



PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME

I.PRO.02.018

Aprobado por:

<p>FRANCISCO JAVIER MURCIA POLO GERENTE GENERACION UNIDAD GENERACION DE ENERGÍA</p>

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 2 de 10

INFORME DE INSTRUCTIVO

TABLA DE CONTENIDO

1.	OBJETO -----	3
2.	ÁMBITO-----	3
3.	RELACIONES -----	3
4.	RESPONSABILIDADES-----	3
5.	GLOSARIO -----	4
6.	DESARROLLO -----	4
6.1	ASPECTOS GENERALES DEL INSTRUCTIVO-----	4
6.2	DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL -----	5
6.3	ELEMENTOS DE LA ZONA DE CAPTACIÓN DE AMAIME -----	7
6.4	MEDICIÓN CONTINUA DE CAUDAL DEL RÍO AMAIME -----	9
6.5	REPARTO PORCENTUAL DE CAUDALES-----	10
6.6	ESTRUCTURAS DE VERTIMIENTO -----	14
6.6.1	Vertedero azul de derivación -----	14
6.6.2	Compuerta de Limpia o Caudal ecológico -----	17
6.6.3	Vertedor canal de aducción -----	19
6.6.4	Compuerta radial-----	21
6.6.5	Vertedor tanque de carga -----	23
6.7	INSTRUMENTACIÓN DE LA ZONA DE CAPTACIÓN -----	25
6.7.1	Medida de nivel de agua aguas arriba del azul-----	26
6.7.2	Medida de nivel al inicio del canal de aducción -----	26
6.7.3	Medida de apertura de la compuerta radial-----	26
6.7.4	Medida de nivel de agua en el tanque de carga -----	26
6.7.5	Cudalímetro por ultrasonidos de 4 haces -----	26
6.8	DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO -----	26
6.9	ACTIVIDADES DEL PROCEDIMIENTO -----	27
6.9.1	Entrega y Recibo de Turno -----	27
6.9.2	Garantizar la Posición de la Compuerta de Limpia -----	27
6.9.3	Monitorización Hora a Hora de Generación y Reparto de Caudales -----	28
6.9.4	Ajuste de Potencia de Acuerdo al Caudal del Río -----	28
6.9.5	Parada de la Planta -----	28
6.10	CURVAS DE EFICIENCIA DE LOS GRUPOS -----	29
6.10.1	Grupo 1 -----	29
6.10.2	Grupo 2 -----	30
6.10.3	Grupos 1+2-----	31
6.11	CUADROS DE OPERACIÓN -----	32
6.12	ESQUEMA DE SUPERVISIÓN DE CAUDALES POR LA CORPORACIÓN -----	34
6.13	OBSERVACIONES Y COMENTARIOS -----	34
7.	MODIFICACIONES -----	35

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 3 de 10
		Versión: 0001
		Fecha 12/07/2011

1. OBJETO

Establecer el proceso de operación de la Central Hidroeléctrica de Amaime, cumpliendo con la CONCESIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES para los caudales establecidos en la Licencia Ambiental del proyecto.



2. ÁMBITO

El presente documento aplica para establecer los criterios y procedimientos para la operación de la Central de Amaime y el control que ejerce la Autoridad Ambiental CVC

3. RELACIONES

- Norma NTC-ISO 9001:2000 "Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos".
- Norma NTC - ISO 14001:2004 "Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con Orientación para su Uso"
- Manual del Sistema de Mejoramiento de la Calidad y Gestión Medioambiental.
- Procedimiento de Despacho de Unidades
- Instructivo de Arranque De Grupo Generador Amaime
- Instructivo Paro De Grupo Generador Amaime
- Instructivo Diligenciamiento de la Bitácora de Operación para Centrales Hidroeléctricas

4. RESPONSABILIDADES

- ELECTRICISTA MANTENIMIENTO CENTRALES: Ajustar la potencia de la central de acuerdo al caudal del río.
- OPERARIO MANTENIMIENTO ELECTRICO: Ajustar la potencia de la central de acuerdo al caudal del río
- FONTANERO: Maniobrar los diferentes equipos de la captación de acuerdo a las instrucciones recibidas para la regulación del caudal ecológico del río.

EPSA			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 4 de 10	Fecha 12/07/2011

- **INGENIERO DE PLANTAS MENORES:** Coordina el apoyo logístico para las maniobras de ajuste de potencia de la central de acuerdo al caudal del río.

5. GLOSARIO

- **Compuerta:** Puerta movable que se utiliza para darle flujo normal a los caudales aguas debajo de la central hidroeléctrica.
- **Vertedero:** El vertedero es una estructura hidráulica destinada a permitir el pase, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales. Tiene varias finalidades entre las que se destaca: Garantizar un nivel con poca variación en un canal de riego, aguas arriba. Ser una estructura de medición indirecta de caudal a través del cálculo de curvas de gasto.
- **Túnel de conducción:** Tubería de alta presión para conducir el agua desde el tanque de carga hasta las turbinas de casa de máquinas.
- **Azud derivador:** Estructura tipo que permite el desvío lateral de un río, dando un nivel constante a la lámina de agua garantizando su ingreso a las rejillas de la bocatoma. En épocas invernales, el azud transita de manera natural las crecientes aguas abajo de la bocatoma. En ningún momento se regulan caudales o se generan picos ya que físicamente no es posible por la configuración de la bocatoma y por la licencia ambiental.
- **Bitácora:** Libro de actas donde se consignan eventos.
- **m.s.n.m.:** Metros sobre el nivel del mar. Distancia vertical a la que se encuentra un punto, medida con respecto al nivel del mar.
- **Válvula:** Dispositivo de cierre para regular el paso de un fluido.

6. DESARROLLO

6.1 ASPECTOS GENERALES DEL INSTRUCTIVO

La Central Hidroeléctrica Amaime inició su operación comercial a partir del 03 de Enero del 2011 y como requisito para su funcionamiento y mantenimiento de las condiciones ambientales en la zona de reducción de caudal, se hace necesario que la operación de la Central, en la producción de energía eléctrica, establezca un procedimiento que garantice el cumplimiento de las exigencias ambientales.

EPSA		Código: I.PRO.02.018	
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 5 de 10	Fecha 12/07/2011

La Licencia Ambiental, otorgada por la Corporación del Valle del Cauca (CVC) el 25 de septiembre de 2007 mediante la resolución No. 0100- 0720-0470. En ella, en el Artículo Cuarto, Numeral 1 – CONCESIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES: Se otorga la concesión de aguas superficiales hasta un volumen equivalente al 80% del caudal que llega al sitio de captación hasta un máximo de 12 metros cúbicos por segundo para uso en la generación de energía, garantizando un 20% del caudal que llega como caudal ecológico con un mínimo de 700 litros por segundo.

En este procedimiento se define:

Los caudales máximos y mínimos de operación de la Central, respetando los caudales ecológicos y generando energía eléctrica de la forma más eficiente.

Los sistemas de medición de caudales de forma directa o indirecta. Nivel o caudalímetros que asociados a un sistema de control, supervise la operación de la Central.

El recorrido de la línea de agua desde el momento en que es captada, desviada y conducida hasta las turbinas, para luego devolverla al río Amaime en las mismas condiciones.

La función de cada una de las estructuras en el proceso de captación y devolución del agua del río Amaime.

La función de las personas, que como operadores de la Central, controlan el proceso.

La participación de la CVC como autoridad Ambiental, supervisando los caudales concesionados y comprobando el cumplimiento de la norma.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL

La Central Hidroeléctrica de Amaime es una Central de tipo fluyente o filo de agua. Ello quiere decir que el aprovechamiento del recurso hídrico, no tiene ninguna capacidad de almacenamiento del volumen de agua aportado por el río Amaime.



Las obras de captación constan de un azud derivador que eleva el nivel de agua lo suficiente para asegurar la derivación del caudal a turbinar. Este caudal se capta a través de una toma

EPSA			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 6 de 10	Fecha 12/07/2011

lateral, pasando por un conjunto de rejas que filtran el material vegetal, y dan paso al agua hacia el canal de limpia, el cual tiene una compuerta de fondo que está permanentemente abierta 15 cm devolviendo al río el caudal ecológico mínimo de 700lps. El resto del agua pasa a través de las segundas rejillas que dirigen en agua hacia el canal de aducción.

El agua se conduce por medio del canal de conducción a un desarenador de dos módulos donde se decantan la gran mayoría de los sedimentos en suspensión que transporta el agua.

Después del desarenador, el agua pasa al tanque de carga el cual posee un vertedero que devuelve la otra parte de caudal ecológico al río. En el tanque de carga se mantienen los niveles de operación óptimos, para que el agua ingrese al túnel de conducción el cual tiene una longitud aproximada de 4,9 Km y recorre el interior del macizo rocoso para llegar hasta casa de máquinas, ubicada en superficie en la margen derecha del río Amaime corregimiento el Pomo.

Dos unidades generadoras de tipo Francis horizontales acopladas a dos generadores síncronos, reciben el agua y generan la energía que es transmitida a la red mediante una línea de 34,5 KV de aproximadamente 10 Km de longitud conectada al sistema de distribución regional del Valle del Cauca.

El caudal turbinado es reintegrado directamente al río Amaime inmediatamente aguas abajo de la casa de máquinas.

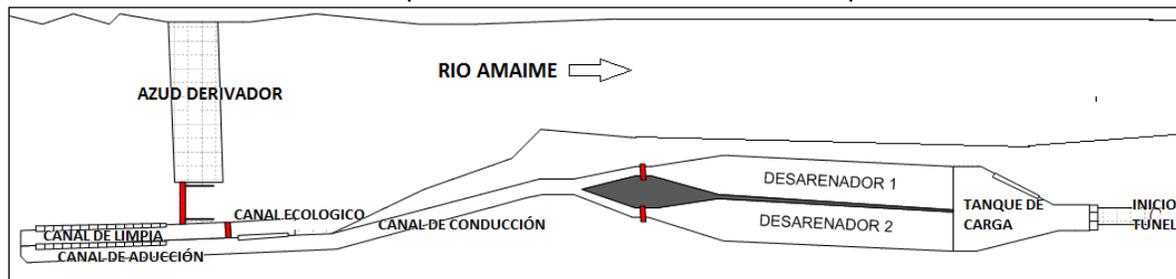
EPSA		Código: I.PRO.02.018	
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 7 de 10	Fecha 12/07/2011

A continuación se incluye una ficha técnica con los datos más relevantes de la Central.

