

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN TÉCNICO-OPERATIVA DEL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

2.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA GENERAL DE LA CENTRAL

La central hidroeléctrica de Chivor se encuentra ubicada en el sur oriente del departamento de Boyacá, a 160 Km. de la ciudad de Bogotá por la vía alterna al llano. Tiene una capacidad instalada de 1000 megavatios, generados con 8 turbinas tipo Pelton. Aprovecha una caída aproximada de 762 metros y un cañón natural en la cordillera oriental que posibilitó la construcción de una presa tipo escollera de núcleo de arcilla recubierta en roca, con una altura de 237 metros que permitió crear un embalse con capacidad de almacenamiento de 758 millones de m³ de agua.

La construcción de la central empezó en el año 1970 y la operación de la primera etapa comenzó en 1977. Adicionalmente cuenta con la desviación de tres ríos con el fin de aumentar la capacidad de almacenamiento de aguas.

2.1.1 Descripción General de las Obras

La Central Hidroeléctrica de Chivor comprende las siguientes obras civiles (**Ver mapa 1: localización general**):

- ✓ Presa y obras anexas.
- ✓ Conducciones Principales.
- ✓ Desviaciones.
- ✓ Casa de máquinas.
- ✓ Campamentos e instalaciones satélite.
- ✓ Vías internas.

2.1.1.1 Presa y Obras Complementarias

Para lograr el almacenamiento de las aguas se cuenta con una presa tipo escollera con núcleo impermeable en arcilla, filtros en gravas y arenas y una cubierta exterior en enrocado (**Ver Foto 2.1**).

La altura máxima, desde el cimiento, es de 237 metros y tiene 310 metros de longitud en la cresta, que se encuentra en la cota 1.286 m.s.n.m.



Foto 2.1 Presa Embalse La Esmeralda

Para evacuar crecientes máximas, regular el almacenamiento de aguas en el embalse y proteger la presa se tiene un vertedero conformado por tres compuertas radiales de 14 por 16 metros y un canal abierto con salto de esquí de 310 metros de longitud. El rebosadero está diseñado para evacuar una creciete máxima de 10.000 m³/seg (**Ver Foto 2.2**).



Foto 2.2 Compuertas del rebosadero

Se cuenta además con un desagüe de fondo conformado por una válvula tipo Howell-Bunger de 2,00 metros de diámetro. Esta válvula operó como control del llenado inicial del embalse.

Para captar las aguas del embalse y conducir las a Casa de Máquinas, se cuenta con una bocatoma conformada por dos pozos verticales de 5,6 metros de diámetro y 27 metros de altura. Se tienen además unas rejas soportadas por un zócalo de hormigón armado. La cota del borde de entrada de las rejas es la 1.180 m.s.n.m.

2.1.1.2 Desviaciones

A. Río Negro - Río Rucio

La captación del río Negro se hace mediante una presa tipo arco en concreto, tiene 20 m de altura, una longitud de corona de 18 m y un espesor de 1 m. La cresta de la presa se localiza en la cota 1886 m.s.n.m. y se genera un pequeño embalse de 3.07 Has que se extiende por el curso estrecho del río aguas arriba. Las aguas son desviadas por medio de un túnel a flujo libre y se utiliza como mecanismo de desviación una compuerta de 4 por 4 metros.

Cuando la desviación no está en funcionamiento, las aguas se entregan nuevamente al río utilizando un túnel que confluye con el cauce natural del Río a unos 20 metros, aproximadamente, aguas abajo de la presa.

El túnel fue construido y diseñado para transportar un caudal de 80 m³/seg y tiene una longitud total de 10.2 kilómetros. Las aguas son entregadas a la quebrada Trabajos, en jurisdicción del municipio de Chivor, Boyacá, la cual tributa a la quebrada Chivor y por esta hasta el embalse La Esmeralda. La desviación entró en operación en 1.984.

En el año 2000 se realizó, por parte de la firma consultora INGETEC S.A. un estudio con el objeto de controlar el caudal máximo desviado por el río Negro y con esto, reducir los impactos por crecientes máximas la desviación en la cuenca

de la quebrada Los Trabajos y tener un mejor manejo de la operación de la desviación.

En enero de 2001 se realizaron las obras para regular el caudal de agua captado del río Negro, mediante un obturador localizado en el portal de entrada del río Negro.

El obturador es un orificio ubicado aguas arriba de la compuerta del túnel, con la ventaja de permitir la aireación de la descarga del chorro a través de los conductos de aire localizados inmediatamente aguas abajo del plano de la compuerta.

El orificio se realizó mediante una estructura de concreto de forma rectangular de 3,40 m de ancho por 1,50 m de alto. El costado superior del orificio está construido por vigas removibles de concreto, con el fin de mantener la posibilidad de ingresar equipo por el portal para eventuales labores de mantenimiento del túnel (**Ver Foto 2.3**).

Para el diseño de la obra de regulación de caudal se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Para la selección de la capacidad hidráulica del control se tomó como base un caudal máximo normal de 75 m³/seg del sistema de desviación de los ríos Negro y Rucio (57 m³/seg provenientes del río Negro y 18 m³/seg provenientes del río Rucio). Con la hidrología del período 1963-1999, el caudal medio natural del río Negro es de 5,0 m³/seg y el del río Rucio de 2,62 m³/seg para un total de 7,62 m³/seg ente ambos ríos.



Foto 2.3 portal entrada desviación de río Negro

Se revisó el análisis de las pérdidas de agua correspondientes a distintas capacidades hidráulicas del control de entrada al túnel de desviación del río Negro, después de este análisis se consideró restringir la capacidad de captación del río Negro a un volumen cercano a los 30 m³/seg.

Con la capacidad propuesta de 30 m³/seg y manteniendo la del río Rucio (18 m³/seg), el caudal máximo desviado a la quebrada los Trabajos sería de 48 m³/seg, lo que implica una reducción del 45% con el caudal máximo antes del control, 87 m³/seg, y por lo tanto una disminución importante en la capacidad erosiva del flujo sobre el cauce de la quebrada Los Trabajos.

