



# PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO

## ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL VOLUMEN I DE V CAPÍTULO 2

DOCUMENTO 2148-04-EV-ST-020-02

REVISIÓN No. 0


Revisión	Modificaciones	Fecha
0	Emisión Original	2011-12-23

### Elaboración – Revisión – Aprobación

Revisión	Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
	Nombre	Firma	Nombre	Firma	Nombre	Firma
0	SAG/HMV		HMV		HMV	

Los derechos de autor de este documento son de HMV INGENIEROS LTDA, que queda exonerada de toda responsabilidad si este documento es alterado o modificado. No se autoriza su empleo o reproducción total o parcial con fines diferentes al contratado.




	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

### CONTENIDO GENERAL


<b>VOLUMEN I</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Documento</b>
Resumen ejecutivo	2148-04-EV-ST-020-00
Capítulo 1 – Generalidades	2148-04-EV-ST-020-01
Capítulo 2 – Descripción del Proyecto	2148-04-EV-ST-020-02
<b>VOLUMEN II</b>	
Capítulo 3 – Caracterización del área de influencia del Proyecto	2148-04-EV-ST-020-03
<b>VOLUMEN III</b>	
Capítulo 4 – Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales	2148-04-EV-ST-020-04
Capítulo 5 – Evaluación ambiental	2148-04-EV-ST-020-05
Capítulo 6 – Zonificación de manejo ambiental del Proyecto	2148-04-EV-ST-020-06
Capítulo 7 – Plan de manejo ambiental	2148-04-EV-ST-020-07
Capítulo 8 – Plan de seguimiento y monitoreo del Proyecto	2148-04-EV-ST-020-04
Capítulo 9 – Plan de contingencia	2148-04-EV-ST-020-09
Capítulo 10 - Plan de abandono y restauración final	2148-04-EV-ST-020-10
Capítulo 11 - Plan de inversión del 1%	2148-04-EV-ST-020-11
Bibliografía	2148-04-EV-ST-020-12
<b>VOLUMEN IV</b>	
Anexos	2148-04-EV-ST-020-13
<b>VOLUMEN V</b>	
Planos	2148-04-EV-ST-020-14



	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			


## TABLA DE CONTENIDO

		<b>Pag</b>
2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2-5
2.1	LOCALIZACIÓN	2-5
2.2	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO	2-5
2.2.1	Obras de captación	2-5
2.2.2	Canal de conducción	2-6
2.2.3	Desarenador	2-6
2.2.4	Obras de conducción	2-7
2.2.5	Casa de máquinas	2-8
2.2.6	Obras de descarga	2-11
2.2.7	Subestación y línea de conexión	2-11
2.2.8	Vías de acceso	2-12
2.2.9	Campamentos, oficinas y talleres	2-15
2.2.10	Zonas de préstamo y sitios de depósito de materiales	2-16
2.2.11	Volúmenes de descapote, cortes y llenos	2-19
2.2.12	Energía para construcción	2-20
2.2.13	Agua para construcción	2-21
2.3	PROCESO CONSTRUCTIVO	2-21
2.3.1	Diseño y licitación de construcción	2-21
2.3.2	Movilización	2-21
2.3.3	Adecuaciones iniciales	2-21
2.3.4	Movimientos de tierra	2-22
2.3.5	Construcción de vías de acceso	2-22
2.3.6	Construcción de la subestación	2-22
2.3.7	Excavación de túneles	2-22
2.3.8	Construcción y montaje de la tubería a presión y de alivio	2-23
2.3.9	Construcción del azud y la captación	2-23
2.3.10	Construcción de la casa de máquinas	2-24
2.3.11	Requerimientos de equipo a emplear	2-24
2.4	PRESUPUESTOS Y CRONOGRAMA DEL PROYECTO	2-26
2.4.1	Cronograma de construcción	2-26
2.4.2	Presupuesto del Proyecto	2-28
2.5	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA HIDROELÉCTRICA	2-28
2.5.1	Operación	2-28
2.5.2	Mantenimiento	2-29
2.5.3	Descripción de las características técnicas de la operación	2-29

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			


## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pag</b>
Tabla 2-1: Criterios de diseño para las vías de acceso.....	2-13
Tabla 2-2: Longitudes, cortes y llenos de vías .....	2-14
Tabla 2-3: Mano de obra para construcción.....	2-16
Tabla 2-4: Características básicas de las zonas de depósito.....	2-19
Tabla 2-5: Volúmenes de excavación y lleno.....	2-20
Tabla 2-6: Especificaciones técnicas de las concretadoras .....	2-24
Tabla 2-7: Especificaciones técnicas de planta trituradora primaria.....	2-25
Tabla 2-8: Especificaciones técnicas de zaranda o criba.....	2-26
Tabla 2-9: Especificaciones técnicas del cono de trituración .....	2-26
Tabla 2-10: Costos del Proyecto.....	2-28
Tabla 2-11: Caudal de garantía ambiental y niveles requeridos en el vertedero rectangular mes a mes.....	2-32

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

## LISTADO DE FIGURAS


	<b>Pag</b>
Figura 2-1: Cronograma de construcción .....	2-27
Figura 2-2: Corte tanque séptico.....	2-30
Figura 2-3: Corte tanque séptico.....	2-30
Figura 2-4: Curva de calibración de vertedero rectangular.....	2-31

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

### LISTADO DE PLANOS

2148-04-CV-DW-014	Localización general del Proyecto
2148-04-CV-DW-015	Plano general de obras
2148-04-CV-DW-015	Localización oficinas, campamentos y plantas
2148-04-CV-DW-017	Localización de corrientes menores
2148-04-CV-DW-022	Azud - Planta y secciones
2148-04-CV-DW-023	Captación - Planta y secciones
2148-04-CV-DW-024	Desarenador - Planta y secciones
2148-04-CV-DW-032	Túnel de conducción - Planta y perfil
2148-04-CV-DW-033	Túnel de conducción - Secciones típicas
2148-04-CV-DW-044	Tubería de presión- Perfil y secciones
2148-04-CV-DW-050	Casa de máquinas - Arreglo general
2148-04-CV-DW-051	Casa de máquinas - Adecuación
2148-04-CV-DW-052	Canal de descarga - Perfil y secciones
2148-04-CV-DW-063	Vías de acceso a captación
2148-04-CV-DW-064	Vías de acceso a almenara y portal de salida túnel
2148-04-CV-DW-065	Vías de acceso - Obras hidráulicas típicas
2148-04-CV-DW-076	Depósitos - Localización general
2148-04-CV-DW-077	Depósitos – Planta y perfil
2148-04-EL-DW-021	Línea de transmisión



	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

## **2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1 LOCALIZACIÓN**

El Proyecto Hidroeléctrico El Molino (antes denominado El Molino I) se localiza en el oriente del departamento de Antioquia, a unos 95 km de la ciudad de Medellín, en jurisdicción de los municipios de Cocorná y Granada, en las veredas El Molino, Campo Alegre, Los Mangos, La Inmaculada y San Lorenzo del primer municipio; y en las veredas Quebradona Abajo y las Faldas de Granada. En el Plano 2148-04-CV-DW-014 se presenta la localización general del proyecto.

### **2.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO**

El Proyecto Hidroeléctrico El Molino, que será del tipo filo de agua sin embalse, tendrá una capacidad de 21 MW, para un caudal de diseño de 10 m<sup>3</sup>/s y un salto neto de 238,4 m. Las obras de conducción tienen aproximadamente 3,4 km de longitud total.

El proyecto Hidroeléctrico El Molino es parte de un sistema en cadena junto con el proyecto Hidroeléctrico San Matías (denominado antes El Molino II), por tal razón, las aguas turbinadas provenientes del proyecto El Molino serán entregadas a un tanque de aquietamiento, el cual en condiciones normales conduce el agua hacia el proyecto Hidroeléctrico San Matías.

En términos generales, el Proyecto consta de un azud en concreto de baja altura, una captación lateral, un desarenador para retención de sedimentos, un box culvert, un túnel de conducción, una almenara, una casa de válvulas, la tubería de presión, la casa de máquinas superficial, un tanque de aquietamiento y finalmente un canal de descarga para entregar las aguas turbinadas al río San Matías cuando el proyecto San Matías no opere, elementos que se describen con mayor detalle más adelante. El esquema general de las obras se puede ver en el plano 2148-04-CV-DW-015.

#### **2.2.1 Obras de captación**

Las obras de derivación o captación se ubicarán en las coordenadas 880.829 E y 1.162.570 N, cota 1.260 msnm, donde el cauce del río San Matías presenta condiciones favorables para la ubicación de estas estructuras.

La derivación de caudales se hará a partir de la construcción de un azud de concreto de aproximadamente 4,0 m de altura y 39,0 m de longitud, con cresta en la cota 1.264 msnm, el cual contará, en el lado derecho, con una descarga de fondo conformada por una compuerta radial de 5,0x5,0 m. El área que ocupará el pondaje generado por el azud, será de 1,2 ha. La planta y perfil del azud se presentan en el plano 2148-04-CV-DW-022.

La sección vertedora del azud permitirá el paso de una creciente de 1.246 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un período de retorno de 100 años.

Para la captación se ha dispuesto una toma del tipo lateral en el lado derecho del azud, conformada por aberturas rectangulares dimensionadas para derivar el caudal hacia el sistema de conducción. Pasada las aberturas de ingreso se llega a un canal que funciona como trampa de gravas que conecta con el canal de conducción a través de unas segundas aberturas u orificios. El primer sistema de aberturas está conformado por dos orificios de

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

2,50 m de ancho y 2,15 m de altura, y el segundo sistema por tres orificios de 1,80 m de ancho y 1,70 m de altura. Al final del canal desgravador se ha dispuesto una compuerta de 2,50 m de ancho y 2,50 m de alto.

En el plano 2148-04-CV-DW-023 se presenta la planta y las secciones de la captación.

### 2.2.2 Canal de conducción

Contiguo al canal desgravador se encuentra un canal que conduce las aguas de la captación al desarenador. Este canal tiene 4,0 m de ancho, 3,60 m de alto y una pendiente longitudinal del uno por mil. A los 38,0 m de canal se ha dispuesto una compuerta para regular el caudal que ingresa para generación. Seguido a esta compuerta se ha previsto un vertedero lateral para evacuación de excedentes que pudieran ingresar al sistema. Este tiene una longitud de 30 m.

En el plano 2148-04-CV-DW-023 se presenta la planta y sección del canal de conducción.

#### 2.2.2.1 Obras para el caudal de garantía ambiental

Con el fin de garantizar el caudal de garantía ambiental (CGA) propuesto, se construirá un orificio cuadrado de 0,8 m en el canal de conducción, unos 33,0 m después de la captación de las aguas e inmediatamente antes de la compuerta de regulación de caudales para generación.

Dado que el CGA está propuesto como un caudal que varía mes a mes, se han dispuesto unos elementos reguladores y de medida que permitan dar cumplimiento al CGA definido cada mes. Para esto se ha dispuesto que el caudal que sale por el orificio previsto para tal fin, continúe hacia un tanque amortiguador en el cual se encuentra un vertedero de tipo rectangular que permitirá medir el caudal que se entregará al río. El vertedero rectangular tiene una longitud de 1,50 m y una altura de vertimiento de 1,0 m. El caudal que pasa por el orificio será regulado por una compuerta de iguales dimensiones que permite hacer los ajustes mes a mes.

La planta y sección de la obra de CGA se presenta en el plano 2148-04-CV-DW-023.


### 2.2.3 Desarenador

El desarenador, ubicado en la margen derecha del río San Matías, será tipo *Dufour* de tres cámaras, lo cual permite su limpieza por cámara, sin necesidad de detener el funcionamiento de la Central. Cada cámara tiene 43 m de largo por 6,0 m de ancho.