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR
Caudal medio	m³/s	7,4
Caudal de diseño	m³/s	12
Área de la cuenca	Km2	432
Presa tipo		Derivadora
Cota de presa	msnm	1386
Altura de la presa	m	7
Longitud del túnel de conducción	m	4870
Diámetro del túnel	m	2.5
Pendiente	%	-3.94
Casa de máquinas tipo		Exterior
Salto bruto	m	203
Capacidad instalada	MW	18,6
Turbina	2 Francis horizontal VATECH	
Generadores	2 INDAR 11,513 MVA	
Cota eje de las turbinas	msnm	1186
S/e de llegada		Amaime
Línea de interconexión	km	11,6
Nivel de tensión	kV	34,5
Energía media anual	GWh	80,5
Tiempo de construcción	Meses	26

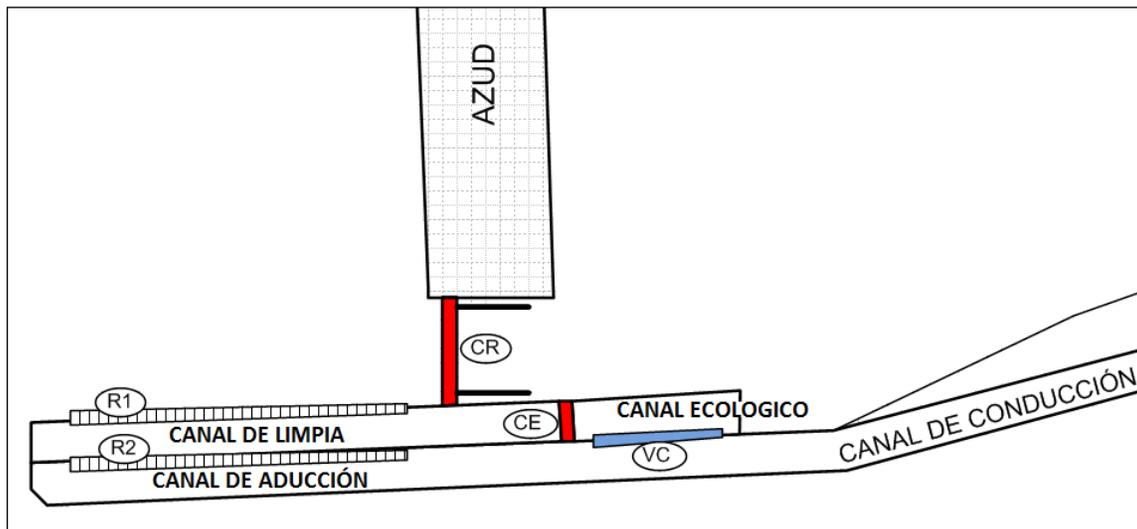
6.3 ELEMENTOS DE LA ZONA DE CAPTACIÓN DE AMAIME

A continuación se presenta un esquema en planta de todo el sistema de estructuras y elementos que compone la zona de captación de la central Amaime, para dejar bien definidos los nombres con los que se les llamará a cada uno de aquí en adelante:

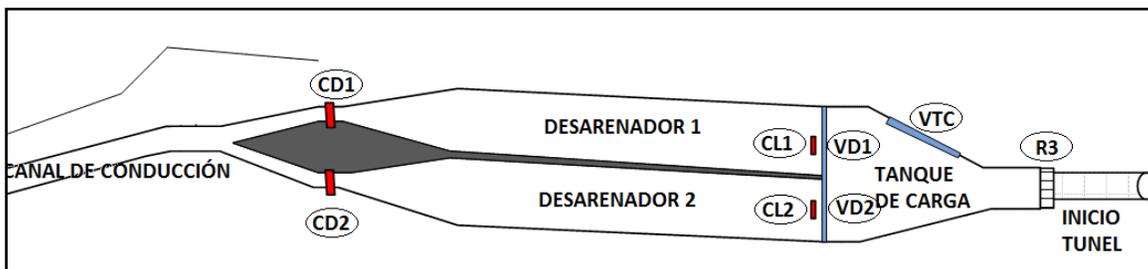


Esquema 1: Vista general en planta de la zona de captación.

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 8 de 10



Esquema 2: Vista zona de derivación y aducción.



Esquema 3: Vista en planta zona de desarenadores y tanque de carga.

A continuación se enlistan todos los elementos de control identificados en los esquemas anteriores.

COMPUERTAS	VERTEDEROS	REJILLAS
CR - Compuerta Radial	AZUD - Vertedero de Crecientes	R1 - Rejilla de entrada al Canal de Limpia
CE - Compuerta de Caudal Ecológico	VC - Vertedero Canal de Aducción	R2 - Rejilla de Entrada al Canal de Aducción
CD1 – Compuerta Desarenador 1	VD1 - Vertedero de Desarenador 1	R3 - Rejilla de Entrada al Túnel de Conducción
CD2 - Compuerta Desarenador 2	VD2 - Vertedero de Desarenador 2	
CL1 – Compuerta de Limpieza del Desarenador 1	VTC - Vertedero del Tanque de Carga	
CL2 –Compuerta de Limpieza Desarenador 2		

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 9 de 10
		Versión: 0001
		Fecha 12/07/2011

6.4 MEDICIÓN CONTINUA DE CAUDAL DEL RÍO AMAIME

El caudal del río Amaime ($Q_{RÍO}$) es imposible determinarlo de forma directa debido a la irregularidad del cauce y al régimen turbulento que presenta el río. Cualquier medida directa presentaría incertidumbres en los valores.

Por ello y como es práctica habitual en cualquier central hidroeléctrica, los caudales afluentes por el río se miden de forma indirecta mediante un balance de volúmenes de agua.

En cualquier sistema se debe cumplir la siguiente ecuación:

$$V_{ENTRADA} = V_{SALIDA} + V_{ALMACENADO}$$

Por tanto, en el caso de la central de Amaime esta expresión se puede plantear como:

$$V_{RÍO} = V_{TURBINADO} + V_{VERTIDO} + V_{ALMACENADO}$$

Se entiende por $V_{VERTIDO}$ todo el volumen desaguado por las estructuras de vertimiento exceptuando el volumen turbinado a través de la central.

Como la capacidad de almacenamiento del aprovechamiento es nulo, la expresión se puede simplificar en:

$$V_{RÍO} = V_{TURBINADO} + V_{VERTIDO}$$

La cual, despreciando los tiempos de tránsito¹, se puede expresar directamente en caudales como:

$$Q_{RÍO} = Q_{TURBINADO} + Q_{VERTIDO}$$

Siendo,

$$Q_{VERTIDO} = Q_{AZUD} + Q_{RADIAL} + Q_{ADUCCIÓN} + Q_{TANQUE} + Q_{LIMPIA}$$

Con esta expresión, conocidos los caudales turbinados y vertidos a través de la instrumentación descrita en el apartado 9 de este documento, es posible calcular el caudal que fluye por el río Amaime en cada instante:

$$Q_{RÍO} = Q_{TURBINADO} + Q_{AZUD} + Q_{RADIAL} + Q_{ADUCCIÓN} + Q_{TANQUE} + Q_{LIMPIA}$$

La estructura de captación de la central Amaime cuenta con 3 vertederos (Azud, Aducción, Tanque), 1 compuerta radial y 1 compuerta de limpia los cuales retornan hacia el río el caudal que no ingresa por la boca del túnel. Todas estas estructuras de control tienen calculadas ya sus curvas y tablas de gasto, las cuales nos permiten saber el caudal que está siendo devuelto al río por cada una de estas estructuras.

¹ Se considera despreciable el tiempo de tránsito del agua frente a los gradientes de variación natural del caudal en el río Amaime. En cualquier caso gradientes importantes en la variación del caudal natural del río se producirán sólo en avenidas, periodos en los cuales el caudal ecológico estará siempre asegurado.

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 10 de 10

La suma de cada uno de estos vertimientos lo llamaremos $Q_{VERTIDO}$.

A su vez, el agua que ingresa al túnel también es medida con un equipo de última tecnología para medir caudales llamado caudalímetro ultrasónico de 4 haces, el cual mide la velocidad del agua en 4 planos de la tubería y calcula el caudal que circula en cualquier instante. Este caudal que ingresa al túnel y que posteriormente será turbinado y devuelto al río en su totalidad lo llamaremos $Q_{TURBINADO}$.

Al tratarse de una central tipo fluyente o filo de agua la cual no tiene ninguna capacidad de almacenamiento entonces el caudal del río en cualquier momento sería:

$$Q_{RIO} = Q_{VERTIDO} + Q_{TURBINADO}$$

6.5 REPARTO PORCENTUAL DE CAUDALES

De acuerdo con la Licencia Ambiental en su ARTÍCULO CUARTO numeral 1 CONCESIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES:

“ Otorgar concesión de aguas superficiales a la “ Empresa de energía del Pacífico S.A. E.S.P. EPSA E.S.P.” con el fin de captar del Río Amaime, margen izquierda en el sector de Villa Marina, corregimiento de Toche municipio de Palmira y margen derecha en el sector de Salinas corregimiento de Aují, municipio de El Cerrito, un volumen equivalente al 80% del caudal que llega al sitio de captación hasta un máximo de 12 metros cúbicos por segundo (12m³/s) para uso en generación de energía (Uso no consultivo)

EPSA S.A. E.S.P. debe garantizar el flujo del 20% del caudal que llega como caudal ecológico.”