La estructura esta diseñada para permitir el paso de agua a flujo libre, en todo momento la conducción trabaja despresurizada, de manera que no se presentan presiones sobre los costados del túnel, filtraciones y/o problemas de fatiga. Entre el K 0 hasta el K 5 + 814, en donde se encuentra la captación del río Rucio el

túnel tiene una pendiente media del 1.0% y a partir de allí hasta la entrega del túnel a la quebrada Trabajos la pendiente es del 0.8%.

Las principales características de la conducción, por tramos, son:

- ✓ Entre el K 0 y el K 2 + 600, la sección es en herradura y sin revestimiento. La sección típica es de 4.50 por 4.50 m, con un radio de 2.25 m.
- ✓ Entre el K 2 + 600 y el K 4 + 600, la sección es circular y sin revestimiento. El radio es de 2.15 m.
- ✓ Entre el K 4 + 600 y el K 10 + 400, la sección es en herradura con revestimientos realizados con prefabricados en concreto.

Como criterios para revestir los túneles se consideró la calidad de la roca y la competencia de los materiales en cada tramo, de manera que solo se revistieron los sectores que presentaron problemas de estabilidad y las zonas de roca dura se dejaron sin revestimientos. Sin embargo, en los mantenimientos efectuados al túnel se ha revestido la solera de este con el fin de recuperar el desgaste producido por el flujo permanente del agua.

Respecto al río Rucio, sus aguas son captadas por medio de un túnel de aducción con rejilla de fondo y capacidad máxima de captación de 18 m³/seg y un caudal medio de 2.6 m³/seg. Por las condiciones de erosión de la cuenca, la actividad antrópica, la morfología del cauce del río y las condiciones hidrológicas (crecientes cortas y grandes), en temporada invernal la rejilla se colmata de sedimentos, dejando por fuera la desviación, gran parte del tiempo. Se mantiene un operario para hacer limpieza a la rejilla y anualmente el túnel de aducción se le hace mantenimiento total.

B. Río Tunjita

La captación del río Tunjita se efectúa mediante una presa en concreto, tipo arco con 30 metros de altura. Se conforma un pequeño embalse de 10.2 hectáreas (**Ver Foto 2.4**). El volumen máximo almacenado es de 340.000 m³ y entró en operación en marzo de 1.985.

La desviación de las aguas se realiza por medio de un túnel de 14.2 Km. de longitud, con una capacidad máxima de transporte de 40 m³/seg. Por las condiciones generales de estabilidad de estabilidad de la roca el túnel se encuentra revestido en su totalidad.



Foto 2.4 Embalse del río Tunjita

Las características generales por tramos son:

- ✓ K 0 – K 6 + 500: Sección en herradura y revestimiento en concreto.
- ✓ K6 + 500 – K 14 + 200: Sección circular y con revestimientos realizados con prefabricados en concreto.

2.1.1.3 Conducciones a Casa de Máquinas

Cada una de las etapas de la central cuenta con una conducción independiente que permiten aprovechar la energía de 762 metros de caída media (**Ver figura 2.1**).

La conducción de la primera etapa -en servicio desde 1977- tiene un caudal de diseño de 80 m³/seg, una longitud total de 7,6 Km. y se encuentra conformada por tres tramos de túnel inclinado y dos pozos cuyas características son:

- ✧ Túnel Superior: 5.85 Km. de longitud y 5.4 m de diámetro y se encuentra revestido en concreto, salvo el extremo final de 581 metros que cuenta con un blindaje en acero de 3.95 m de diámetro.
- ✧ Pozo Superior: 180 metros de altura, 5 metros de diámetro. Se encuentra blindado en su totalidad.
- ✧ Túnel Intermedio: 595 metros de longitud, 5 metros de diámetro. Se encuentra blindado en su totalidad.
- ✧ Pozo Inferior: 264 metros de altura, y 5 metros de diámetro. Se encuentra blindado en su totalidad.
- ✧ Túnel Inferior: 1.120 metros de longitud y 5 metros de diámetro. Se encuentra blindado en su totalidad.

Para la operación del túnel de la primera etapa se diseñaron y construyeron 2 válvulas tipo mariposa, una operativa y otra de guarda. Mediante la operación de estas válvulas, se interrumpe el flujo de agua del embalse hacia casa de maquinas permitiendo el acceso para la revisión y el mantenimiento interno de estos.

La conducción de la segunda etapa -en operación desde 1982- esta diseñada para un caudal de 120 m³/seg y se encuentra conformada por las siguientes estructuras (**Ver Figura 2.2**):

- ✧ Túnel Superior: 5.55 Km. de longitud, 6.6 m de metros de ancho y 6,4 metros de altura máxima. Esta parte del túnel se encuentra en roca viva, salvo en 2 tramos de 33 y 20 metros respectivamente, en donde dadas las características de la roca fue necesario blindarlo.
- ✧ Pozo: 285 metros de altura. Se encuentra totalmente revestido en concreto.
- ✧ Túnel inferior: de 2.15 Km. de longitud y 5 metros de diámetro. Se encuentra blindado en su totalidad.

Para la operación del túnel de la segunda etapa se diseñó y construyó una válvula operativa tipo mariposa. Mediante la operación de ésta se interrumpe el flujo de agua del embalse hacia casa de máquinas permitiendo el acceso para la revisión y el mantenimiento interno de estos. En el año 2000 se instaló, con el fin de mejorar la seguridad en la operación de la central, una segunda válvula mariposa como guarda. Cada una de estas se encuentra ubicada en una cámara de válvulas de 15.3 metros de longitud, 12.6 metros de ancho y 13 metros de altura.

Las almenaras para cada conducción, son estructuras de alivio de presiones al interior de los túneles de carga mediante las cuales se alivian los fenómenos de cavitación y golpe de ariete y están conformadas por dos pozos verticales de 186 metros para la primera etapa y un pozo de 304 metros para la segunda.

2.1.1.4 Área Casa de Máquinas y Almacén

La Casa de máquinas se localiza a orillas del río Lengupá a una distancia aproximada de 12 kilómetros desde la cabecera municipal de Santa María y se accede por una vía interna que parte de la carretera Santa María – San Luis de Gaceno, en un tramo de 2 kilómetros.