Para la limpieza del material depositado en cada cámara, el desarenador tendrá dos canales de descarga en el fondo, ubicados en dirección perpendicular a las cámaras. Estos canales tienen un ancho de 1,20 m y una altura variable entre 1,10 m y 1,30 m, con una pendiente del 1% a lo largo de su recorrido.

En el fondo del desarenador también estará la descarga del material sedimentado al río, la cual se realizará mediante un canal de desfogue, que recibe de los dos canales de descarga mencionados anteriormente, el material depositado en las cámaras. Este canal de desfogue será de 1,20 m de ancho, 1,20 m de altura y pendiente del 1,0%, el cual entregará las aguas a una losa de concreto ciclópeo.

El desarenador contará con los siguientes equipos electromecánicos:

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

- **Compuertas**

El desarenador estará equipado con un conjunto de compuertas de entrada y salida que permitan aislar cada cámara para su limpieza. Las compuertas de entrada serán planas, una por cámara, es decir, tres en total y serán de 2,0 m de ancho por 4,50 m de altura. Las compuertas de salida serán planas de 3,0 m de ancho por 2,3 m de altura, manejadas por servomotores y ubicadas dos por cámara, para un total de 6 compuertas.

Adicionalmente, en cada cámara del desarenador hay un canal de fondo para descargar el material sedimentado al río. Al final de cada canal, se ubicará una compuerta plana manual de fondo de 0,7 m de ancho por 0,7 m de altura, para un total de 6 compuertas de fondo.

- **Rejas**

Después de las compuertas planas de entrada, estará ubicado un sistema de 6 rejas de 2,8 m de ancho por 7,4 m de altura, cuyo fin es evitar la entrada de basuras que hayan logrado entrar por la captación.

La planta, perfil y secciones del desarenador se presentan en el plano 2148-04-CV-DW-024.

## **2.2.4 Obras de conducción**

### **2.2.4.1 Túnel de conducción**

Después del desarenador, la conducción continúa con un sistema a presión compuesto por un box culvert cuadrado de 2,50 m de lado, 15 m de longitud y pendiente longitudinal del 0,2%.


Después del box culvert, el sistema a presión continúa con un túnel de 2.651,6 m de longitud con sección en herradura modificada, de 3,1 m de diámetro de excavación y con un pendiente del 0,7%. Los primeros 100 m del túnel tendrán revestimiento en concreto hidráulico reforzado, conformando una sección circular efectiva de 2,5 m de diámetro (ver plano 2148-04-CV-DW-032).

En la abscisa 2415,2 se inicia un tramo con revestimiento en concreto hidráulico reforzado, de 186 m de longitud, que luego continúa con un tramo de 50 m de longitud con blindaje en acero de 1,60 m de diámetro hasta la casa de válvulas, donde se alojará la válvula mariposa para aislar el túnel con la tubería a presión en casos de mantenimiento.

Antes del tramo con revestimiento en concreto hidráulico reforzado, se construirá una trampa de gravas de 8,0 m de longitud y 1,65 m de profundidad, para evitar el paso de piedras o pedazos de roca que eventualmente se desprendan de las paredes del túnel durante su operación.

Dependiendo de las condiciones de la roca en los diferentes tramos del túnel, será necesaria la incorporación de soportes temporales como concreto lanzado, pernos de acero o entibado metálico (ver plano 2148-04-CV-DW-033).

La almenara, cuya función será la de amortiguar las sobrepresiones generadas en régimen transitorio debido al golpe de ariete, así como garantizar mejores condiciones para la regulación de las turbinas, consistirá en una tubería de alivio en Glass Reinforced Polyester (GRP), la cual se desprenderá del túnel falso sobre la abscisa 2.649,57 y tendrá una longitud total de 127 m con diámetros internos de 1,8 y 2,4 m.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

La almenara (tubería de alivio) será enterrada en toda su longitud, en los puntos de inflexión horizontal y vertical; tendrá anclajes para controlar las fuerzas hidráulicas que se generan y constará de tres tramos característicos: el primero será una tubería de 1,8 m de diámetro con orientación casi perpendicular al túnel de conducción y que servirá de conexión entre el túnel de conducción y la tubería principal de oscilación, el cual tendrá una longitud de 25,4 m y un ángulo de inclinación de 6,8°; el segundo tramo será de 37,9 m de largo, un diámetro de 2,4 m y un ángulo de inclinación de 20,5°; y el tercer tramo tendrá una longitud 55,4 m, un diámetro de 2,4 m y un ángulo de inclinación de 25,3°. El segundo y tercer tramo tendrán una orientación casi paralela al túnel de conducción. Al final de la tubería se tiene previsto una tubería de aireación en sentido vertical de 1 m de diámetro y aproximadamente 8,0 m de longitud (ver plano 2148-04-CV-DW-032).

#### **2.2.4.2 Tubería de presión**

Luego del túnel, la conducción continúa con una tubería a presión de Glass Reinforced Polyester (GRP), la cual se inicia en la casa de válvulas localizada en el portal de salida del túnel, desciende por la ladera natural y termina en la casa de máquinas. La tubería estará enterrada prácticamente en toda su longitud, quedando expuesto sólo su tramo final en el talud de corte de la casa de máquinas.


La tubería de presión tendrá un primer tramo de 1,90 m de diámetro interno y 213,7 m de longitud, seguida de un tramo de 394,5 m de longitud y 1,80 m de diámetro. En su extremo final, la tubería GRP será empalmada con una tubería de acero de 1,80 m de diámetro y 8,79 m de longitud, luego de la cual estará la trifurcación hacia las dos turbinas de la casa de máquinas y hacia la válvula de alivio. Los tres ramales tendrán 1,20 m de diámetro y los que se dirigen hacia las turbinas tendrán de 22,17 m y 16,63 m de longitud, hasta llegar a la válvula mariposa en la casa de máquinas.

En los puntos de inflexión horizontal y vertical, la tubería tendrá anclajes para controlar las fuerzas hidráulicas que se generan. Todo el alineamiento de la tubería estará situado en la vereda Los Mangos del municipio de Cocorná. En el plano 2148-04-CV-DW-044 se presenta la planta y el perfil de la tubería a presión.

#### **2.2.5 Casa de máquinas**

La casa de máquinas será superficial y está proyectada en la margen derecha del río San Matías, unos 3,5 km aguas arriba de la confluencia del río San Matías con el río Cocorná, sobre una plazoleta en la cota 1.018,60 msnm, en un punto donde se pueden obtener buenas condiciones de fundación, tanto para la casa de máquinas como para los equipos principales, y con excavaciones moderadas para la plazoleta y la subestructura. El acceso se realizará por una carretera de unos 6,5 km que se desprende de la llamada autopista Medellín - Bogotá, a unos 95 km de la ciudad de Medellín, en jurisdicción del municipio de Cocorná. El sistema de descarga de las aguas turbinadas se realizará a un tanque de carga para conducir las a un segundo desarrollo, el proyecto hidroeléctrico San Matías, adyacente a la central hidroeléctrica El Popal (en construcción) o del tanque se verterían a un canal a flujo libre, para llevarlas nuevamente al río San Matías en la cota 947,0 msnm. En el plano 2148-04-CV-DW-050 se muestra la planta general de la casa de máquinas y el tanque.

El esquema de la casa de máquinas está compuesto por un edificio con dos galerías adyacentes, donde en la primera o principal, se alojan dos unidades generadoras equipadas

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

con turbinas tipo Francis de eje horizontal, con sus correspondientes generadores sincrónicos y válvulas de admisión, y adicionalmente se aloja una válvula de alivio, que permite descargar el caudal de cualquiera de las unidades generadoras cuando se encuentre fuera de servicio para la operación del proyecto San Matías. En la segunda galería se acomodan un pequeño taller, la sala de servicios auxiliares, la sala de control y la oficina, cocineta y servicios sanitarios. En los planos 2148-04-CV-DW-051, hojas 1 a 4 se muestran las principales características de los concretos y la distribución de los equipos principales de la casa de máquinas.

La galería principal, conformada por la sala de montaje y la zona de unidades, se configuró de la siguiente manera: Con base en los estudios de salto y caudal propios del Proyecto, se determinaron las características de los equipos principales (ver numeral siguiente) y los espacios requeridos para su instalación y operación. Igualmente se definió el área para la sala de montajes, quedando en su conjunto una galería de 42,4 m de largo, 10,6 m de ancho y 14,5 m de altura, medidos entre el nivel del piso de máquinas y el nivel superior de la cubierta. La separación entre los ejes de las unidades se definió en 11 m, determinada por los requerimientos de instalación de los conjuntos generadores y por los espacios de circulación entre ellos y la separación entre la segunda unidad y la válvula de alivio se definió en 9 m, lo que permite la construcción del tanque de descarga de la válvula.

La zona de la sala de montaje se encuentra en uno de los extremos del edificio de la casa de máquinas, en el lado sur de la plazoleta y en la cota 1018,80 msnm. Es el sitio de llegada y de descargue de todos los equipos principales de la Central y lugar de montaje y mantenimiento de los equipos, antes de su instalación en los recintos que los alojarán durante la operación.


La zona de unidades o sala de máquinas se encuentra a continuación de la sala de montajes, en un nivel cuatro metros por debajo de ésta, sobre la cota 1.014,80 msnm. En ella se conforman las estructuras que soportarán y anclarán los dos conjuntos de válvulas de admisión, turbinas, generadores y tubos de aspiración y descarga. Además se disponen de algunos de los principales equipos auxiliares mecánicos y electromecánicos y las escaleras para acceder entre los pisos.

A continuación de la zona de unidades, se dispone el espacio requerido para instalar una válvula de control, igual a las válvulas de admisión de las unidades, y la válvula de alivio, así como el correspondiente foso de descarga para amortiguar la presión y estabilizar el flujo a la salida de la válvula.

Sobre el nivel de la cota 1.018,80 msnm y a lo largo de la galería principal, en ambas paredes laterales y cubriendo las zonas de unidades y la sala de montajes, se disponen sendos pórticos de concreto para instalar un puente-grúa con una capacidad de 500 kN, para el manejo de los equipos.

La galería auxiliar, adyacente a la galería principal, se configuró al mismo nivel del piso de la sala de montajes, de tal manera que permite la ubicación de las áreas para el taller y el almacén; para la cocineta y los servicios sanitarios; para la oficina, y para los cuartos de baterías, de tableros de servicios auxiliares eléctricos y sala de control.

La arquitectura de toda la Central es sencilla y está conformada mediante muros de mampostería en adobes de ladrillo, ventanería en aluminio y vidrio y cubierta en teja de barro.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

La descarga de cada unidad se hace a través del tubo de aspiración y de un canal – tanque que garantiza la sumergencia requerida por la turbina. Estas estructuras entregan las aguas a un tanque de carga que alimenta la conducción a presión del Proyecto Hidroeléctrico San Matías, el cual se construiría aguas abajo. Igualmente, cuando el proyecto San Matías no esté generando parcial o totalmente, el tanque dispone de un control o vertedero que permite llevar las aguas, no usadas aguas abajo, a un canal de descarga de donde pasan luego al río San Matías en la cota 947,0 msnm, en el punto de coordenadas 883.034 E y 1'160.806 N, medidas en la intersección del eje del canal y la orilla del río.

El suministro de agua para servicios generales y para el sistema contra-incendios se hará mediante un almacenamiento en tanques de concreto alimentados desde la tubería de presión e instalados en el exterior de la casa de máquinas y a suficiente altura para garantizar la presión requerida. El agua potable para consumo humano se llevará en botellones, o se instalará una pequeña planta de tratamiento de aguas.