Una vez determinado el caudal que fluye por el río Amaime, es posible determinar el caudal ecológico a respetar en cada instante:

$$Q_{RIO} = Q_{VERTIDO} + Q_{TURBINADO}$$

$$Q_{ECOLOGICO} = 0.20 * Q_{RIO}$$

Al mismo tiempo con el caudal del río podemos saber que caudal disponemos para turbinar:

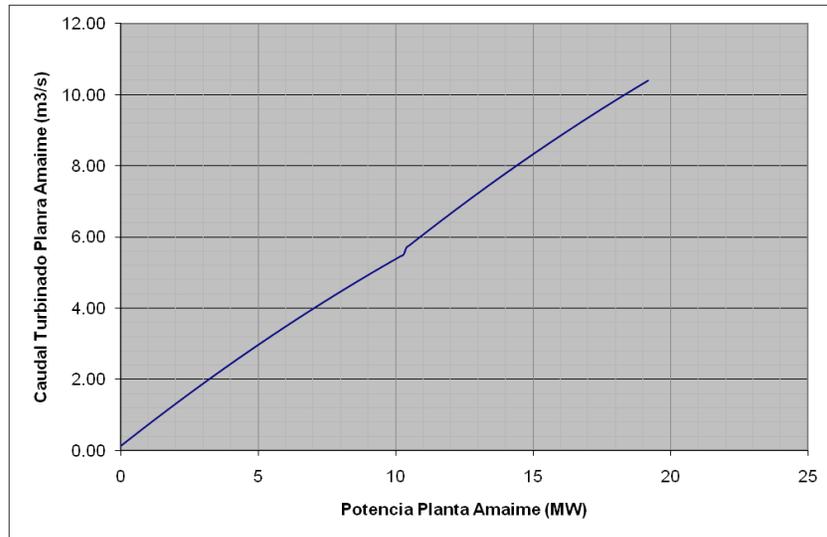
$$Q_{TURBINABLE} = 0.80 * Q_{RIO}$$

En toda turbina existe una relación directa entre Potencia Generada y Caudal Turbinado, la relación Potencia Vs Caudal de la central Amaime se muestra a continuación:

La grafica anterior se obtuvo a partir de varias mediciones de $Q_{TURBINADO}$ Vs $P_{GENERADA}$ con ayuda del caudalímetro ultrasónico de la central. Con esta relación plenamente definida, se

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 11 de 10
		Fecha 12/07/2011

obtuvo una tabla que a partir del caudal que trae el río, nos dice con que potencia se debe generar en la central, para consumir exactamente el 80% del caudal del río.



Con esta potencia podemos estar seguros de que el caudal ecológico del 20% de Q_{RIO} se cumplirá, puesto que la potencia con la que se fijan las maquinas es la que restringe el caudal que ingresa al túnel, y el caudal excedente será devuelto al río por las estructuras de vertimiento de la bocatoma, especialmente el vertedero del tanque de carga y la compuerta de limpia.

El caudal ecológico en condiciones normales será devuelto al río en 2 sitios: (1) Compuerta de limpia y (2) Vertedero del tanque de carga. Por la compuerta de limpia se debe siempre evacuar un caudal de 700 l/s, y por el vertedero del tanque de carga se devolverá al río el caudal correspondiente para que se complete un $Q_{VERTIDO}$ del 20% del Q_{RIO} :

$$Q_{TURBINADO}=80\%Q_{RIO}$$

$$Q_{VERTIDO}=20\%Q_{RIO}$$

$$Q_{TANQUE} + Q_{LIMPIA}=20\%Q_{RIO}$$

$$Q_{TANQUE} + 700 \text{ l/s}=20\%Q_{RIO}$$

EPSA			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 12 de 10	Fecha 12/07/2011

Para hacer más sencilla la tarea de los operadores de regulación de potencia (P_{GENERAR}) de acuerdo al caudal del río (Q_{RIO}), se hizo la siguiente tabla con la cual el operador de turno, hora a hora de acuerdo al caudal que traiga el río, sabe exactamente con que potencia sincronizar la central.

TABLA DE OPERACIÓN DE CAUDALES

AMAIME						
Q _{RIO} (m ³ /s)	Q _{TURBINABLE} (m ³ /s)	P _{GENERAR} (MW)		Q _{RIO} (m ³ /s)	Q _{TURBINABLE} (m ³ /s)	P _{GENERAR} (MW)
2.4	1.92	3.1		8.3	6.64	12.0
2.5	2.00	3.2		8.4	6.72	12.1
2.6	2.08	3.3		8.5	6.80	12.2
2.7	2.16	3.5		8.6	6.88	12.4
2.8	2.24	3.6		8.7	6.96	12.5
2.9	2.32	3.8		8.8	7.04	12.7
3.0	2.40	3.9		8.9	7.12	12.8
3.1	2.48	4.1		9.0	7.20	12.9
3.2	2.56	4.2		9.1	7.28	13.1
3.3	2.64	4.4		9.2	7.36	13.2
3.4	2.72	4.5		9.3	7.44	13.4
3.5	2.80	4.7		9.4	7.52	13.5
3.6	2.88	4.8		9.5	7.60	13.7
3.7	2.96	5.0		9.6	7.68	13.8
3.8	3.04	5.1		9.7	7.76	14.0
3.9	3.12	5.3		9.8	7.84	14.1
4.0	3.20	5.4		9.9	7.92	14.2
4.1	3.28	5.6		10.0	8.00	14.4
4.2	3.36	5.8		10.1	8.08	14.5
4.3	3.44	5.9		10.2	8.16	14.7
4.4	3.52	6.1		10.3	8.24	14.8
4.5	3.60	6.2		10.4	8.32	15.0
4.6	3.68	6.4		10.5	8.40	15.1
4.7	3.76	6.5		10.6	8.48	15.3
4.8	3.84	6.7		10.7	8.56	15.4
4.9	3.92	6.9		10.8	8.64	15.6
5.0	4.00	7.0		10.9	8.72	15.8
5.1	4.08	7.2		11.0	8.80	15.9
5.2	4.16	7.4		11.1	8.88	16.1
5.3	4.24	7.5		11.2	8.96	16.2
5.4	4.32	7.7		11.3	9.04	16.4
5.5	4.40	7.9		11.4	9.12	16.5
5.6	4.48	8.0		11.5	9.20	16.7
5.7	4.56	8.2		11.6	9.28	16.9
5.8	4.64	8.4		11.7	9.36	17.0
5.9	4.72	8.5		11.8	9.44	17.2
6.0	4.80	8.7		11.9	9.52	17.3
6.1	4.88	8.9		12.0	9.60	17.5
6.2	4.96	9.1		12.1	9.68	17.7
6.3	5.04	9.2		12.2	9.76	17.8
6.4	5.12	9.4		12.3	9.84	18.0
6.5	5.20	9.6		12.4	9.92	18.2
6.6	5.28	9.8		12.5	10.00	18.3
6.7	5.36	9.9		12.6	10.08	18.5
6.8	5.44	10.1		12.7	10.16	18.7
6.9	5.52	10.3		12.8	10.24	18.8
7.0	5.60	10.3		12.9	10.32	19.0
7.1	5.68	10.4		13.0	10.40	19.2
7.2	5.76	10.5		13.1	10.48	19.4
7.3	5.84	10.6		13.2	10.56	19.5
7.4	5.92	10.8		13.3	10.64	19.7
7.5	6.00	10.9		13.4	10.72	19.9
7.6	6.08	11.0		13.5	10.80	20.1
7.7	6.16	11.2		13.6	10.88	20.2
7.8	6.24	11.3		13.7	10.96	20.4
7.9	6.32	11.4		13.8	11.04	20.6
8.0	6.40	11.6		13.9	11.12	20.8
8.1	6.48	11.7		14.0	11.20	20.9
8.2	6.56	11.8		14.1	11.28	21.1

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 14 de 10
		Versión: 0001
		Fecha 12/07/2011

6.6 ESTRUCTURAS DE VERTIMIENTO

A continuación se describe la formulación empleada para el cálculo de los caudales a través de las distintas estructuras de vertimiento en la Central hidroeléctrica de Amaime

6.6.1 Vertedero azud de derivación

El vertedero del azud de derivación presenta un perfil tipo Bradley. La corona se encuentra a la cota 1389,98 y la longitud total del vertedor es de 30,30 metros.



La ecuación ajustada del perfil es:

$$\left(\frac{X}{H_{dis}} \right)^{1,85} = 2 \cdot \frac{y}{H_{dis}}$$

Se comprueba que el perfil diseñado para el azud tiene como altura de diseño (H_{dis}) 1,72 m.

Se calculó la capacidad del vertedor según las recomendaciones del Bureau of Reclamation en su guía "Diseño de pequeñas centrales", 1ª edición 2007.

La capacidad de vertido de un vertedor en lámina libre viene dada por la siguiente ecuación:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Siendo,

Q : El caudal a través del vertedor

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 15 de 10

- C : Coeficiente de desagüe
L : La longitud efectiva del vertedor
H : Altura de la lámina vertiente, aguas arriba de la coronación

El coeficiente de desagüe se ajustó según la altura de diseño del perfil del vertedor, la altura del azud sobre el cauce, la inclinación del paramento de aguas arriba del azud. También se evaluó el ahogamiento aguas abajo del vertedor para caudales altos de vertido. C varía a su vez en función de la altura de la lámina vertiente.

La longitud efectiva del vertedor es la longitud real del mismo descontando los efectos de contracción de la lámina de agua en el estribo de la margen izquierda y el tajamar de la margen derecha. Se calculó según la siguiente expresión:

$$L = L_{bruta} - (K_{mi} + K_{md}) \cdot H \quad (2)$$

Siendo,

K_{mi} : Coeficiente de contracción del estribo de la margen derecha. El coeficiente adoptado fue 0,20 al tratarse de un estribo cuadrado con muro de aguas arriba formando 90° con el flujo del agua.