Está conformada por el edificio de control, recinto de turbinas, generadores, patio de transformadores y los talleres eléctrico y mecánico (**Ver Foto 2.5**). La síntesis de las instalaciones y equipos disponibles es la siguiente:

- Ocho turbinas Pelton de eje vertical para un caudal y potencia nominal de 20m³/seg y 173.000 HP, respectivamente.
- Ocho generadores tipo sincrónico con una potencia de 140 Megavatios y 13.8 Kilovatios de generación.
- Veinticuatro transformadores monofásicos, distribuidos en dos patios de 70 metros de longitud y 30 metros de ancho.
- Sala de montaje (**Ver Foto 2.6**).



Foto 2.5 Casa de máquinas



Foto 2.6 Sala de montajes

- Dos puentes grúa de 120 toneladas cada uno.
- Edificio de Control y oficinas.
- Taller mecánico, localizado en la parte posterior de Chivor I.
- Taller eléctrico, ubicado en la parte posterior de Chivor II.
- Una planta diesel de 675 KVA.
- Un área de pintura de piezas.
- Tolda de separación y almacenamiento temporal de residuos sólidos.

Para entregar la energía generada por la central al sistema interconectado nacional, se utiliza una subestación desde donde parten las líneas de transmisión eléctrica que conducen la energía a las subestaciones de Paipa, Guavio y Torca.

En el área de casa de maquinas se encuentra ubicado:

- Edificación anexa a casa de máquinas en la que se ubican oficinas de contratistas de mantenimiento, sala de juntas, el archivo técnico y una cafetería utilizada para prestar el servicio de almuerzo al personal de operación y mantenimiento.
- El canal de fuga. Esta es una estructura o canal en concreto de 280 metros de longitud, mediante el cual se evacuan las aguas turbinadas y se vierten finalmente al río Lengupá (**Ver Foto 2.7**).
- Un túnel o galería de drenaje, mediante el cual se equilibran las presiones del nivel freático del talud por el cual transcurre la tubería de carga. Esta galería reviste especial importancia en periodos de vaciado y mantenimiento del túnel.
- Área de almacén localizada a un kilómetro de Casa de Máquinas. Allí se tienen las instalaciones para el almacenamiento de materiales (**Ver Foto 2.8**). Existen otras instalaciones que fueron utilizadas en el pasado como talleres para la reparación de vehículos y se encuentran fuera de servicio desde 1997.



Foto 2.7 Canal de Fuga



Foto 2.8 Almacén

La **figura 2.3** muestra el esquema general del área de casa de máquinas y el canal de fuga.

2.1.1.5 Campamento e Instalaciones Satélites

El campamento base de la Central se considera como un barrio localizado en el casco urbano del municipio de Santa María (**Ver Foto 2.9**). Allí se encuentran infraestructura como casino, viviendas, polideportivo y teatro. Actualmente viven cerca de 130 personas. En la cabecera municipal también se encuentran ubicadas las oficinas administrativas de la central.

Se cuenta además con las siguientes instalaciones satélite:

☞ Campamento Río Negro:

Conformado por una vivienda y una caseta de seguridad, para vigilar la presa y el embalse que permite la desviación de las aguas del río Negro. Allí únicamente se aloja el personal de seguridad de la instalación (un vigilante por turno de 12 horas). Se localiza en la inspección de policía de Río Negro en el municipio de Ubalá (Cundinamarca).

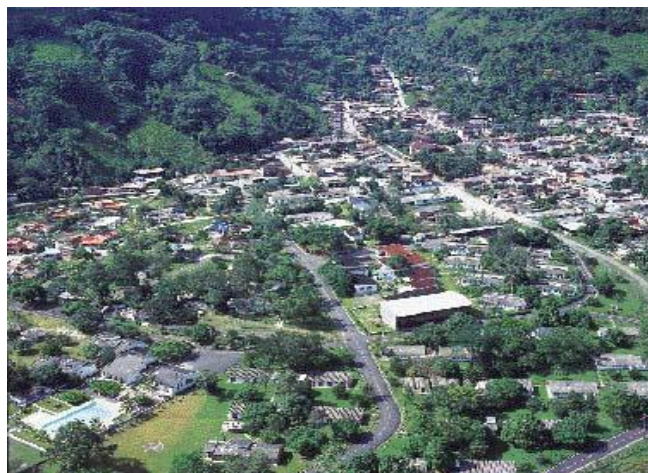


Foto 2.9 Campamento de Santa María

☞ Campamento Tunjita Monte: Tiene características similares al anterior y se localiza en el municipio de Garagoa (Boyacá).

☞ Campamento Tunjita Valle:

Tiene características similares al anterior y se localiza en el municipio de Macanal (Boyacá).

☞ Puente Batá: Comprende las instalaciones de Administración del transporte fluvial en el embalse, en el sitio en donde se encuentra el embarcadero principal y el paso del planchón (**Ver Foto 2.10**).



Foto 2.10 Embarcadero de Puente Bata

Están compuestas por una casa prefabricada en la que se ubican las oficinas, un patio cubierto en el cual se guardan esporádicamente algunas lanchas y se

hace mantenimiento a los motores de estas, otra casa prefabricada, un área techada cercada con placa en concreto y dique de contención, en la cual se encuentran los tanques de combustible y por ultimo un surtidor de combustible para la operación de las lanchas. Se localiza a unos 5 kilómetros de la cabecera urbana de Macanal. Las instalaciones se encuentran cedidas en comodato a la empresa contratista del transporte fluvial.

- ⇒ Caseta de operación: Comprende una caseta para un operador desde donde se operan las compuertas del rebosadero y se monitorea el comportamiento del embalse. Adicionalmente se encuentran otras 2 pequeñas casetas para el personal de seguridad física.
- ⇒ Bases Militares: La central cuenta con 3 bases militares así: Una en la zona del rebosadero con capacidad aproximada de 60 hombres, otra base con capacidad para 100 hombres ubicada en la hacienda Cachipay en el municipio de Santa María a unos 5 Km. de la cabecera municipal y una última base ubicada en la zona de casa de maquinas con capacidad aproximada de 100 hombres. Estas bases cuentan con dormitorios, instalaciones sanitarias con sus respectivos pozos sépticos, cocinas y comedores.

