

## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	2.I
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	2.IV
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	2.V
2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	2.1
2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	2.7
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO .....	2.8
2.2.1 Presa .....	2.8
2.2.1.1 Instrumentación de la presa .....	2.11
2.2.1.2 Sistema de inyecciones y drenaje .....	2.12
2.2.1.3 Preataguías, Ataguía y Contra-ataguía .....	2.14
2.2.2 Vertedero .....	2.15
2.2.3 Túneles de carga .....	2.16
2.2.4 Captación .....	2.16
2.2.4.1 Características de la plazoleta y estructuras de captación .....	2.16
2.2.5 Conducciones .....	2.17
2.2.6 Galería, plazoleta y pozos de compuertas .....	2.18
2.2.6.1 Características de la galería y plazoleta .....	2.18
2.2.6.2 Características de los pozos de compuertas .....	2.19
2.2.7 Túneles de aspiración .....	2.19
2.2.7.1 Almenaras 1 y 2 .....	2.20
2.2.7.2 Sistema de ventilación de las almenaras .....	2.21
2.2.8 Túneles de descarga .....	2.21
2.2.9 Descargas de fondo e intermedia .....	2.22
2.2.10 Estructuras y canales de salida .....	2.23
2.2.10.1 Plazoleta de manejo de compuertas .....	2.23
2.2.10.2 Estructuras y canales de salida .....	2.23
2.2.11 Casa de máquinas, caverna de transformadores y obras anexas .....	2.24
2.2.11.1 Características y criterios de las obras de las cavernas de la central .....	2.24

2.2.11.2	Caverna principal .....	2.25
2.2.11.3	Caverna de transformadores, galerías de barras y acceso y sala de control 2.26	
2.2.11.4	Sistema de aireación y evacuación de las cavernas .....	2.28
2.2.11.5	Túnel y pozo de cables .....	2.28
2.2.11.6	Túnel de acceso a la casa de máquinas .....	2.29
2.2.11.7	Túneles de construcción .....	2.29
2.2.12	Equipos mecánicos.....	2.30
2.2.12.1	Turbinas hidráulicas y equipo asociado.....	2.30
2.2.12.2	Puentes grúa de casa de máquinas .....	2.33
2.2.12.3	Sistema de agua de enfriamiento.....	2.34
2.2.12.4	Sistema de drenajes .....	2.34
2.2.12.5	Sistema de ventilación y acondicionamiento de aire .....	2.34
2.2.12.6	Equipos auxiliares mecánicos .....	2.36
2.2.12.7	Equipos para aire comprimido.....	2.38
2.2.12.8	Sistema de protección contra incendio.....	2.38
2.2.12.9	Compuertas para los tubos de aspiración .....	2.40
2.2.13	Equipos hidromecánicos .....	2.41
2.2.13.1	Compuertas para túneles de desviación .....	2.41
2.2.13.2	Compuertas para descargas de fondo .....	2.41
2.2.13.3	Rejas coladeras para la captación .....	2.42
2.2.13.4	Compuertas para la captación .....	2.42
2.2.13.5	Compuertas radiales para el vertedero .....	2.43
2.2.14	Equipos eléctricos.....	2.43
2.2.14.1	Generalidades.....	2.43
2.2.14.2	Generadores.....	2.44
2.2.14.3	Barras .....	2.45
2.2.14.4	Bancos de transformadores .....	2.45
2.2.14.5	Cables aislados de 500 kV.....	2.46
2.2.14.6	Subestación de 500 kV .....	2.47

2.2.14.7	Circuitos de distribución a 13,2 kv para energía de construcción y operación	2.48
2.2.14.8	Servicios auxiliares eléctricos .....	2.48
2.2.14.9	Línea de energía para construcción de 44 kv.....	2.49
2.2.14.10	Sistema de control .....	2.49
2.2.14.11	Sistema de protección.....	2.50
2.2.14.12	Comunicaciones .....	2.51
2.2.15	Campamentos, bodegas y almacenes .....	2.52
2.2.15.1	Generalidades.....	2.52
2.2.15.2	Elaboración de los diseños .....	2.53
2.2.15.3	Localización .....	2.53
2.2.15.4	Descripción de las zonas .....	2.54
2.2.15.5	Diseño conceptual .....	2.55
2.2.15.6	Manejo de aguas residuales domésticas e industriales.....	2.55
2.2.15.7	Manejo de residuos sólidos proveniente de las actividades del proyecto	2.56
2.2.15.8	Diseños civiles y arquitectónicos.....	2.59
2.2.16	VÍAS .....	2.63
2.2.16.1	Descripción y ubicación de los tramos viales .....	2.65
2.2.16.2	Diseño geométrico .....	2.70
2.2.16.3	Puentes Viales.....	2.72
2.2.16.4	Túneles viales.....	2.80
2.2.17	Energía para construcción .....	2.89
2.2.17.1	Información utilizada .....	2.89
2.2.17.2	Diseños de factibilidad .....	2.89
2.2.18	Ubicación y características de planta de triturado y de concretos .....	2.90
2.2.18.1	Planta de trituración .....	2.90
2.2.18.2	Planta de concretos .....	2.93
2.2.18.3	Plantas de asfaltos.....	2.93
2.2.19	Estimativo de los volúmenes especificados por tipo de obra o actividad	2.94
2.2.19.1	Descapote.....	2.94

2.2.19.2	Excavaciones en roca y material común .....	2.95
2.2.19.3	Terraplenes.....	2.95
2.2.19.4	Llenos para estructuras.....	2.95
2.2.19.5	Conformación de zonas de depósito .....	2.96
2.2.19.6	Zonas de depósito de materiales .....	2.96
2.2.20	Descripción de las fuentes de emisiones atmosféricas y de ruido por fuentes fijas y móviles .....	2.100
2.2.21	Requerimiento de uso, aprovechamiento y afectación de recursos naturales por actividad durante las etapas de construcción y operación .....	2.101
2.2.22	Características del embalse .....	2.102
2.2.22.1	Regla de operación del embalse .....	2.102
2.2.22.2	Estimación de la mano de obra requerida .....	2.103
2.2.22.3	Duración de las obras y costos .....	2.103

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Permiso de ocupación de cauce Variante El Valle .....	2.4
Tabla 2.2	Permiso de ocupación de cauce Variante El Valle .....	2.4
Tabla 2.3	Permiso de ocupación de cauce Variante El Valle .....	2.4
Tabla 2.4	Concesión de agua para campamento.....	2.5
Tabla 2.5	Concesión para humectación de vías intervenidas y para uso industrial.....	2.5
Tabla 2.6	Concesión para vertimiento.....	2.6
Tabla 2.7	Características técnicas de las Turbinas Francis .....	2.30
Tabla 2.8	Características de los puentes-grúa.....	2.33
Tabla 2.9	Características básicas de los generadores.....	2.44
Tabla 2.10	Resultados del dimensionamiento de los generadores .....	2.44
Tabla 2.11	Características de las barras.....	2.45
Tabla 2.12	Características básicas de los bancos de transformadores monofásicos .....	2.46
Tabla 2.13	Dimensiones de los transformadores .....	2.46

Tabla 2.14	Características generales de la subestación .....	2.48
Tabla 2.15	Coordenadas rellenos sanitarios .....	2.56
Tabla 2.16	Coordenadas nuevos sitios seleccionados.....	2.56
Tabla 2.17	Parámetros de diseño del relleno sanitario .....	2.57
Tabla 2.18	Sitio de vertimiento campamento EPM-Ituango.....	2.59
Tabla 2.19	Criterios de diseño de la Zona uno.....	2.69
Tabla 2.20	Criterios de diseño zona dos .....	2.70
Tabla 2.21	Criterios de diseño para las vías de acceso .....	2.71
Tabla 2.22	Características de los puentes de la vía San Andrés de Cuerquía - Presa	2.78
Tabla 2.23	Características de los puentes de la vía Puerto Valdivia - Presa.....	2.79
Tabla 2.24	Características de las fuentes de agua quebradas Ticutá y Tenche	2.82
Tabla 2.25	Vertimiento de las aguas de infiltración y residuales.....	2.82
Tabla 2.26	Criterios de diseño vías de acceso al túnel km12.....	2.83
Tabla 2.27	Criterios de diseño túnel km12.....	2.83
Tabla 2.28	Dimensiones de los túneles de la vía puerto Valdivia.....	2.87
Tabla 2.29	Coordenadas de Planta de Trituración .....	2.93
Tabla 2.30	Coordenadas de plantas de asfaltos .....	2.94
Tabla 2.31	Coordenadas de localización de las plantas requeridas para la vía Puerto Valdivia-Presa .....	2.94
Tabla 2.32	Características del embalse del Proyecto Hidroeléctrico Ituango ..	2.102
Tabla 2.33	Restricción de la variación de caudales extremos evacuados por el embalse en un lapso de 24 horas.....	2.102

### LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Sección típica de la vía Zona uno .....	2.69
Figura 2.2	Sección típica vías entre el km 36+480 hasta el km 37+855 zona dos	2.70
Figura 2.3	Sección Transversal .....	2.78
Figura 2.4	Sección típica del túnel vial km 12 .....	2.84
Figura 2.5	Perfil del túnel vial km 12 .....	2.84
Figura 2.6	Esquema general de la planta de trituración .....	2.92
Figura 2.7	Esquema típico de Planta .....	2.101

## 2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta una descripción de las obras que conforman el Proyecto Hidroeléctrico de Ituango, según los diseños adelantados en estudio de factibilidad y de detalle hasta el 30 de junio de 2011, el cual comprende fundamentalmente una presa de enrocado con núcleo de tierra, localizada unos 600 m arriba de la desembocadura del río Ituango al río Cauca; cuenta con obras para descargas de fondo e intermedia y un vertedero en canal abierto para evacuación de crecientes, obras ubicadas sobre la margen derecha del río. Próximas a la presa, y también sobre la margen derecha, se localizan las obras para generación que comprenden ocho captaciones sumergidas conectadas a las conducciones a presión que alimentan los ocho grupos turbina – generador de eje vertical, que se alojan en la caverna de casa de máquinas, conectados por galerías de barras a ocho bancos de transformadores monofásicos situados en la caverna de transformadores. El agua turbinada llega a dos cavernas independientes que actúan como almenaras de aguas abajo, de donde se desprenden cuatro túneles de descarga mediante los cuales el caudal es devuelto al río Cauca.