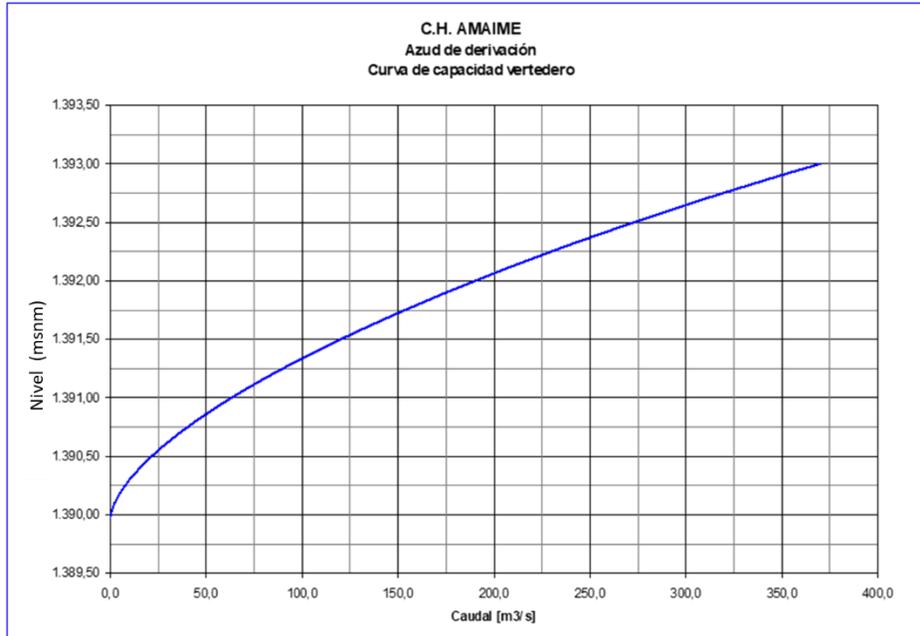
K_{md} : Coeficiente de contracción del estribo de la margen izquierda. El coeficiente adoptado fue 0,01 al tratarse de un tajamar redondeado.

L_{bruta} : La longitud real del vertedor; 30,30 m

EPSA			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 16 de 10	Fecha 12/07/2011

La curva de capacidad obtenida se incluye a continuación:

Nivel aguas arriba [m]	H [m]	C	L [m]	Caudal [m3/s]
1.389,98	0,00	1,71	30,30	0,0
1.390,00	0,02	1,72	30,30	0,1
1.390,10	0,12	1,76	30,27	2,2
1.390,20	0,22	1,80	30,25	5,6
1.390,30	0,32	1,83	30,23	10,0
1.390,40	0,42	1,87	30,21	15,4
1.390,50	0,52	1,90	30,19	21,5
1.390,60	0,62	1,93	30,17	28,5
1.390,70	0,72	1,96	30,15	36,1
1.390,80	0,82	1,99	30,13	44,5
1.390,90	0,92	2,01	30,11	53,5
1.391,00	1,02	2,04	30,09	63,1
1.391,10	1,12	2,06	30,06	73,4
1.391,20	1,22	2,08	30,04	84,2
1.391,30	1,32	2,10	30,02	95,6
1.391,40	1,42	2,12	30,00	107,5
1.391,50	1,52	2,14	29,98	120,0
1.391,60	1,62	2,15	29,96	133,0
1.391,70	1,72	2,17	29,94	146,5
1.391,80	1,82	2,19	29,92	160,5
1.391,90	1,92	2,20	29,90	175,0
1.392,00	2,02	2,22	29,88	190,0
1.392,10	2,12	2,23	29,85	205,5
1.392,20	2,22	2,25	29,83	221,6
1.392,30	2,32	2,26	29,81	238,1
1.392,40	2,42	2,27	29,79	255,2
1.392,50	2,52	2,29	29,77	272,8
1.392,60	2,62	2,31	29,75	290,9
1.392,70	2,72	2,32	29,73	309,7
1.392,80	2,82	2,34	29,71	329,1
1.392,90	2,92	2,36	29,69	349,2
1.393,00	3,02	2,38	29,67	369,9



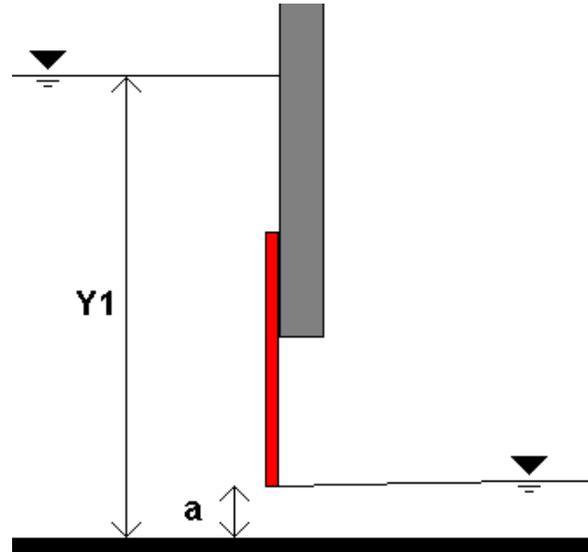
6.6.2 Compuerta de Limpia o Caudal ecológico

Esta compuerta localizada sobre la margen derecha del río entre las rejas gruesas y finas, cumple dos funciones. La primera que permite evacuar los sedimentos de mayor tamaño o arenas gruesas por el canal de limpia, y la segunda, mantiene el caudal ecológico mínimo del río, el cual se fija de acuerdo a la Licencia Ambiental en setecientos litros por segundo (700L/s).

Para que esta compuerta evacue Este valor aproximado de 700l/s la compuerta debe estar abierta 15 cm.

Las dimensiones de la compuerta de limpia o caudal ecologico son 1m de base por 2m de altura. Sin embargo el orificio en el que está montada tiene una altura de 1.8m, por lo tanto la apertura maxima es de 1.8m.





$$Q = C_d * b * a * \sqrt{2gY_1}$$

a (m)	b (m)	Y1(m)	Cd	Q (m ³ /s)
0,15	1	3	0,61	0,702
0,15	1	3,1	0,61	0,714
0,15	1	3,2	0,61	0,725
0,15	1	3,3	0,61	0,736
0,15	1	3,4	0,61	0,747
0,15	1	3,5	0,61	0,758

Q: Caudal descargado (m³/s)

b : ancho de la compuerta (m) = 1m

a : apertura de la compuerta (m) =0.15m

Y1: Tirante aguas arriba = entre 3 y 3.5 m

Cd: Coeficiente de gasto (aprox: 0.611. (Sotelo Avila))

Para efectos practicos de la operación de la bocatoma se decidió que se mantendría en la compuerta de caudal ecologico una apertura constante de 15 cms, para evacuar un caudal entre 700l/s y 750l/s. Sin embargo en todos los calculos de caudal del río se asume que la descarga será de 700 l/s, lo cual se toma como un margen de error de 50l/s que siempre estará a favor del caudal ecologico, ya que se considera despreciable para la efectos de generación.

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 19 de 10

6.6.3 Vertedor canal de aducción

El vertedor del canal de aducción es un vertedor de pared gruesa localizado en la margen izquierda del canal de aducción. Presenta 2 vanos de 5 metros interrumpidos por una pila intermedia de 0,5 metros. La coronación del vertedor se encuentra a la cota 1389,48 en el caso del vano más aguas arriba y a 1389,47 en el caso del vano más aguas abajo.



Vertedores de estas características sin un perfil hidrodinámico bien definido se calculan suponiendo un coeficiente de desagüe para condiciones de diseño de 1,85.

La formulación del caudal vertido es la ecuación (1).

Para la longitud efectiva del vertedor se consideró la contracción de lámina de agua por efectos de los estribos y la pila intermedia:

$$L = L_{bruta} - 2 \cdot (K_e + K_p) \cdot H \quad (3)$$

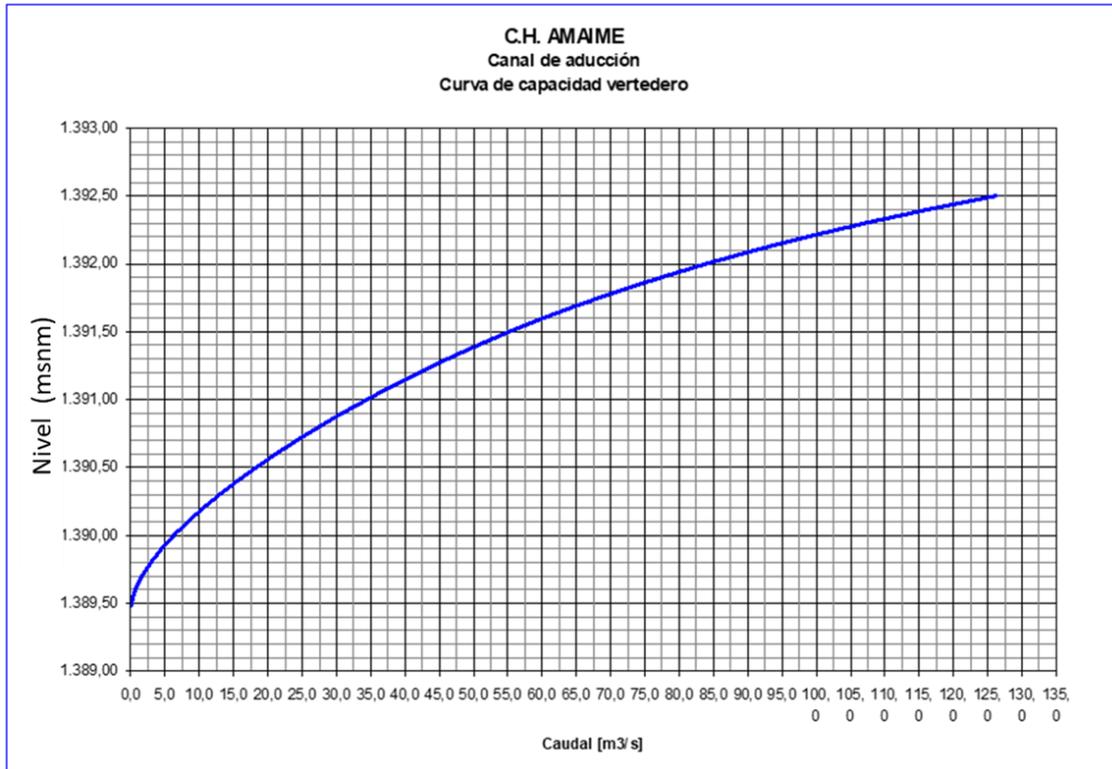
Siendo,

K_p : Coeficiente de contracción en pila. Se adoptó un valor de 0,02 al tratarse de una pila con tajamares rectangulares.