2.1.2 Fuentes y Caudales Aprovechados por el Embalse la Esmeralda

Las corrientes principales que alimentan el embalse La Esmeralda son los ríos Garagoa y Somondoco. Como aportes adicionales se tienen las descargas de las quebradas Dátil, Honda y La Esmeralda que confluyen por su costado izquierdo y de las quebradas Cuya, El Infierno, honda y Chivor que llegan por la margen derecha.

Se aprovechan también las aguas de los ríos Tunjita, Negro y Rucio, mediante las desviaciones descritas anteriormente. Los caudales aprovechados son los siguientes:

Tabla 2.1
Caudales Aprovechados por la Central

FUENTE	CAUDAL MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m3/seg)
Río Garagoa	26.69
Río Somondoco	17.99
Río Tunjita	11.95
Río Negro	4.97
Río Rucio	2.31
Afluentes Menores	15.75

Los caudales históricos de las afluencias al embalse la Esmeralda (sin contar con las desviaciones) se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 2.2
Afluencias medias mensuales
históricas al embalse La Esmeralda (m³/seg)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máxima	35,15	19,53	35,88	71,33	128,24	188,36	241,73	279,99	136,94	111,69	95,48	59,49
Mínima	6,74	4,99	4,57	10,56	25,68	49,44	78,42	59,08	40,44	29,83	25,20	9,41
media	11,91	9,89	13,06	32,31	68,82	109,95	141,29	121,52	75,46	60,76	50,03	26,13

Las aguas utilizadas para generación son entregadas finalmente al río Lengupá y no son utilizados para otros fines en la generación eléctrica. La descarga media anual del canal de fuga es de 56,5 m³/seg, los caudales mínimos se presentan entre diciembre y abril con una media de 45 m³/seg y la media máxima corresponde al mes de julio con 82 m³/seg. Para el abastecimiento de agua potable del campamento de Santa María se utiliza el acueducto que surte la cabecera municipal. Casa de máquinas se abastece de una toma propia localizada en las inmediaciones del codo 2 en la hacienda Cachipay propiedad de la empresa y sólo se utiliza para satisfacer necesidades domésticas. El agua de consumo humano se compra a empresas de refrescos y bebidas.

2.1.3 Características del Embalse La Esmeralda y su Área de Influencia

2.1.3.1 Embalse

La represa tiene una capacidad total de almacenamiento según diseño de 758 millones de metros cúbicos (Mm³), cubriendo un área de 1.252 hectáreas. Es un embalse de forma estrecha, alargado con una longitud máxima de 22 kilómetros y con profundidades hasta de 130 metros (**Ver Foto 2.11**).

En general las paredes del embalse son en roca y presentan pendientes muy pronunciadas. Esta característica sumada a los 27 años de funcionamiento del embalse le dan una característica de mucha estabilidad a su contorno. Sólo en algunos sitios muy localizados se presentan desprendimientos muy pequeños en forma de golpe de cuchara como efecto de la oscilación del nivel de aguas y en ningún caso supera los niveles de protección y los predios de propiedad de la empresa.



Foto 2.11 Parte media del embalse La Esmeralda

El volumen muerto del embalse es de 90 millones de metros cúbicos, abarcando desde la cota 1110 a la 1180 m.s.n.m, en donde se encuentran las estructuras de toma. El embalse útil cuenta con un volumen de 668 Mm³ abarcando desde la cota 1.180 hasta la 1.277 que es la cota máxima de llenado. Por fines operativos sólo se permite un descenso del nivel hasta la cota 1.190.

2.1.3.2 Cuenca Hidrográfica Aportante al Embalse

En términos de lo establecido por el decreto 1933 de 1994, la cuenca hidrográfica aportante al embalse comprende el conjunto territorial de donde proviene y se surte una central hidroeléctrica del recurso agua para la producción de energía eléctrica hasta el sitio de presa u otra estructura de captación. Forman parte de este conjunto la cuenca tributaria del cauce principal y las cuencas de los cauces captados con desviaciones de aguas con el mismo fin.

Las siguientes Tablas presentan la distribución porcentual de la superficie de los municipios localizados en las cuencas aportantes, aquellos con área inundada y las fracciones de área de las Corporaciones Autónomas Regionales con jurisdicción en las cuencas que alimentan la Central. Esta distribución corresponde al trabajo realizado por el instituto Geográfico Agustín Codazzi, en cumplimiento de lo mandado por la ley en el decreto 1933 del 5 de agosto de 1994 en su artículo 3.

Tabla 2.3
Municipios en la Cuenca Aportante
y con Área Inundada (fracción de área)

MUNICIPIO	PORCENTAJE DE AREA (%)	
	CUENCA	EMBALSE
Almeida	2.1742	9.81
Boyacá	1.8309	
Chinavita	4.8825	
Chivor	2.6587	6.37
Choconta	1.7318	
Cucaita	0.5607	
Ciénega	2.098	
Garagoa	8.0104	4.64
Guateque	1.4114	
Guayatá	3.0897	
Jenesano	2.0217	
La Capilla	2.0598	
Macanal	4.9474	64.79
Machetá	8.5444	
Manta	3.9289	
Miraflores	2.7731	0.45
Nuevo Colón	1.9072	

MUNICIPIO	PORCENTAJE DE AREA (%)	
	CUENCA	EMBALSE
Pachavita	2.5557	
Ramiriquí	5.1381	
Samacá	1.5944	
Santa María	0.1945	7.12
Siachoque	0.0648	
Somondoco	2.5938	3.37
Soracá	0.8163	
Sutatenza	1.5639	3.15
Tenza	1.8691	
Tibaná	5.0732	
Tibirita	2.1742	
Tunja	1.2283	
Turmequé	2.9677	
Ubalá	3.7382	0.3
Umbita	4.9588	
Ventaquemada	4.3523	
Villapinzón	2.0446	
Viracachá	2.4413	
TOTAL	100	100