En el caso de un derrame accidental del aceite de los transformadores, cada celda estará configurada con un foso recolector del aceite, el cual se conecta mediante una tubería a un tanque separador de agua y aceite. El tanque separador de agua y aceite retendrá la totalidad del aceite de un transformador permitiendo únicamente el paso de las aguas que en él ingresen hacia un drenajes natural. El aceite recogido en el separador se extraerá con una bomba manual y será dispuesto y tratado según normas de seguridad y ambientales.

Las aguas servidas provenientes de los servicios sanitarios y de la cocineta se llevarán a un sistema de tratamiento, conformado por un tanque séptico y un filtro anaeróbico.

### **2.2.5.1 Equipos principales**

La casa de máquinas quedaría equipada con dos conjuntos de unidades generadoras, las cuales se definieron con base en un salto neto de diseño de 238,1 m y un caudal unitario de 10 m<sup>3</sup>/s y usando métodos estadísticos e información de otras centrales similares ya construidas.

De esta manera, los equipos electromecánicos principales para cada unidad quedarían conformados por:


- Una válvula mariposa de admisión de 1,2 m de diámetro.
- Una turbina tipo Francis de eje horizontal de 10,4 MW, cuya velocidad de rotación sería de 900 RPM.
- Un generador sincrónico con una capacidad nominal de 11,5 MVA, con factor de potencia de 0,90, un voltaje nominal de 13,8 kV y frecuencia de 60 Hz.
- Un transformador trifásico con una capacidad nominal de 11,5 MVA, cuyo voltaje de baja será de 13,8 kV y el voltaje de alta será de 110 kV.

Adicionalmente, para el manejo de los equipos, la casa de máquinas estaría dotada con un puente grúa con una capacidad de 500 kN.

### **2.2.5.2 Equipos auxiliares**

Para el enfriamiento del aceite de los cojinetes de las unidades y del aire de los generadores, se ha considerado el uso de un sistema de refrigeración por agua de doble circuito; uno



	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

cerrado de agua tratada y uno abierto de agua cruda, que se alimenta y descarga en el tanque de descarga; ambos circuitos pasan por un sistema de intercambiadores de calor del tipo placa.

Para el vaciado del agua de cada unidad durante un mantenimiento y para el bombeo del agua de filtración y de mantenimiento, se ha previsto el equipamiento de un sistema de bombas con capacidades de acuerdo con cada uso.

Se ha considerado el uso de un sistema de aire comprimido para los reguladores de la turbina y para servicios generales.

Los servicios auxiliares eléctricos estarán conformados por servicios auxiliares propios de cada unidad, servicios generales de la Central, servicios de corriente continua conectados a bancos de baterías, servicios auxiliares de respaldo provenientes de fuentes externas y servicios de respaldo a control y comunicaciones mediante sistemas de UPS.

Los sistemas de control y supervisión de la Central estarán conformados por sistemas de control jerarquizado.

Los sistemas de protección estarán conformados por relés de protección y relés auxiliares del tipo digital.

Las comunicaciones se harán a través de cableados de fibra óptica y cableado estructurado.

### **2.2.6 Obras de descarga**


Las obras de descarga del proyecto están conformadas por un tanque de 2 m de longitud y 8 m de ancho, que recibe las aguas del canal – tanque (tanque de quietamiento) ubicado en la casa de máquinas, por medio de un vertedero de control de 8 m de longitud. Posterior al tanque, se tiene prevista una rampa ascendente de 1 m de altura, para luego continuar con un box culvert de 163 m, que lleva las aguas al río San Matías en condiciones hidráulicas a flujo libre.

El box culvert se divide en cinco tramos con pendientes del 9,9% en 15,7 m de longitud, 28,5% en 17,7 m, 9,4% en 36,4 m, 72,7% en 52,9 m y 95,9% en 40,5 m. El box culvert será cuadrado con 1,5 m de lado y el régimen de flujo en el mismo será supercrítico, con velocidades entre los 10 m/s en el tramo inicial (menor pendiente) y 25 m/s en el tramo final (mayor pendiente).

El box culvert contará con llaves de anclaje en toda su longitud, cada 10 m, y sobre el tercer tramo se conformará un viaducto de 8 m de luz, que permitirá cruzar un corriente menor. En dicho viaducto, el box culvert estará apoyado en dos pilas de 1,2 m de diámetro con apoyo en roca. Sobre la parte final de la estructura de descarga, se tiene previsto un enrocado que permitirá el apoyo de la estructura de concreto en forma de salto de esquí, el cual expulsará las aguas al río San Matías (ver el plano 2148-04-CV-DW-052).

### **2.2.7 Subestación y línea de conexión**

La subestación eléctrica del proyecto se construirá en la margen izquierda de la vía de acceso a casa de máquinas, sobre una plazoleta de 42 m por 30 m, conformada en la cota 1.002 msnm y ubicada a 120 m de la casa de máquinas, en configuración barra sencilla, con los campos de llegada para las unidades generadoras y de salida de línea hacia la

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

subestación de conexión. Igualmente contará con los equipos de alta tensión y un edificio de control. Esta subestación será propiedad del Proyecto.

La conexión de la casa de máquinas con la subestación se realizará a través de dos circuitos de 120 m de longitud a 110 kV, conformado por cuatro pórticos, dos a la salida de los transformadores y dos a la llegada de la subestación, y una torre intermedia auto soportada tipo celosía. En esta línea se utilizará cable de guarda OPGW y un cable de acero 3/8, con el fin de utilizar fibra óptica para el sistema de comunicaciones y protecciones y apantallar. La franja de servidumbre es de 10 m a cada lado de acuerdo con los requerimientos de seguridad del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

De la subestación El Molino saldrá una línea en circuito sencillo a 110 kV de 2.200 m en 12 estructuras auto soportadas tipo celosías, hasta el pórtico de la subestación de conexión al Sistema Interconectado Nacional –SIN–. Igual que la línea anterior, en esta línea se utilizará cable de guarda OPGW y un cable de acero 3/8, con el fin de utilizar fibra óptica para el sistema de comunicaciones y protecciones y apantallar. La franja de servidumbre es de 10 m a cada lado, de acuerdo con los requerimientos de seguridad del RETIE.

La subestación de conexión al SIN será propiedad del Operador de Red o del designado por la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME–, con excepción de la bahía de llegada de la línea desde la subestación El Molino, que serán propiedad del proyecto. El área requerida para esta subestación fue presentada en el estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Popal, el cual cuenta con licencia ambiental otorgada por Cornare.

En el plano 2148-04-CV-DW-065, hoja 5, se muestra la localización y en el plano 2148-04-EL-DW-010 se presenta la planta general de la subestación El Molino. En el plano 2148-04-EL-DW-021 se presenta la planta perfil de la línea de conexión hasta la subestación de conexión al SIN.

## **2.2.8 Vías de acceso**

### **2.2.8.1 Generalidades**


Para acceder a la zona del Proyecto, se cuenta en la actualidad con la autopista Medellín - Bogotá en inmediaciones del municipio de Cocorná. Las otras vías existentes que serán utilizadas son:

- Para llegar hasta la zona de captación y portal de salida del túnel: vía pavimentada que va desde la autopista Medellín - Bogotá hasta la cabecera municipal de Cocorná; vía sin pavimentar que comunica los municipios de Cocorná y Granada (hasta el centro poblado de la vereda El Chocó); vía sin pavimentar que comunica la vereda El Chocó con la vereda El Molino.
- Para llegar hasta la zona de casa de máquinas: vía de acceso construida previamente para el proyecto El Popal, que se desprende desde la Autopista Medellín – Bogotá, en el sitio conocido como la Mañosa.

En el plano 2148-04-CV-DW-015, se pueden ver estas vías

Los estudios y trabajos realizados en esta etapa para las vías de acceso requeridas para la construcción y posterior operación del Proyecto El Molino, incluye la fijación de los



	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

parámetros de diseño y la determinación de los aspectos más importantes, como estructuras y obras de arte, zonas de depósito y volúmenes.

El diseño de las vías se realizó con base en la topografía de campo escala 1:1.000, realizada en junio de 2011

De acuerdo con las necesidades de acceso a zonas determinadas o vías necesarias para la construcción, se plantean tres vías nuevas, las cuales, de acuerdo con su propósito, se han catalogado dentro de los siguientes grupos:

- **Vías principales:** Comprenden algunas vías necesarias en el proceso de construcción de las obras principales y en la etapa de operación de la Central, que corresponde con la vía de acceso a casa de máquinas.
- **Vías secundarias:** Son las vías necesarias en el proceso de construcción de las obras principales y en la etapa de operación de la Central. Corresponden con la vía de acceso a la zona de captación, vía de acceso al portal de entrada del túnel de conducción y vía de acceso al portal de salida del túnel de conducción y almenara.


#### 2.2.8.2 Criterios de diseño

Los criterios de diseño, presentados en la Tabla 2-1, son enfocados a vías en terrenos escarpados, con especificaciones funcionales necesarias para la construcción y operación del Proyecto. El diseño se ha orientado a obtener el menor movimiento de tierra posible.

**Tabla 2-1: Criterios de diseño para las vías de acceso**

Criterio	Vía principal	Vía secundaria
Tipo de terreno	Escarpado	Escarpado
Velocidad de diseño (km/h)	30	20
Clase de pavimento	Afirmado	Afirmado
Ancho la calzada (m)	4,00	4,00
Bombeo	-2,0% / 2,0%	-2,0% / 2,0%
Radio mínimo de curva (m)	12,00	10,00
Tipo de curvas	Circulares	Circulares
Pendiente máxima	12%	14%
Pendiente mínima	0,5%	0,5%
Longitud mínima de curva vertical (m)	30,00	10,00
Ancho de cunetas de concreto (m)	0,60	0,60
Taludes en corte	1V:0,5H hasta 8,00 m	1V:0,5H hasta 8,00 m
Taludes en lleno	1V:1,5H	1V:1,5H

Para la estimación y diseño de las obras hidráulicas de las corrientes que cruzan las vías de acceso, se utilizó la cartografía 1:10.000 para la delimitación de las cuencas de las quebradas. Los caudales se calcularon utilizando el Método Racional y modelos lluvia-escorrentía, según el caso.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

### 2.2.8.3 Longitudes y volúmenes de excavación

Definidos los alineamientos horizontal y vertical de las vías y las secciones típicas, y con la ayuda del programa Autocad Civil 3D, se obtuvieron los volúmenes de excavación, llenos y longitudes de las vías presentados en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2: Longitudes, cortes y llenos de vías**


Vía	Longitud (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	
		Corte	Lleno
Vía de acceso a captación	2.620	131.505	1.995
Vía de acceso a portal de entrada de túnel	120	5.170	115
Vía de acceso a almenara y portal de salida de túnel	2.020	94.610	3.015
Vía de acceso a casa de máquinas	2.225	89.935	1.190
<b>Subtotal</b>	<b>6.985</b>	<b>321.220</b>	<b>6.315</b>
Mejoramiento vía existente Cocorná – El Chocó	3.135	-	-
Mejoramiento vía existente El Chocó – El Molino	2.085	-	-
<b>Subtotal</b>	<b>5.220</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL</b>	<b>12.205</b>	<b>321.220</b>	<b>6.315</b>

### 2.2.8.4 Descripción de vías en la zona del Proyecto

- **Vía a captación.** Esta se desprende de la vía que comunica al centro poblado de la vereda El Chocó y la vereda El Molino, a unos 1,50 km del primero. Para acceder a la vereda El Chocó, se utiliza una vía sin pavimentar que viene de la cabecera municipal de Cocorná, cuya longitud es de 3,14 km.