El diseño de factibilidad y detallado del Proyecto ha comprendido, el diseño de las vías de acceso a los distintos frentes de obras, de las vías sustitutivas que reemplazarán las que serán afectadas por el embalse y de la línea de transmisión que suministrará la energía para la construcción de las obras. Así mismo, se han considerado las necesidades de campamentos para el alojamiento del personal de construcción y de seguridad.

Se incluyen en este capítulo las obras y actividades aprobadas en la Licencia Ambiental (Resolución 155 del 30 de Enero de 2009), la respuesta al recurso de reposición (Resolución 1034 del 4 de junio de 2009) y las modificaciones de la Licencia ambiental, la Resolución 1891 del 1 de Octubre de 2009 (Primera modificación de la Licencia Ambiental) y la Resolución 1980 del 12 de octubre de 2010 (Segunda modificación de la Licencia Ambiental). Y de las solicitudes de tercera y cuarta modificación que están en trámite.

### **La primera modificación incluye los siguientes cambios (Resolución 1891 de 1 de Octubre de 2009):**

La Modificación del artículo 3 de la Resolución 155 de 2009 en cuanto a:

Rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle

- Construcción variante El Valle
- Construcción túnel de Chirí
- La Modificación del artículo 6 de la Resolución 155 de 2009, en cuanto a que autoriza la ocupación de cauces en:
- Rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle

- Variante El Valle
- Variante de San Andrés
- Vía sustitutiva – sitio de Presa
- Acceso al túnel de desviación
- Acceso a casa de máquinas
- Acceso al túnel de descarga
- La modificación del artículo 4 numeral 3 de la Resolución 155 de 2009 en cuanto a aprovechamiento forestal, y en el cual se dispone lo siguiente:
  - Se otorga permiso de aprovechamiento forestal en un volumen máximo total de 474.935,29 m<sup>3</sup>, para un área de 4.140,42 ha, el cual incluye el aprovechamiento forestal en las 1.515,62 ha, localizadas por debajo de la cota 385 msnm.

Adicionalmente se autoriza el permiso de aprovechamiento forestal único, en un volumen de 771,63 m<sup>3</sup> para 87,32 ha de afectación total, resultado de intervención en las zonas de depósito y las vías, rectificación de la vía San Andrés – El Valle y variante El Valle, solicitadas en la modificación de la licencia ambiental del Proyecto. La variante de San Andrés de Cuerquia, ya se encuentra autorizada en la licencia ambiental, pero en esta solicitud la Empresa detalló el volumen real de aprovechamiento forestal para este tramo.

- La Modificación del artículo 7 de la Resolución 155 de 2009 en cuanto a ampliar la capacidad de algunas zonas de depósitos de materiales, así:
  - Depósito 1: denominar esta zona de depósito como Depósito Tacuá y establecer para la misma una capacidad total de 893.000 m<sup>3</sup>.
  - Depósito 3: Dividir esta zona de depósito en tres zonas, cada una de las cuales contará con la siguiente capacidad:
    - ◆ Depósito La Uriaga: ubicado en los puntos, rectificación de la vía San Andrés – El Valle km 23+700, km 24+600 y km 24+800; con capacidad total de 1.715.074 m<sup>3</sup>.
    - ◆ Depósito El Valle: ubicado en la rectificación de la vía San Andrés – El Valle, desde la abscisa km 22+100 hasta la abscisa km 23+200, con una capacidad total de 698.000 m<sup>3</sup>.
    - ◆ Depósito La Matanza: ubicado en los puntos, rectificadas de la vía San Andrés – El Valle, desde la abscisa km 20+100 hasta la abscisa km 21+800, con una capacidad de 1.288.045 m<sup>3</sup>.
- Autorizar la construcción de las siguientes zonas de depósito:
  - Depósito La Variante
  - Depósito La Ladrillera
  - Depósito El Medio

- Depósito Taque
- Depósito El Pescadero
- La modificación del artículo 10 de la Resolución 155 de 2009, el cual contiene lo siguiente:
- Autorizar la regla de operación del embalse del proyecto hidroeléctrico de la siguiente manera:

Para un caudal promedio descargado el día anterior cercano al caudal turbinable ( $Q = 1.350 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la restricción está en no generar el día siguiente variaciones de caudal mayores al 25%, bien sea generando energía o utilizando la descarga intermedia.

En el caso de tener que descargar caudales por el rebosadero o cuando el embalse se encuentre lleno, esta restricción no aplicaría debido a que se estarían descargando excedentes de almacenamiento.

Cuando el caudal promedio descargando el día anterior equivalga a la mitad del caudal máximo turbinable ( $Q = 675 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la restricción consiste en no generar el día siguiente, variaciones mayores al 12,5%.

Para otros rangos de caudales promedios descargados el día anterior, la restricción (la máxima variación de caudales permitida de un día a otro) será proporcional teniendo en cuenta estas dos variaciones extremas.

**La segunda modificación incluye los siguientes cambios (Resolución 1980 de 12 de Octubre de 2010):**

Modificar el artículo primero de la Resolución 1891 de 2009, que modificó el artículo tercero de la Resolución 155 de 2009, en el sentido de adicionar las siguientes actividades:

- Rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle
- Construcción variante El Valle y conexión casco urbano
- Construcción túnel de Chirí
- Vía industrial aguas abajo del sitio de Presa
- Vía industrial aguas arriba del sitio de Presa
- Campamentos
- Modifica el artículo 3 de la Resolución 155 de 2009, en cuanto a determinar que los sitios de depósitos autorizados serán los siguientes:
- La Variante, La Ladrillera, Cañaduzales, Las Heliconias, Alto Seco, El Medio, Taque, Matanza, El Valle, La Uriaga, Caparrosa, Tacuí 1, Tacuí 2, La Cumbre, Tenche, Ticuitá 2, Ticuitá 1, Subestación, Villa Luz, El Palmar y El Pescadero.

**ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

- Modifica el artículo 7 de la Resolución 155 de 2009, modificado por el artículo 4 de la Resolución 1891 de 2009, en cuanto a que se autoriza la disposición de materiales sobrantes en los siguientes sitios:
  - La Variante, La Ladrillera, Cañaduzales, Las Heliconias, Alto Seco, El Medio, Taque, Matanza, El Valle, La Uriaga, Caparrosa, Tacuí 1, Tacuí 2, La Cumbre, Tenche, Ticutá 2, Ticutá 1, Subestación, Villa Luz, El Palmar y El Pescadero.
- No se autoriza el depósito Orejón y su ocupación de cauce por el alto impacto ambiental que esto generaría sobre el recurso hídrico de la zona.
- Modifica el artículo 6 de la Resolución 155, modificado por el artículo 2 de la Resolución 1891, en cuanto a lo siguiente:
  - Se autoriza el siguiente permiso permanente de ocupación de cauce. Ver Tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Permiso de ocupación de cauce Variante El Valle**

Tramo Variante – El Valle			
Abscisa	Obra propuesta	Coordenadas	
		X	Y
Km 23+930	Puente de 35 m de longitud, apoyado y en concreto, sobre la quebrada Uriaga.	1.155.159	1.272.157

Fuente: Resolución 1980

- Se autoriza la ocupación temporal de los siguientes cauces. Ver Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Permiso de ocupación de cauce Variante El Valle**

Vía industrial Margen izquierda Aguas Arriba y Aguas Abajo del Sitio de Presa			
Abscisa	Obra Propuesta	Coordenada X	Coordenada Y
Sin Nombre 2	2 tubos 1,50 m diámetro	1.156.043	1.280.574
Sin Nombre 2	Tubo 1,20 m de diámetro	1.155.988	1.280.600
Sin Nombre 1	Tubo 1,20 m de diámetro	1.156.115	1.280.254
Sin Nombre 1	2 Tubos 1,20 m de diámetro	1.155.962	1.280.290
Sin nombre 1	2 Tubos 1,20 m de diámetro	1.155.897	1.280.298
Sin nombre 3	Tubo 1,20 m de diámetro	1.156.985	1.281.454
Puente Río Cauca aguas abajo sitio presa	Puente militar en U de longitud 57m	1.156.511	1.281.323
Puente Río Cauca aguas arriba sitio presa	Puente metálico 80 m longitud en U y atirantado	1.156.123	1.279.941

Fuente: Resolución 1980

- No se autoriza el siguiente permiso permanente de ocupación de cauce. Ver Tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Permiso de ocupación de cauce Variante El Valle**

Tramo Variante – El Valle			
Abscisa	Obra propuesta	Coordenadas	
		X	Y
Km 23+753	Puente	1.154.669	1.271.821

Fuente: Resolución 1980

ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

- Modifica el artículo 3 de la Resolución 1891, que modificó el artículo 4 numeral 3 de la Resolución 155, en cuanto a lo siguiente:
  - Se otorga permiso de aprovechamiento forestal en un volumen máximo total de 474.935,29 m<sup>3</sup>, para un área de 4.140,42 ha, el cual incluye el aprovechamiento forestal en las 1.515,62 ha, localizadas por debajo de la cota 385 msnm.
  - Se autoriza el permiso de aprovechamiento forestal único, en un volumen de 771,63 m<sup>3</sup> para 87,32 ha de afectación total, resultado de intervención en las zonas de depósito y las vías, rectificación de la vía San Andrés – El Valle, solicitadas en la modificación de la licencia ambiental del Proyecto. La variante de San Andrés de Cuerquia, ya se encuentra autorizada en la licencia ambiental, pero en esta solicitud la Empresa detalló el volumen real de aprovechamiento forestal para este tramo.