Tabla 2.4
Corporaciones Autónomas Regionales
en la Cuenca Aportante

CORPORACIONES	PORCENTAJE DE AREA EN LA CUENCA APORTANTE
CORPOCHIVOR	70.80
CORPOBOYACA	7.03
CAR	18.43
CORPOGUAVIO	3.74
TOTAL	100

2.1.3.3 Área de Influencia del proyecto

Teniendo en cuenta el decreto 1933 de 1994, el área de influencia del proyecto corresponde a: Municipios o conjunto de municipios en los cuales la empresa propietaria de una planta de generación eléctrica ha adquirido predios para el proyecto. Para efectos del análisis de los impactos ambientales asociados a la operación de la Central, el área de influencia directa es aquella en donde se

encuentran ubicadas sus instalaciones y en donde se presentan las relaciones proyecto-ambiente asociadas a la operación de la Central. En general esta área coincide con el área de influencia del proyecto definida por el decreto 1933 del 94.

Desde el punto de vista biofísico se tienen los siguientes espacios:

- ▶ Área en donde se encuentran las diferentes obras e instalaciones de la Central agrupando las conducciones hidráulicas, vías internas, presas, embalses, casa de máquinas y campamentos.
- ▶ Causas aguas abajo de la presa como áreas de manejo por regulación de crecientes.
- ▶ Causas receptores de trasvasos.

En términos socioeconómicos, el área de influencia directa comprende los municipios y veredas circunvecinas al embalse y sus desviaciones, municipios en los que se tiene infraestructura y comunidades vecinas a cauces de ríos sujetos a regulación de crecientes y cambio de caudales.

El área de influencia indirecta comprende el espacio geográfico donde no se tienen obras de infraestructura de la Central, de manera tal que las relaciones entre el proyecto de generación hidroeléctrica y el ambiente están dadas por la alimentación hídrica hacia el embalse y los aportes de Ley 99 de 1993.

2.1.4 Cálculo de diseño del periodo de colmatación de los 90 millones de m³ del embalse muerto.

En la etapa de diseño del proyecto se estimó un periodo de colmatación del embalse muerto de 50 años de acuerdo a las proyecciones del aporte de sedimentos de la cuenca. El llenado del embalse comenzó en 1975, dos años antes del inicio de la fase operativa de la central.

En la última batimetría realizada, a diciembre 31 de 1996, la rata de sedimentación fue de 4.4 millones de metros cúbicos de los cuales 2,4 millones se depositaron en el embalse útil (**Ver Foto 2.12**).



Foto 2.12 Banco de sedimentos en el embalse útil, parte alta del embalse. Visible en periodos de estiaje

Es importante resaltar que este cálculo tuvo un interés de diseño y de seguimiento al proceso de sedimentación durante la operación del proyecto, se resalta que los equipos y obras principales tienen una expectativa de operación mayor. Esto permite desarrollar medidas tendientes a optimizar su operación.

2.1.5 Manejo de Caudales Diferentes a la Operación

El agua de consumo para el campamento de Santa María se toma del mismo acueducto que surte a la cabecera municipal y casa de máquinas de una toma propia ubicada en predios de la empresa. De esta última captación se abastecen las bases militares de Cachipay, codo 2 y casa de máquinas.

Las demás instalaciones satélite (rebosadero y campamentos de Tunjita y río Negro) son abastecidas por acueductos veredales.

2.1.5 Vías de la Central

Las vías internas de la central tienen una longitud total de 15.9 kilómetros y están constituidas por:

- ✓ El acceso desde la vía Santa María – San Luis de Gaceno a Casa de Máquinas y taller, con una longitud de 2 Km..
- ✓ La vía a almenaras, que parte desde el alto de Calichana en la vía Santa María – San Luis de Gaceno con una longitud de 7 Km..
- ✓ La vía de entrada a cámara de válvulas, que va desde el sitio denominado puente muros (vía Juntas – Santa María) hasta el rebosadero con una longitud de 2.5 Km.. (**Ver Foto 2.13**).
- ✓ Túnel de acceso a cámara de válvulas y vía interna de la presa con una longitud de 1.7 Km..
- ✓ Vía de la base militar Cachipay a la ventana 2 con una longitud de 700 metros.
- ✓ Acceso a Tunjita Monte desde la vía Garagoa - Miraflores: 2 Km.

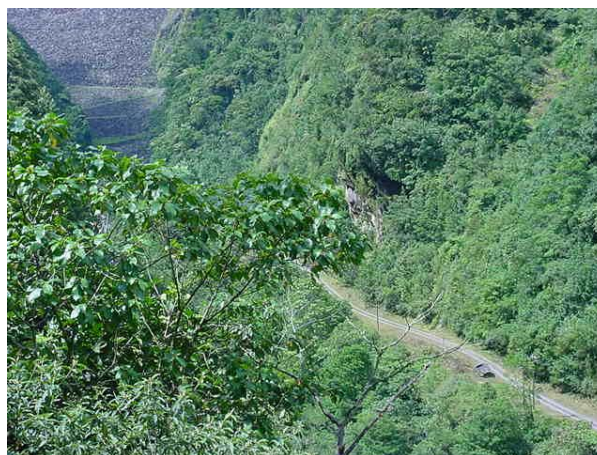


Foto 2.13 Vía interna al rebosadero

2.2 PROCESOS DE OPERACIÓN DE LA CENTRAL

2.2.1 Descripción General de los Procedimientos y Reglas de Operación de la Central Hidroeléctrica de Chivor

La operación de la Central tiene unas normas que regulan la parte técnica del despacho de energía. Estas reglas son consecuentes con lo establecido por la

legislación vigente en la materia y a partir de allí se han definido unos procedimientos de operación que se coordinan con el centro nacional de despacho (CND).