La vía nueva, que llega hasta la zona de captación, tiene una longitud de 2,6 km y un pendiente media del 8%. La vía cruza sobre el portal de entrada del túnel de conducción, luego pasa junto a la captación y por último llega al desarenador, en la cota 1.264,5 msnm. En el plano 2148-04-CV-DW-063 se presenta su alineamiento. Esta vía presenta especificaciones de una vía secundaria y para su construcción se requiere una excavación de 131.505 m<sup>3</sup>.

- **Vía de acceso a portal de entrada de túnel.** Esta vía, se presenta en el plano 2148-04-CV-DW-063, se desprende de la vía a captación, en la abscisa 2+288; y tiene una longitud de 0,12 km y presenta especificaciones de una vía secundaria.
- **Vía de acceso a almenara y portal de salida de túnel.** Esta vía, que se presenta en el plano 2148-04-CV-DW-064, se desprende de la vía existente que va del centro poblado de la vereda El Chocó hacia El Molino, a unos 1,80 km del sitio donde se desprende la vía hacia la zona de captación. La vía tiene una longitud total de 2,02 km y llega hasta el portal de salida del túnel. La vía pasa por el sitio donde está ubicada la almenara, y se encuentra en la abscisa 1+480.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

De acuerdo con las características del tránsito que va a soportar durante toda la vida útil del Proyecto, las especificaciones son de vía secundaria. La vía cuenta con una pendiente media del 8%.

- **Vía de acceso a casa de máquinas.** Para llegar a la casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico El Molino, se aprovecharán las vías construidas por el proyecto hidroeléctrico El Popal. Se utilizará la vía de 3,3 km que se desprende de la autopista Medellín – Bogotá, en el sector La Mañosa, y que conduce a la casa de máquinas del proyecto El Popal. Además de un tramo de la vía que conduce de la casa de máquinas de El Popal a la almenara (1,0 km). La vía nueva hasta la casa de máquinas tiene 2,2 km de longitud, una pendiente media del 10% y según las características del tránsito que la utilizará durante toda la vida útil del Proyecto, tendrá especificaciones de diseño de vía principal.

En el plano 2148-04-CV-DW-065 se puede ver la planta y sus características.

- **Mejoramiento de vía existente Cocorná – El Chocó.** Es la vía que conduce de la cabecera municipal de Cocorná hasta el centro poblado de la vereda El Chocó, y la cual sirve de acceso para los sitios de captación, almenara y plazoletas de acceso y salida del túnel. Se mejorará en una longitud de 3,1 km, construyendo cunetas y obras de drenaje donde sea necesario, mejorando la capa de rodadura y rectificando las curvas de la vía que no posean radios óptimos. En el plano 2148-04-CV-DW-014 se incluye su alineamiento.
- **Mejoramiento de vía existente El Chocó – El Molino.** Es la vía existente que sirve para acceder a la vereda El Molino y se desprende del caserío El Chocó. De esta vía se utilizarán 3,4 km, a los cuales se les mejorará su capa de rodadura donde sea necesario. En el plano 2148-04-CV-DW-014 se incluye su alineamiento.


### 2.2.9 Campamentos, oficinas y talleres

Para la construcción del Proyecto, se contará con campamentos para la zona de casa de máquinas, tanto para el contratista como para la interventoría.

En la zona de captación se tiene previsto una zona para las oficinas, la planta de trituración, y almacén de 2,5 ha. No se prevé campamentos en esta zona debido a la cercanía de esta zona con el centro urbano de Cocorná, lo que facilitará el alojamiento de una parte importante del personal en viviendas y hoteles de la cabecera municipal

Los campamentos del personal de administración e interventoría para la zona de casa de máquinas, ocupará un área de 1,0 ha y la zona de campamentos del personal del contratista tendrá un área de 1,5 ha, ambas estarán situadas en la margen derecha de la del río Cocorná, en el costado derecho de la vía proyectada por el proyecto El Popal y que va desde la autopista Medellín – Bogotá hasta la casa de máquinas de este proyecto. Ambos sitios fueron elegidos por ofrecer condiciones adecuadas en cuanto a pendientes del terreno, cercanía a los frentes de trabajo y posibilidades de disposición de aguas residuales. Para oficinas, almacén y talleres en la zona de casa de máquinas habrá otra área de 1,0 ha.

La localización precisa de estas instalaciones puede consultarse en el plano 2148-04-CV-DW-015.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

Estos campamentos también serán utilizados por el proyecto hidroeléctrico San Matías durante su construcción.

En la Tabla 2-3 se presenta el personal estimado requerido para la construcción del Proyecto en su momento de demanda máxima. Se considera que el personal no calificado puede ser de la zona y por lo tanto no requerirá alojamiento.

**Tabla 2-3: Mano de obra para construcción**

Ubicación	Calificado	No Calificado	Total
Personal contratista			
Captación	20	50	<b>70</b>
Túnel	100	30	<b>130</b>
Casa de máquinas	20	50	<b>70</b>
<b>Total</b>	<b>140</b>	<b>130</b>	<b>270</b>
Personal del Propietario (Administración e Interventoría)			
Todo el Proyecto	15	10	<b>25</b>
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>25</b>

## 2.2.10 Zonas de préstamo y sitios de depósito de materiales

### 2.2.10.1 Zonas de préstamo

El material grueso-granular y fino-granular necesario para la construcción de las obras que conforman el Proyecto, provendrá principalmente de las explotaciones legalmente constituidas en la zona y que tengan sus licencias y permisos mineros y ambientales vigentes. Adicionalmente, se aprovechará parte del material grueso-granular obtenido en las excavaciones subterráneas del Proyecto, el cual se estima en 20.000 m<sup>3</sup> y se procesará en dos plantas trituradoras localizadas en la zona de la salida del túnel de conducción y en la zona de captación; cada una podrá triturar hasta 6.500 m<sup>3</sup>.


No se tiene programado abrir nuevos frentes de explotación en la zona, ni realizar extracción de material de arrastre en los cauces de las corrientes hídricas.

Se estima una demanda total de 6.000 m<sup>3</sup> de arena, 8.000 m<sup>3</sup> de agregado para concretos y 5.600 m<sup>3</sup> de material de base granular para las vías.

### 2.2.10.2 Sitios de depósito de materiales

El proyecto hidroeléctrico El Molino se encuentran en una zona de laderas de pendiente media a alta, formada por el curso del río San Matías, lo que hace que existan pocos espacios disponibles para el almacenamiento de grandes cantidades de material.

El acceso a la captación del proyecto se hace por la margen derecha del río San Matías, desde la vereda El Molino. Por lo tanto, para la disposición de los materiales sobrantes de las excavaciones en este sector, se ubicaron tres depósitos en el recorrido de la vía.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

Para la disposición de los materiales sobrantes de las excavaciones provenientes del sector de la almenara y el portal de salida del túnel, se utilizarán dos depósitos al sur de la vereda El Molino.

Por la vía de acceso a casa de máquinas, se ubicaron tres depósitos a lo largo de esta vía para la disposición de los materiales sobrantes de las excavaciones de este sector.

En el plano 2148-04-CV-DW-76 se presenta la ubicación general de los depósitos. A continuación se hace una descripción de las principales características de cada uno de los depósitos y su ubicación

- **Zona de depósito M1**

Este depósito se utilizará para materiales provenientes de la excavación de la excavación de la vía de acceso al portal de salida del túnel y del túnel de conducción. Se encuentra en la parte alta de la colina, en la margen derecha de la vía que conduce a la vereda El Molino, a menos de 300 m del inicio de la vía a la captación. El volumen de almacenamiento es de aproximadamente 200.000 m<sup>3</sup>. El área de descapote del depósito será de 30.000 m<sup>2</sup>. Se conformarán los taludes con una pendiente 2H:1V empezando en la cota 1.356 msnm hasta la cota 1.428 msnm y se construirán seis bermas de 5.0 m cada 10 m de altura.

En el plano 2148-04-CV-DW-77, hoja 1, se presenta la planta y las secciones del depósito de materiales M1.

- **Zona de depósito M2**

Este depósito se utilizará para materiales provenientes de la excavación de la vía de acceso al portal de salida del túnel y del túnel de conducción. Está ubicado al sur de la vereda el Molino y al oriente del depósito M1.

El área de descapote del depósito será de 55.000 m<sup>2</sup>, y se conformarán taludes con una pendiente 2H:1V, empezando en la cota 1338 msnm hasta la cota 1418 msnm, con bermas de 5.0 m, cada 10 m de altura. Según lo anterior, el depósito, con forma alargada, tendrá una altura máxima de 50 m y una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 230.000 m<sup>3</sup>.


En el plano 2148-04-CV-DW-77, hoja 2, se presenta la planta y las secciones del depósito de materiales M2.

- **Zona de depósito M3**

Este depósito está ubicado en la abscisa 0+690 de la vía de acceso a la captación, y está enfocado a almacenar materiales provenientes de la excavación de esta vía y de los materiales de descapote.

El área de descapote será de 24.000 m<sup>2</sup>, y se conformarán los taludes con una pendiente 2H:1V, empezando en la cota 1.346 msnm hasta la cota 1.396 msnm y se construirán cuatro bermas de 5.0 m en las cotas 1356 msnm, 1366 msnm, 1376 msnm y 1386 msnm. El lleno tendrá una altura de 50 m y una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 235.000 m<sup>3</sup>.

En el plano 2148-04-CV-DW-77, hoja 3, se presenta la planta y las secciones del depósito de materiales M3.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

- **Zona de depósito M4**

Depósito ubicado en la abscisa 1+100 de la vía de acceso a la captación y se llenará con materiales provenientes de las excavaciones de las obras de captación.

El área de descapote del depósito será de 18.000 m<sup>2</sup>, y se conformarán los taludes con una pendiente 2H:1V, empezando en la cota 1.292 msnm hasta la cota 1.351 msnm y se construirán cinco bermas de 5.0 m cada 10 metros. El volumen de almacenamiento calculado para esta zona de depósito es de aproximadamente 120.000 m<sup>3</sup>.

En el plano 2148-04-CV-DW-77, hoja 4, se presenta la planta y las secciones del depósito de materiales M4.

- **Zona de depósito M5**

Este depósito, que se utilizará para materiales provenientes de la excavación del túnel, presenta una ubicación estratégica por estar al lado del portal de entrada del túnel. El área de descapote del depósito será de 11.000 m<sup>2</sup>, y se conformarán los taludes con una pendiente 2H:1V, empezando en la cota 1.272 msnm hasta la cota 1.298 msnm y se construirá una bermas de 10 m en la cota 1290 msnm. Este depósito tendrá una altura de 26 m y una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 65.000 m<sup>3</sup>.

En el plano 2148-04-CV-DW-77, hoja 5, se presenta la planta y las secciones del depósito de materiales M5.

- **Zona de depósito SM2**

Por su tamaño, este depósito está enfocado a almacenar materiales provenientes de la excavación de la vía y de los materiales de descapote. Está ubicado hacia la parte inferior de la vía de casa de máquinas, cerca de la abscisa 0+400.

El área de descapote del depósito será de 6.500 m<sup>2</sup>, y se conformarán los taludes con una pendiente 2H:1V, empezando en la cota 864 msnm hasta la cota 890 msnm y se construirán dos bermas de 5.0 m en las cotas 874 msnm y 884 msnm. El volumen de almacenamiento calculado para esta zona de depósito es de aproximadamente 23.000 m<sup>3</sup>.


En el plano 2148-04-CV-DW-77, hoja 6, se presenta la planta y las secciones del depósito de materiales SM2.

- **Zona de depósito SM3**

Depósito para materiales provenientes de la excavación de la adecuación en la zona de casa de máquinas; está ubicado hacia la parte superior de la vía a casa de máquinas, cercano a la abscisa 0+750.

