyecto es de:

- ✓ Afinar el diseño de las compuertas para optimización del flujo y de los coeficientes de descarga de las compuertas fusibles.
- ✓ Ajustar el nivel de los pozos de alimentación para la toma de agua.
- ✓ Validar la geometría de las láminas de agua y los cálculos de estabilidad de las compuertas.





Modelo reducido visto desde aguas abajo.



Modelo visto desde aguas arriba con vertido moderado



Modelo visto desde aguas abajo con vertido moderado



Modelo visto desde aguas abajo con vertido elevado

Durante los ensayos en modelo reducidos se han probado varios modelos de Compuerta Fusibles como se presentan a continuación:



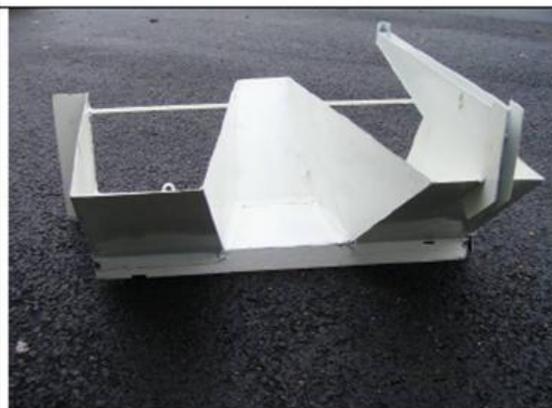
Modelo 1



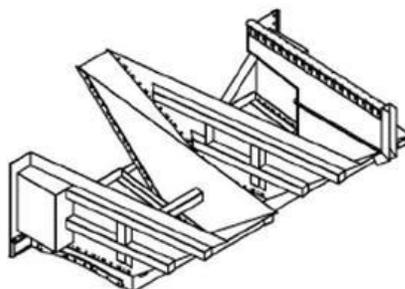
Modelo 2



Modelo 3



Modelo 4 (final)



Modelo 3d con todos elementos de montaje

Se ha procesado varias series de pruebas con diferentes modelos de compuertas fusibles. Las medidas de caudal se realizaron por medio de 2 equipos ultrasonidos para evaluar el caudal. Las medidas de nivel se hicieron por medio de toma de presión en

el depósito, en una zona de agua calma. Las medidas tomadas con el modelo n°4 permitieron establecer la concordancia con el modelo teórico de relación de flujo lineal expuesta a continuación:

## Tomando

h: elevación de agua por encima de la cresta de la Compuerta Fusible (m) – escala real

$Q_s$ : caudal específico vertido por metro lineal de vertedero ( $m^3/s/m$ ) – escala real para laminas

de aguas de mas de 2.2m escala real

k: coeficiente de escala

$$Q_s = 4.6425 \times h - 0.523$$

Las relaciones en modelo reducido se encuentran con:

$$Q_{\text{modelo}} = Q_{\text{real}} \times k^{2.5} \quad \text{y} \quad Q_{s_{\text{modelo}}} = Q_{s_{\text{real}}} \times k^{1.5}$$

Nota: Para laminas de 0 hasta  $h_c=0,29m$   $Q_{\text{real}} = 1,194 \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{1.5}$

La definición de la geometría de la lámina de agua vertiendo tiene importancia en la definición:

- ✓ de la geometría de los pozos de toma de agua.
- ✓ de las condiciones de estabilidad, para la participación de la lámina al cálculo del momento estabilizador de la compuerta.

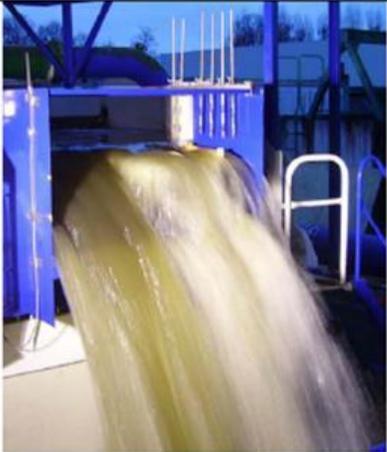
Las geometrías de lámina de agua vertiendo son determinadas por varias medidas tomando el nivel aguas arriba por medio de la toma de presión hidrostática y haciendo mediciones por medio de la barras de medición ubicadas por encima de la compuertas. Se comprobó que el vuelco de una compuerta adyacente no tenía impacto en la geometría de la lámina de agua por lo menos que la medición esté hecha en el alveolo lejano (más cerca de la pila). Esta ubicación será respetada en la instalación en sitio.

Los ensayos de estabilidad permiten comprobar la validez de los cálculos de estabilidad, así como comprobar el funcionamiento en los casos de mal funcionamiento. La observación empírica de los vuelcos de las compuertas en los casos definidos se completa por un estudio de medición de la presión de la

cámara inferior. La estabilidad o la inestabilidad del modelo reducido bajo condiciones determinadas de presión en la cámara inferior permiten averiguar los resultados observados por medio de los cálculos.

Durante las sesiones de ensayos se hicieron pruebas en los siguientes modos de funcionamiento:

- ✓ Compuerta Fusible en modo normal de funcionamiento: vuelco para presión de cámara inferior aprox. 30%.
- ✓ Compuerta Fusible con compuerta adyacente volcada: estabilidad comprobada hasta el relleno del pozo.
- ✓ Compuerta Fusible con pozo tapado: se cumple el nivel último de estabilidad por una altura inferior al nivel máximo del embalse.
- ✓ Compuerta Fusible sin junta: se alcanza el relleno del pozo para volcar; presión de cámara inferior aprox. 30%
- ✓ Compuerta Fusible en levantamiento artificial (caso de nivel mínimo de vuelco): no vuelca antes del nivel de cresta.

	
Ensayos de estabilidad	Geometría de lamina de agua
	
Estabilidad antes de vuelco	Estabilidad lamina de agua con compuerta adyacente

El nivel de vuelco de cada Compuerta Fusible es el indicado en la siguiente tabla:

**TABLA 6 SECUENCIA DE VUELCO DE LOS FUSIBLES**

Secuencia de vuelco	1	2	3	4	5	6
Nivel de vuelco (El. m)	131,74	131,79	131,84	131,89	131,94	131,97
Nivel de vuelco con referencia eje teórico 128.50m (RL m)	3.24	3.29	3.34	3.39	3.44	3.47

Los niveles de vuelco se toman a una distancia desde el vertedero, donde la velocidad de acercamiento es igual a cero y suponiendo que el perfil del agua es el mismo en toda la anchura del vertedero.

La secuencia propuesta para el vuelco respecta básicamente los siguientes criterios:

- ✓ El pozo de alimentación de cada una de las compuertas fusibles se ubican en las partes laterales (cerca de la pila)
- ✓ Las compuertas de un mismo vano se encuentran en una misma secuencia
- ✓ El vuelco se reparte para que se reparte progresivamente en todo el ancho del rebozadero.

## 6.4 FABRICACIÓN ELEMENTOS

La fabricación de los equipos se realizó a través de subcontratación con la empresa Colombiana Elementos Metálicos, con sede en la ciudad de Bogotá, requerimiento establecido por la empresa URRÁ S.A. E.S.P para la contratación de ingeniería y mano de obra nacional calificada y también para reducción de costos de transporte de equipos fabricados en el exterior.

La fabricación se subdividió en las siguientes actividades:

- ✓ Adquisición de los materiales para la construcción acero estructural según ASTM A36 y acero inoxidable
- ✓ Trazo
- ✓ Corte
- ✓ Soldadura
- ✓ Tratamientos térmicos a partes especiales (ejes y bujes)
- ✓ Sandblasting
- ✓ Pintura
- ✓ Cargue y transporte de las partes fabricadas hasta el sitio de la obra.
- ✓ Descargue en el sitio de la obra y ensamble de los diques fusibles.

Como criterio para el diseño de los esquemas de protección contra la corrosión se tuvo en cuenta un estudio de corrosividad del agua del embalse realizado en el año 2008 por la Corporación para la Investigación de la Corrosión CIC.

La fabricación se realizó en un todo de acuerdo con las especificaciones y planos de diseño elaborados por Hydroplus (Ver Planos en el Volumen 4).