Adicionalmente autoriza el permiso de aprovechamiento forestal único, en un volumen de 68,99 m<sup>3</sup>, por la afectación total debida a la construcción de la variante El Valle y de 82.753,36 m<sup>3</sup>, por la afectación total debida al ajuste cartográfico del área del embalse.

El volumen total de aprovechamiento es de 558.529,44 m<sup>3</sup> para un total de 4.962,02 ha afectadas por el Proyecto Hidroeléctrico Pescadero Ituango.

- Modifica el numeral 1 del artículo 4 de la Resolución 155 de 2009, en el sentido de adicionar las siguientes concesiones de agua adicionales para la ejecución de las nuevas actividades del proyecto. Para campamento (Ver Tabla 2.4)

**Tabla 2.4 Concesión de agua para campamento**

Fuente hídrica propuesta			
Fuente	X	Y	Q (l/s)
Quebrada Guacimal	1.152.203	1.276.901	0,13

Fuente: Resolución 1980

- Para la humectación de las vías intervenidas por el Proyecto y para uso industrial (ver Tabla 2.5).

**Tabla 2.5 Concesión para humectación de vías intervenidas y para uso industrial**

Fuente hídrica propuesta			
Fuente	X	Y	Q (l/s)
Piedecusta	1.154.916	1.256.024	1,83
El Diablo	1.155.266	1.256.525	1,83
Cacagual	1.157.639	1.267.284	1,83
Q Taque	1.156.467	1.268.674	1,83
Q Matanzas	1.155.355	1.269.563	1,83
Q El Roble	1.155.394	1.257.684	1,83
R San Andrés	1.155.564	1.260.130	1,83
Q El Hoyo	1.157.480	1.262.539	1,83
Q Uriaga	1.154.639	1.271.788	1,83
Q Los Naranjos	1.158.170	1.264.771	1,83
Q Churumbo	1.157.907	1.264.128	1,83
Q Bolivia	1.154.431	1.277.913	1,83
Q Burundá	1.155.109	1.279.153	1,83

Fuente hídrica propuesta			
Fuente	X	Y	Q (l/s)
Q Tenche M.I.	1.155.406	1.279.905	1,83
Q Ticuitá M.D.	1.157.645	1.280.614	1,83
Q Tenche	1.156.235	1.279.728	1,83
Q Orejón	1.156.443	1.277.758	1,83
Q Chirí	1.156.347	1.276.019	1,83
Q Careperro	1.155.404	1.273.011	1,83

Fuente: Resolución 1980

- Modifica el numeral 2 del artículo 4 de la Resolución 155 de 2009, en el sentido de adicionar el siguiente sitio de vertimiento (ver Tabla 2.6).

**Tabla 2.6 Concesión para vertimiento**

Campamento			
Fuente	X	Y	Q (l/s)
Quebrada Guacimal	1.152.203	1.276.901	0,13

Fuente: Resolución 1980

- Modifica el numeral 1.3.9 del artículo 9 de la Resolución 155 de 2009, el cual quedará así:

“Con el fin de garantizar el rescate de individuos de fauna terrestre atrapados por la inundación, la Empresa deberá diseñar e implementar un programa de salvamento contingente, basado en la búsqueda de animales en el río y por tierra en los bordes del embalse mediante patrullas, a fin de lograr el mayor número de avistamientos de fauna atrapada, utilizando la metodología presentada en el documento denominado Respuesta a requerimientos Plan de Manejo Ambiental PMA y estudios complementarios de radicado 4120-E1-147809 del 2 de diciembre de 2009 y su implementación deberá iniciar con las actividades de construcción, adecuación y llenado del embalse.”

- Modificar los literales d y e del numeral 1.3.18 del artículo 9 de la Resolución 155 de 2009, los cuales quedarán así:

d. En los tres (3) años siguientes, contados a partir de la ejecutoria del presente acto administrativo, la Empresa deberá desarrollar estudios poblacionales de las siguientes especies: *Ramphocelus flammigerus* (toche enjalmado), *Habia gutturalis* (Habia ahumada), y la subespecie *Ramphastos vitellinus citreolaemus* (tucán limón). Dichos estudios deberán estar encaminados a establecer las medidas necesarias para el manejo, protección y conservación de estas especies, utilizando la metodología presentada en el documento denominado Respuesta a requerimientos Plan de Manejo Ambiental PMA y estudios complementarios de radicado 4120-E1-147809 del 2 de diciembre de 2009. En los tres (3) años siguientes, contados a partir de la ejecutoria del presente acto administrativo, la Empresa deberá desarrollar los estudios.

e. A partir del documento denominado Respuesta a requerimientos Plan de Manejo Ambiental –PMA- y estudios complementarios presentado mediante radicado 4120-E1-147809 del 2 de diciembre de 2009. La Empresa deberá complementarlo con el fin de establecer las condiciones de la regeneración natural en el Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Tropical. Dicho estudio deberá estar encaminado al desarrollo de

actividades posteriores de enriquecimiento, manejo y conservación de este tipo de ecosistemas realizando un análisis multicriterio en donde contenga como mínimo los siguientes criterios: Zona de vida, Zona de reserva forestal, Cobertura de la tierra, Grado de fragmentación de coberturas, Complejidad de forma de polígonos en coberturas, Integridad ecológica, Clases agrológicas, Densidad de drenaje, Prioridades de conservación, Integridad ecológica, Heterogeneidad de unidades de paisaje, Vulnerabilidad, Distancia mínima a áreas protegidas, Potencial de restauración, Distribución predial, Índice de compacidad. Adicionalmente este estudio será base para los siguientes planes estipulados en el PMA, Plan por la Afectación de Coberturas Vegetales y el Plan para la Compra y Selección de Predios. Para la revegetalización de los predios identificados como de compensación deberá aplicar la metodología contenida en el documento: “Guía técnica de Restauración, 2010. Elaborada por Grupo de Restauración GREUNAL-Convenio MAVDT. Plan Nacional de Restauración. Para la entrega de la información relacionada con el Plan de Revegetalización, por la Afectación de Coberturas Vegetales y el Plan para la Compra y Selección de Predios, la Empresa tiene un plazo de 12 meses a partir del establecimiento del respectivo acto administrativo.

**La solicitud de tercera modificación incluye los siguientes cambios**

- Planta de trituración.
- Plantas de concretos.
- Talleres.

**La solicitud de cuarta modificación incluye nuevas obras**

- Vía Puerto Valdivia – Presa.
- Campamentos y talleres para la vía Puerto Valdivia – Presa.
- Plantas de asfalto, concreto, trituradora y talleres.
- Túnel km 12 vía sustitutiva El Valle – Ituango.
- Depósitos para material de excavación de la vía Puerto Valdivia- Presa.
- Relocalización de Relleno Sanitario.
- Bases militares.
- Campamentos y talleres para contratista casa de máquinas y presa.

## **2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

En términos generales, el Proyecto se encuentra localizado en el noroccidente antioqueño y geográficamente sus obras se ubican en los siguientes municipios:

El embalse se encuentra localizado en jurisdicción de los municipios de Santa Fé de Antioquia, Buriticá, Peque e Ituango, por la margen izquierda del río Cauca; y de Liborina, Sabanalarga, Toledo y Briceño por la margen derecha.

Las obras principales (Presa y Casa de máquinas) en los municipios de Ituango y Briceño.

El acceso a los sitios de obras se logra a través de dos vías principales. La primera comprende las vías El Valle - Presa - Ituango, que sirven de sustitución al tramo de la vía intermunicipal existente entre los municipios de San Andrés de Cuerquia e Ituango que se verá inundado por el embalse; incluye también la variante vial para rodear el municipio de San Andrés de Cuerquia, la variante vial para el corregimiento El Valle, el túnel del Chirí y la rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle (municipio de Toledo). La segunda, comprende la construcción de la vía de acceso desde el corregimiento de Puerto Valdivia, en el municipio de Valdivia, hasta el sitio de Presa. Esta vía se desarrollará en la margen izquierda y derecha del río Cauca, entre los municipios de Valdivia, Ituango y Briceño.

En el plano D-PHI-110-CB-LG-LOC-010 se presenta de manera esquemática la localización general del Proyecto mostrando el área de influencia con su representación político administrativo y geográfico en coordenadas Magna Sirgas.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO**

A continuación se presenta el esquema desarrollado para el Proyecto Hidroeléctrico Ituango, formado por una presa de enrocado, de 225 m de altura, localizada aguas abajo del puente de Pescadero, con una central de una capacidad instalada de 2.400 MW y una energía media anual de 17.460 GWh. Las obras de la central, localizadas en el contrafuerte derecho del río Cauca, comprenden la caverna principal de la casa de máquinas donde se alojan ocho unidades, de 300 MW de potencia nominal cada una, con turbinas tipo Francis, generadores sincrónicos de eje vertical, equipos auxiliares electromecánicos y, equipos de control, la sala de montaje y edificios de oficinas. Aguas arriba de ésta se localiza la caverna de transformadores que aloja un banco de tres transformadores monofásicos por grupo y, aguas abajo las cavernas de las almenaras, una para cada cuatro unidades, que junto con los túneles de descarga conforman las obras de descarga.