El área de descapote del depósito será de 20.000 m<sup>2</sup>, y se conformarán los taludes con una pendiente 2H:1V, empezando en la cota 950 msnm hasta la cota 990 msnm y se construirán tres bermas de 5.0 m en las cotas 960, 970 y 980 msnm. El volumen de almacenamiento calculado para esta zona de depósito es de aproximadamente 100.000 m<sup>3</sup>.

En el plano 2148-04-CV-DW-77, hoja 7, se presenta la planta y las secciones del depósito de materiales SM3.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

- **Zona de depósito SM4**

La zona que corresponde a este depósito se encuentra en la vía a casa de máquinas, cercana a la abscisa 1+490. Es un depósito para materiales provenientes de las excavaciones de esta vía, de la adecuación de la plazoleta de casa de máquinas y de la subestación.

El área de descapote del depósito será de 17.000 m<sup>2</sup>, y se conformarán los taludes con una pendiente 2H:1V, comenzando en la cota 918 msnm hasta la cota 960 msnm y se construirán tres bermas de 5.0 m en las cotas 930 msnm, 950 msnm y 970 msnm. El volumen de almacenamiento calculado para esta zona de depósito es de aproximadamente 85.000 m<sup>3</sup>.

En el plano 2148-04-CV-DW-77, hoja 8, se presenta la planta y las secciones del depósito de materiales SM4.

En la Tabla 2-4 se resumen las principales características de cada zona de depósito:


**Tabla 2-4: Características básicas de las zonas de depósito**

<b>Depósito</b>	<b>Descapote (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Capacidad (m<sup>3</sup>)</b>
M1	9.000	200.000
M2	16.500	230.000
M3	7.2000	235.000
M4	5.400	120.000
M5	3.300	65.000
SM2	1.950	23.000
SM3	6.000	100.000
SM4	5.100	85.000
<b>Total</b>	<b>54.450</b>	<b>1.058.000</b>

### 2.2.11 Volúmenes de descapote, cortes y llenos

Los volúmenes de descapote, cortes y llenos del Proyecto, se calcularon con base en los diseños de cada una de las estructuras proyectadas, como se indica en la Tabla 2-5. Con esta información se determinaron los requerimientos de fuentes externas de materiales.



	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

**Tabla 2-5: Volúmenes de excavación y lleno**

Estructura	Descapote (m <sup>3</sup> )	Corte (m <sup>3</sup> )	Lleno (m <sup>3</sup> )
Vías de acceso nuevas	12.600	385.000	6.950
Adecuación vías existentes	3.600	6.300	2.000
Adecuación áreas de campamentos	4.500	-	-
Azud	-	4.890	1.000
Captación	-	5.105	475
Desarenador	-	20.860	4.620
Box culvert hacia el túnel	-	375	375
Túnel de conducción	-	32.700	-
Portales	-	7.200	-
Almenara y plazoleta	-	1.100	-
Tubería GRP	100	26.800	4.870
Casa de máquinas	-	44.000	5.000
Canal de descarga	-	100	-
Subestación	265	2.400	150
Adecuación zonas de depósito	54.450	0	0
<b>Total</b>	<b>75.515</b>	<b>536.830</b>	<b>25.440</b>

Los volúmenes de excavación presentados en la Tabla 2-5, corresponden a cantidades en banco. Por lo tanto, para los balances de masas se consideraron factores de expansión, producto de los cambios volumétricos producidos durante el proceso de excavación y transporte a las zonas de depósito.


Debido a que sólo una parte del material de excavación cumple con los requerimientos técnicos para su uso como material de lleno o elaboración de concretos, el resto del material necesario será adquirido en las canteras autorizadas para tal fin. El material sobrante se dispondrá en las zonas de depósito.

Cuando se requiera acopiar material para las obras, éste se cubrirá con geotextiles, plásticos u otro tipo de material. Con el fin de reducir la emisión de sólidos particulados, las pilas de material deberán ser cubiertas de manera permanente.

### **2.2.12 Energía para construcción**

Se ha estimado que la construcción de las obras subterráneas, conjuntamente con las obras de captación y las obras de casa de máquinas, demandará 400 kVA para cada frente, la cual será suministrada a través de la prolongación del sistema de distribución local existente de 13,2 kV. Además, se contará con una planta diesel de respaldo de una potencia de 300 kVA, tanto en captación, como en la zona de casa de máquinas.



	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

Una vez construido el proyecto, durante operación, esta misma energía será utilizada para alimentar los diferentes equipos, como compuertas, sensores, servicios auxiliares de casa de máquinas, iluminación, entre otros.

### **2.2.13 Agua para construcción**

Se tiene proyectado la construcción de dos acueductos independientes para la zona de captación y la zona de casa de máquinas, de donde se tomaría el agua necesaria tanto en construcción como en operación, de acuerdo con lo planteado en el Plan de Manejo Ambiental del proyecto.

## **2.3 PROCESO CONSTRUCTIVO**

Para la construcción del Proyecto El Molino se prevén las siguientes actividades:

### **2.3.1 Diseño y licitación de construcción**

Los diseños que se presentan en los planos anexos a este estudio, serán precisados para llevarlos a detalle de planos de construcción.

Con los diseños de detalle de construcción, se realizará la licitación para la construcción de las obras civiles y el suministro de los equipos, cuyos pliegos contendrán las obligaciones establecidas en el Plan de Manejo Ambiental del Proyecto.

### **2.3.2 Movilización**

Las labores se iniciarán con la actividad que se denomina movilización, cuya duración se estima en tres meses aproximadamente, y consiste en llegar a la zona, construir las instalaciones temporales para campamentos, almacén, talleres y oficinas, que se ubicarán en las zonas previstas.


Las oficinas y campamentos serán tipo contenedor o se construirán obras temporales en madera, plástico reforzado o usando otros materiales, siguiendo mínimos requerimientos para un adecuado confort de los trabajadores que allí laborarán. Así mismo, se adecuarán los casinos, los dispensarios y los almacenes de herramientas y repuestos.

### **2.3.3 Adecuaciones iniciales**

Antes de iniciar los movimientos de tierra, se adecuarán las zonas de depósito para que estén preparadas para recibir los materiales de excavación. Además, las zonas de trabajo se aislarán mediante malla de cerramiento o cerca de alambre de púa.

Los primeros movimientos de tierra se harán en las vías de acceso a los principales frentes de trabajo: captación, portal de salida y casa de máquinas. Posteriormente se conformarán las zonas de plazoletas, tanto en el sitio de captación como en casa de máquinas y portal del túnel.

Se ha previsto que las obras exteriores se ejecuten con equipo convencional de movimiento de tierras, como son bulldozer, retroexcavadoras, volquetas doble troque, perforadoras neumáticas, bombas de achique.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

Es probable que se requieran realizar algunas voladuras controladas para excavaciones en roca. Antes de su ejecución, se suspenderá todo tráfico y se pondrá a resguardo cualquier peatón en la zona de riesgo.

#### **2.3.4 Movimientos de tierra**

Una de las principales actividades en los frentes de trabajo del Proyecto serán las excavaciones hasta las cotas de desplante de las obras, las cuales se ejecutarán con equipo pesado fabricado para tal fin. Las excavaciones menores y los perfilados finales para el cimiento de las obras, se ejecutarán con procedimientos manuales.

Toda la excavación se hace fundamentalmente con retroexcavadoras, que depositarán el material en las volquetas, que lo transportarán a las zonas de depósito; además se utilizarán perforadoras neumáticas para voladuras de rocas. El vaciado de los concretos requerirá bombas de achique, bombas de concreto, herramienta para fabricación de formaletas y carros para el transporte del concreto entre la planta de producción y las obras.

Los llenos se realizarán descapotando previamente el terreno y colocando capas de material seleccionado, que se compactará de acuerdo con las recomendaciones geotécnicas.

Los taludes de corte se empedrarán y aquellos con altura mayor de 5,0 m o donde los materiales sean muy susceptibles a la erosión, se colocarán agromantos o se implementarán otras técnicas para revegetalizar el terreno. También se construirán rondas de coronación y cunetas de concreto en vías y plazoletas.

#### **2.3.5 Construcción de vías de acceso**

Las vías de acceso se localizarán en campo, poniendo los chaflanes de demarcación, que servirán para delimitar la zona donde se realizará la excavación. Después de los procesos de excavación convencionales, se regará el material de base para la rodadura. Las obras de drenaje como tuberías, pontones, box culverts, filtros y protección de taludes con agromantos y cunetas, complementarán los trabajos para asegurar la estabilidad de la obra y minimizar impactos ambientales.


#### **2.3.6 Construcción de la subestación**

La plazoleta de la subestación será conformada con retroexcavadoras que depositarán el material en volquetas, para luego ser transportado a las zonas de depósito. Para el vaciado de los concretos se requerirá herramienta para fabricación de formaletas y carros para el transporte del concreto entre la planta de producción y las obras.

#### **2.3.7 Excavación de túneles**

Se prevé que los túneles sean excavados con el procedimiento convencional de voladura y rezaga, que consiste en perforar huecos de hasta 3,0 m aproximadamente en el frente del túnel mediante excavadoras neumáticas, instalar los explosivos, hacer la voladura controlada, retirar material, colocar soportes temporales en caso de requerirse y comenzar de nuevo el ciclo con nuevas perforaciones.

Para estos trabajos se requiere que el túnel tenga instalados equipos y ductos de ventilación para sacar los humos de las voladuras y renovar el aire, equipos auxiliares como compresores de aire para los equipos neumáticos de perforación, bombas de agua y

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

tuberías para achique de las aguas de infiltración. Igualmente se requiere la instalación de equipo eléctrico para iluminación. El Contratista deberá garantizar un mínimo contenido de oxígeno del 19% en todos los frentes de trabajo. La salida del ducto de aire deberá mantenerse a no menos de 10 m de cada frente de avance.

Los materiales de voladura serán retirados mediante volquetas y serán llevados a las zonas de depósito o a la planta de trituración, dependiendo de la calidad del material.

Durante la excavación se mantendrá un adecuado drenaje del túnel. En el caso del túnel excavado por el portal de entrada será necesaria la construcción de nichos para recolectar las aguas de infiltración, en caso de que éstas se presenten, y colocar allí bombas de drenaje que mediante tuberías adosadas a la pared, llevará las aguas hasta la superficie.

Para el túnel excavado por el portal de salida, se adecuará una cuneta provisional que evacuará las aguas hasta la salida.

Posteriormente se construirán los revestimientos en concreto hidráulico que se establezcan, de acuerdo con lo encontrado en las excavaciones, y para finalizar, se instalará el blindaje en la zona requerida.

En los portales del túnel se dispondrá un sedimentador, tendrá incorporado una trampa de aceite. Posteriormente el agua será conducida hacia los colectores de aguas lluvias y luego conducida hacia un punto en la quebrada número seis, en las coordenadas 882.204 E y 1.160.688 N. Los lodos y arenas depositadas y los aceites se dispondrán de acuerdo con los requerimientos del Plan de Manejo Ambiental del proyecto para estos tipos de elementos.

### **2.3.8 Construcción y montaje de la tubería a presión y de alivio**


Inicialmente se adecuará la banca de la tubería, mediante procedimientos y equipos de excavación convencional ya citados. Luego se construyen los anclajes y llenos, según los requerimientos del diseño.

Finalmente se instala la tubería de presión de acuerdo con planos, y se vacían, de requerirse, los concretos secundarios de los anclajes y silletas o los llenos en los tramos con tubería enterrada.

### **2.3.9 Construcción del azud y la captación**

La derivación del caudal de diseño se realizará por medio de la construcción de un azud de concreto de 4,0 m de altura y 39,0 m de largo ubicado sobre el lecho del río San Matías. Su parte superior tiene forma curva para incrementar la eficiencia del vertimiento y justo a la salida tiene un salto de esquí, el cual permite disipar la energía del flujo para una adecuada descarga.