Durante todo el proceso de fabricación se realizaron los controles de calidad requeridos en cada etapa:

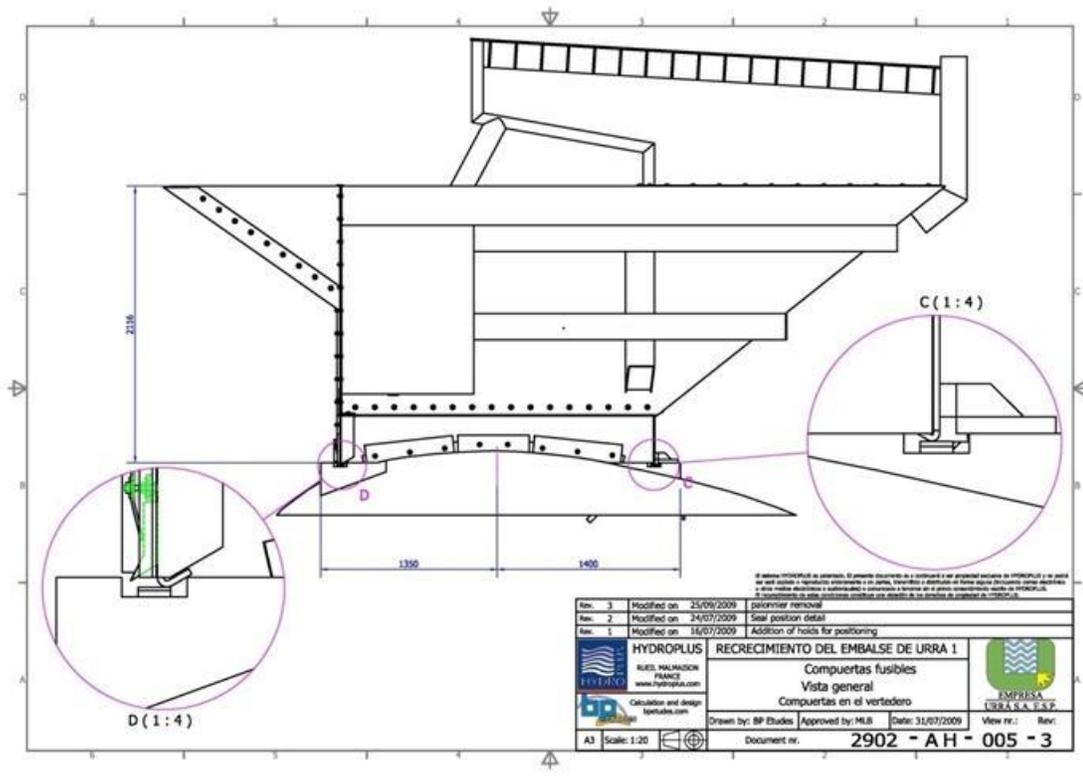
- ✓ Certificados de calidad para la adquisición de los materiales
- ✓ Controles dimensionales durante los procesos de trazo y corte.
- ✓ Calificación de soldadores y procedimientos de soldadura
- ✓ Ensayos no destructivos para control de calidad de las soldaduras.
- ✓ Control de perfil de anclaje, condiciones climáticas, medición de espesores y pruebas de adherencia para el proceso de pintura.

Los equipos y partes principales fabricados fueron:

### 6.4.1.1 DIQUES FUSIBLES

En total se fabricaron 22 Diques fusibles de 7 toneladas cada uno, compuesto por una base, dos quillas, una proa, un foso, una chimenea y un juego de pisasellos metálicos horizontales y verticales y dos soportes embebidos con sus topes. El peso total de todos los fusibles fabricados fue de 159 toneladas (Ver Planos detallados en el Volumen 4).

**FIGURA 12 PLANO DE VISTA LATERAL DE VANO INTERMEDIO**



**FABRICACIÓN DE LAS BASES**



Empresa  
URRA S.A. E.S.



**FABRICACIÓN DE LAS QUILLAS**



**PREENSAMBLES EN FÁBRICA**

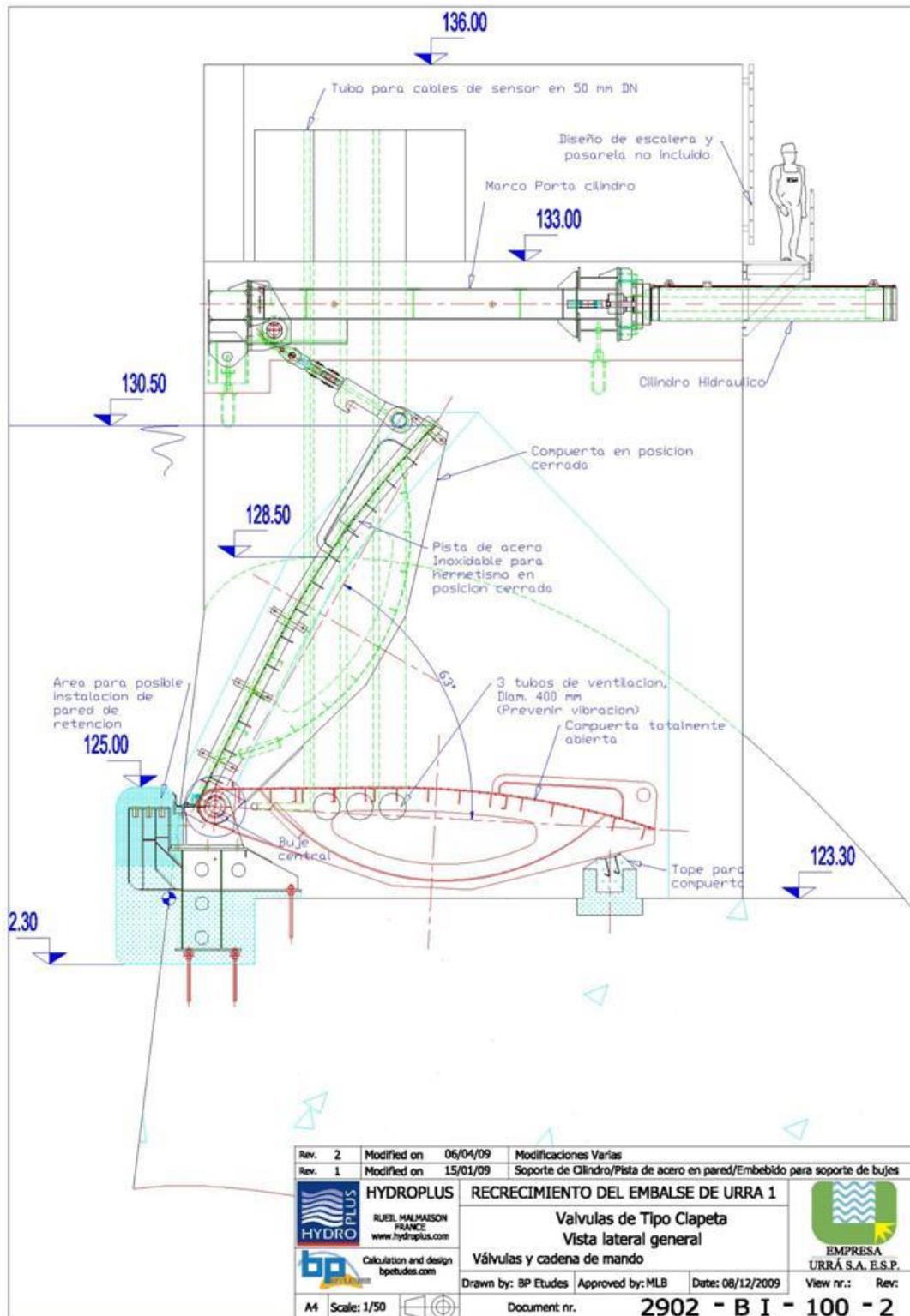


**DIQUE FUSIBLE TERMINADO**

INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ | Montería, Marzo de 2010

## 6.4.1.2 EQUIPOS PARA LAS CLAPETAS

FIGURA 13 PLANO DE VISTA LATERAL DE UN VANO





Para cada una de las dos clapetas se fabricaron los siguientes elementos (Ver Planos en el Volumen 4):



**5 SOPORTES EMBEBIDOS PARA COJINETE CON UN PESO PROMEDIO DE 1.8 TONELADAS CADA UNO**



**5 SOPORTES PARA COJINETE CON UN PESO PROMEDIO DE 200 KG CADA UNO**



**4 SECCIONES DE COMPUERTA CON UN PESO PROMEDIO DE 7,5 TONELADAS CADA UNO**



**2 PLATINAS DE ESTANQUEIDAD EN ACERO INOXIDABLE CON UN PESO PROMEDIO DE 1 TON CADA UNA**

**2 SOPORTES PARA CILINDROS HIDRÁULICOS CON UN PESO DE 5 TON CADA UNO**



**2 PORTA SELLOS EMBEBIDOS HORIZONTALES CON UN PESO DE 1 TON**



**5 JUEGOS DE BUJES Y EJES  
PARA ROTACIÓN DE LA  
CLAPETA CON UN PESO**

**2 SOPORTES DE PIÑONES  
FIJOS**



**2 SOPORTES DE PIÑONES  
MÓVILES**





**ACCESORIOS PARA CONEXIÓN DEL SISTEMA DE IZAMIENTO PARA CADA CLAPETA**

✓ **EQUIPOS IMPORTADOS PARA LAS CLAPETAS**

En Francia se realizó la fabricación de equipos especiales para el sistema de accionamiento de las clapetas. Durante el proceso se realizaron visitas de inspección

a las fábricas seleccionadas para los trabajos. Los equipos fabricados en Francia fueron:



**4 CILINDROS HIDRÁULICOS, DOS PARA CADA CLAPETA**

**2 ESTACIONES HIDRÁULICAS COMPUESTAS POR UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO, DOS BOMBAS HIDRÁULICAS Y UN TABLERO DE CONTROL**



### FABRICACIÓN DE PIÑONES



### FABRICACIÓN DE CADENAS

INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ | Montería, Marzo de 2010

Los equipos importados llegaron desde Francia por barco hasta el puerto de Cartagena y posteriormente a la central vía terrestre.