Los procedimientos de operación consideran los siguientes aspectos:

1. Condiciones de oferta y demanda de energía eléctrica en el país y regulaciones de mercado establecidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas.
2. Análisis de las afluencias de caudal y factores que inciden en esta tales como períodos de invierno y verano, ocurrencia de eventos especiales como fenómenos del niño o la niña e inviernos excepcionales.
3. Manejo del embalse y control de niveles en los períodos de invierno mediante lectura permanente de niveles, estimación de caudales afluentes y evaluación hídrica de toda la cuenca aportante utilizando la información hidrometeorológica de las estaciones ubicadas en esta y los pronósticos de tiempo del IDEAM.
4. Evaluación y monitoreo de las infraestructuras de la central tales como presa del embalse La Esmeralda, presas de las desviaciones de los ríos Tunjita y Negro, túneles de carga a casa de máquinas, evaluación de caudales de los cuerpos de agua localizados en el corredor de los túneles de carga, evaluación de las condiciones de estabilidad del talud de casa de máquinas.
5. Evaluación de puntos de referencia establecidos en la cuenca del río Batá, aguas debajo de la presa.

Estos procedimientos involucran unas reglas específicas que buscan una interacción con el medio físico y social tendiente a prevenir impactos sobre la infraestructura socioeconómica y las comunidades. Estas se ilustran en detalle en el subprograma de manejo del embalse que incluye las siguientes medidas:

- ✓ Evaluación de puntos de control en el río Batá (FIS-EMBALSE 01).
- ✓ Manejo de caudales (FIS-EMBALSE 02).
- ✓ Información a comunidades por desembalses (FIS-EMBALSE 03).
- ✓ Manejo sección del cauce río Batá (FIS-EMBALSE 04).
- ✓ Entrada y salida desviaciones (FIS-DESVIACIONES 01).
- ✓ Información a comunidades cuencas ríos Tunjita y Negro (FIS-DESVIACIONES 02).

2.2.2 Operación de estructuras de descarga y Trasvases de Agua.

La estructura de descarga del rebosadero tiene como función el alivio de aguas en el embalse para evitar que en períodos de altas afluencias se incremente el nivel de aguas por encima de la cota máxima de inundación y pueda afectar la seguridad de la presa. Por tal razón es necesario hacer vertimientos de aguas de exceso que son entregadas al cauce del río Batá, la misma fuente hídrica embalsada. Como criterio de operación y con el objeto de amortiguar crecientes instantáneas, los reboses se realizan de manera controlada y por intervalos de tiempo. Esto permite un transito de caudales moderados hacia la cuenca baja del

río, por debajo de los caudales máximos de entrada al embalse. El manejo de caudales se expone en la ficha **FIS-EMBALSE 02**.

Por su parte la operación de los trasvasos de agua depende de las necesidades hídricas en el embalse. Esto quiere decir que las desviaciones de los ríos Tunjita, Negro y Rucio funcionan casi todo el año. Solo cuando el nivel esta cerca al máximo y los caudales del Batá son altos, las desviaciones salen de operación. Esto sucede generalmente en la parte final de los periodos invernales.

La captación de aguas en los ríos Tunjita y Negro se hace mediante el cierre de las compuertas de desvío hacia el cauce natural el embalsamiento de las aguas y su posterior captación mediante la apertura de los túneles en cada desviación. Ambas desviaciones operan a flujo libre, tal como se describe en el numeral 2.1.1.2.

Por otra parte son pocas las infiltraciones identificadas en los túneles de conducción de las desviaciones (40 Lt/seg. en el río Negro y entre 5 y 10 Lt/seg. en el Tunjita).

2.2.2.1 Monitoreo de las Desviaciones de Agua

Para evaluar el comportamiento de las desviaciones y sus condiciones de estabilidad se realiza un monitoreo al año. El programa comprende unas inspecciones a todos los tramos de las desviaciones para establecer las condiciones geotécnicas, el estado de los revestimientos, las estructuras de toma y la entrega a la quebrada Trabajos. Igualmente se inspecciona el estado de las presas.

Con los resultados de las inspecciones se definen posibles trabajos de mantenimiento, para sostener las condiciones de operación normal de la desviaciones. En general los trabajos se desarrollan durante el período en el cual éstas se encuentran fuera de servicio.

Por otra parte se cuenta con un sistema de miras a la entrada y salida de cada desviación para conocer los niveles y caudales. Para el río Rucio dada la configuración de las obras no es posible medir directamente el caudal de entrada. Su estimación se realiza con la evaluación de las descargas de las otras desviaciones, los afluentes directos al embalse y los cambios de nivel.

2.2.2.2 Operación de Compuertas en el rebosadero.

Como se comentó en la primera parte de este capítulo, el embalse cuenta con tres vertederos de compuerta radial para la evacuación de aguas de exceso, hasta un caudal máximo de 10.000 m³/seg.

La apertura de compuertas depende de las condiciones meteorológicas dominantes en la región y del nivel en el embalse, de manera que los

vertimientos producto de su operación ocurren durante el período de invierno, entre los meses de abril y noviembre.

Los caudales a entregar dependen de la intensidad de las crecientes en la cuenca, se cuenta con sistemas de pronóstico y se maneja la información del IDEAM. Como se comentó anteriormente, los caudales de salida se encuentran por debajo de las afluencias de entrada.

A este respecto, desde el año de 1997 la central ha realizado unos vertimientos controlados que le han permitido regular crecientes máximas de entrada superiores a los 600 m³/seg. Las mayores crecientes históricas se presentaron el 1º y 5 de julio de 1997 con caudales de 1188 y 1167 m³/seg.

Como criterio de operación del rebosadero, se cuenta con un procedimiento de alerta, prevención ante los posibles aumentos de caudales provocados por el periodo invernal y la consecuente operación de las compuertas. Este procedimiento incluye:

- Aviso a comunidades.
- Aviso a Autoridades Municipales.
- Aviso a entidades encargadas de atención y prevención de desastres.

Esto se presenta en detalle en la ficha FIS-EMBALSE 03.

2.2.3 Sistema de Operación y Monitoreo a los Túneles de Carga

Como sistema que permite la entrada de agua a los túneles de carga se tienen las válvulas de mariposa y se cuenta además con válvulas de seguridad para cada conducción, tal como se expuso en el numeral 2.1.1.3.