### **2.2.1 Presa**

El tipo de presa seleccionado para el proyecto es el de enrocado con núcleo de tierra (Earth Core Rockfill Dam - ECRD). El eje escogido para la presa es el de aguas abajo (Eje 1), adoptado desde los estudios de factibilidad de los años 1982 y 1999, y ratificado en el estudio de Complementación de la Factibilidad presentado en el año 2007. La altura de la presa será de 225 m medidos a partir del lecho del río (cota 210 msnm), con corona de 18 m de ancho y de aproximadamente 550 m de longitud, a la cota 435 msnm. El talud de aguas abajo de la presa tiene una inclinación promedio del orden de 1,75H:1V, resultante de un talud promedio 1,4H:1V el cual es suavizado con la construcción de una vía de acceso que asciende por el talud. Esta vía sobre el

talud, cuyos objetivos fundamentales son facilitar el acarreo del material de enrocado durante construcción y permitir el mantenimiento y acceso a las galerías de drenajes y a la descarga intermedia, se proyectó con un ancho de 10 m y una pendiente longitudinal del 13%, aproximadamente. El talud de aguas arriba de la presa es de 2H:1V, dispuesto en forma continua, sin bermas.

La impermeabilidad del lleno de la presa se logra mediante un núcleo de tierra simétrico con respecto a la vertical, con taludes 0,15H:1V desde el nivel de fundación de la presa hasta la cota 380 msnm, a partir de la cual se hace vertical con ancho de 12 m. Entre el núcleo de tierra y el lleno de roca se ha dispuesto, en el espaldón de aguas arriba, una zona de transición de 6 m de espesor, conformada por material con tamaño máximo entre 15 cm y 25 cm. El material inferior a la malla No.100 debe ser menor al 15%. En este espaldón también se han dispuesto filtros de 4 m de espesor, uno de arena y otro de cascajo, desde la cota 380 msnm y hasta la cota 420 msnm, la cual corresponderá a la zona de mayor oscilación del agua en el embalse y hasta un poco por debajo del nivel mínimo de operación. En el espaldón de aguas abajo se tiene contemplada una zona de transición de 6 m de espesor similar a la descrita para el espaldón aguas arriba, más zonas de filtros de 4 m de espesor, uno de arena y otro de cascajo.

Se ha previsto que la fundación del núcleo y de los materiales de filtro y transición se realice sobre material de roca tipo IIB, por lo cual será necesario excavar hasta encontrar esta calidad de roca en la fundación; los espaldones de roca serán fundados principalmente, sobre roca tipo IIA, o eventualmente sobre material aluvial del lecho de río, en caso de que se verifique su existencia y una vez se haya comprobado la calidad del mismo, desde el punto de vista geomecánico.

En el área de fundación del núcleo, filtros y transición de la presa se efectuará una malla de inyecciones de consolidación.

El volumen total de la presa (incluyendo las preataguías de aguas arriba y de aguas abajo y la contraataguía) es de aproximadamente 20.500.000 m<sup>3</sup>.

La zonificación de la presa está definida en función de las necesidades de estanqueidad y estructurales necesarias para un proyecto de estas características. Teniendo esto en cuenta, la presa se ha sectorizado en tres zonas principales: núcleo, filtros y enrocado; las cuales a su vez se subdividen de la siguiente manera:

- **Zona IA.** Material que conforma el núcleo de la presa. Para esta zona se utilizará el material procedente del préstamo 4 El Palmar, el cual clasifica como una grava o arena limosa, con un tamaño máximo de 15 cm. La permeabilidad de este material es de aproximadamente 1E 9 m/s.

El nivel máximo de esta zona será la cota 433 msnm, entre este nivel y la cota 380 msnm tendrá taludes verticales y un ancho de 12,0 m. A partir de este nivel y hasta la fundación, tendrá taludes 0,15H:1V, alcanzando un ancho máximo de 80 m.

- **Zona IB.** Conformar junto con la zona IA el núcleo de la presa. Corresponde a una franja con un tamaño máximo de 2,5 cm, tamaño menor comparado con la zona IA,

adyacente a los estribos, de 6 m de espesor horizontal y de 1 m de espesor sobre el bloque de concreto (fundación). El objetivo de esta capa es asegurar una adecuada compactación contra los estribos y evitar la segregación y acumulación de tamaños gruesos.

El volumen de material total entre las zonas IA y IB alcanzará un valor aproximado de 1.470.000 m<sup>3</sup>.

- **Zona IIA.** Zona de filtro que se encuentra en contacto con la cara de aguas abajo del núcleo de la presa. Se construirá hasta la cota 420 msnm y tendrá un espesor máximo de 4 m. Para esta zona se utilizará un material limpio, con tamaños entre arenas finas y gravas medias, que se procesará de la zona de Préstamo 3, San Andrés.

El tamaño máximo de esta zona será 2 cm y el porcentaje que pasa la malla 200 debe ser menor al 5% del material.

- **Zona IIB.** Corresponde al filtro de respaldo aguas abajo de la zona IIA. La gradación de este material es más gruesa en comparación con la zona anterior. Al igual que ésta se construirá hasta la cota 420 msnm y tendrá un espesor máximo de 4 m. El tamaño máximo será de 4 cm, con un porcentaje que pasa la malla No 10 inferior al 5%. La fuente de este material será el Préstamo 3, San Andrés.

Las zonas IIA y IIB también se colocarán en la cara de aguas arriba del núcleo, entre las cotas 380 y 433 msnm. El volumen de material total de estas zonas tendrá un valor aproximado de 678.000 m<sup>3</sup>.

- **Zona IIIA.** Corresponde a la zona de transición entre los materiales de filtro y el enrocado. En el espaldón de aguas arriba, desde el nivel de fundación de la presa hasta la cota 380 msnm, tiene un espesor de 6 m, por encima de este nivel y hasta la cota 420 msnm el espesor será de 3 m para ajustarlo al espesor total de las zonas IIIA, IIIB y IIIC. En el espaldón de aguas abajo el espesor será de 6 m en su totalidad.

El tamaño máximo de esta zona estará entre 15 cm y 25 cm. El material inferior a la malla No 100 debe ser menor al 15%.

En esta zona se contempla utilizar el material caracterizado como IIA, procedente de las excavaciones para las obras de la central hidroeléctrica.

- **Zona IIIB.** Es la zona de menor compresibilidad del enrocado. La localización de ésta será de la siguiente manera:

En los 55 m superiores de la presa, en los cuales según los análisis dinámicos muestran concentración de esfuerzos y mayor sollicitación de los materiales. Además, basándose en observaciones de presas sometidas a cargas sísmicas, generalmente ocurren deformaciones significativas y deslizamientos poco profundos en la parte alta del lleno de la presa, por lo cual un material con estas características será conveniente en una franja de 40 m de espesor horizontal, a lo largo del talud de

aguas arriba, por encima de la cota 270 msnm, la cual también sería susceptible a los deslizamientos poco profundos según los análisis de estabilidad realizados.

En el espaldón de aguas arriba, por debajo de la cota 265 msnm, donde su menor compresibilidad conllevaría a menores deformaciones totales.

En franjas adyacentes a la zona IIIA. En el espaldón de aguas arriba, con un ancho constante de 30 m entre las cotas 265 y 380 msnm. En el espaldón de aguas abajo entre la fundación y la cota 380 msnm con un ancho constante de 30 m.

En la zona localizada sobre el enrocado del espaldón de aguas arriba se hará un lleno con roca IIIB, donde se requiere para controlar los empujes de la presa sobre la ataguía. Entre la cota 265 y 240 msnm tendrá una pendiente de 2H:1V, y desde este punto continuará horizontal hasta la cresta de la preataguía, ocupando todo el espacio entre ésta y la ataguía.

El 100% del material debe ser menor de 90 cm y la cantidad de material inferior a 0,5 cm debe ser menor del 15%.

- **Zona IIIC.** Será la zona con mayor tamaño de partícula y mayor espesor de capas así como también un menor grado de compactación. Ubicada en la parte central del espaldón de aguas arriba y casi en la totalidad del espaldón de aguas abajo, representa más del 50% del volumen total del enrocado.

En esta zona habrá partículas con tamaños de hasta 1,8 m, y el material menor a 2,5 cm debe ser inferior al 30%.

- **Zona 4.** Esta zona se colocará en el espaldón de aguas arriba de la presa, entre las cotas 380 y 435 msnm; además en la totalidad del espaldón de aguas abajo. Corresponde a sobretamaños que serán colocados individualmente, con diámetros de hasta 1,5 m – 2,0 m. El objetivo de esta zona es mejorar la apariencia final así como también mejorar la seguridad de la presa durante construcción, evitando accidentes.

En el plano D-PHI-041-PRE-PR-C-030 se muestra la sección máxima de la presa con su zonificación.

### **2.2.1.1 Instrumentación de la presa**

Para el control y seguimiento del comportamiento de la presa durante su construcción y operación se ha previsto un sistema de instrumentación que, básicamente comprende los siguientes aspectos y componentes:

- **Medidor de infiltraciones.** Uno de los aspectos más importantes en la evaluación del comportamiento de una presa de enrocado es el referente al caudal de filtraciones a través de la misma. Para su medida y seguimiento se instalará un vertedero ubicado en un muro de concreto en la contra-ataguía; en forma similar se instalarán medidores de infiltración en las galerías de drenaje.