La fabricación de las compuertas fusibles incluyó el ensamble en el sitio de la obra para lo cual se dispuso de un equipo de trabajo en obra exclusivamente para esta labor.

## 6.5 DEMOLICIÓN

La Empresa Australiana Decotec: "Deconstrucción Technology" fue la encargada de realizar las demoliciones requeridas implementando un sistema de perforación con brocas diamantadas y de

corte con hilo diamantado, sistema con el cual se buscaba evitar afectaciones estructurales al resto del cuerpo de la gola del Rebosadero cumpliendo así con las recomendaciones del la Asesoría.

A pesar de tratarse de una demolición, el control óptimo realizado sobre el material particulado de los trabajos, permite hablar de un Proyecto limpio.

### ✓ ACTIVIDADES PRELIMINARES

Para el acceso del personal al sitio de trabajo y para la ubicación de la maquinaria y equipos, la Empresa Decotec

subcontrató con la Empresa Prosperar Ltda., la construcción de plataformas de 3 m de ancho por 12 m de largo por vano externo (una aguas arriba y otra aguas abajo) para un total de cuatro e igualmente, de barandas aguas arriba y en el contorno de aguas abajo de las pilas para los trabajos de los vanos intermedios (Ver Capítulo 6.7).

Paralelo a la instalación de barandas y plataformas, la Empresa Decotec adelantó el desplazamiento al sitio de trabajo del personal profesional y técnico Australiano así como también los trámites de importación temporal de la maquinaria y equipos a utilizar.

### 6.5.1 VANOS INTERMEDIOS PARA INSTALACIÓN FUSIBLES

La demolición de 25 m<sup>3</sup> de concreto en los 11 vanos internos se realizó en dos etapas: corte y demolición.

#### ✓ CORTE

Luego de que la topografía marcará las referencias de las reservaciones de las cuñas de apoyo para el corte tanto aguas arriba como aguas abajo, se realizó en los 10 cm de profundidad con sierra de mano y para la realizar la máxima requerida de 30 cm, se utilizó la sierra de pared.



#### ✓ DEMOLICIÓN

Posterior al corte, se utilizaron taladros neumáticos para la demolición del concreto que quedaba entre las líneas de corte.



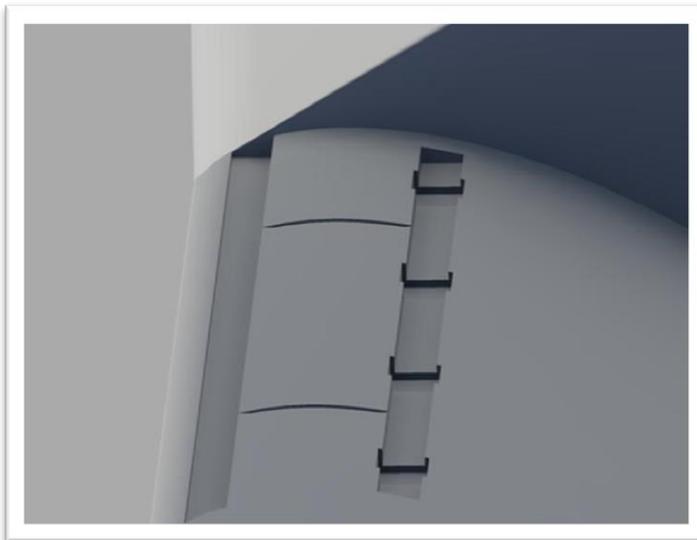
Los escombros, resultado de la demolición no debían ser arrojados al embalse por lo que el Contratista realizó el ascenso de éstos al puente y luego los dispuso en el botadero acondicionado en la época de construcción.



Debido a que en algunas reservaciones el refuerzo de la malla de 1" que conformaba la cresta impedía la instalación del acero de refuerzo y de los soportes embebidos de los topes de los fusibles, el Contratista utilizó oxicorte para el retiro de éstas.



El resultado final de la demolición se compara con el esquema programado para estos vanos:



**FIGURA 14 ESQUEMA DE DEMOLICIÓN PROGRAMADO VS EJECUTADO**



## 6.5.2 VANOS EXTERNOS PARA INSTALACIÓN CLAPETAS

La demolición de 1.058 m<sup>3</sup> de concreto en los dos vanos externos donde se instalaron las válvulas tipo Clapetas, se realizó en cuatro etapas: Perforación, corte, quebrantamiento e izaje de bloques.

### √ PERFORACIÓN

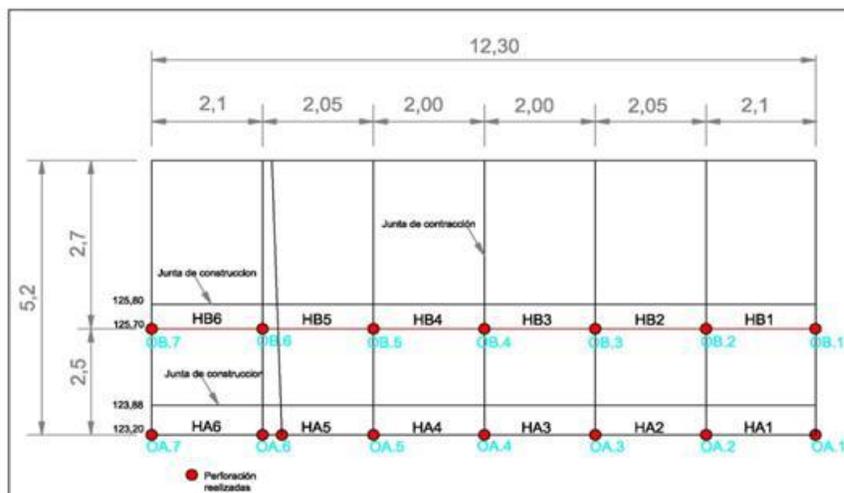
La perforación con brocas de diamante de diámetro 50 mm, que sirve para la posterior instalación del hilo diamantado para corte, solo se realizó en los vanos externos para la instalación de las clapetas.

El ancho de la clapeta es de 12 m y el ancho del vano es de 14 m entre la parte interior de las pilas, por lo que la sección a demoler se realizó de 12,30 m, quedando a lado y lado un tramo de la Gola de 0,85 m donde después se construyó un muro de espesor 0,15 m, con el fin de asegurarse el cumplimiento del ancho requerido. Las elevaciones entre las que se realizó la demolición comprendieron la 128,50 msnm y la 123,20 /122,98 msnm para una pendiente del 2%, donde igualmente para cumplir con la cota final 123,30 /123,08 msnm, se construyó una losa de espesor 0,10 m.

*“Es importante destacar que algunos de los núcleos extraídos en las perforaciones se utilizaron para comprobar la resistencia del concreto de la gola a los 10 de años de construida, la cual arrojó una resistencia máxima de 6.109 PSI lo que acarreo desgaste prematuro de las brocas de diamante definidas previamente.*

*Lo anterior requirió del Contratista el tener que importar brocas adicionales y adquirir suplementos para las brocas desgastadas.*

**FIGURA 15 ESQUEMA DE PERFORACIONES**



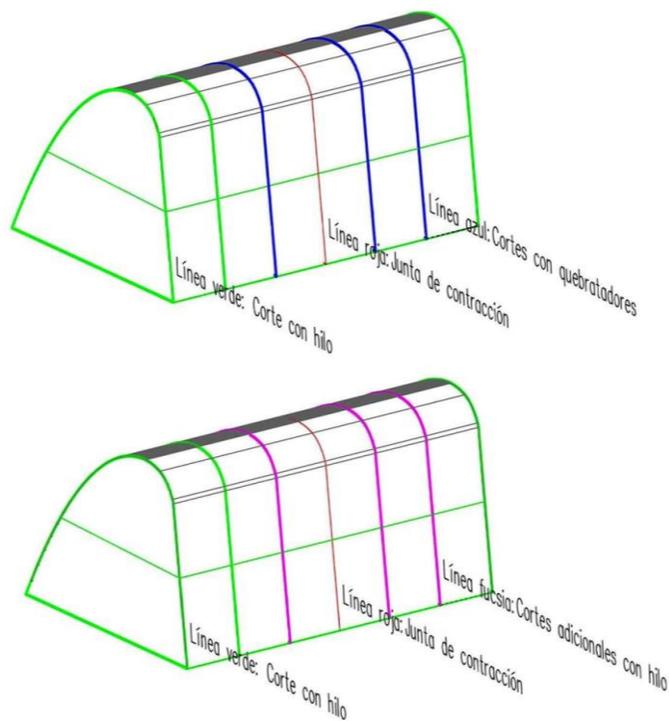
De acuerdo a lo anterior, y a la ubicación de las juntas de construcción y de contracción y del acero de refuerzo de la cimentación de la pila, el Contratista presentó un esquema de perforación para

la posterior realización de los cortes verticales programados. El rendimiento presentado fue de dos perforaciones por día.