Para vigilar el comportamiento de los túneles se tiene un control hídrico entre el rebosadero y casa de máquinas utilizando para ello un sistema de vertederos en todos los cursos de agua del sector mediante los cuales se tienen lecturas permanentes de caudal que permiten identificar, en el caso de ocurrir, filtraciones de los túneles.

Asimismo se han realizado vaciados parciales de los túneles mediante los cuales se ha evaluado el estado de los diferentes tramos y realizado reparaciones. El último vaciado se realizó en el año 2000 en la conducción de Chivor II, para llevar a cabo el blindaje de un tramo de la conducción (sector de Monte Bonito) en donde se identificaron filtraciones hacia la montaña.

Actualmente, las lecturas de los piezómetros y de caudales en vertederos no muestran problemas de filtración en las conducciones hacia casa de máquinas. El procedimiento para el manejo de los túneles de carga se presenta en detalle en la ficha **FIS-TÚNELES**.

2.2.4 Caudales Remanentes de Operación Aguas Abajo (Máximos y Mínimos)

Los caudales remanentes de operación están conformados únicamente por las aguas turbinadas en casa de máquinas. Aguas abajo no existe otro uso distinto por parte de la empresa. Como se mencionó anteriormente el caudal medio entregado es de 56.5 m³/seg.

Es oportuno señalar que el río Lengupá tiene una buena capacidad de asimilación de estos caudales, teniendo en cuenta la amplitud del cauce (**Ver foto 2.14**) y el tamaño de la cuenca hasta el sitio de entrega de las aguas turbinadas.

En este sitio se tienen caudales medios superiores a los 100 m³/seg y se han registrado máximos superiores a los 1000 m³/seg.



Foto 2.14 Río Lengupá en el sitio de confluencia del canal de fuga

2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE EQUIPOS Y OBRAS CIVILES

2.3.1 Mantenimiento y Reparación Equipos de generación en Casa de Maquinas

La central Chivor cuenta con un programa sistemático de mantenimiento de todos los equipos de generación, que se divide de la siguiente manera:

- ✓ Mantenimiento Predictivo
- ✓ Mantenimiento Preventivo
- ✓ Mantenimiento Correctivo
- ✓ Mantenimiento Programado

2.3.1.1 Mantenimiento Predictivo

Consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos a partes de maquinaria que sean muy costosas o a las cuales no se les pueda permitir fallar en forma imprevista, pues arriesgan la integridad de los operarios o pueden causar daños costosos. Involucra equipos electromecánicos diversos. Es ante todo de tipo informativo y busca apoyar los mantenimientos preventivos.

La mayoría de las inspecciones se realiza con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción. Para el efecto se utilizan equipos como espectrofotómetros, decibelímetros y termógrafos. También se utilizan los

servicios de laboratorios especializados que a través de pruebas de diagnóstico permiten conocer la condición operativa de los equipos.

2.3.1.2 Mantenimiento Preventivo

La esencia de este tipo de mantenimiento son las revisiones e inspecciones programadas que pueden o no tener como consecuencia una tarea correctiva o de cambio. Se realiza mediante un programa de actividades (revisiones de piezas, ajustes de tolerancias, recuperación de perfiles, lubricación, etc), previamente establecido, con el fin de anticiparse a la presencia de fallas en las instalaciones y equipos.

Para las ocho (8) unidades de generación la periodicidad de los mantenimientos preventivos son:

- ✧ Revisión mensual: A equipos periféricos.
- ✧ Revisión general: 3 a 6 meses.
- ✧ Mantenimiento general: 12 a 18 meses.
- ✧ Semi overhaul: 3 a 4 años.
- ✧ Overhaul: 7 años.



Foto 2.15 Taller mecánico

Para llevar a cabo los mantenimientos se cuenta con talleres eléctrico y mecánico que cuentan con los equipos y herramientas necesarias para las actividades requeridas (**Ver Foto 2.15**).

2.3.1.3. Mantenimiento Correctivo

Como su nombre lo indica es un mantenimiento encaminado a corregir una falla que se presente en determinado momento. Su principal función es de poner en marcha el equipo lo más rápido y con el mínimo costo posible.

Las etapas por seguir cuando se presenta un problema que requiera un mantenimiento correctivo son las siguientes:

1. Identificación del problema y sus causas.
2. Estudio de las diferentes alternativas para su reparación.
3. Evaluación de las ventajas de cada alternativa y evaluar la óptima.
4. Planeación de la reparación.
5. Desarrollo de la actividad de mantenimiento.
6. Supervisión de las actividades por desarrollar.

2.3.2 Mantenimiento y Reparación Equipos periféricos de generación.

En este mantenimiento y reparación de equipos contempla los diferentes equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos que están fuera de la casa de maquinas.

Entre ellos se pueden enumerar los siguientes: compuertas del rebosadero, motores de las compuertas, planta diesel del rebosadero, sistema de ventilación de la galería de drenaje, equipos de cámara de válvulas, compuertas y plantas diesel de las captaciones de los ríos Negro y Tunjita, línea 13.8 Kv casa de máquinas - rebosadero, sistema de comunicaciones de la central e instalaciones eléctricas del campamento.