- Puntos de control superficial. Se utilizarán en la parte superficial de la presa; permitiendo conocer el desplazamiento de los puntos respecto a ejes previamente determinados.
- Piezómetros de cuerda vibrátil. Se instalan piezómetros del tipo eléctrico de cuerda vibrante, los cuales son sellados en los pozos de perforación y embebidos en rellenos para medir las presiones de poros. Se ubicarán específicamente en tres zonas; bajo la cimentación de la presa para verificación de los modelos de flujo, en el núcleo y en las laderas para monitorear el flujo de infiltración y controlar las presiones de poros. Además dentro de las galerías de drenaje se instalarán piezómetros por sección instrumentada y por galería.
- Acelerógrafos. Se ha considerado la instalación de acelerógrafos en vecindades de la cresta de la presa y en la fundación de la misma. Los acelerógrafos se utilizarán para conocer la aceleración que presenten algunos puntos específicos cuando se encuentren sometidos por algún tipo de excitación dinámica, registrando la aceleración provocada.
- Extensómetros horizontales. Permiten medir deformaciones en puntos específicos. Buena parte de ellos se localizarán 10 m por debajo de la cresta de la presa donde se ubican los puntos de posible mayor desplazamiento.
- Celdas de presión. Por medio de estas celdas se determina la presión en dirección horizontal, vertical y bajo una inclinación determinada. Se ubicarán en zonas del núcleo definidas como críticas debido a altas deformaciones y esfuerzos, tanto por efectos estáticos como dinámicos.
- Celdas de asentamiento. Son utilizadas para medir los asentamientos proporcionando un punto único de medida. Se ubicarán en varios puntos en la zona correspondiente al espaldón aguas abajo de la presa, con el fin controlar las deformaciones durante el proceso de construcción y su posterior funcionamiento.
- Sismógrafos de banda ancha. Permiten monitorear la potencial sismicidad generada por el llenado del embalse. Se instalarán alrededor de la zona del Proyecto.

#### **2.2.1.2 Sistema de inyecciones y drenaje**

Sobre el eje de la presa se construirán galerías excavadas en terreno natural, las cuales contarán con sistemas de captación y evacuación de las aguas subterráneas.

Serán 6 galerías, 3 en cada margen, ubicadas en las cotas 390, 320 y 250 msnm.

Se propone para las galerías de drenaje una sección típica en forma de herradura de 3 m de ancho 3,5 m de alto; se realizarán perforaciones sistemáticas de 75 mm (3") de diámetro, espaciadas cada 5 m tanto en el piso como en techo, con una longitud de 50 m y 40 m respectivamente.

Cada galería de drenaje contará con un acceso independiente; las cotas y las longitudes de las galerías de acceso deberán garantizar una pendiente mínima del 1%.

Las galerías de acceso tendrán una sección en forma de herradura de 2,5 m de ancho y 3 m de alto; los accesos a las galerías de drenaje no contarán con perforaciones sistemáticas de drenaje. Todas las perforaciones para el sistema de drenaje se ejecutarán en diámetro NQ (3"). Para el sistema de drenaje se ha previsto la ejecución de una cortina de perforaciones profundas, ejecutadas a partir de galerías construidas a distintos niveles, en ambas márgenes.

En relación con el sistema de inyecciones de consolidación todas se ejecutarán en diámetro de 60 mm (BQ-23/8") se realizarán desde la superficie y se separarán en dos actividades, de la siguiente forma:

- Inyecciones en la margen izquierda: estarán espaciadas cada 2 m y tendrán una profundidad máxima de 30 m y una profundidad promedio estimada en 20 m.
- Inyecciones en el lecho del río (cota 195 msnm aproximadamente hasta cota 210 msnm) e inyecciones en la margen derecha: estarán espaciadas cada 4 m y tendrán una profundidad máxima de 20 m y una profundidad promedio estimada en 15 m.

El contorno de la cortina de impermeabilización se definirá en campo considerando una profundidad perpendicular a la superficie del terreno igual al 60% de la cabeza de presión sobre la presa. La cortina de impermeabilización estará constituida por Inyecciones Primarias IP1 separadas cada 16 m, Inyecciones Secundarias IP2 localizadas a la mitad de la separación entre primarias, también cada 16 m, e Inyecciones Terciarias IP3 localizadas a la mitad de la separación entre una primaria y una secundaria, o sea separadas 8 m entre sí. Se estima que aproximadamente el 10% de las perforaciones para las inyecciones primarias se ejecutarán con recuperación de núcleos. Todas las inyecciones de impermeabilización se ejecutarán en diámetro de 75 mm (NQ-3").

- Las inyecciones secundarias tendrán una profundidad igual a las inyecciones primarias y las inyecciones terciarias con una longitud igual a la tercera parte de las primarias. No obstante, la profundidad de las inyecciones terciarias podrá definirse en campo de acuerdo con los resultados obtenidos de las inyecciones primarias y secundarias.
- Las inyecciones de impermeabilización profundas se realizarán desde la superficie, entre el nivel de fundación del núcleo y la cota 210 msnm, aproximadamente. De esta cota en adelante las inyecciones se ejecutarán desde las galerías. Desde estas mismas galerías se ejecutarán las perforaciones para la cortina de drenajes. Las perforaciones para drenaje ejecutadas hacia arriba tendrán una longitud de 40 m y las ejecutadas hacia abajo una longitud aproximada de 50 m.
- En el interior del azud el vertedero, en la cota 390 msnm, se localizará una de las galerías de inyecciones y drenajes. A esta galería se accederá a través de una de las pilas del vertedero, y evacuará el agua al canal de drenaje, localizado a lo largo del eje del canal de descarga debajo de la losa de concreto del vertedero.

- En la zona de los tapones de los túneles de desviación y de la descarga intermedia, así como en la parte superior del contrafuerte izquierdo de la presa, se efectuarán inyecciones en forma de abanicos.

### **2.2.1.3 Preataguías, Ataguía y Contra-ataguía**

- Preataguía de aguas arriba. Tendrá su cresta en la cota 240 msnm y será diseñada para controlar las crecientes con un período de retorno de 2,33 años. Estará conformada básicamente por enrocamiento, y aunque para propósitos de estimación de cantidades de obra se han supuesto unos taludes fijos, las pendientes definitivas de éstos serán las que se obtengan con el ángulo de reposo del material colocado sin compactar.
- Ataguía. Para la desviación del río Cauca, se ha dispuesto la construcción de una ataguía de 55 m de altura medidos con respecto al nivel estimado del lecho del río, con corona en la cota 265 msnm, la cual no será desbordada por una creciente con un caudal de 4.700 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un período de retorno de 50 años. La ataguía será de concreto compactado con rodillo (CCR) de baja pasta, del tipo denominado de lleno duro (Faced Symmetrical Hardfill Dam – FSHD), incorporada a la presa, con taludes de 0,7H:1V en ambas caras.

Las principales razones para la adopción de este tipo de ataguía son las siguientes:

- Facilita que, sin incurrir en aumentos excesivos de tiempo de construcción o costo, su diseño permite el tránsito del río a través de los túneles de desviación, de la creciente de 50 años.
- No habría peligro de destrucción durante la etapa de construcción, aún en el evento de que sea sobrepasada por una creciente superior a la de 50 años.
- Permite acortar los túneles de desviación en comparación con una de tipo de enrocamiento con núcleo de tierra, con las consiguientes ventajas en costo y tiempo de ejecución.

La ataguía será construida en capas de 0,30 m de espesor; con un CCR de 75 kg/m<sup>3</sup> de contenido de cemento Tipo I. Prácticamente no tendrá ningún tratamiento de juntas, excepto limpieza y retiro del mortero superficial. Igualmente no se exigen controles especiales para el calor de hidratación de la mezcla. Se construirá con agregados procedentes de los depósitos del río San Andrés, los cuales serán procesados para lograr un tamaño máximo de 60 mm.

El volumen de CCR a utilizar en la construcción de la ataguía será de 265.500 m<sup>3</sup>.

- Contra-ataguía. Tendrá su cresta en la cota 230 msnm y estará compuesta fundamentalmente por enrocado tipo IIIB, con un talud aguas abajo 1,5H:1V. En la cresta de la contra-ataguía se colocará el medidor de infiltraciones de la presa.
- Preataguía de aguas abajo. Esta estructura es similar en cuanto a sus características geométricas y geotécnicas a la preataguía de aguas arriba, y deberá proteger el área de construcción de la contra-ataguía de crecientes en el río Ituango.

### **2.2.2 Vertedero**

El vertedero es del tipo canal abierto controlado por compuertas radiales, localizado sobre el contrafuerte derecho en donde se logra un alineamiento favorable para la descarga al río Cauca y las mejores condiciones geológicas para la excavación de los altos taludes que se requieren, no sólo para la conformación de la estructura como tal, sino para la utilización del material proveniente de dichas excavaciones como principal fuente de préstamo del enrocado de la presa.

Tendrá capacidad para evacuar un caudal de 22.600 m<sup>3</sup>/s, ligeramente inferior al contemplado en las fases anteriores, antes de elevar el borde libre de la presa. Dicho caudal corresponde al tránsito por el embalse de la creciente máxima probable (C.M.P), cuyo pico tiene un valor de 25.300 m<sup>3</sup>/s. La estructura tendrá un ancho variable entre 95 m en el azud de control y 70 m en el deflector, en una longitud de aproximadamente 400 m.