Se inició ubicando los puntos de referencia correspondientes a las intersecciones entre las los cortes horizontales y los verticales para un total de 15 perforaciones de 11,22 m de largo con una pendiente del 2%.

Por la experiencia del Contratista, las desviaciones que se presentaron a la salida de las perforaciones aguas abajo fueron mínimas ya que para la ubicación del trípode del taladro, tuvo en cuenta la pendiente y se amortiguó el peso de la tubería con unos acoples llamados "reamer".

Adicionalmente, para la realización de las reservaciones necesarias para la instalación de embebidos de los soportes de las clapetas y de la instalación de la tubería de aireación, el Contratista programó perforaciones contorneando las cajas y algunas las utilizó para la posterior colocación del hilo.



**FIGURA 16 ESQUEMAS DE CORTE PROGRAMADO VS EJECUTADO**

## ✓ CORTE

Luego de realizar las perforaciones, el Contratista direcciona las poleas de acuerdo al corte que vaya a realizar, vertical u horizontal, instala el hilo diamantado por las perforaciones realizadas e inicia el corte.

En la etapa de retiro de bloques, se tuvo un imprevisto el cual consistió en que durante la construcción de la gola, como método constructivo y el cual nunca se registra en los planos As Built, utilizaron varillas como soporte de la malla de acero de 1" que conformaba la cresta e igualmente para soportar la formaleta de la curva de la gola.

Por lo anterior y como se muestra en el esquema adjunto, el Contratista tuvo que realizar tres cortes verticales adicionales, que junto la resistencia del concreto de la Gola, acarrearón la importación de hilo diamantado adicional.

El rendimiento del corte fue de aproximadamente 8 m<sup>2</sup> x día.

## ✓ QUEBRANTAMIENTO DE BLOQUES

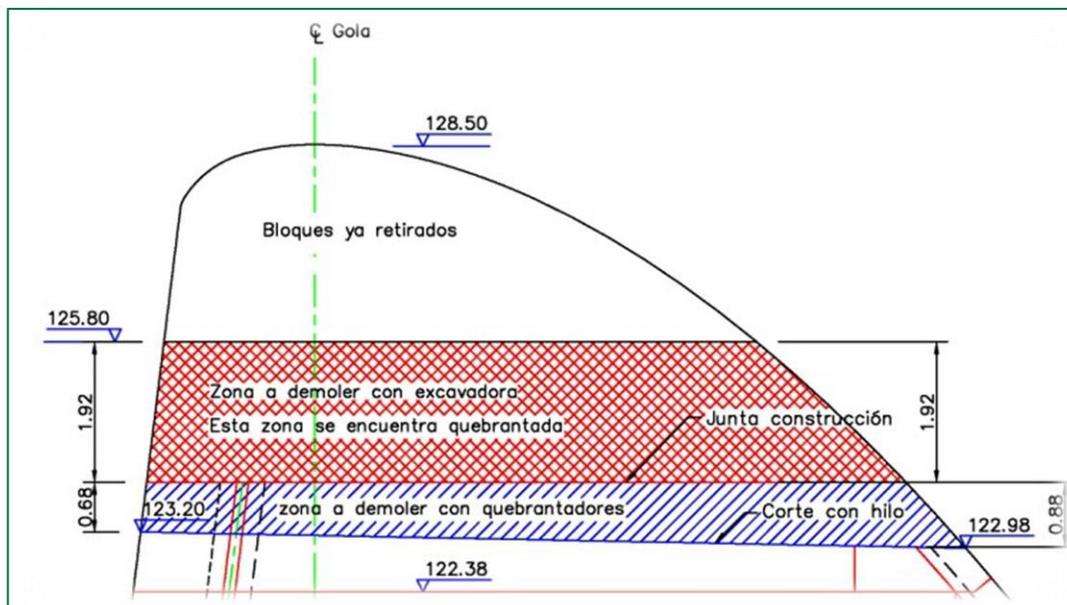
Previó al inicio de esta actividad y debido a que durante el procedimiento de perforación, se observó la presencia de varillas que se utilizaron como procedimiento constructivo, el Contratista propuso cambiar la capacidad de los quebrantadores a importar y la utilización de oxicorte. Al igual que el esquema de perforación para quebrantamiento de bloques, sufrió cambios por este aspecto.

Luego de finalizar los trabajos de corte con hilo diamantado y de la llegada de la grúa de 120 ton de capacidad, se procedió al quebrantamiento de los bloques por lo que antes ya se habían instalado las platinas de izaje con pernos y resina Hilti. Por experiencia del Contratista, este procedimiento de quebrantamiento se debía realizar junto con la utilización de la grúa por seguridad al mover los bloques.

Los quebrantadores programados eran de capacidad de 110 ton y los que se importaron fueron de capacidad de 250 ton para lo cual se necesitaron brocas de diámetro de 200 mm y profundidad de 600 mm, esto con el fin de crear más espacio entre el concreto fracturado y poder utilizar el oxicorte.

Además, durante este proceso, el quebrantador se averió y la asistencia técnica más cercana se encontraba en Brasil afectando el izaje de bloques en por lo menos 10 días. Por esto, el Contratista, solicitó un cambio en el procedimiento de quebrantamiento utilizando una retroexcavadora con punta de martillo rompedor de 10 ton la cual no transmitía vibraciones a la Gola restante porque se habían realizado los cortes con hilo horizontal dejando las secciones separadas. El uso del equipo propuesto no funcionó debido a la dureza del concreto por lo que el Contratista desistió de su utilización al llegarla asistencia técnica desde el Brasil para los quebrantadores.

**FIGURA 17 SECCIÓN A DEMOLER CON EXCAVADORA**



### ✓ IZAJE DE BLOQUES

La restricción para el uso de la grúa era que no debía apoyarse en la losa del

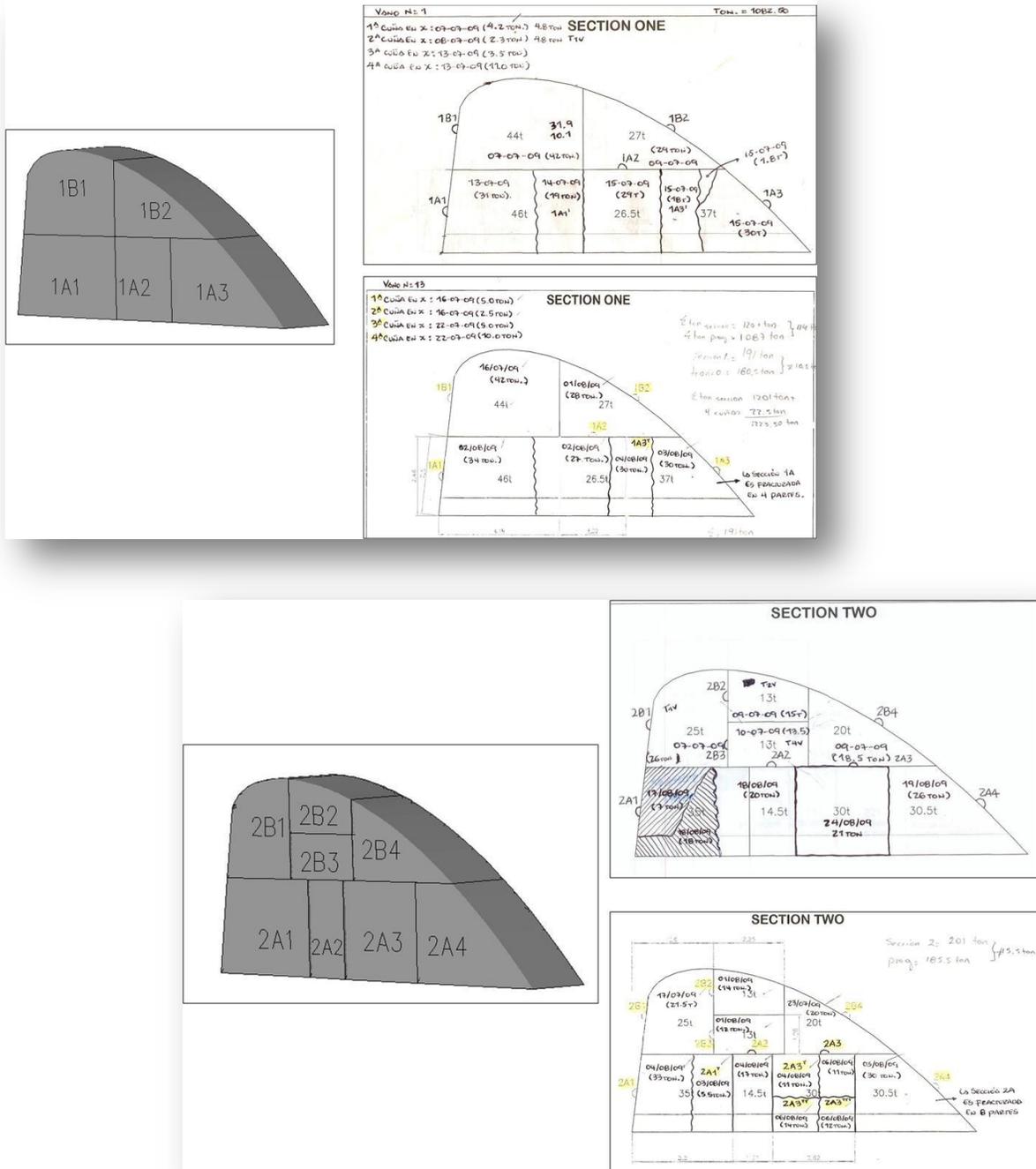
puente por consideraciones de carga sino en los estribos que se encuentran