El manejo de las aguas del río San Matías durante la construcción de la derivación y la captación, se realizará por medio de una ataguía conformada con material aluvial. Inicialmente se localizará a partir de la mitad del cauce hacia la margen derecha, mientras se construye la captación, el canal de purga, al menos 10 m del azud de derivación adyacente y se instalan las compuertas radiales. Una vez construidas las obras mencionadas, se procederá a reubicar la ataguía, de modo que el caudal del río fluya por la captación, procediendo entonces a construir el azud de derivación restante y los muros del contrafuerte izquierdo.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

Los niveles de fundación serán determinados en los diseños definitivos, sin embargo, en obra, será necesario ajustarlos a los materiales del suelo que se encuentren.

En los planos 2148-04-CV-DW-022 y 2148-04-CV-DW-023 se presentan la planta y secciones del azud y la captación.

### 2.3.10 Construcción de la casa de máquinas

Luego de construida su vía de acceso, se hará la adecuación de la zona donde se ubicará la casa de máquinas, para lo cual se utilizarán los equipos mencionados anteriormente como bulldozer, retroexcavadora y volquetas. Es posible que se requiera la utilización de dinamita para realizar algunas voladuras en zonas con roca sana o moderadamente fracturada.

Luego se construirá los filtros y sistemas de drenaje y se iniciarán los vaciados de los concretos, utilizando para ello una pequeña planta dosificadora de mezclas. El concreto será movilizado a los sitios de vaciado mediante una torre – grúa, que igualmente será el medio de transporte de hierros, agregados y demás materiales de construcción.

Para el montaje de los equipos como turbina y generador, se utilizará un puente grúa, que para tal fin se instalará en la casa de máquinas. También se utilizará una grúa menor, montada en un monorriel instalado en una de las vigas del puente grúa, para el montaje de equipos menores.

### 2.3.11 Requerimientos de equipo a emplear

#### 2.3.11.1 Concretadoras


Las concretadoras serán de dos sacos cada una, con capacidad de mezcla útil de 255 l, se ubicarán en la zona de captación, portal del túnel de acceso y casa de máquinas. Sus especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 2-6.

**Tabla 2-6: Especificaciones técnicas de las concretadoras**

Sistema de tres aspas internas
Chasis fabricado en acero estructural y caja porta motor en lámina calibre 18 y puerta l para evitar accidentes de trabajo
Sistema de freno tipo pedal para poder operar el volante con ambas manos para lograr mayor eficiencia y seguridad
Velocidad de giro del tambor 33 RPM
Equipada con motor diesel, marca KAMA de 6.1 HP a 1800 RPM

#### 2.3.11.2 Trituradora

Se ubicarán dos plantas trituradoras, una en la zona de captación y la otra en la zona de la salida del túnel de conducción. Cada planta estará compuesta de dos trituradoras, una primaria y una secundaria. La primaria, cuyas especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 2-7, estará compuesta de una tolva de recepción de material y una trituradora de mandíbula que trabaja en piedras y rocas.


	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

**Tabla 2-7: Especificaciones técnicas de planta trituradora primaria**

<p>1. Alimentador vibratorio de barras tamaño 46" X 16'. Especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo VGF ("VIBRATING GRIZZLY FEEDER") Marca TRIO</li> <li>• Para uso pesado (HEAVY DUTY)</li> <li>• Motor de 25 HP, Poleas y bandas en V</li> </ul>
<p>2. Trituradora de quijadas Marca TRIO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño 24" X 36" para piedra de hasta 19", para uso pesado</li> <li>• Motor de 100 HP, 440 v, 3 fases con sus poleas y bandas en V</li> <li>• Montado en chasis de dos ejes, con transportador de salida, debajo de la trituradora primaria, tolva de alimentación</li> </ul>
<p>3. Transportador de 24" de ancho x 70' de largo con estaciones de carga de tres rodillos a 35 grados, con las siguientes especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor de 10 HP, reductor tipo Dodge</li> <li>• Banda transportadora de dos lonas</li> <li>• Rodillos de las estaciones de carga de 4"</li> <li>• Polea motora con cubierta de hule</li> <li>• Polea de cola, tipo araña con chumaceras tipo "ajustable" o take up (3 productos finales y salida de las barras de alimentación)</li> </ul>
<p>4. Transportador de 36" de ancho x 70' de largo con estaciones de carga de tres rodillos a 35 grados y rodillos de impacto de hule, con las siguientes especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor de 10 HP, reductor tipo Dodge</li> <li>• Banda transportadora de tres lonas</li> <li>• Rodillos de las estaciones de carga de 4"</li> <li>• Polea motora con cubierta de hule</li> <li>• Polea de cola, tipo araña con chumaceras tipo "ajustable" o take up (retorno y criba de primaria)</li> </ul>
<p>5. Arrancador suave SIEMENS para motor de 100 HP para uso en trituradora primaria</p>

Luego de pasar por la trituradora primaria, los agregados irán a través de las bandas transportadoras a la planta secundaria, que está compuesta por una criba o zaranda vibratoria y un cono.

La zaranda vibratoria, cuyas especificaciones se presentan en la Tabla 2-8, se usa con el fin de clasificar y filtrar los materiales ya triturados.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

**Tabla 2-8: Especificaciones técnicas de zaranda o criba**

Zaranda Clasificadora Trio de 3 pisos de 6' X 20'
Tamaño 6' x 20' de 3 pisos
Rodamientos para uso pesado
Motor eléctrico de 40HP
Guardas de seguridad
Caja de alimentación en acero antidesgaste tipo AR-400
Labios de descarga de 6" en cada piso
Transportador para finos debajo de la zaranda de 42" de ancho con motor de 10 HP, 1800 RPM, TEFC. Guardas y accesorios de seguridad. Rodillos de 5" de diámetro CEMA C. Polea motora con cubierta de hule para mejorar la tracción. Descargará a un lado de la planta.
Transportador debajo del Triturador de Cono de 36" de ancho con motor de 10 HP, 1800 RPM. Guardas y accesorios de seguridad. Rodillos de 5" de diámetro CEMA C. Polea motora con cubierta de hule para mejorar la tracción. Descargará por la parte trasera de la planta.

Finalmente, los agregados después de ser clasificados, pasan a un cono de trituración que se adapta para triturar diversos tipos de rocas. Sus especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 2-9.

**Tabla 2-9: Especificaciones técnicas del cono de trituración**

Cono ARM Symons 4' STD
Motor eléctrico de 200 HP, 1200 RPM
Permiten una operación más eficiente
Disminuye la generación de calor, lo cual elimina el uso de enfriadores
Permite trabajar a bajas temperaturas durante más tiempo y con mucho menos fricción

Las áreas de beneficio para las plantas trituradoras serán de 3.000 m<sup>2</sup> para la zona de captación y 2.500 m<sup>2</sup> para la zona de la salida del túnel de conducción.

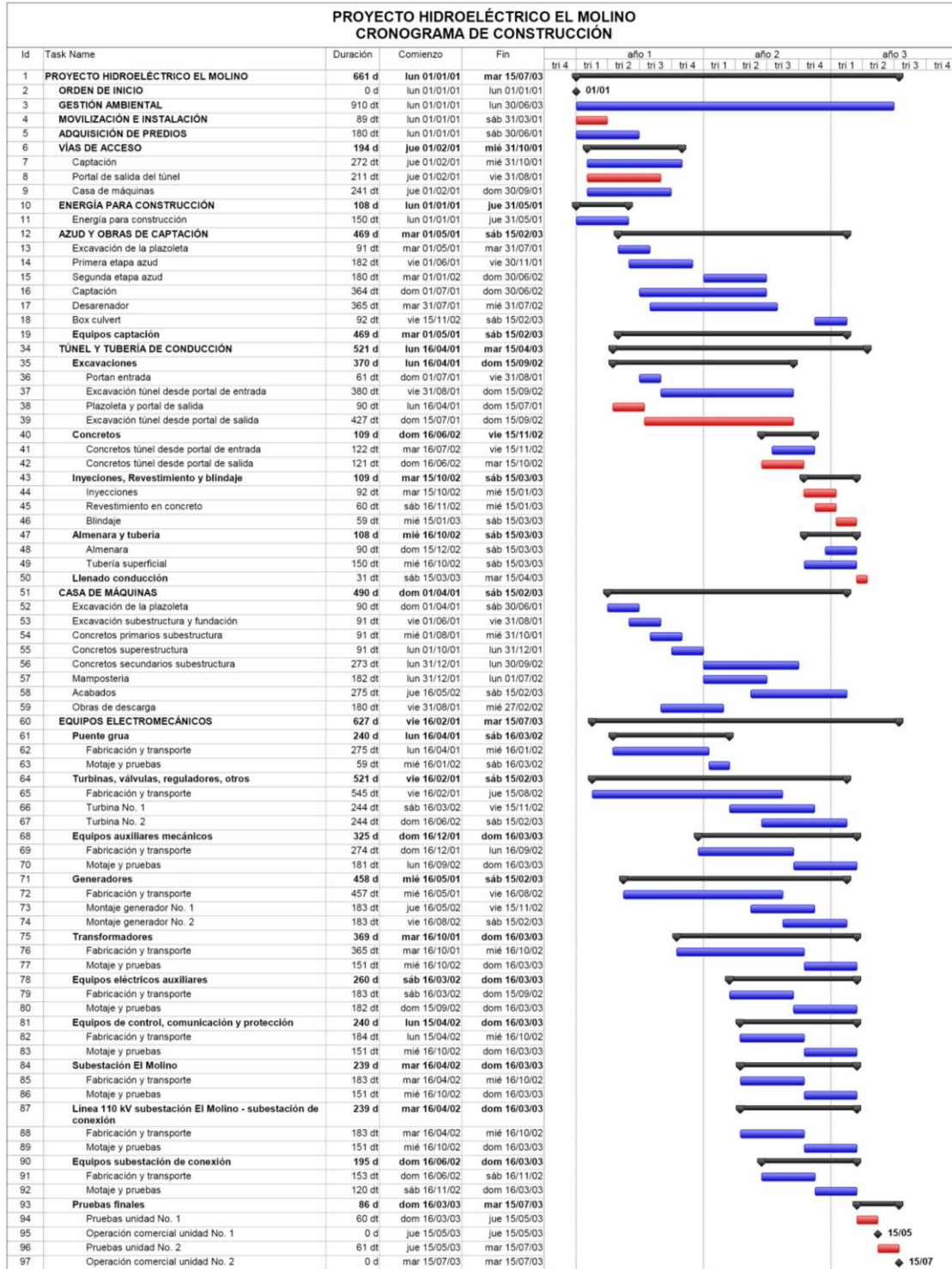
## **2.4 PRESUPUESTOS Y CRONOGRAMA DEL PROYECTO**

### **2.4.1 Cronograma de construcción**


De acuerdo con las características del Proyecto, se estima que su construcción se realice en 31 meses, entrando la primera unidad al sistema en el mes 29 y la segunda en el mes 31. La duración de las actividades se estimó a partir de rendimientos de obras similares ejecutadas o que actualmente se construyen, teniendo en cuenta la interrelación que tiene las actividades entre sí. En la Figura 2-1 se presenta el cronograma de construcción del Proyecto.



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**



**Figura 2-1: Cronograma de construcción**

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

## 2.4.2 Presupuesto del Proyecto

- **Cantidades de obra**

Las cantidades de las obras y los equipos principales se calcularon a partir de los diseños del Proyecto, tomando ítems menores en forma global como un porcentaje de los ítems principales de los que hacen parte.

Los precios unitarios se tomaron a partir de la información que HMV posee para proyectos similares que actualmente están en construcción o recientemente inaugurados, actualizados con el IPP.