Para la ejecución de estas actividades, de manera análoga a lo realizado en casa de máquinas, el mantenimiento es de tres tipos:

- ✓ Mantenimiento Preventivo
- ✓ Mantenimiento Correctivo
- ✓ Mantenimiento Programado

2.3.3 Mantenimiento Obras Civiles

El mantenimiento de la obras civiles incluye las siguientes actividades:

- ✧ Casa de Maquinas: Mantenimiento del espolón y seguimiento a la dinámica del cauce del río Lengupá, Mantenimiento a la galería de drenaje y control del talud de casa de máquinas.
- ✧ Presa: Evaluación de la estabilidad de la presa mediante la medición y el monitoreo de toda la instrumentación instalada en ella. Seguimiento topográfico a la red de mojones de la presa. Mantenimiento del terraplén y las vías de acceso, Supervisión y mantenimiento de cámara de válvulas. Mantenimiento a la infraestructura ubicada en la presa.
- ✧ Embalse: Supervisión del vaso del embalse y de las afluencias de sedimentos a este. Control al proceso de eutroficación en las colas del embalse
- ✧ Vías de acceso: Supervisión y mantenimiento de las siguientes vías internas de la central: rebosadero – cámara de válvulas – puente muros, Vías a almenaras y a codos 1 y 2, vía interna de casa de máquinas. Adicionalmente se realiza el destaponamiento cuando se presentan derrumbes en la vía que conduce de la cabecera Municipal de Santa María a casa maquinas con el fin de mantener el acceso terrestre de los empleados a la planta.
- ✧ Desviaciones ríos Tunjita, Negro y Rucio: Mantenimiento de las conducciones, control topográfico de las obras civiles, supervisión del embalse y zonas periféricas, mantenimiento de caminos peatonales, puentes peatonales, campamentos de vigilancia y caseta de control. Supervisión, control y manejo de los sitios de descarga de las desviaciones.

Para el caso de las vías la periodicidad del mantenimiento depende básicamente de las condiciones climatológicas que se presenten, se hacen inspecciones cada tres (3) meses para determinar la pertinencia de su realización. Para el mantenimiento de las obras civiles asociadas directamente con la operación, la periodicidad es variable y depende del estado en que se encuentran, el cual se identifica en las visitas de monitoreo y seguimiento que se hacen en forma permanente. Así, algunos seguimientos son diarios como el caso de la

instrumentación de la presa, la topografía es semanal o quincenal dependiendo los puntos de monitoreo y la inspección al talud de casa de máquinas es semanal.

La inspección al estado de los túneles de las desviaciones se realiza cada vez que se suspende la operación de estas.

La maquinaria con que cuenta la empresa para realizar estos mantenimientos, se relaciona en la siguiente tabla:

Tabla 2.5
Maquinaria para Mantenimiento de Obras Civiles

CANTIDAD	EQUIPO	REFERENCIA
1	Motoniveladora	Caterpillar 1206
1	Cargador	Komatsu W60
1	Retroexcavadora	JCB214S
1	Bulldozer	Komatsu D53A-17
1	Vibro compactador	Dynapac
1	Tractomula	Mack

2.3.4 Mantenimientos Especiales

Estos corresponden a las actividades de mantenimiento de los túneles de carga o conducciones de agua desde el embalse hasta casa de máquinas. Se realizan en forma mas esporádica y no responden a una programación precisa. Se realizan cuando los seguimientos a la instrumentación muestran algún posible problema en las conducciones o cuando se requiere hacer reparaciones a los equipos sometidos a la cabeza del embalse como son las válvulas esférica, de mariposa, etc. Las actividades básicas que se realizan son:

- ❏ Galería de drenaje: Inspección del estado y el comportamiento de la galería y de su sistema de ventilación, en especial cuando el vaciado es de la conducción de Chivor II.
- ❏ Vaciado de las tuberías de carga de Chivor I y II: Es una de las actividades de mayor envergadura y complejidad dentro del conjunto de mantenimientos de la Central. Implica el vaciado de una de las tuberías de carga y por supuesto la salida temporal de una de las etapas del proyecto.
- ❏ Accesos: Inspección y mantenimiento a las ventanas de acceso a los túneles de carga de Chivor I y Chivor II.
- ❏ Túneles: Se realizan revisiones y mantenimientos interno de las conducciones: Esto incluye revisión de los tramos blindados, del estado de la roca en donde no hay blindaje y revisión interna de algunos equipos ,instrumentos y válvulas acopladas a los túneles.
- ❏ Llenado de las tuberías de carga: Al igual que durante el vaciado, esta es una de las actividades de mayor cuidado y complejidad dentro del conjunto de mantenimientos de la Central.

- ⇒ Reparaciones a los equipos mecánicos que permiten manejar la conducción de agua a las unidades como son: válvulas esféricas, bypasses, tuberías de carga, tuberías de control, etc.

CONTENIDO CAPÍTULO 2

2.1	DESCRIPCIÓN TÉCNICA GENERAL DE LA CENTRAL	1
2.1.1	Descripción General de las Obras	1
2.1.1.1	Presa y Obras Complementarias	1
2.1.1.2	Desviaciones	2
2.1.1.3	Conducciones a Casa de Máquinas	5
2.1.1.4	Área Casa de Máquinas y Almacén	6
2.1.1.5	Campamento e Instalaciones Satélites	8
2.1.2	Fuentes y Caudales Aprovechados por el Embalse la Esmeralda	9
2.1.3	Características del Embalse La Esmeralda y su Área de Influencia	10
2.1.3.1	Embalse	10
2.1.3.2	Cuenca Hidrográfica Aportante al Embalse	11
2.1.3.3	Área de Influencia del proyecto	12
2.1.4	Cálculo de diseño del periodo de colmatación de los 90 millones de m ³ del embalse muerto.	13
2.1.5	Vías de la Central	14
2.2	PROCESOS DE OPERACIÓN DE LA CENTRAL	14
2.2.1	Descripción General de los Procedimientos y Reglas de Operación de la Central Hidroeléctrica de Chivor	14
2.2.2	Operación de estructuras de descarga y Trasvases de Agua.	15
2.2.2.1	Monitoreo de las Desviaciones de Agua	16
2.2.2.2	Operación de Compuertas en el rebosadero.	16
2.2.3	Sistema de Operación y Monitoreo a los Túneles de Carga	17
2.2.4	Caudales Remanentes de Operación Aguas Abajo (Máximos y Mínimos)	18
2.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE EQUIPOS Y OBRAS CIVILES	18
2.3.1	Mantenimiento y Reparación Equipos de generación en Casa de Maquinas	18
2.3.1.1	Mantenimiento Predictivo	18
2.3.1.2	Mantenimiento Preventivo	19
2.3.1.3	Mantenimiento Correctivo	19
2.3.2	Mantenimiento y Reparación Equipos periféricos de generación.	19
2.3.3	Mantenimiento Obras Civiles	20
2.3.4	Mantenimientos Especiales	21