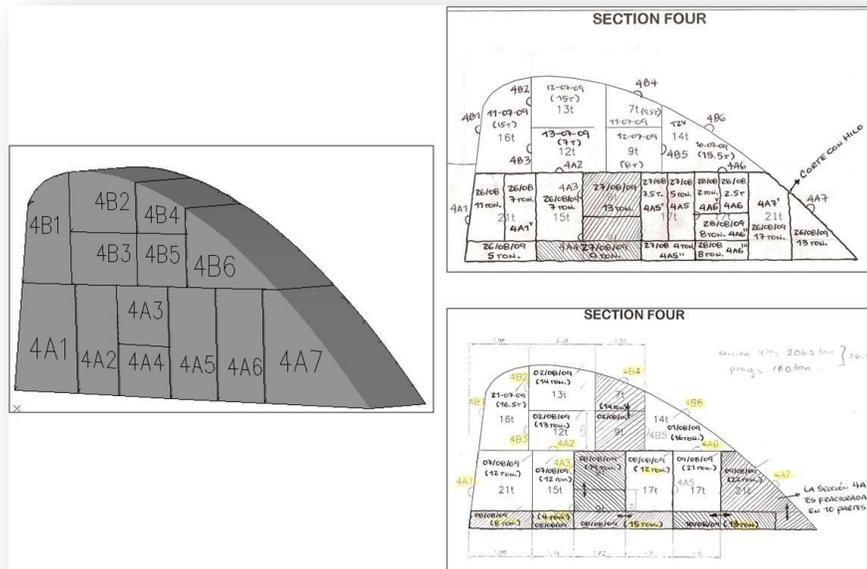
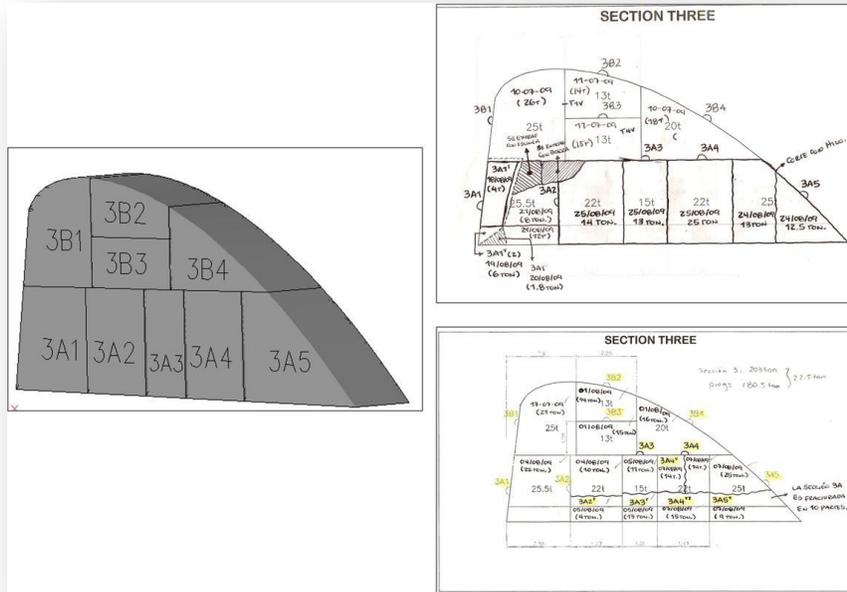
construidos en concreto masivo, así en todas las actividades anteriores descritas, el Contratista presentó un esquema de izaje de bloques el cual sufrió cambios por la aparición de varillas, por el daño y en los quebrantadores y por la pérdida de capacidad de la grúa de 120 ton para levantar los bloques por encontrarse debajo del puente, por lo que el

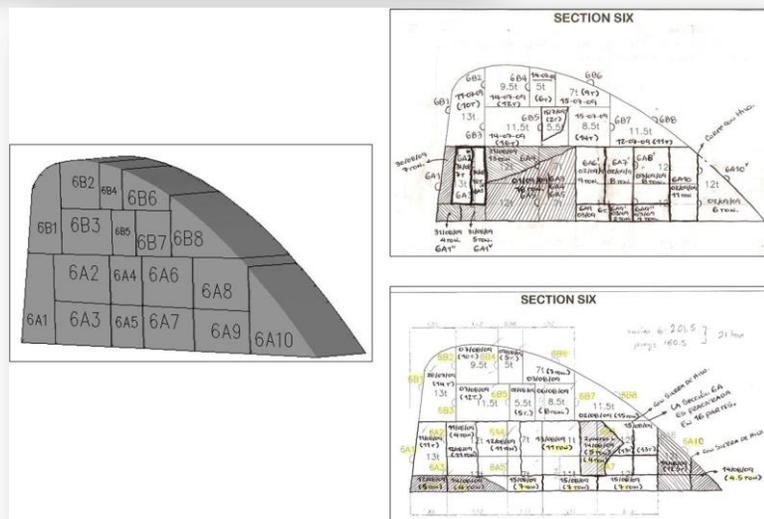
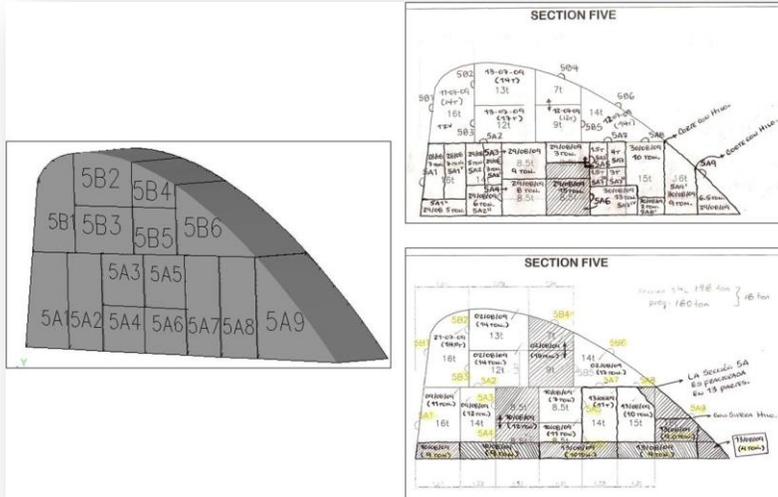
Contratista los dividió en pesos más pequeños teniéndose como consecuencia la aparición de más varillas principalmente aguas abajo.

A continuación se presenta el esquema programado para el retiro de bloques y el resultado final para ambos vanos externos:

FIGURA 18 ESQUEMAS DE IZAJE PROGRAMADO VS EJECUTADO (SEIS SECCIONES)







La foto siguiente es una muestra de la aparición de varillas, las cuales fueron cortadas con oxicorte:



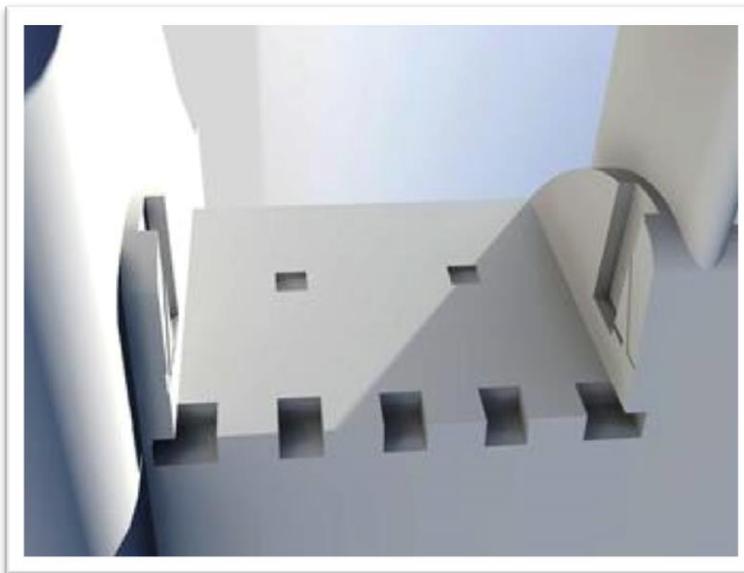
Al finalizar esta actividad de retiro de bloques, el Contratista continuó con la realización de las reservaciones para la instalación de la tubería de aireación, de la tubería eléctrica, de los soportes de la clapeta acostada y de los embebidos de soporte de la válvula tipo clapeta.

En la ejecución de este contrato, el

Contratista presentó reclamación solicitando mayores costos por la incidencia en las diferentes actividades del acero encontrado en el concreto.