- **Presupuesto del Proyecto**

El costo total del Proyecto se estimó en US\$ 51.527.773, distribuido para cada una de los ítems, como se presenta en la Tabla 2-10.

**Tabla 2-10: Costos del Proyecto**

Ítem	Costo (USD)
Estudios previos (identificación, preingeniería y licencias ambientales)	560.966
Tierras y servidumbres	348.315
Plan de Manejo Ambiental	2.529.536
Inversión del 1% (Ley 99/1993 - Artículo 43)	294.984
Obras civiles	29.150.056
Equipos electromecánicos	15.727.250
Ingeniería, Interventoría y Gerencia	2.916.666
<b>TOTAL</b>	<b>51.527.773</b>

El costo del Proyecto para la inversión del 1% en la cuenca, de acuerdo con la Ley 99 de 1993 y su Decreto reglamentario el Decreto 1900 de 2006, es de US\$ 294.984, que corresponden a la inversión en adquisición de tierras, constitución de servidumbres, obras civiles y adquisición y alquiler de maquinaria y equipos utilizados en la obra civil.


## 2.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA HIDROELÉCTRICA

### 2.5.1 Operación

La operación de la Central Hidroeléctrica El Molino, como parte de un mercado de energía mayorista establecido en Colombia, y conectada a un Sistema de Transmisión Nacional (STN), deberá cumplir con ciertas condiciones de tipo técnico impuestas por el Centro Nacional de Despacho (CND) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), tal como lo estipula la Ley 143 de 1994.

Adicionalmente a estas condiciones externas, la operación de la Central se realiza de acuerdo con las condiciones de hidrología existentes en la zona. Durante las épocas de invierno, se busca tener la máxima generación, es decir 21 MW y en las épocas de verano, el control de la generación se realizará de forma manual o automática, donde los niveles de generación varían de acuerdo con los caudales disponibles. Esta consigna operativa obedece al compromiso social y ambiental de garantizar el caudal ecológico, durante todo el tiempo por parte de la central.



	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

Para tal efecto, la central contará con un ingeniero encargado (quien hará visitas periódicas), dos operadores en turnos de ocho horas y cuya función principal es monitorear y operar todos los equipos electromecánicos asociados a ésta. Igualmente, se contará con tres auxiliares de operación (bocatomeros), quienes seguirán las instrucciones del operador de turno con respecto a la limpieza de las rejillas y tanques desarenadores, además de la apertura y cierre de las compuertas.

Adicionalmente se contará con dos vigilantes en cada turno, en las zonas de casas de máquinas y captación, para las labores de servicios varios y vigilancia.

## **2.5.2 Mantenimiento**

El mantenimiento que se realizará en la central está caracterizado por la búsqueda de tareas que permitan eliminar o minimizar la ocurrencia de fallas, y a su vez disminuir las consecuencias de las mismas, considerando todos los factores de riesgo. El mantenimiento busca asegurar el servicio de la central de manera continua, aprovechando de forma eficiente los recursos hídricos.

Los tipos de mantenimiento que se realizan en las centrales son el mantenimiento preventivo y el correctivo. El mantenimiento preventivo busca, mediante inspecciones periódicas, determinar cuándo cambiar o reconstruir un equipo o alguna parte de éste con relación a su estado actual, mientras que el mantenimiento correctivo consiste en la restitución del equipo al estado operativo óptimo, después de la ocurrencia de una falla.

Todas las actividades de mantenimiento serán coordinadas con el jefe de operación y mantenimiento y serán programadas oportunamente. Para estas actividades se contará con la total disponibilidad del personal que labora en la central.

Se tendrán mantenimientos cada seis meses de manera preventiva, aunque se realizan inspecciones diarias, semanales y mensuales a los equipos electromecánicos, siguiendo las recomendaciones establecidas por los fabricantes.

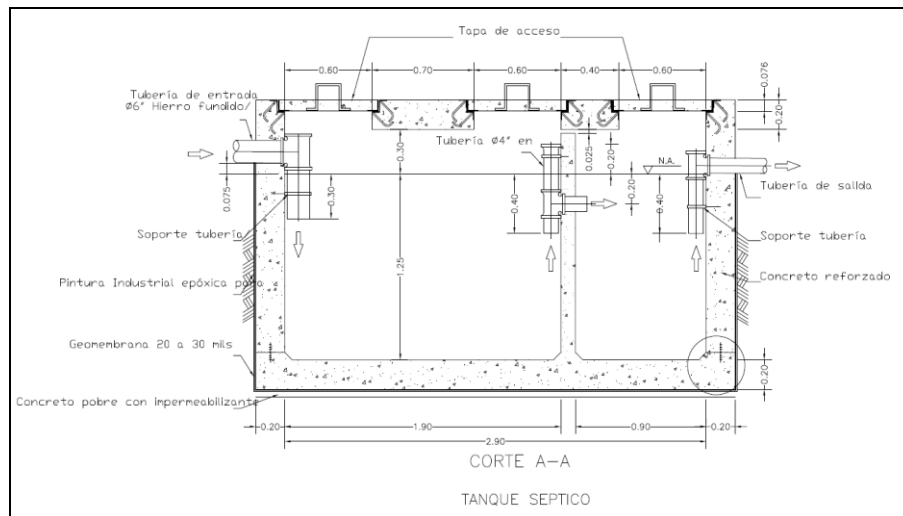
## **2.5.3 Descripción de las características técnicas de la operación**

### **2.5.3.1 Campamentos, oficinas, bodegas y talleres requeridos durante la operación**

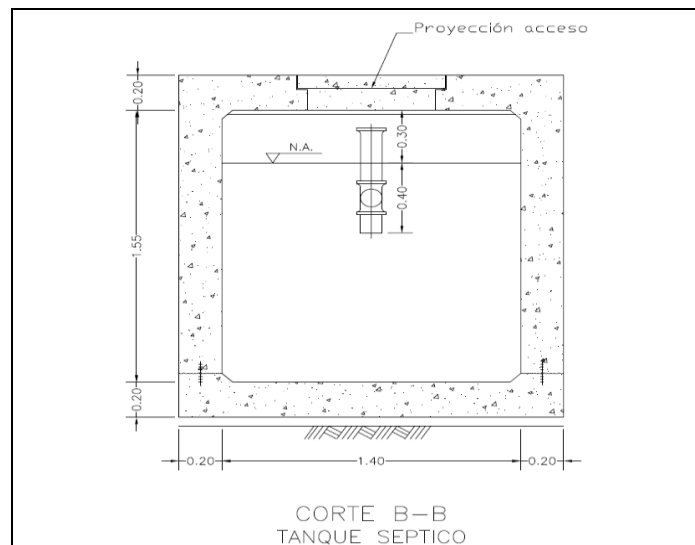
Para la etapa de operación se requiere de una caseta con capacidad para una persona y un área construida de 16,0 m<sup>2</sup>, que se ubicará en el sitio de bocatoma y desarenador. Por otra parte, en la casa de máquinas, se alojará el personal encargado de esta edificación.

Para el manejo de los residuos líquidos domésticos provenientes de la casa de máquinas, se contará con un pozo séptico (ver Figura 2-2 y Figura 2-3), que descargará sus aguas posteriormente al río San Matías. El manejo de los residuos sólidos domésticos cumplirá con lo establecido en el Plan de Manejo de este estudio.

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**



**Figura 2-2: Corte tanque séptico**




**Figura 2-3: Corte tanque séptico**

El almacén y taller se ubicarán en el sitio sobre la margen izquierda de la vía a casa de máquinas, en la abscisa 1+550 y cuentan con un área aproximada de 450 m<sup>2</sup>. El taller contará con sitio de acopio de aceites, grasas, baterías, y canales perimetrales de control de derrames. Los residuos líquidos que se recolectan en los canales perimetrales, serán almacenados temporalmente y posteriormente entregados a un operador autorizado.

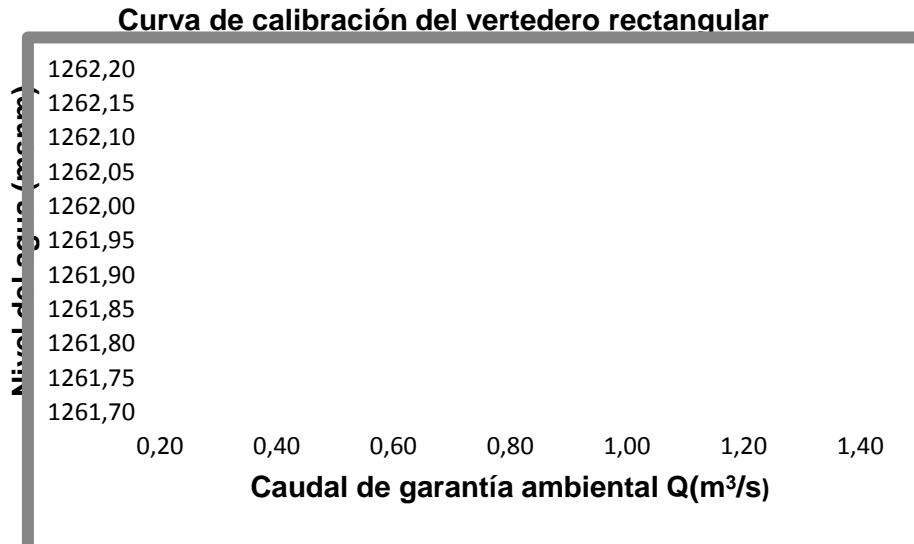
**2.5.3.2 Caudal ecológico o de garantía ambiental**

Antes de captar las aguas para la generación, se deberá garantizar el paso del caudal ecológico o caudal de garantía ambiental (CGA), por medio de la obra descrita en el numeral 2.2.2.1

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

Dado que el CGA está propuesto como un caudal que varía mes a mes, se han dispuesto unos elementos reguladores y de medida que permitan dar cumplimiento al CGA definido cada mes. Para esto se ha dispuesto que el caudal que sale por el orificio previsto para tal fin, continúe hacia un tanque amortiguador, en el cual se encuentra un vertedero de tipo rectangular, que permitirá medir el caudal que se entregará al río. El vertedero rectangular tiene una longitud de 1,50 m y una altura de vertimiento de 1,0 m. El caudal que pasa por el orificio, será regulado por una compuerta de iguales dimensiones, que permite hacer los ajustes mes a mes.


Para la determinación correcta de la apertura, se ha dispuesto después del orificio un vertedero rectangular de cresta delgada, un sensor de nivel y mira para lectura directa. El vertedero se escogió por ser este tipo de elemento muy reconocido para la medición de caudales, siendo su uso muy extensivo en los laboratorios de hidráulica donde se requieren medidas precisas del caudal. La calibración del vertedero se presenta en la Figura 2-4



**Figura 2-4: Curva de calibración de vertedero rectangular**

Se puede observar que la altura necesaria para el nivel en el cual se da el caudal máximo que es 1,29 m<sup>3</sup>/s es de 0,60 m, y el vertedero tiene una altura de vertimientos de 1,00 m, es decir, trabaja adecuadamente para los caudales aprobados.