El flujo llega al azud, que es controlado mediante cinco compuertas radiales de 15,00 m de ancho y 19,50 m de altura, separadas por pilas de 5 m de ancho, a través de un canal de aducción en curva, localizado a la cota 398 msnm. Sobre las pilas del vertedero se construirá un puente vehicular de 13 m de ancho, que permitirá dar continuidad a la cresta de la presa y a la vía sustitutiva que comunica con el municipio de Ituango.

Para permitir el mantenimiento de las compuertas radiales, en las pilas se dispondrán guías para la colocación de tableros de cierre, como compuertas auxiliares.

La cresta del azud de control, sobre el que asientan las compuertas radiales, se localiza a la cota 403 msnm, en tanto que el nivel del deflector, desde donde el agua es lanzada al pozo de disipación de energía, se ubica 57 m por debajo, a la cota 346 msnm.

La longitud del canal del vertedero se ha establecido de manera que el sitio donde se origina el chorro ofrezca el menor riesgo posible para la descarga de la central y que la velocidad del flujo sea inferior a 40 m/s durante el paso de la C.M.P e inferior a 35 m/s durante el paso de crecientes con períodos de retorno de hasta 500 años. En el sitio donde impactará la descarga, se ha proyectado pre-excavar un pozo de disipación con fondo a la cota 190 msnm, que a su vez proporcionará material de préstamo para parte del lleno de la presa. Si bien es posible que al operar el vertedero se produzca alguna erosión en el fondo del pozo y en el cauce del río, se espera que con las dimensiones y el diseño adoptado para el pozo y el volumen excavado, la cantidad de material que se desprenda durante la operación del vertedero sea reducida, y no se deposite en el lecho del río para que no afecte la operación de la central.

Como buena parte del tiempo el embalse operará a filo de agua, el vertedero funcionará frecuentemente y debido a que según la hidrología promedia se esperan descargas durante el 20% del tiempo, se han colocado muros intermedios confinando el flujo de la compuerta central para facilitar eventuales reparaciones de la losa del piso.

En la excavación de los taludes del vertedero se contempla un tratamiento con pernos y concreto lanzado, considerando bancos de 15 m de altura, separados por bermas, así: desde el fondo del pozo de disipación, en la cota 190 msnm hasta la cota 525 msnm, bermas de 7,50 m y bancos verticales, y de la cota 525 msnm en adelante, bermas de 5,25 m con bancos inclinados 0,4H:1V. Las bermas a las cotas 275, 345 y 435 msnm serán de 15 m de ancho, con la finalidad de contener eventuales desprendimientos de roca de las zonas superiores del talud.

El canal de vertedero contará con un sistema de drenaje dispuesto debajo de la losa del piso, el cual descarga en el pozo de disipación.

### **2.2.3 Túneles de carga**

Dichas obras están conformadas, para cada uno de los 8 túneles que alimentan las distintas unidades generadoras, por una estructura de captación sumergida provista de rejas coladeras, un túnel de conducción superior, un pozo de presión y un túnel de conducción inferior.

### **2.2.4 Captación**

Las obras de captación y sus anexos se describen a continuación.

#### **2.2.4.1 Características de la plazoleta y estructuras de captación**

Las obras de captación se localizan sobre el contrafuerte derecho de la presa, y están constituidas por una plazoleta ubicada a la cota 350 msnm, en la que se disponen ocho estructuras de captación divididas en dos grupos de cuatro tomas contiguas cada uno. El ancho de cada grupo de tomas es de 92,00 m y la altura de 14,00 m, separados los dos grupos 32,10 m. Ver plano D-PHI-051- CAP-PZ-C-010.

##### **2.2.4.1.1 Plazoleta de estructuras de captación.**

La plazoleta de captaciones se localiza inmediatamente al sur de la entrada del canal de aproximación al vertedero, dando lugar a una excavación cuyo talud principal se orienta en dirección norte – sur, aproximadamente paralelo al cauce del río. Encima de esta plazoleta y a la cota de la corona de la presa, se localiza la plazoleta de los pozos de compuertas. Los taludes de la plazoleta tienen cortes verticales de 15 m de altura y bermas de 7,5 m donde existe roca de buena calidad y medianamente fracturada; en la parte superior, donde se presenta la transición roca-suelo y en suelos, los cortes tienen inclinación 0,60H:1,0V con bermas de 2,25 m de ancho cada 15,0 m. Para todas las superficies de los taludes en roca moderadamente fracturada, se contempla un tratamiento en concreto lanzado con malla electrosoldada, pernos de roca y perforaciones para drenaje, los taludes en suelo tendrán también concreto lanzado con malla y drenes; a su vez, los taludes de la plazoleta cuentan además con un sistema de manejo de aguas superficiales.

Las cotas básicas tenidas en cuenta para la ubicación altimétrica de la plazoleta de estructuras son:

- 435 msnm, de la cresta de la presa.

- 420 msnm, del nivel máximo normal de operación del embalse.
- 390 msnm, del nivel mínimo de operación del embalse.

#### 2.2.4.1.2 Estructuras de captación.

Las estructuras se localizan contra el talud frontal, empalmado con los portales de entrada a los túneles de conducción superiores, con su eje común orientado en dirección general norte – sur.

El sistema consiste en ocho estructuras sumergidas de aducción frontal, cada una de las cuales empalma con una conducción. Las estructuras están divididas en dos grupos de a cuatro, correspondientes a las estructuras 1 a 4 y 5 a 8. Los ejes de las bocatomas contiguas están separados 23,0 m, en tanto que los de las bocatomas 4 y 5, están separados 55,1 m. El caudal de diseño de cada estructura es de 168,75 m<sup>3</sup>/s.

Las estructuras están equipadas con rejillas coladeras fijas dispuestas sobre un mismo plano vertical, continuas para las estructuras 1 a 4 y 5 a 8, divididas en ocho módulos. Para el apoyo de los ocho módulos de la rejilla de cada estructura, se dispone de tres columnas intermedias igualmente espaciadas y una viga central.

Cada bocatoma consiste en una reducción gradual de 21,00 m de longitud que incluye al final, en primer término, una transición de 5,50 m de longitud, desde una sección cuadrada de 9,55 m de lado hasta una sección circular con diámetro de 6,6 m. En segundo término, un tramo adicional de 2,50 m con diámetro circular, que tiene guías verticales en un pozo de poca profundidad al nivel de la cota 364 msnm que permitirá instalar eventualmente, al inicio del túnel de conducción superior, una compuerta de emergencia cuadrada de 6,6 m de lado.

#### 2.2.5 Conducciones

Las 8 conducciones, una por unidad generadora, tienen dirección oeste – este y cada una comprende un túnel de conducción superior, un pozo de presión vertical y un túnel de conducción inferior horizontal.

Como las captaciones, las conducciones se disponen en dos grupos, las número 1 a 4 localizadas al norte, y las número 5 a 8 al sur; la separación entre los ejes de las conducciones 4 y 5, de los dos grupos, es de 55,1 m y entre los ejes de las restantes de 23,0 m.

El trazado horizontal de las conducciones es recto. En cuanto al trazado vertical de cada conducción, el primer tramo corresponde al túnel de conducción superior con pendiente descendente del 12% desde la abscisa 1,0 hasta la abscisa 116,97 donde empalma con la curva vertical superior del pozo de presión; el pozo vertical, en la abscisa 131,50, tiene una profundidad entre los PI superior e inferior de 134,14 m, e incluye curvas superior e inferior de 16,5 m de radio; finalmente el túnel de conducción inferior, que es horizontal con eje a la cota 207,2 msnm correspondiente a la de la turbina, tiene longitud de 68,50 m. En esta forma la longitud efectiva por conducción es de 339,17 m hasta llegar a la casa de máquinas. En la abscisa 93,0 de los túneles

superiores, se localizan los respectivos pozos de compuertas que permiten el cierre de la conducción. Ver plano D-PHI-051-CND-TC-C-010.

Los túneles de conducción superiores y los pozos de presión tienen 6,6 m de diámetro y son revestidos en concreto reforzado. Por su parte, el túnel inferior es blindado con un diámetro de 5,0 m, que se inicia y termina con sendas transiciones simétricas, también blindadas; la primera ubicada a continuación del codo vertical inferior del pozo de presión y con diámetros 6,6 m/5,0 m y longitud 7,5 m, mientras la segunda tiene diámetros 5,0 m/4,7 m y longitud de 5,0 m.

## 2.2.6 Galería, plazoleta y pozos de compuertas

El sistema de cierre de cada conducción se efectúa mediante una compuerta que se opera en un pozo mediante la ayuda de su correspondiente servomotor, localizado en un piso superior de operación; son ocho pozos de compuertas, uno por cada conducción.

### 2.2.6.1 Características de la galería y plazoleta

Los pozos de compuertas son verticales y se localizaron en planta, sobre un eje dispuesto en dirección norte – sur, paralelo al eje de las estructuras de captación, situado en la abscisa 93,0 de los túneles de conducción superiores. Los pozos número 1 a 4, más cercanos a la presa, rematan a cielo abierto en una plazoleta a la cota 435 msnm, correspondiente a la cresta de la presa; en tanto que los pozos número 5 a 8 lo hacen en una galería subterránea con piso y portal de entrada acoplados en dicha plazoleta. La longitud de la galería y de la plazoleta está determinada por la separación entre ejes de los pozos de compuertas de 23,0 m, excepto los pozos número 4 y 5 que se encuentran a 55,1 m. Ver planos D-PHI-052-GAP-PZ-C-010 y D-PHI-052-GAP-GA-C-010.

El acceso a la plazoleta y a la galería de los pozos de compuertas será por la berma de la excavación del canal de aproximación del vertedero, a la cota 435 msnm. A esta berma se accede, a su vez, a través de la vía que desde el corregimiento El Valle, conduce a la corona de la presa, y cuyo tramo próximo a ésta será en túnel.