El resultado final de la demolición en vanos externos se compara con el esquema programado:

**FIGURA 19 ESQUEMAS DE DEMOLICIÓN PROGRAMADO VS EJECUTADO**



### 6.5.3 OBRA CIVIL

#### 6.5.3.1 Descripción de los trabajos

La Empresa CCE fue la empresa Colombiana encargada de realizar las Obras civiles del incremento del volumen del embalse de URRÁ I.

Dichas Obras Civiles en los 11 vanos internos contemplaron la colocación de 48 m<sup>3</sup> en las siguientes estructuras:

- Construcción de una cuña de apoyo aguas arriba para las compuertas fusibles de longitud 14 m, la cual incluye acero de refuerzo con anclaje y una reservación de 0,03 m x 0,10 m x 14 m la cual, posterior a la instalación del fusible, se relleno con Sikagrout como sello horizontal de la compuerta.
- Construcción de una cuña de apoyo aguas abajo similar a la cuña de aguas arriba pero de 13 m, y adicionalmente, se embebieron los cuatro soportes de apoyo de los topes, anclados previamente cada uno con 4 pernos.
- Construcción de dos canales de drenaje entre cuñas de ancho 0,10 m y altura variable debido a la curva de la Gola.

Para los vanos externos y de acuerdo a los planos desde RC-103 hasta RC-109, se colocaron 350 m<sup>3</sup> en las siguientes estructuras:

- Viga frontal de 12,30 m de largo y 2,70 m de alto la cual tenía dos funciones: embeber los cinco soportes del eje de la clapeta anclados previamente y servir de apoyo al muro Provisional.
- 
- Dos muros laterales desde la elevación 123,30 msnm hasta la elevación

135,00 msnm los cuales tiene la función de dar el ancho exacto de 12 m, embeber la tubería de aireación y la tubería eléctrica, las platinas de estanqueidad y los soportes de los cilindros.

- Construcción del sello vertical de la clapeta con Sikatop 122 incorporado en los muros laterales.
- Dos soportes de apoyo para la clapeta acostada.
- Previó al tratamiento de la junta de contracción existente desde la construcción en la mitad del vano externo, se construyó una losa con el 2% de pendiente y dimensiones 12 m de ancho x 010 m de alto x 11,26 m de largo.

Antes de dar inicio a la construcción de las estructuras mencionadas anteriormente, la Empresa CCE presentó los siguientes documentos requeridos:

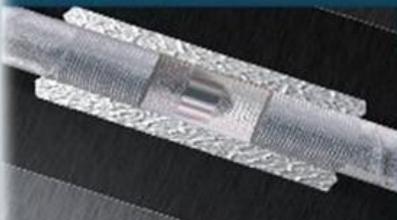
- Diseño de mezclas de acuerdo a los requerimientos de la Asesoría que fueron: concreto de 4.000 psi con tamaño máximo 1 ½" y cemento Portland Tipo I.
- Estudio del agua para la fabricación del concreto (La utilización del agua del embalse no estaba permitida debido a la presencia de sulfatos).
- Canteras a utilizar para el agregado grueso y fino.
- Métodos de soporte para la confinación del concreto (encofrado).
- Metodología de fabricación, transporte, colocación y consolidación del concreto.



- Debido a que luego de posicionar los soportes de los cilindros en la elevación 131,50 msnm, no se podía continuar con el traslape del acero vertical que conformaba los muros, la Asesoría reemplazó dichos traslapes

con unos acoples tipo Lenton. La Empresa Colombiana Unibarra fue la encargada de realizar dichos conectores los cuales presentan las siguientes ventajas:

Ventajas UNIBARRA



1. Optimización del uso del acero.
2. Disminuye el consumo de acero ya que elimina los traslapes.
3. Disminuye el consumo de alambre negro para amarres.
4. Evita la congestión del acero (evita sobrecostos por fluidificantes).
5. Asegura la continuidad del acero.
6. La transferencia de esfuerzos de tensión es independiente del concreto.
7. Mejora la integridad estructural.
8. Elimina los cálculos de traslapes y facilita los despieces de acero.
9. Permite hacer "cortes" de acero en cualquier ubicación en la estructura.
10. Evita el uso de soldaduras para barras fijas.
11. Por su sencillez no requiere personal calificado para su aplicación.
12. Es más económico que un traslape tradicional.

**UNIBARRA**

Conector tipo Lenton



Máquina roscadora



- Por recomendación de la Asesoría, se utilizó Sikafume para prevenir el ataque de los sulfatos que se encuentran en el agua del embalse de acuerdo al estudio de corrosividad del agua del embalse realizado en el año 2008 por la Corporación para la Investigación de la Corrosión CIC.
- En las juntas de construcción, previo al fraguado final, se removía la lechada quedando el agregado limpio y sano, y antes del vaciado del nuevo concreto, se aplicaba el adherente del concreto sikadur 32.
- Para cumplir con los requerimientos de la temperatura del concreto, el Contratista realizaba generalmente la fabricación del concreto en la noche y utilizó hielo para el enfriamiento del agua de amasado.
- Para la fabricación del concreto, el Contratista utilizó mezcladoras de 1 ½ sacos de cemento debido a que la concretera más cercana se encuentra ubicada en la ciudad de Montería, lo que acarrearía aproximadamente 3 horas de viaje al sitio de la obra por lo que el concreto podría perder su resistencia y sus características.

Además, por la poca cantidad de concreto a fabricar, no ameritaba la adquisición de una planta mezcladora.

- El descenso del concreto se realizó en forma manual debido a la diferencia de alturas entre el puente 137 msnm y la elevación más baja de fundida que fue 122,30 msnm.
- Para los curados del concreto se utilizó antisol en la partes de acabado final y en las juntas de construcción se utilizaron sacos de fique, los cuales se rociaban constantemente con agua.

- Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión realizada en aproximadamente 500 cilindros a edades de 3, 7 y 28 días en los Laboratorios de la Universidad del Sinú, fueron superiores hasta en un 40% a los 28 días de la resistencia del diseño que era de 4.000 psi.

### 6.5.3.2 Construcción muros provisionales

Debido a la coincidencia de haberse presentado un fenómeno del Niño, durante el desarrollo de las obras, se hizo efectiva la exigencia regulatoria de conservar unos niveles mínimos en el embalse (NIVELES ENFICC), de tal forma que se garantizara la generación de la energía comprometida para el cargo por confiabilidad, para dar cumplimiento a este compromiso, fue necesaria la construcción de dos muros de protección a las obras donde se instalaron las válvulas tipo Clapeta, de tal manera que se pudiera elevar el embalse hasta el nivel exigido por la regulación, evitándose la



aplicación de sanciones por parte de Regulador. Con base en diseños estructurales contratados por URRÁ, se procedió por parte del Contratista CCE con la construcción de dos muros (uno en cada vano externo) entre elevaciones 125 msnm y 128 msnm, un ancho de

12,30 m y un espesor de 0,30 m. Por no tener el tiempo suficiente para un diseño de mezclas de un concreto de 3000 psi, se optó por utilizar la misma dosificación y resistencia que se estaba utilizando para la construcción de las estructuras del proyecto. A dicho concreto, se le adicionó acelerante SIKASET L y el plastificante de sika Plastocrete con el fin de obtener altas resistencias a temprana edad, considerando el ascenso rápido del embalse.

La construcción de estos muros tuvo incidencia tanto en los costos del proyecto, como en los plazos de ejecución de mismo, materializándose así uno de los imprevistos.

#### 6.5.4 MONTAJE

La instalación de los Diques Fusibles y de las Compuertas de tipo Clapeta se realizó a través de subcontratación con la empresa Colombiana CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORÍA ESPECIALIZADA CCE, con sede en la ciudad de Montería.

Todos los trabajos de instalación se realizaron bajo la supervisión permanente la Interventoría y con asistencia técnica de personal especializado de HYDROPLUS (Ver Planos en el Volumen 4).

La duración de los trabajos de instalación fue de 3 meses incluidas las pruebas.

Para la instalación de los equipos se diseñó y construyeron dispositivos especiales para facilitar su montaje por debajo del puente y sobre la gola del rebosadero.

Para facilitar el desplazamiento del personal y garantizar su seguridad durante los trabajos fue necesaria la construcción e instalación de un corredor metálico en toda la longitud del rebosadero y la utilización de una grúa de

70 toneladas para el montaje de las partes más pesadas de las Clapetas y para la instalación de los Diques fusibles.

Las principales actividades desarrolladas para la instalación de los Diques Fusibles fueron:

- ✓ Armado de los Diques en la Central.
- ✓ Instalación de topes embebidos en la obra civil.
- ✓ Movimiento de descenso de los Diques Fusibles hasta la gola y posicionamiento inicial en los 11 vanos intermedios.
- ✓ Alineamiento de los fusibles en cada vano.
- ✓ Colocación de morteros para cuñas frontales y posteriores.
- ✓ Fabricación y colocación de lastres de concreto dentro de los Diques según su secuencia de volcamiento.
- ✓ Pesaje de los fusibles para asegurar el momento de vuelco según la altura del pozo.
- ✓ Instalación de las juntas de estanqueidades laterales y horizontales.