K_e : Coeficiente de contracción de los estribos. El coeficiente adoptado fue 0,20 al tratarse de un estribo cuadrado.

La curva de capacidad obtenida se incluye a continuación:

Nivel aguas arriba [m]	H [m]	C	L [m]	Caudal [m3/s]
1.389,48	0,00	1,46	10,00	0,0
1.389,50	0,02	1,47	9,99	0,0
1.389,60	0,12	1,53	9,95	0,6
1.389,70	0,22	1,58	9,90	1,6
1.389,80	0,32	1,63	9,86	2,9
1.389,90	0,42	1,67	9,82	4,5
1.390,00	0,52	1,71	9,77	6,3
1.390,10	0,62	1,75	9,73	8,3
1.390,20	0,72	1,78	9,68	10,5
1.390,30	0,82	1,81	9,64	12,9
1.390,40	0,92	1,83	9,60	15,5
1.390,50	1,02	1,86	9,55	18,3
1.390,60	1,12	1,88	9,51	21,2
1.390,70	1,22	1,90	9,46	24,2
1.390,80	1,32	1,92	9,42	27,4
1.390,90	1,42	1,94	9,38	30,8
1.391,00	1,52	1,97	9,33	34,4
1.391,10	1,62	1,99	9,29	38,1
1.391,20	1,72	2,02	9,24	42,0
1.391,30	1,82	2,05	9,20	46,2
1.391,40	1,92	2,08	9,16	50,6
1.391,50	2,02	2,11	9,11	55,2



6.6.4 Compuerta radial

La compuerta radial del canal de limpia tiene aproximadamente 6 m de altura y 8 metros de ancho. El radio de giro es de 6,7 metros. La solera del canal de limpia se encuentra a la cota 1386,98.

La formulación general para la descarga de una compuerta radial en función de la apertura y el nivel de agua viene dada por la siguiente expresión:



$$Q = m \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Siendo,

- Q : El caudal desaguado por la compuerta
- a : La apertura de la compuerta

EPSA																	Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME																Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA												Página 22 de 10	Fecha 12/07/2011			

- H : La altura de la lámina de agua aguas arriba de la compuerta
m : El coeficiente de gasto de la compuerta
g : la aclaración de la gravedad.

El coeficiente m de gasto de la compuerta es a su vez función de la geometría de la compuerta, la apertura de la misma, la altura de la lámina vertiente y de la velocidad de aproximación del agua:

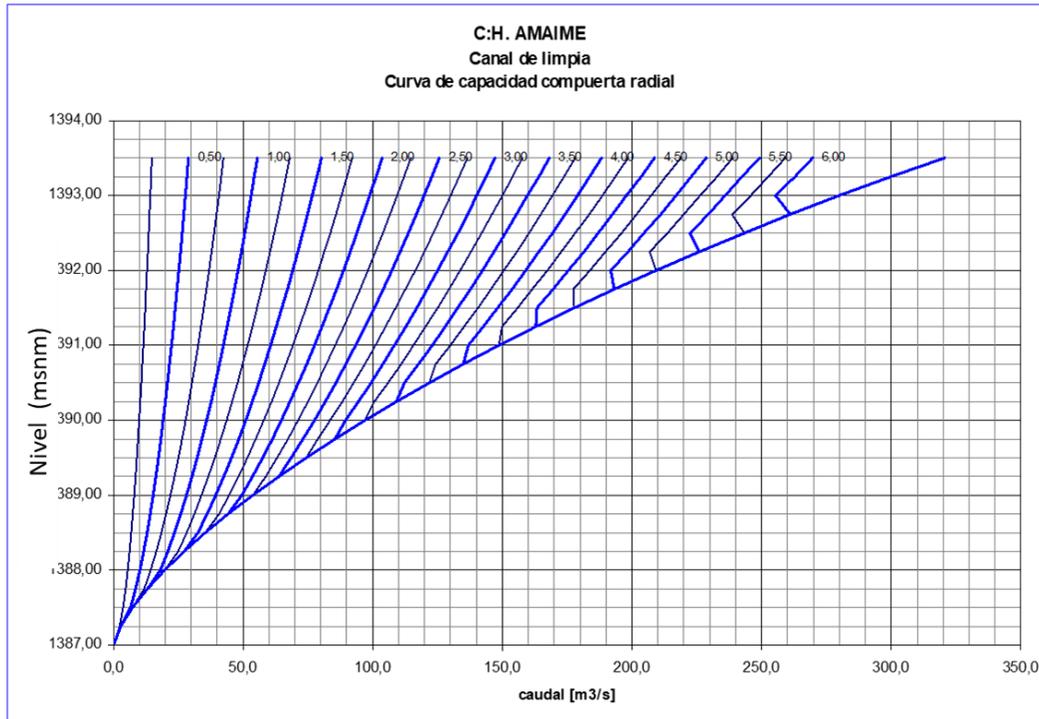
$$m = C_c \cdot \sqrt{1 + \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot H}} - C_c \cdot \frac{a}{h}$$

Siendo

Cc : Coeficiente de contracción, variable en función de la geometría de la compuerta y el grado de apertura

La curva de capacidad obtenida según la formulación expuesta se incluye a continuación:

Nivel [m]	Apertura (m)																								
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	
1387,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1387,25	2,4	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
1387,50	3,7	6,6	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
1387,75	4,7	8,5	11,9	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
1388,00	5,5	10,2	14,3	18,1	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7
1388,25	6,2	11,7	16,5	20,9	25,0	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
1388,50	6,9	13,0	18,5	23,6	28,2	32,6	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
1388,75	7,5	14,2	20,3	26,0	31,2	36,1	40,8	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2
1389,00	8,0	15,3	22,0	28,2	34,0	39,4	44,6	49,5	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8
1389,25	8,5	16,4	23,6	30,3	36,6	42,6	48,2	53,6	58,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8
1389,50	9,0	17,3	25,1	32,3	39,1	45,5	51,7	57,5	63,1	68,5	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3
1389,75	9,5	18,3	26,5	34,1	41,4	48,4	54,9	61,3	67,3	73,1	78,8	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4
1390,00	9,9	19,2	27,8	35,9	43,6	51,0	58,0	64,7	71,2	77,5	83,6	89,5	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0
1390,25	10,4	20,0	29,1	37,7	45,8	53,5	61,0	68,1	75,0	81,6	88,2	94,5	100,6	109,1	109,1	109,1	109,1	109,1	109,1	109,1	109,1	109,1	109,1	109,1	109,1
1390,50	10,8	20,8	30,3	39,3	47,8	56,0	63,8	71,3	78,6	85,8	92,6	99,4	105,8	112,2	121,8	121,8	121,8	121,8	121,8	121,8	121,8	121,8	121,8	121,8	121,8
1390,75	11,2	21,6	31,5	40,9	49,8	58,3	66,6	74,6	82,1	89,6	97,0	103,9	111,0	117,7	124,3	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9	134,9
1391,00	11,5	22,4	32,6	42,4	51,8	60,6	69,2	77,6	85,5	93,3	101,0	108,4	115,7	123,0	130,0	136,9	148,6	148,6	148,6	148,6	148,6	148,6	148,6	148,6	148,6
1391,25	11,9	23,1	33,7	43,9	53,6	62,8	71,8	80,5	88,9	97,0	105,0	112,8	120,3	127,9	135,2	142,7	149,9	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9
1391,50	12,3	23,8	34,8	45,3	55,4	65,0	74,3	83,3	92,1	100,7	108,8	117,0	125,1	132,8	140,6	148,2	155,9	163,3	177,7	177,7	177,7	177,7	177,7	177,7	177,7
1391,75	12,6	24,5	35,9	46,7	57,1	67,1	76,7	86,0	95,1	104,1	112,6	121,1	129,4	137,8	145,6	153,8	161,5	169,6	177,3	193,2	193,2	193,2	193,2	193,2	193,2
1392,00	12,9	25,2	36,9	48,0	58,8	69,1	79,0	88,7	98,1	107,4	116,4	125,0	133,7	142,3	150,6	159,0	167,4	175,4	183,8	191,8	209,2	209,2	209,2	209,2	209,2
1392,25	13,3	25,9	37,9	49,4	60,4	71,1	81,3	91,3	101,1	110,6	119,9	128,9	137,9	146,8	155,6	164,1	172,7	181,4	189,7	198,5	206,8	226,0	226,0	226,0	226,0
1392,50	13,6	26,5	38,8	50,6	62,0	73,0	83,7	93,9	103,9	113,7	123,4	132,9	142,0	151,2	160,3	169,4	178,0	187,0	196,0	204,6	213,7	222,4	243,4	243,4	243,4
1392,75	13,9	27,1	39,8	51,9	63,6	74,9	85,8	96,4	106,7	116,8	126,8	136,6	146,0	155,5	164,9	174,2	183,6	192,5	201,7	211,1	220,0	229,5	238,5	261,0	261,0
1393,00	14,2	27,7	40,7	53,1	65,1	76,7	88,0	98,8	109,4	119,8	130,1	140,2	150,1	159,7	169,4	179,0	188,6	197,9	207,4	217,0	226,3	236,0	245,8	255,3	255,3
1393,25	14,5	28,3	41,6	54,3	66,6	78,5	90,0	101,3	112,1	122,8	133,3	143,7	153,9	164,1	173,8	183,7	193,6	203,5	213,0	222,8	232,8	242,4	252,5	262,8	262,8
1393,50	14,8	28,9	42,4	55,5	68,0	80,2	92,1	103,6	114,7	125,7	136,5	147,1	157,6	168,1	178,1	188,3	198,4	208,6	218,8	228,6	238,8	249,2	259,1	269,7	269,7



6.6.5 Vertedor tanque de carga

El vertedor del tanque de carga es un vertedor de pared gruesa localizado en la margen izquierda del tanque. Presenta 1 vano de 14 metros. La coronación del vertedor se encuentra a la cota 1388,60. La capacidad de desagüe del vertedor se ha calculado igual que en el caso del vertedor del canal de aducción con la salvedad de que se ha eliminado el efecto de contracción de la pila intermedia.