- **Plazoleta de los pozos número 1 al 4.** La plazoleta de los pozos 1 al 4 es una extensión de la berma del canal de aproximación al vertedero y da lugar a una excavación con su talud principal orientado en dirección norte – sur. Los taludes de la plazoleta tienen cortes verticales de 15 m de altura y bermas de 7,5 m donde la roca es de buena calidad; donde la roca es fracturada, los cortes tienen inclinación 0,4H:1,0V y bermas de 5,25 m cada 15 m; en la parte superior donde se presentan suelos, los cortes tienen inclinación 0,75H:1,0V. Para todas las superficies de los taludes se contempla un tratamiento en concreto lanzado con malla electrosoldada, pernos de roca y perforaciones para drenaje o drenes horizontales; a su vez, los taludes de la plazoleta cuentan además con un sistema de manejo de aguas superficiales.
- **Galería de los pozos número 5 al 8.** La galería en la cual se localizan los pozos 5 al 8 tiene una longitud de 129,10 m y sección de 10,5 m de ancho por 12,0 m de

altura total, con una bóveda de 2,63 m de flecha. Los sistemas de soporte de excavación y revestimiento en las paredes y en la bóveda consisten en pernos de roca y capas de concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada; el piso dispone de una losa de concreto.

### **2.2.6.2 Características de los pozos de compuertas**

Los pozos de compuertas son verticales de 85,70 m de profundidad, separados 23 m entre ejes, excepto los centrales, de las conducciones número 4 y 5, cuya separación es de 55,1 m; serán revestidos en concreto reforzado con un diámetro interno de 6,9 m. En toda su profundidad, los pozos estarán provistos de un tabique para separar el compartimiento de la compuerta del conducto de aireación, dispuesto aguas abajo, para la entrada o salida de aire durante el vaciado o llenado de la conducción después de cerrada la compuerta; disponen de una plataforma de mantenimiento en la parte superior de cada pozo, a la cota 426,75 msnm. Ver plano D-PHI-052-PDC-PC-C-010.

Las compuertas se localizan en la abscisa 93,0 de los túneles de conducción superior, cierran a contra flujo, son verticales y rectangulares con altura útil de 6,6 m y ancho útil de 4,7 m. El sistema de cierre de los Túneles de Carga está constituido por la respectiva compuerta principal ubicada en los pozos referidos, además contempla la posibilidad de instalar una compuerta de emergencia de cierre en la estructura de captación, a la entrada de los túneles.

El tramo del túnel superior en donde se ubica la compuerta principal, tiene una longitud de 8,0 m y sección rectangular de 6,6 m de altura, igual al diámetro del túnel, y ancho de 4,7 m; la continuidad de este tramo con el túnel, se hace mediante dos transiciones geométricas de 8,0 m de longitud cada una.

### **2.2.7 Túneles de aspiración**

Son ocho túneles de aspiración y cada uno se extiende desde el final de codo del tubo de aspiración de la turbina hasta la pared de aguas arriba de las almenaras. Estos túneles se localizan entre la caverna de casa máquinas y la de almenaras; son paralelos y dispuestos en dos grupos: los túneles 1 al 4 llegan a la almenara 1 y los 5 al 8 llegan a la almenara 2.

La separación entre ejes de los túneles de aspiración es de 23,0 m, igual a la de las unidades generadoras, y de 55,1 m en los túneles centrales 4 y 5, para dar espacio a la sala de montaje y a la llegada del túnel de acceso. El piso de los túneles de aspiración, se encuentra a 15,0 m por debajo del eje de la turbina, la longitud de cada uno es de 36,5 m, con una altura que varía entre 3,30 m y 8,0 m y un ancho uniforme de 10,5 m. Ver plano D-PHI-071-TAS-TA-C-020.

Cada uno de los túneles de aspiración, revestidos en concreto reforzado, tiene a la salida, en la pared de aguas arriba de su correspondiente almenara, una compuerta de cierre con sección útil de 10,5 m de ancho por 8,0 m de altura; estas compuertas se deslizan a lo largo de guías laterales, instaladas en una estructura de concreto adherida mediante pernos de roca a la cara de aguas arriba de la almenara, y se

operan con la ayuda de servomotores hidráulicos, desde un piso en la parte superior de la respectiva almenara a la cota 232,4 msnm.

### **2.2.7.1 Almenaras 1 y 2**

Las almenaras son dos cavernas, localizadas aguas abajo de la caverna de máquinas, separadas entre sí 40,6 m, para dar paso al túnel de acceso a dicha casa de máquinas de la cual se encuentran separadas 30 m; su ancho es de 18,0 m, la longitud de cada una de 100,0 m y la altura de 49,6 m medida a la corona de la bóveda, con piso a la cota 192,2 msnm. La bóveda y paredes de cada almenara se encuentran soportadas y revestidas con pernos de roca y concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada, y el piso nivelado en concreto simple. Las almenaras se dimensionaron para albergar el volumen de agua desplazado debido a las oscilaciones para diferentes casos de operación de la central; un sistema de ventilación garantiza la aireación durante tales oscilaciones.

El caudal de diseño que maneja cada almenara es de 675 m<sup>3</sup>/s entregado por cuatro unidades generadoras; por su parte, el caudal de salida por cada uno de los túneles de descarga es de 337,5 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a dos unidades generadoras. Ver planos D-PHI-072-ALM-AL-C-170, y D-PHI-072-ALM-AL C-180.

Cada almenara alberga en la pared de aguas arriba, las compuertas de cierre de los cuatro túneles de aspiración correspondientes, que parten de la casa de máquinas, las cuales tienen dimensiones netas de 10,5 m de ancho por 8,0 m de altura. Para el efecto se dispone de una estructura en concreto conformada por columnas y vigas de amarre, adosada a la pared mediante pernos de roca, que permite instalar las guías metálicas de dichas compuertas. Por encima del nivel máximo de oscilación, cada almenara dispone de un piso de operación de compuertas donde se ubican los servomotores de operación hidráulica. Estos pisos están conectados al mismo nivel por una galería con bóveda semicircular y paredes rectas. Por debajo de los pisos de operación, cada almenara dispone de una plataforma para el montaje y el mantenimiento de las correspondientes compuertas. Los pisos de operación de compuertas y de la galería que los conecta se localizan a la cota 232,4 msnm; la longitud de esta última es de 40,6 m y su sección de 7,0 m de ancho y 7,0 m de altura. La plataforma de montaje y mantenimiento de las compuertas se localiza a la cota 220,0 msnm.

Cada almenara tiene dos accesos constructivos, uno superior a la cota 232,4 msnm y otro inferior a la cota 192,2 msnm, por la culata norte en el caso de la almenara 1 y por la culata sur en el caso de la almenara 2. En el acceso al piso de cada almenara se instala una puerta estanca, que permite la entrada para inspección a la almenara y sus respectivos túneles de descarga. En el acceso superior de las almenaras 1 y 2 se instalan igualmente puertas estancas que permiten el acceso al piso de operación de las compuertas.

### **2.2.7.2 Sistema de ventilación de las almenaras**

El sistema de ventilación de las almenaras está conformado por la galería de comunicación entre almenaras y un pozo inclinado, con dos túneles cortos inferior y superior en sus extremos. La galería de comunicación hace parte del sistema de ventilación, pues permite que los volúmenes de aire desplazados durante la operación de las turbinas en la almenara 2, circulen por ella y por el resto del sistema que sale a superficie. En el empalme del túnel de construcción superior norte con la almenara, al nivel de la cota 232,4 msnm, se inicia el túnel inferior de 12 m de longitud; dicho túnel se localiza entre la almenara y la puerta estanca que permite el acceso superior al piso de operación de las compuertas por la almenara 2. A continuación del túnel, el pozo inclinado 58° con la horizontal de 238,90 m de longitud, se orienta en dirección noroeste y empalma con el túnel superior de 18,70 m de longitud para salir a superficie en la berma del vertedero a la cota 435,0 msnm, allí se dispone la estructura de salida con un muro vertical corto que sirve como deflector o confina el aire que sale o entra al sistema.

La sección de los túneles es de 7,0 m de ancho por 7,0 m de altura con bóveda en arco, y el pozo es circular de 7,5 m diámetro. El revestimiento de estas obras es en concreto lanzado.

### **2.2.8 Túneles de descarga**

Los túneles de descarga conducen a baja presión, desde las almenaras hasta el río Cauca, los caudales que entregan las unidades generadoras en las almenaras a través de los túneles de aspiración. Los túneles 1 y 2, así como los túneles 3 y 4 se inician en la pared de aguas abajo de la respectiva almenara 1 y 2, y sus portales de salida empalman con la correspondiente estructura y canal de salida al río Cauca. Las estructuras de descarga permiten instalar compuertas de cierre tipo “stop-logs”, las cuales operan con presiones equilibradas y posibilitan la inspección de una almenara y sus correspondientes túneles de descarga. Ver planos D-PHI-073-TDS-TD-C-020 y D-PHI-073-TDS-TD-C-030.

El caudal de diseño de cada túnel de descarga es de 337,50 m<sup>3</sup>/s, que corresponde al caudal de dos unidades generadoras; sus longitudes varían entre 906 m y 1.157 m. En planta, los ejes de los túneles de descarga de cada almenara, son paralelos, separados 50,0 m y se inician con curvas; entre los túneles 2 y 3 la separación es variable en el tramo en curva y luego son paralelos separados 50,0 m.