De igual forma las principales actividades desarrolladas para la instalación de las Clapetas fueron:

- ✓ Instalación de los soportes embebidos para cojinetes.
- ✓ Instalación de los portasellos embebidos para la estanqueidad horizontal de las Clapetas.
- ✓ Instalación de las platinas embebidas para la estanqueidad lateral de las Clapetas.
- ✓ Instalación de los soportes embebidos para el montaje de los cilindros de accionamiento hidráulico.
- ✓ Descenso de las 4 secciones de cada Clapeta en cada vano extremo.
- ✓ Alineamiento de las secciones de Clapeta, instalación de bujes y

- ensamble con tornillos de todo el conjunto.
- ✓ Alineamiento de la Clapeta armada con los soportes de cojinete e instalación de ejes.
- ✓ Instalación de los cilindros hidráulicos
- ✓ Preensamble de los mecanismos de izaje.
- ✓ Montaje de los mecanismos de izaje en las Clapetas.
- ✓ Instalación de las cadenas de transmisión.
- ✓ Instalación de las casetas para los equipos de mando.
- ✓ Instalación de los equipos de mando.
- ✓ Instalación de tuberías, cableado, sensores y conexiones.
- ✓ Habilitación del sistema y pruebas.
- ✓ Instalación de juntas de estanqueidad lateral y horizontal.
- ✓ Instalación de resina de acabado en los muros laterales.
- ✓ Pruebas de funcionamiento del sistema

### 6.5.4.1 DIQUES FUSIBLES

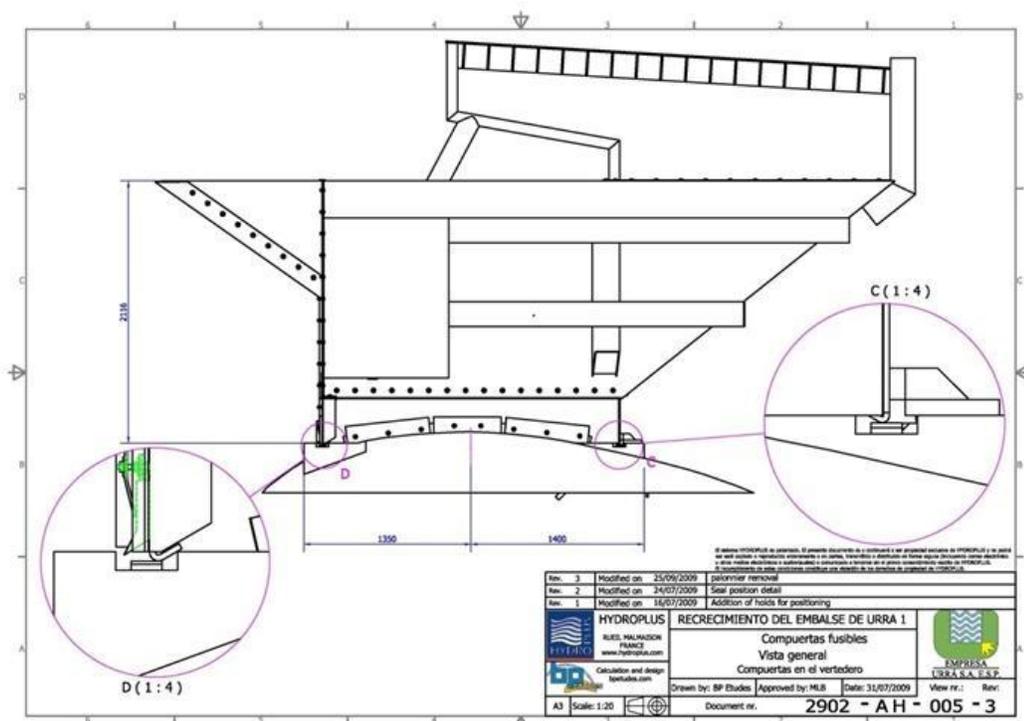


FIGURA 20 PLANO DE POSICIÓN FINAL DE LOS DIQUES FUSIBLES SOBRE LA GOLA DEL REBOSADERO

## SECUENCIA DE LA INSTALACION



**INSTALACIÓN DE SOPORTES EMBEBIDOS**



**LEVANTAMIENTO Y TRASLADO DE LOS DIQUES  
HASTA EL PUENTE DEL REBOSADERO**



**DESCARGUE DE LOS DIQUES EN EL PUEBLO Y POSICIONAMIENTO EN EL DISPOSITIVO DE MONTAJE**



**MOVIMIENTO DE DESCENSO HACIA LA GOLA DEL REBOSADERO SEGÚN LA POSICIÓN DE VOLCAMIENTO**



INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ | Montería, Marzo de 2010



Empresa  
URRA S.A. E.S.P.



**POSICIONAMIENTO DEL  
DISPOSITIVO DE MONTAJE  
SOBRE LA GOLA**

**DESPLAZAMIENTO DEL DIQUE FUSIBLE  
SOBRE EL DISPOSITIVO HASTA LA GOLA**



**LEVANTAMIENTO DEL  
DIQUE FUSIBLE SOBRE  
GATOS**

INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ | Montería, Marzo de 2010

**RETIRO DEL DISPOSITIVO**



**POSICIONAMIENTO Y  
ALINEAMIENTO SOBRE LA  
GOLA.**



INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ | Montería, Marzo de 2010



**RELLENO DE LAS CUÑAS DE SELLO CON MORTERO AUTONIVELANTE**



**COLOCACIÓN DE LASTRES DE CONCRETO**





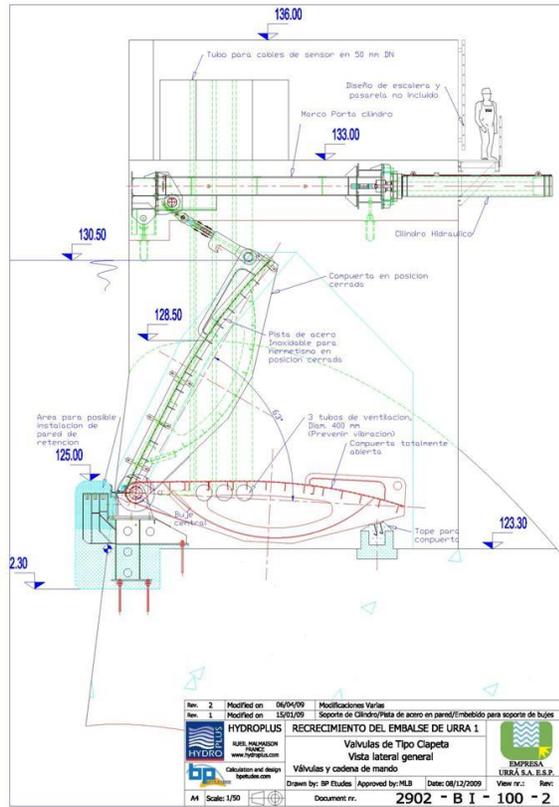
**PESAJE DE FUSIBLES CON LASTRES  
(VER ANEXO 5 PROCEDIMIENTO DE  
PESAJE DE LASTRES)**



**INSTALACIÓN DE JUNTAS  
DE ESTANQUEIDAD**



### 6.5.4.2 Esquema de instalación del sistema de Clapetas de un vano



INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ | Montería, Marzo de 2010

**INSTALACIÓN DE SOPORTES EMBEBIDOS PARA VIGA FRONTAL**





**INSTALACIÓN DE  
SOPORTES PARA COJINETES**

**INSTALACIÓN DE LAS  
VIGAS PORTASELLO DE  
ESTANQUEIDAD  
HORIZONTAL**





**INSTALACIÓN DE PLATINAS  
EMBEBIDAS PARA  
ESTANQUEIDAD  
HORIZONTAL**



**INSTALACIÓN DE  
SOPORTES EMBEBIDOS  
PARA CILINDROS  
HIDRÁULICOS HORIZONTAL**





**DESCENSO DE LAS 4 SECCIONES DE CADA CLAPETA**



Empresa  
URRÁ S.A. E.S.P.



**ENSAMBLE CON TORNILLOS  
DE LAS SECCIONES DE  
CLAPETA**



INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ | Montería, Marzo de 2010



**INSTALACIÓN DE  
CILINDROS HIDRÁULICOS**



**PREENSAMBLES DEL SISTEMA DE IZAJE**

**INSTALACIÓN DE LOS SOPORTES DE PIÑONES**



**INSTALACIÓN DE LAS CADENAS DE CONEXIÓN**



Empresa  
URRA S.A. E.S.P.