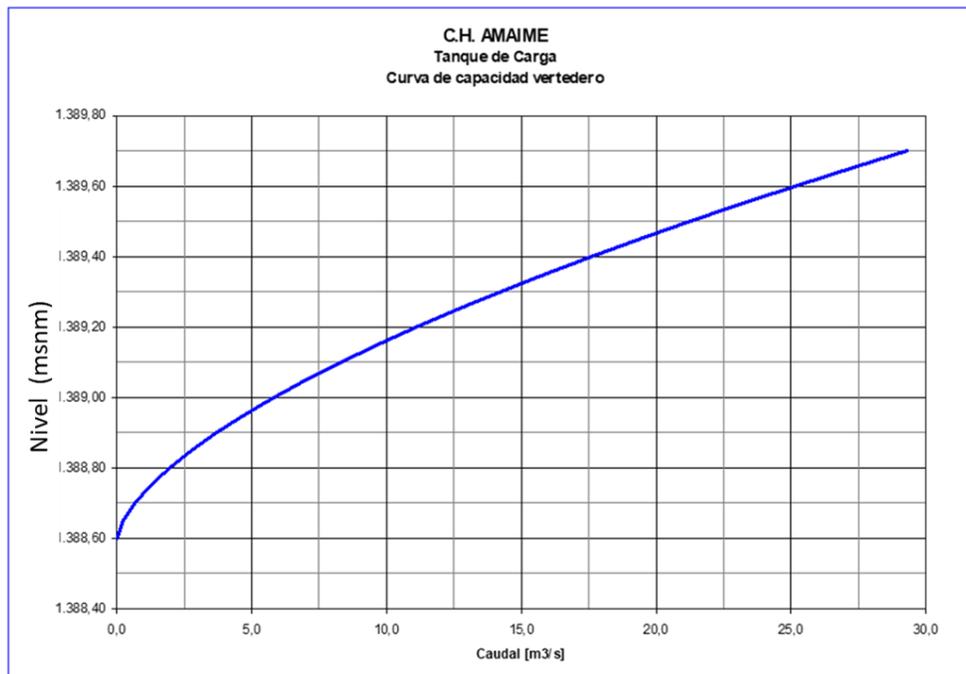


EPSA			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 24 de 10	Fecha 12/07/2011

La curva de capacidad obtenida se incluye a continuación:

Nivel aguas arriba [m]	H [m]	C	L [m]	Caudal [m3/s]
1.388,60	0,00	1,46	14,00	0,0
1.388,65	0,05	1,49	13,98	0,2
1.388,70	0,10	1,52	13,96	0,7
1.388,75	0,15	1,55	13,94	1,3
1.388,80	0,20	1,57	13,92	2,0
1.388,85	0,25	1,60	13,90	2,8
1.388,90	0,30	1,62	13,88	3,7
1.388,95	0,35	1,64	13,86	4,7
1.389,00	0,40	1,67	13,84	5,8
1.389,05	0,45	1,69	13,82	7,0
1.389,10	0,50	1,70	13,80	8,3
1.389,15	0,55	1,72	13,78	9,7
1.389,20	0,60	1,74	13,76	11,1
1.389,25	0,65	1,76	13,74	12,6
1.389,30	0,70	1,77	13,72	14,2
1.389,35	0,75	1,79	13,70	15,9
1.389,40	0,80	1,80	13,68	17,6
1.389,45	0,85	1,81	13,66	19,4
1.389,50	0,90	1,83	13,64	21,3
1.389,55	0,95	1,84	13,62	23,2
1.389,60	1,00	1,85	13,60	25,2
1.389,65	1,05	1,86	13,58	27,2
1.389,70	1,10	1,87	13,56	29,3

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 25 de 10
		Fecha 12/07/2011



6.7 INSTRUMENTACIÓN DE LA ZONA DE CAPTACIÓN

La Central Hidroeléctrica de Amaime consta de los siguientes órganos de vertimiento:

- Azud vertedor de derivación
- Compuerta radial
- Compuerta de limpia o compuerta de canal ecológico
- Vertedor en canal de aducción
- Vertedor en tanque de carga
- Turbo-grupos

Para la medida del caudal en cada uno de ellos se dispondrá de la siguiente instrumentación:

EPSA		Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME	Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 26 de 10

6.7.1 Medida de nivel de agua aguas arriba del azud

Mediante este nivel y la formulación que se describe en el apartado 6.6.1 del presente documento es posible determinar el caudal vertido por el azud (Q_{AZUD}).



6.7.2 Medida de nivel al inicio del canal de aducción

Mediante este nivel y la formulación que se describe en el apartado 6.6.3 del presente documento es posible determinar el caudal vertido por el vertedero del canal de aducción ($Q_{ADUCCION}$).

6.7.3 Medida de apertura de la compuerta radial

Mediante esta medida y el nivel de agua aguas arriba del azud es posible, mediante formulación descrita en el apartado 5.3 del presente documento, calcular el caudal desaguado por la compuerta radial (Q_{RADIAL}).

6.7.4 Medida de nivel de agua en el tanque de carga

Mediante este nivel y la formulación que se describe en el apartado 6.6.54 del presente documento es posible determinar el caudal vertido por el aliviadero del tanque de carga (Q_{TANQUE}).



6.7.5 Caudalímetro por ultrasonidos de 4 haces

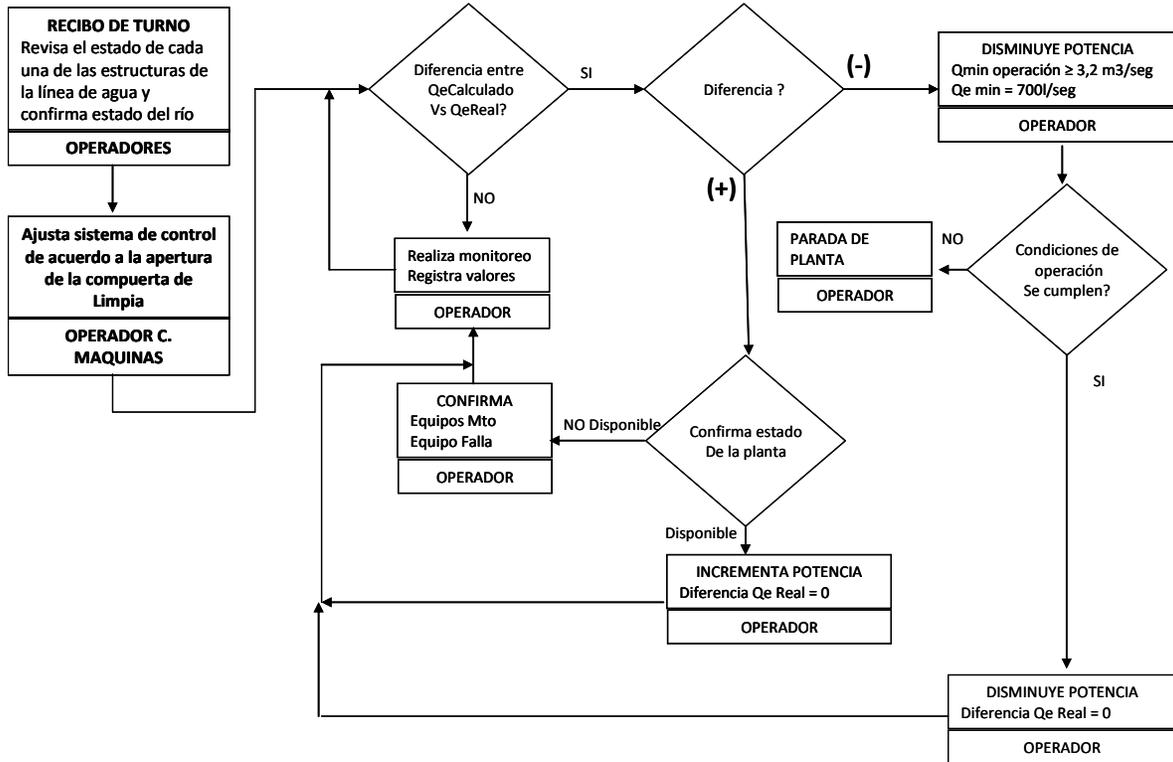
Ubicado en el tramo final del blindaje en la salida del túnel hacia la casa de máquinas mide directamente el caudal turbinado en cada instante por la central. ($Q_{TURBINADO}$)

La compuerta de limpia del canal de aducción se mantendrá abierta hasta el punto donde garantice un máximo de vertimiento de 700 Litros por segundo.



6.8 DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO

<h1>EPSA</h1>		Código: I.PRO.02.018	
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 27 de 10	Fecha 12/07/2011



6.9 ACTIVIDADES DEL PROCEDIMIENTO

6.9.1 Entrega y Recibo de Turno

Responsables: Electricista mantenimiento centrales y/o Operario mantenimiento eléctrico entrante y saliente de Casa de Maquinas y el Fontanero de Captación, al momento de recibir el turno, debe hacer las siguientes verificaciones:

En Captación: Confirmar el estado de la compuerta radial, plana, limpia, entrada y salida desarenadores, estado de los equipos de medición (Visual), estado de las rejas gruesas y finas, estado del tanque de carga, condiciones del río (suciedad, crecientes, etc)

En Casa de máquinas: Confirmar el estado de las compuertas de descarga, válvula mariposa, válvula de fondo, válvulas de refrigeración, Comprobar en el sistema el caudal total del río (Q_{RIO}) el caudal ecológico calculado y el real, la diferencia entre estos dos y la potencia de generación en que se encuentra la Central.

6.9.2 Garantizar la Posición de la Compuerta de Limpia

Responsable: Fontanero de la Captación

			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 28 de 10	Fecha 12/07/2011

El fontanero de la captación debe garantizar que a través de la compuerta de limpia, siempre se van a estar retornando al río 700l/s, que forman parte del 20% del caudal ecológico. El resto de caudal que completará el 20% será devuelto al río por el vertedero del tanque de carga y será regulado por el operador de la casa de maquinas.