Como ya se dijo, en el tanque se dispondrá un sensor de nivel y una mira o regla que permita realizar un monitoreo de niveles e ir ajustando el caudal entregado al río. Se realizará un reporte semestral de niveles y caudales, el cual servirá a la Corporación para facilitar la verificación. En la Tabla 2-11 se presenta, para cada mes, el caudal de garantía ambiental propuesto y el nivel requerido en el vertedero rectangular para cada uno de estos caudales.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

**Tabla 2-11: Caudal de garantía ambiental y niveles requeridos en el vertedero rectangular mes a mes**

Mes	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Niveles de agua (msnm)
<b>Enero</b>	0,60	1261,86
<b>Febrero</b>	0,49	1261,81
<b>Marzo</b>	0,77	1261,92
<b>Abril</b>	1,16	1262,05
<b>Mayo</b>	0,74	1261,91
<b>Junio</b>	0,63	1261,87
<b>Julio</b>	0,38	1261,76
<b>Agosto</b>	0,42	1261,78
<b>Septiembre</b>	0,42	1261,78
<b>Octubre</b>	1,29	1262,09
<b>Noviembre</b>	1,26	1262,08
<b>Diciembre</b>	1,18	1262,05

La planta y sección de la obra de CGA se presenta en el plano 2148-04-CV-DW-023.

### 2.5.3.3 Captación de agua


El caudal de diseño que se tomará del río San Matías para el proyecto será de 10 m<sup>3</sup>/s, necesario para la generación. Como se ha mencionado, existirán algunos días del año en que el caudal captado será menor de este valor con el fin de garantizar que el caudal ambiental o de garantía, transcurra aguas abajo del punto de captación.

El sistema de generación será controlado mediante sensores dispuestos en la captación y en el desarenador, los cuales registrarán los niveles de operación y permitirán determinar la correspondencia entre los caudales aportados por el río y los caudales turbinados. Las variaciones de nivel estarán monitoreadas por el sistema de control, permitiendo ajustar el caudal a turbinar según los aportes del río, y a la vez manteniendo los niveles en los rangos estimados para la operación. Si el caudal captado excede al caudal de diseño del sistema de generación, el agua sobrante será descargada nuevamente al río por el vertedero de excesos.

Estos reguladores hacen parte del sistema de control de las turbinas, y el operador, normalmente, no ejerce funciones distintas a la supervisión.

### 2.5.3.4 Generación de energía

Durante su operación, en la Central Hidroeléctrica se producirá una continua conversión de energía hidráulica en energía mecánica en la turbina, y de energía mecánica en energía eléctrica en el generador.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

El proceso de generación de energía se produce en lo que se denomina grupo turbogenerador, que consiste en una turbina y un generador eléctrico acoplados por el mismo eje; este grupo turbogenerador se encuentra ubicado en la casa de máquinas.

En este caso, la turbina es tipo Francis de eje horizontal (turbina de reacción, de flujo mixto centrípeto, admisión total y radial), la cual tiene tres elementos básicos que son el distribuidor (direcciona y regula el agua hacia el rodete), el difusor (salida del fluido, tiene forma de tubo de aspiración) y el rodete (compuesto de álabes móviles).

La turbina recibe el flujo de agua a gran presión hacia sus álabes a través de la tubería de carga y aprovecha la energía cinética y potencial del agua para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente el generador, que a su vez transforma la energía mecánica en eléctrica.

El generador, por su parte, se compone del rotor (parte giratoria) y el estator (parte estática), que produce un campo magnético que atraviesa las bobinas del rotor, conformadas por arrollamientos de alambres de cobre, los cuales van conectados entre sí, y de las cuales finalmente se genera la energía eléctrica, que tiene como parámetros básicos de salida un voltaje y una corriente eléctrica en función del tiempo, que se transmitirá a la subestación eléctrica del proyecto. Esta última tiene como función elevar el voltaje de salida del generador, para poder reducir la cantidad de corriente generada; no obstante, la energía seguirá siendo aproximadamente la misma cantidad. Este proceso se realiza con el objeto de poder transmitir la energía a grandes distancias.


### **2.5.3.5 Descarga de aguas al río San Matías**

Las aguas turbinadas provenientes de la casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico El Molino, serán entregadas a un tanque de quietamiento, el cual, en condiciones normales, conduce el agua hacia el proyecto hidroeléctrico San Matías.

Durante las paradas programadas y no programadas de las unidades de generadoras, se operará una válvula de alivio que permite la descarga del caudal de dichas unidades hacia el tanque de quietamiento, para garantizar el flujo permanente de caudal hacia el proyecto San Matías. En épocas en las que no se turbine en el proyecto San Matías, las aguas turbinadas por el proyecto El Molino serán entregadas al río San Matías por medio del canal de descarga.

El canal de descarga está ubicado al lado de la casa de máquinas, cuyo trazado se ha dispuesto para verter las aguas al río con la menor velocidad posible, mediante la implementación de estructuras de disipación de energía, logrando una velocidad promedio de 1,5 m/s. De esta forma se evitará la socavación en las orillas y lecho del río, producto de la energía y velocidad acumulada por el desnivel que existe entre la casa de máquinas y el río en el punto de la descarga.

La carga de sedimentos de esta agua se espera que sea mínima ya que estos serán retenidos en el desarenador; además el uso industrial en la generación de energía no adiciona contaminantes al agua.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

### **2.5.3.6 Agua para operación**

Se tiene proyectado la construcción de dos acueductos independientes para la zona de captación y la zona de casa de máquinas, de donde se tomaría el agua necesaria tanto en construcción como en operación, según lo planteado en el Plan de Manejo Ambiental.

### **2.5.3.7 Mantenimiento de vías de acceso**

El mantenimiento de las vías de acceso durante la etapa de operación, garantiza el adecuado transporte del personal operativo y de materiales y equipos para el mantenimiento del sistema o una eventual reparación en caso de daños.

Para ello se contará con personal no calificado para reparar y hacer limpieza periódica de las cunetas de drenaje.

El material que sea removido como resultado de estas actividades, así como de eventuales deslizamientos ocurridos en los taludes de las vías de acceso durante la operación, podrá ser entregado a terceros para su disposición final, tal como se establece en el Plan de Manejo.

### **2.5.3.8 Inspección y mantenimiento del revestimiento interior del túnel de conducción y la almenara**


Esta actividad consiste en efectuar un control de los datos de instrumentación para medir la turbiedad del agua, control de los caudales tanto a la salida como a la entrada del túnel, y otras actividades desarrolladas para establecer un control visual del estado de los revestimientos, mediante equipo de cámaras de televisión de accionamiento remoto. En caso de presentarse mayores problemas, deberá ingresar personal para efectuar una inspección visual detallada, identificando los tramos afectados del revestimiento interior, para posteriormente hacer una planeación de los trabajos de reparación y mantenimiento, y efectuar pruebas de estanqueidad, tomando lecturas de presión y caudal a la entrada y salida de la conducción.

### **2.5.3.9 Verificación del estado de la estructura de captación**

Esta actividad operativa consiste en verificar el estado general de la estructura de captación, del azud aguas arriba y abajo, de los muros de encauzamiento y contención de los taludes adyacentes, del estado del marco y barrotes metálicos de la rejillas y sus elementos de anclaje, verificación del estado de las compuertas de control y lavado del material depositado en el canal de aducción y efectuar los trabajos para limpieza de la rejilla y del canal de aducción.

### **2.5.3.10 Verificación del estado del desarenador y sus elementos para limpieza de lodos**

Esta actividad consiste en hacer una verificación del estado estructural del sistema de vertimiento de excesos, compartimientos de almacenamiento de lodos, sistema de descarga continua de lodos, compuertas de control a la entrada para cada uno de los módulos y pozos de inspección. También se realizarán trabajos de limpieza en cada uno de los compartimientos y elementos que componen la estructura.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

#### **2.5.3.11 Verificación del estado de la caseta de válvulas y la válvula de control**

Esta actividad consiste básicamente en verificar periódicamente el estado general de la caseta de válvula (aspecto estructural y de acabados). En cuanto a la válvula, se verificará su mecanismo de apertura y cierre mecánico y de accionamiento remoto. Es importante verificar su estanqueidad permanente, para detectar y reparar cualquier posibilidad de fugas en el sistema.

#### **2.5.3.12 Verificación del estado de la casa de máquinas**

Se realizará verificación técnica y visual del estado general de la casa de máquinas, incluyendo su aspecto estructural, estado de los anclajes y puntos de apoyo de los equipos y sistemas eléctricos, instalaciones hidráulicas y desagües, entre otros.

#### **2.5.3.13 Verificación del estado de los sistemas de control y medida, sistemas eléctricos, de iluminación y refrigeración**

Esta actividad consiste en la revisión, remota o manual, realizada por el jefe de planta con ayuda del personal de operación y mantenimiento, de los valores suministrados en los tableros y sistemas de control y medida y lo detectado por el Control Lógico de Programación (PLC) del sistema computarizado de la Central. Se confirmará en el sitio, posibles fugas de los líquidos del sistema primario y de los mecanismos de operación del conjunto turbogenerador, dispositivos complementarios y auxiliares, entre otros.

#### **2.5.3.14 Verificación del estado del equipo turbogenerador en casa de máquinas**


Se tendrán en cuenta, principalmente, las recomendaciones operativas y de mantenimiento dadas por los fabricantes del turbogenerador, siguiendo una bitácora de mantenimiento. De acuerdo con el número de horas de servicio al año, se deberá verificar con los instrumentos de control y medida las vibraciones, temperatura de funcionamiento, estado de operación de los equipos auxiliares, de los sistemas de protección en caso de sobrevoltaje, emergencia y salto de línea y su posterior embalamiento o sobre velocidad.

#### **2.5.3.15 Verificación de la subestación eléctrica**

Para el buen funcionamiento del sistema de transmisión y distribución eléctrica, se verificará el estado general de la subestación eléctrica en forma visual, comprobando los dispositivos de control y medida para detectar las anomalías producidas en el sistema, atendiendo las recomendaciones de los fabricantes de los equipos. Cuando ocurran daños ocasionados por saltos de línea y sobrevoltaje o caídas de rayos en el sistema, los ingenieros electricistas efectuarán labores de verificación visual y mantenimiento.

#### **2.5.3.16 Verificación del estado estructural del canal de descarga y obras de protección en la margen del río**

Se verificará periódicamente el buen estado del canal de descarga y las obras de protección en la margen del río San Matías, puesto que sus condiciones de operación pueden verse afectadas por la estabilidad de las masas de suelo circundante a la estructura y la calidad de los materiales de cimentación.

	<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL MOLINO</b>	Doc.: 2148-04-EV-ST-020-02-	
		Rev. No.: 0	2012-04-13
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>			

### **2.5.3.17 Actividades de limpieza de sedimentos y material de arrastre en las estructuras de captación**

Esta actividad consiste en efectuar la descarga y limpieza del sedimento y material de arrastre sólido depositado en la cara aguas arriba del azud, en la rejilla de captación y en el desarenador.

Los sedimentos que se acumulen aguas arriba del azud de captación se dejarán pasar por una estructura o canal de limpia con compuertas radiales, que se abrirán eventualmente, según la cantidad de sedimentos acumulados.

En la captación, después de los orificios de entrada, habrá un sistema de rejas para la limpieza de las basuras que ingresen a la conducción. El material obtenido de la limpieza será almacenado temporalmente y será entregado posteriormente a terceros para su disposición final, como se establece en el Plan de Manejo.

En el desarenador se retendrán las arenas finas que puedan ingresar al sistema. Para la limpieza del material depositado en cada cámara, el desarenador tendrá dos canales de descarga en el fondo, ubicados en dirección perpendicular a las cámaras, los cuales se conectan a un canal de desfogue al río. Estas actividades se efectuarán periódicamente, así como durante crecientes menores o después de presentarse crecientes importantes del río en época de lluvias.

### **2.5.3.18 Mano de obra requerida**

Para la fase de operación comercial se estima la creación de alrededor de 14 puestos de trabajo para las labores operativas. Se considera que una parte importante de estos puestos pueden ser cubiertos por personal de la zona.

### **2.5.3.19 Costo anual de operación**

Los costos de administración, operación y mantenimiento se han estimado en USD 700.000 anuales de acuerdo con la experiencia para proyectos similares.