**INSTALACIÓN DE CASSETAS  
PARA EQUIPOS DE MANDO**



INCREMENTO DEL VOLUMEN DEL EMBALSE DE URRÁ | Montería, Marzo de 2010



**VISTA GENERAL DEL  
SISTEMA DE CLAPETAS**

## 6.6 PRUEBAS DE LOS EQUIPOS INSTALADOS PARA EL REALCE DEL REBOSADERO

### ✓ DIQUES FUSIBLES

Una de las principales ventajas que tiene la instalación de Diques Fusibles es que el sistema es totalmente autónomo y no requiere intervención de personas para su operación y funcionamiento, ya que el vuelco de los Diques se produce por la acción del agua misma, por lo tanto no se requiere de hacer pruebas al sistema una vez que durante la instalación se tenga control cuidadoso en las siguientes actividades:

- Que se obtengan los pesos exactos de cada fusible con sus contrapesos de acuerdo con el momento estabilizante requerido según la posición de vuelco.
- Que las juntas de neopreno verticales y horizontales estén correctamente instaladas de acuerdo con los planos.
- Que se haya asegurado que los fusibles están despegados de las cuñas de resina del lado de aguas arriba para asegurar su levantamiento en caso de vuelco.

### ✓ VÁLVULAS TIPO CLAPETA

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de válvulas de tipo Clapeta se realizaron las siguientes pruebas una vez terminada la instalación:

- Pruebas de apertura y cierre de las clapetas para verificar el ajuste adecuado de los componentes mecánicos.

- Prueba de funcionamiento del inclinómetro para detección de la posición angular de la compuerta.
- Prueba de funcionamiento de los sensores inductivos para la detección de posición abierta y cerrada de la compuerta.
- Prueba de funcionamiento del sistema en modo manual (local).
- Prueba de funcionamiento del sistema en modo automático.
- Prueba de funcionamiento de la apertura con el flotador de seguridad mecánico en caso de falla de la energía.

Todas las pruebas realizadas fueron registradas en los protocolos respectivos.

## 6.7 SEGURIDAD INDUSTRIAL

Para el seguimiento y control de los diferentes componentes de la Seguridad industrial se definió previamente las matrices de riesgos mostrados en el Anexo 6.

Una de las labores de la Interventoría durante el desarrollo del proyecto fue exigir a todos los contratistas la elaboración de los panoramas de riesgo antes del inicio de las actividades para identificar por actividades cuales eran los peligros a los cuales estaría expuesto el personal y así mismo velar en forma permanente para el cumplimiento de las medidas de seguridad correspondientes para asegurar la ejecución segura de los trabajos.

Las medidas efectivas que se implementaron desde el inicio y a las cuales se hizo seguimiento diario fueron:

- ✓ El diseño y construcción de accesos, plataformas y pasarelas con barandas a todo lo largo del Rebosadero tanto aguas arriba como aguas abajo.



- ✓ Reuniones iniciales con todo el personal de los contratistas el día de inicio de las actividades.



- ✓ Exigencia a los Contratistas de toda la documentación legal correspondiente a la contratación del personal para la atención en caso de accidentes (EPS, ARP).

- ✓ La instalación de líneas de vida verticales y horizontales y el uso permanente de arneses para trabajos en altura.



- ✓ La utilización diaria de los implementos de seguridad personal según la actividad (casco, guantes, botas, gafas, mascarillas)



- ✓ El empleo de personal especializado para los trabajos de movimiento de cargas pesadas.



- ✓ Las charlas frecuentes sobre los riesgos diarios a los que se está expuesto.
- ✓ La supervisión constante de las áreas de trabajo para tomar medidas preventivas en el terreno.
- ✓ La utilización de herramientas adecuadas según el tipo de actividad.

Las observaciones generadas durante las inspecciones diarias se registraron mediante el aviso verbal y anotaciones de bitácora para obtener respuestas prontas y así garantizar la seguridad de los trabajadores durante todo el tiempo.

Los resultados muestran que las medidas tomadas fueron efectivas ya que durante todo el desarrollo de la obra no se presentaron accidentes de consideración.

## 6.8 PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

El costo total de la inversión de esta obra fue el siguiente:

**TABLA 8 COSTOS TOTALES**

CONTRATOS	VALOR EN PESOS
Diques Fusibles y Clapetas	12.717.167.876
Interventoría Técnica	1.052.016.896
Asesorías	322.231.000
Demolición	2.580.708.012
Obra Civil	747.742.198
Interventoría Ambiental	71.298.450
Vías	312.298.914
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>17.803.463.346</b>

El cronograma con base en cual se adelantaron las actividades de los diferentes contratos se muestran en el Anexo 7.

## 6.9 EMPRESAS PARTICIPANTES EN LA OBRA

A continuación se relacionan las Empresas que participaron en la ejecución de los trabajos:

EMPRESA	CONTRATO	TRABAJO REALIZADO
HYDROPLUS	2008-1480	Diseño, Fabricación y suministro de las válvulas tipo clapeta y compuertas fusibles
ELEMENTOS METÁLICOS	SUBCONTRATISTA DE HYDROPLUS	Fabricación de Diques Fusibles y compuertas
CCE	SUBCONTRATISTA DE HYDROPLUS	Montaje de las compuertas y fabricación de lastres en los Diques Fusibles
EMEC Ltda.	1744-2008	Interventoría Técnica
GÓMEZ CAJIAO Y ASOCIADOS	Orden de servicio	Diseños y Especificaciones para demolición y concretos
DECOTEC	PRE0479-2009	Demolición
CCE	2009-0993	Concretos

## 6.10 PROFESIONALES PARTICIPANTES EN LA OBRA

En el siguiente cuadro se relacionan todos los ingenieros de la diferentes Empresas y ramas que participaron en la realización de la Obra:

**TABLA 9 PROFESIONALES PARTICIPANTES EN LA OBRA**

EMPRESA	NOMBRE Y APELLIDOS	PROFESIÓN	CONSEJO ADSCRITO	No. Matricula
<b>URRÁ S.A. E.S.P.</b>	Alfredo Solano Berrío	Ingeniero Eléctrico	ACIEM	3294
	Rafael José Piedrahita de León	Ingeniero Civil	COPNIA	0520208004ANT
	Juan Acevedo Rocha	Ingeniero Civil	COPNIA	0820217974ATL
	Isdaldo Benjamín Ruiz Hoyos	Ingeniero Electricista	ACIEM	25205-18285
	Eduardo Díaz Pérez	Ingeniero Eléctrico	ACIEM	25205-22356
	Carlos Deutsch Rincón	Ingeniero Civil	COPNIA	25202-04756
	Enrique Kerguelen	Ingeniero Civil	COPNIA	2520234133CND
	Roiman Ramos Carvajatino	Ingeniero Mecánico	ACIEM	12126
<b>EMEC Ltda.</b>	Henry Alberto Quevedo Cárdenas	Ingeniero Mecánico	ACIEM	CN2502432
	Carlos Arturo Flórez Díaz	Ingeniero Mecánico	ACIEM	AT23031246
	Víctor Hugo Acevedo González	Ingeniero Mecánico	ACIEM	CN23033037

EMPRESA	NOMBRE Y APELLIDOS	PROFESIÓN	CONSEJO ADSCRITO	No. Matricula
<b>EMEC Ltda.</b>	Leonor Patricia González J.	Ingeniera Civil	COPNIA	0520254024ANT
	Luis Fernando Mora Fuentes	Ingeniero Civil	COPNIA	2520267809CND
	Fernán Enrique Salas de la Espriella	Arquitecto	COPNIA	1370055965BLV
	William Arturo Toro Acosta	Ingeniero Industrial	COPNIA	14821
<b>ARANGO ESCOBAR ASESORIAS</b>	Pablo Arango Escobar	Ingeniero Forestal	Ministerio de Agricultura	9366
	Xiomara Romero Zuñiga	Ingeniero Civil	COPNIA	22202133866COR
<b>GÓMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS</b>	Iván Gómez Villa	Ingeniero Civil	COPNIA	4436CND
	Enrique Silva	Ingeniero Civil	COPNIA	6034CND
	Álvaro Díaz	Ingeniero Civil	COPNIA	2520201268CND
	Germán Monsalve Sáenz	Ingeniero Civil	COPNIA	19444 CND
<b>HYDROPLUS</b>	Andrés Chinchilla Alarcón	Ingeniero Mecánico	ACIEM	CN230-27346
	Miguel Ángel Salamanca Alarcón	Ingeniero Mecánico	ACIEM	CN230-67693
<b>CCE Ltda.</b>	Félix Alberto Barreneche Herrera	Ingeniero Electromecánico	ACIEM	AT25205-1685
	Arith Peinado Castro	Arquitecto	COPNIA	0870056962ATL
	Nelson García Suárez	Ingeniero Civil	COPNIA	1320254086BLV
	Gustavo Ramiro Royette Guzmán	Ingeniero Civil	COPNIA	22202130214COR

## 6.11 ACTAS DE RECIBO DE OBRAS

En el Anexo 8, se relacionan las actas de recibo de Obra de los diferentes Contratistas.

## 7. ANEXOS

En este aparte se adjuntan los anexos citados en la descripción del Proyecto.

## 8. PLANOS

En el Anexo 9, se adjuntan los planos utilizados para las actividades de demolición y Obras Civiles, diseñados y elaborados por la Asesoría Gómez, Cajiao y Asociados.

## 9. REGISTRO FOTOGRÁFICO

En el Volumen 5, se ilustran los diferentes trabajos realizados.