6.9.3 Monitorización Hora a Hora de Generación y Reparto de Caudales

Responsable: Electricista mantenimiento centrales y/o Operario mantenimiento eléctrico
Deben llenar hora a hora una hoja de cálculo en Excel en la cual se llevará el registro de Q_{RIO} , $Q_{TURBINADO}$, $Q_{ECOLOGICO}$, $P_{GENERADA}$ con el ánimo de presentar a la CVC, debe registrar estos valores correspondientes a su turno de trabajo, el cual consiste en los valores promedio hora de su respectivo turno y el promedio del día para consolidar la información del día. Todos estos datos quedan registrados en el sistema para operar la central, “El Scada”, y el personal de la CVC puede en cualquier momento verificar que estos datos corresponden a los reales., puesto que estas variables se almacenan como mínimo minuto a minuto.

6.9.4 Ajuste de Potencia de Acuerdo al Caudal del Río

Responsable: Electricista mantenimiento centrales y/o Operario mantenimiento eléctrico
Hora a hora se debe verificar que la potencia con la que esté sincronizada la central corresponda a la potencia que se requiere para dar cumplimiento al caudal ecológico, la potencia adecuada se puede leer en la tabla Operación de Caudales, la cual se encuentra al final del numeral 7 de este documento. El numeral se titula: 7. Reparto Porcentual de Caudales

En el caso de que la potencia generada no coincida con la potencia correspondiente para el caudal que trae el río, se debe proceder a ajustar la potencia sincronizada al valor que le indica la tabla, verificar que el caudal ecológico se cumpla y dejar registro de esta maniobra en la tabla de registro en Excel (Ver Numeral 13. Cuadros de Operación)

6.9.5 Parada de la Planta

Responsables: Electricista mantenimiento centrales y/o Operario mantenimiento eléctrico y Fontanero de Captación.

Consiste en dejar por fuera de servicio los grupos de generación sin producción de energía o consumo de agua. Cuando la Central esta fuera de servicio o no está operando, el caudal total del río es igual al ecológico.

EPSA			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 29 de 10	Fecha 12/07/2011

En la parada de la planta la compuerta radial se abre y permite que el caudal del río pase por el recorrido natural.

6.10 CURVAS DE EFICIENCIA DE LOS GRUPOS

6.10.1 Grupo 1

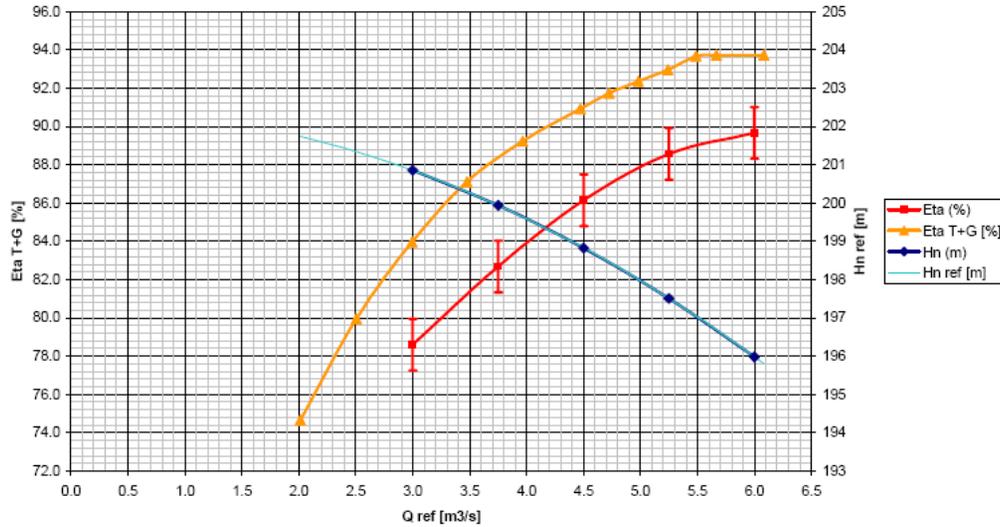
En el siguiente cuadro se muestra el resultado de la prueba de eficiencia realizada por el fabricante y en el que se comprueba que para un caudal de 5,694 m³/s, esta unidad de generación produce la potencia nominal de 10,397 MW. Esta prueba se realizó solo con el funcionamiento de una sola máquina, para lo cual el salto neto es mayor y por supuesto la hace más eficiente.

TWL1	[msnm]	1182.951	1183.014	1183.063	1183.100	1183.131	1183.162
Q1	[m ³ /s]	2.030	2.524	3.016	3.502	3.992	4.498
H1	[m]	206.797	206.128	205.327	204.334	203.243	201.979
PA1	[MW]	3.048	4.046	5.062	6.076	7.067	8.078
PR1	[MVAR]	0.179	0.190	0.221	0.170	0.141	0.139
SM1	[%]	28.24	34.99	41.80	49.39	55.85	64.10

TWL1	[msnm]	1183.180	1183.199	1183.222	1183.247	1183.264	1183.311
Q1	[m ³ /s]	4.752	5.009	5.270	5.518	5.694	6.111
H1	[m]	201.271	200.543	199.740	198.923	198.310	196.851
PA1	[MW]	8.588	9.091	9.596	10.093	10.397	11.100
PR1	[MVAR]	0.238	0.178	0.258	0.076	0.247	0.314
SM1	[%]	67.80	71.47	75.26	79.08	81.92	89.08

La gráfica siguiente muestra los resultados obtenidos y demuestra que los valores de eficiencia medidos de este grupo de generación son superiores a los especificados.

C.H. Amaime, Gr. 1
medidas día 20/01/2011



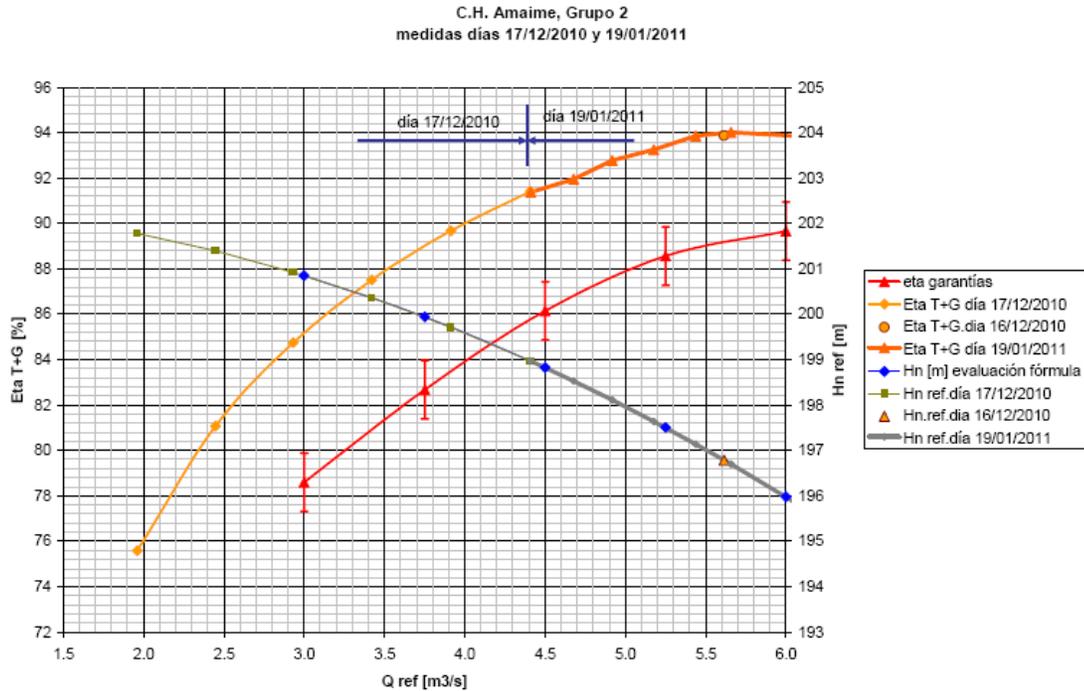
6.10.2 Grupo 2

En el siguiente cuadro se muestra el resultado de la prueba de eficiencia realizada por el fabricante al grupo 2 y en el que se comprueba que para un caudal de 5,684 m³/seg, esta unidad de generación produce la potencia nominal de 10,401 MW. Esta prueba se realizó operando esta máquina, para lo cual el salto neto es mayor y por supuesto la hace más eficiente.

TWL2	[msnm]	1183.190	1183.240	1183.286	1183.329	1183.367	1183.395
Q2	[m³/s]	1.975	2.465	2.954	3.445	3.940	4.436
H2	[m]	207.032	206.364	205.566	204.623	203.545	202.292
PA2	[MW]	3.002	4.008	5.004	6.006	7.010	8.009
PR2	[MVAR]	0.150	0.153	0.142	0.128	0.115	0.101
SM2	[%]	29.732	36.362	43.064	51.042	56.390	64.235

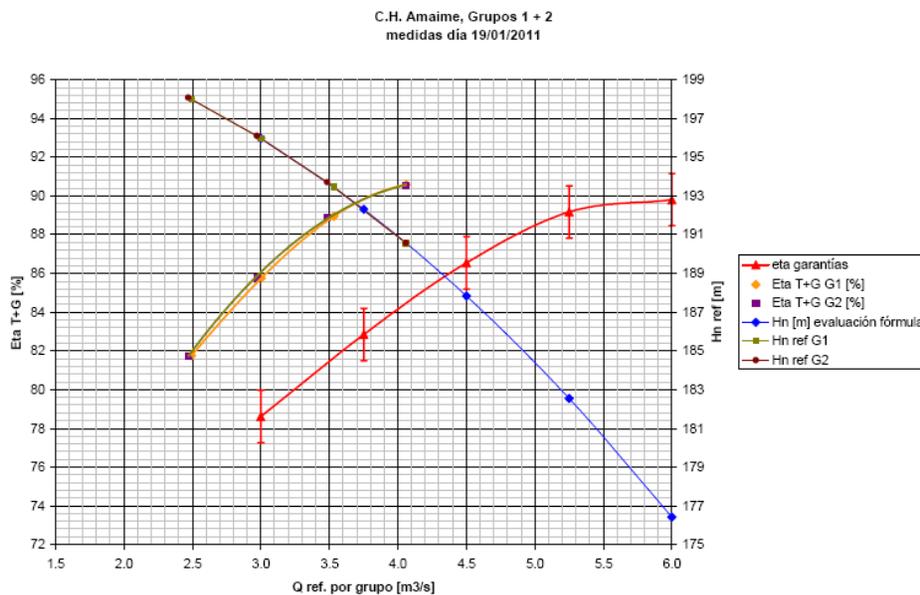
TWL2	[msnm]	1183.230	1183.273	1183.322	1183.379	1183.447	1183.507	1183.625
Q2	[m³/s]	4.438	4.706	4.945	5.205	5.465	5.684	6.086
H2	[m]	202.140	201.388	200.674	199.905	199.093	198.366	196.997
PA2	[MW]	8.011	8.524	9.011	9.506	10.012	10.401	11.058
PR2	[MVAR]	0.185	0.255	0.235	0.074	0.030	0.228	0.300
SM2	[%]	62.39	67.91	71.81	75.36	79.05	82.79	89.45

La siguiente gráfica comprueba para este grupo que los valores de eficiencia probados en operación, son mayores a los especificados



6.10.3 Grupos 1+2

Igualmente para la operación de los dos grupos al mismo tiempo, se muestra nuevamente la eficiencia de cada uno de los grupos requiriendo menores caudales para la operación a valores nominales de los equipos.



EPSA			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 32 de 10	Fecha 12/07/2011

6.11 CUADROS DE OPERACIÓN

A continuación se presenta un modelo de cuadros de operación de caudales, en los cuales se deja registro del monitoreo hora a hora del caudal ecológico. Estos cuadros se guardan en el computador de la casa de maquinas y pueden ser consultados en cualquier momento por los empleados de EPSA y pueden ser solicitados por la CVC cuando lo amerite.

Fecha	Hora	Caudal del Río (m3/s)	Caudal Turbinado (m3/s)	Caudal Ecológico (m3/s)	Potencia (Mw)	% de Caudal Ecológico
Febrero 5 de 2011	0:10	5.7	4.49	1.25	8	22%
	1:10	5.7	4.5	1.25	8	22%
	2:10	5.8	4.51	1.25	8	22%
	3:10	5.7	4.5	1.25	8	22%
	4:10	5.7	4.5	1.25	8	22%
	5:10	5.8	4.51	1.25	8	22%
	6:10	5.7	4.49	1.25	8	22%
	7:10	5.7	4.49	1.25	8	22%
	8:10	5.6	4.49	1.07	8	19%
	9:10	5.4	4.49	0.93	8	17%
	9:15	5.4	4.34	1.07	7.7	20%
	10:10	5.4	4.35	1.07	7.7	20%
	11:10	5.4	4.35	1.07	7.7	20%
	12:10	5.4	4.24	1.16	7.5	21%
	13:10	5.4	4.24	1.16	7.5	21%
	14:10	5.3	4.23	1.07	7.5	20%
	16:10	5.4	4.22	1.16	7.5	22%
	17:10	5.8	4.22	1.55	7.5	27%
	17:20	5.7	4.47	1.25	8	22%
	18:10	5.7	4.47	1.25	8	22%
	19:10	5.6	4.47	1.16	8	21%
	20:10	5.7	4.45	1.25	8	22%
	21:10	5.7	4.47	1.25	8	22%
	22:10	5.7	4.47	1.25	8	22%
	23:20	5.7	4.45	1.25	8	22%

EPSA		Código: I.PRO.02.018	
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 33 de 10	Fecha 12/07/2011

A la CVC se le enviará mensualmente una tabla resumen la cual contendrá caudal ecológico promedio de todos los días del mes, al igual que el caudal promedio diario del río y el caudal promedio diario turbinado. A continuación se presenta la tabla del mes de Enero del 2011.

Fecha (dd/mm/aaaa)	Promedio de Potencia (Mw)	Promedio de Q ecológico (m ³ /s)	Promedio de Q río (m3/s)	Promedio de Caudal turbinado (m3/s)	Promedio % de Caudal ecológico (%)
01/01/2011	13,67	1,92	9,50	7,58	20%
02/01/2011	12,83	1,72	8,86	7,13	19%
03/01/2011	11,71	1,58	8,04	6,46	20%
04/01/2011	12,89	1,79	8,90	7,11	20%
05/01/2011	11,83	1,64	8,13	6,50	20%
06/01/2011	9,53	1,32	6,55	5,23	20%
07/01/2011	10,40	1,49	7,19	5,70	21%
08/01/2011	12,33	1,86	8,66	6,80	21%
09/01/2011	16,32	2,48	11,33	8,85	22%
10/01/2011	10,64	1,67	7,51	5,84	22%
11/01/2011	10,40	1,48	7,18	5,70	21%
12/01/2011	13,77	1,93	9,55	7,62	20%
13/01/2011	15,48	2,27	10,85	8,58	21%
14/01/2011	14,66	2,08	10,22	8,14	20%
15/01/2011	12,64	1,73	8,77	7,04	20%
16/01/2011	13,73	1,91	9,55	7,64	20%
17/01/2011	11,06	1,48	7,61	6,12	19%
18/01/2011	8,53	1,14	5,86	4,72	19%
19/01/2011	8,40	1,07	5,70	4,63	19%
20/01/2011	8,41	1,23	5,89	4,65	21%
21/01/2011	8,08	1,14	5,65	4,51	20%
22/01/2011	7,07	0,97	4,93	3,97	20%
23/01/2011	8,02	1,19	5,66	4,48	21%
24/01/2011	6,86	0,99	4,87	3,88	20%
25/01/2011	6,86	1,00	4,90	3,90	20%
26/01/2011	6,99	1,00	4,98	3,98	20%
27/01/2011	6,20	0,90	4,46	3,56	20%
28/01/2011	7,43	1,07	5,26	4,19	20%
29/01/2011	7,46	1,04	5,25	4,21	20%
30/01/2011	7,02	1,05	5,05	4,00	21%
31/01/2011	6,94	1,01	4,96	3,95	20%
Total Promedio Mes	10,26	1,46	7,16	5,70	20%

EPSA			Código: I.PRO.02.018
	PROCESO OPERACIÓN CAUDALES RIO AMAIME		Versión: 0001
	UNIDAD GENERACIÓN DE ENERGÍA	Página 34 de 10	Fecha 12/07/2011

6.12 ESQUEMA DE SUPERVISIÓN DE CAUDALES POR LA CORPORACIÓN

Adicional a los informes o ficha de control que se le entregará a la Corporación, se propone que un empleado de CVC, con conocimiento del proceso, puede auditar o supervisar el sistema de control de caudales que opera desde la casa de máquinas de la Central. Para tal efecto CVC deberá suministrar el nombre del empleado, la cédula a la gerencia de producción de la empresa. Esta supervisión consistirá:

Comprobación visual en el sistema de control de la Central. Identificando el caudal total del río, el caudal de generación, el caudal ecológico teórico, el caudal ecológico real y la diferencia entre los dos.

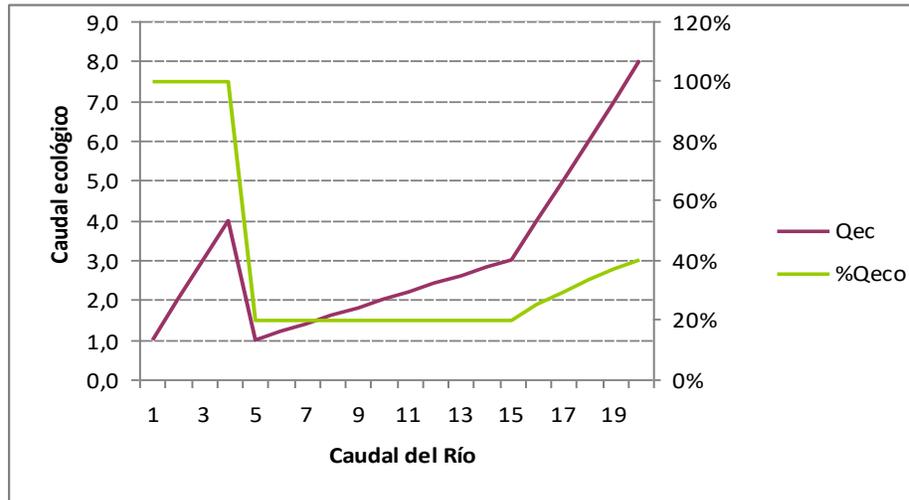
Comprobación visual del tramo de reducción de caudal en la zona de casa de máquinas. Comprobar las condiciones hídricas en este tramo el cual se puede hacer en el recorrido de la vía o en la misma casa de máquinas, antes de los canales de descarga.

Registro en bitácora. Dejar por escrito en la bitácora destinada para este fin, las observaciones, comentarios y recomendaciones sobre los caudales de operación de la Central.

Revisión de los caudales de operación en días anteriores a la visita.

6.13 OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

- El sistema de control para la operación de la Central, se soporta respetando los caudales concesionados por la Licencia Ambiental, cuenta con sistemas de medición precisos, seguros y comprobados de su correcto funcionamiento, estos equipos suministran la información al sistema de control en tiempo real, calcula los caudales de operación, la desviación de lo calculado y lo real, permitiendo ajustar los caudales según la desviación.
- Para caudales superiores a 15 m³/seg el caudal ecológico del río será mayor al 20%.
- La compuerta de Limpia o ecológica, durante la operación mantendrá abierta, garantizando como mínimo los 700 L/seg.
- Los valores de operación de caudales donde se requiere el control para garantizar el 20% como caudal Ecológico es entre los 4 a 15 m³/seg.



7. MODIFICACIONES