En el caso de que sea necesario el vaciado de los túneles, este se hará mediante bombeo, de una almenara a la otra; para facilitar esto, los túneles tendrán pendiente ascendente. La sección de los túneles de descarga es en forma de baúl con bóveda en arco de 6,15 m de radio, paredes verticales de 6,15 m de altura y piso plano de 12,3 m de ancho. Se han previsto revestidos perimetralmente en concreto lanzado, con la losa de piso en concreto convencional, a excepción de los 35 m finales de los túneles que se han considerado revestidos totalmente en concreto convencional.

### 2.2.9 Descargas de fondo e intermedia

Con el fin de mantener permanentemente en el río Cauca, durante el llenado del embalse, un caudal mínimo de 450 m<sup>3</sup>/s, tal como lo señalan los requerimientos ambientales, se ha previsto la construcción de obras de descarga que garanticen la evacuación de dicho caudal.

Por razones prácticas de limitación de la cabeza máxima para el cierre y apertura de las compuertas, las obras de descarga se han proyectado a dos niveles: una descarga de fondo que aprovecha el túnel de desviación N° 1 (túnel izquierdo) y una descarga intermedia consistente en un túnel con entrada en la cota 260 msnm, que descarga en el pozo de disipación del vertedero.

La descarga de fondo tendrá dos compuertas planas de 3 m de ancho y 3,90 m de altura, operadas desde una cámara construida aguas arriba del sitio en donde se taponará el túnel de desviación N° 1. La descarga intermedia estará constituida por un túnel de 8 m de ancho, hastiales verticales de 4 m de altura y bóveda semicircular de 4 m de radio, con una longitud de 905 m aproximadamente. A la altura del eje de la presa se construirá una cámara de compuertas desde donde se controlarán dos compuertas radiales de operación y dos compuertas planas de mantenimiento, con dimensiones de 3 m de ancho y 3,90 m de altura.

Una vez las obras de la presa se encuentren a una altura que permita evacuar la creciente de diseño para desviación únicamente por el túnel de desviación N° 2 (túnel derecho), se procede a cerrar las compuertas del túnel de desviación N° 1, y a construir en éste las obras de la descarga de fondo. Cuando se terminen completamente estas obras, y se hayan terminado también las obras de la descarga intermedia, de la presa y del vertedero de crecientes, se podrá iniciar el llenado del embalse y la construcción de los tapones de cierre definitivo los túneles de desviación 1 y 2. Para ello, se abren las compuertas del túnel N° 1 manteniendo cerradas las compuertas de la descarga de fondo, posteriormente se abren las compuertas de la descarga de fondo, y se cierran gradualmente las compuertas de la entrada del túnel N° 2, de modo que se garantice la circulación permanente del caudal ecológico. Cuando el nivel del embalse alcance una cabeza que garantice la evacuación del caudal ecológico por la descarga intermedia, se cierran definitivamente las dos compuertas de la descarga de fondo. Finalmente, cuando el embalse esté lleno y el vertedero de crecientes esté descargando el caudal ecológico, se puede cerrar la descarga intermedia.

La descarga intermedia podrá abrirse durante la operación del Proyecto, con el fin de garantizar la salida del caudal ecológico, en el caso eventual que se suspenda la generación completamente y que el nivel del embalse sea tal que no se tenga descarga de caudales por el vertedero de crecientes.

En los planos D-PHI-031-DSF-CO-C-010 y D-PHI-043-DSI-CO-C-010 se muestran detalles de las descargas de fondo e intermedia respectivamente.

## **2.2.10 Estructuras y canales de salida**

Las estructuras y canales de los respectivos túneles de descarga están localizados, inmediatamente después de los portales de los túneles de descarga, cuyos ejes están separados 50 m entre sí. Estas obras permiten, con condiciones geométricas e hidráulicas adecuadas, retornar el caudal turbinado al río Cauca buscando el mejor aprovechamiento del salto. Cada estructura es en concreto reforzado y el canal excavado en roca, conformando una expansión gradual en planta y perfil, con sección transversal rectangular. La estructura tiene guías para instalar en el portal del correspondiente túnel de descarga, una compuerta tipo “stop-logs”. Los portales de los túneles de descarga, las estructuras y respectivos canales, están ubicados por debajo de la plazoleta a la cota 250 msnm, de donde se manejan las compuertas de cierre de dichos portales.

### **2.2.10.1 Plazoleta de manejo de compuertas**

La plazoleta de manejo de compuertas a la cota 250 msnm tiene orientación general noreste. El talud frente a las descargas 2 y 3, por debajo de la berma a la cota 280 msnm con un ancho de 7,5 m, es en roca de buena calidad, por lo que se ha previsto un corte vertical con una berma intermedia a la cota 265 msnm; por encima de la cota 280 msnm y hasta la cota 307 msnm, el talud es en roca fracturada con una pendiente 0,75H:1,0V. El talud frente a las descargas 1 y 4 y por debajo de la cota 280 msnm es excavado en roca fracturada con una pendiente 0,75H:1,0V; por encima de la anterior cota, el talud frente a la descarga 4 es excavado en coluvión con una inclinación 1,1H:1,0V. Para el soporte de los taludes se considera concreto lanzado reforzado con fibras de acero o malla electrosoldada, pernos de roca y perforaciones para drenaje. En cuanto al acceso a la plazoleta, este se desprende de la carretera que conduce a la plazoleta a la casa de máquinas y de esta a Puerto Valdivia. Ver plano D-PHI-074-ESA-PZ-C-010.

### **2.2.10.2 Estructuras y canales de salida**

La estructura y canal de salida de cada túnel de descarga, la primera en concreto reforzado y el segundo conformado en roca, consisten en una expansión horizontal gradual que se inicia con un ancho de 12,3 m, igual al del túnel de descarga, y tiene ángulos laterales de 10°; verticalmente, el piso tiene pendiente ascendente del 12,5% en una longitud de 27,5 m hasta la cota 213 msnm, de allí sigue horizontal hasta la orilla del río; la sección transversal es rectangular con ancho variable. Ver plano D-PHI-074-ESA-ES-S-070.

La estructura tiene longitud total de 12 m. En el primer tramo, con una longitud de 8,0 m, la estructura tiene muros hasta el piso de la plazoleta a la cota 250 msnm; los muros laterales tienen las correspondientes guías para la operación de la compuerta de cierre en cada portal del túnel de descarga, de operación muy eventual. La estructura incluye además un muro que permite el apoyo superior de la compuerta y que llega hasta la cota 227,8 msnm, el cual posibilita además un foso aguas abajo del portal para aireación e inspección si se requiere. El segundo tramo de la estructura, de

4,0 m de longitud, tiene muros laterales hasta la cota 224 msnm, que cubre la altura del portal del túnel.

Con 26 cuerpos o “stop-logs” intercambiables, se pueden conformar dos compuertas para el cierre de dos túneles de descarga operadas desde la plazoleta a la cota 250 msnm, mediante una grúa móvil. Las compuertas permitirán el vaciado para inspección de una almenara y sus correspondientes túneles de descarga.

El canal empalma con la estructura de concreto. Tiene una longitud total variable, con un primer tramo de 15,5 m de longitud y pendiente ascendente del 12,5%; la longitud restante hasta la orilla del río, tiene pendiente horizontal a la cota 213,0 msnm. Como se ha dicho, la sección es rectangular de ancho variable con ángulo de 10° a lado y lado. Las paredes de los canales de descarga tienen un tratamiento con capas de concreto lanzado reforzado con fibras de acero, pernos de roca y perforaciones para drenaje.

### **2.2.11 Casa de máquinas, caverna de transformadores y obras anexas**

A continuación se describen cada uno de estos elementos.

#### **2.2.11.1 Características y criterios de las obras de las cavernas de la central**

El esquema de las obras de la central, localizadas en el contrafuerte derecho, comprende la caverna principal de la casa de máquinas donde se ubican ocho unidades, de 300 MW de potencia nominal cada una, y una capacidad instalada total de 2.400 MW, con turbinas tipo Francis y generadores sincrónicos de eje vertical, los equipos auxiliares electromecánicos, equipos de control, la sala de montaje, oficinas. Aguas arriba de ésta se localiza la caverna de transformadores que aloja un banco de tres transformadores monofásicos por grupo y, aguas abajo las cavernas de las almenaras, una para cada cuatro unidades, que junto con los túneles de descarga conforman las obras de descarga. Ver plano D-PHI-060-GRL-DR-C-010.

Las siguientes, son algunas de las características y criterios de los diseños:

- Siendo uno de los parámetros más importantes en las obras subterráneas, los anchos de las cavernas se optimizan de manera que sean los menores posibles. Teniendo en cuenta la distribución de esfuerzos en la roca, las separaciones entre la caverna de transformadores y la caverna de casa de máquinas y entre ésta y la almenara, son de 30 m cada una, equivalente a 1,3 veces el ancho de la caverna principal.
- La llegada del túnel de acceso, la sala de montaje y la galería de acceso a la caverna de transformadores se localizan en el centro de la casa de máquinas, disponiendo a lado y lado en las respectivas cavernas cuatro unidades generadoras y los correspondientes bancos de transformadores. También, la almenara se divide en dos partes, cada una de las cuales recibe los tubos de aspiración de cuatro unidades.
- El piso principal de la caverna principal y el piso de la caverna de transformadores se localizan en la misma cota. En el primer piso de la caverna de transformadores

se localizan celdas de transformadores que tienen un corredor común por donde se movilizarán estos equipos, e igualmente, donde salen las galerías de cables. En el segundo piso se localizan dos corredores paralelos: uno, por donde salen los cables de los transformadores, que se comunica con el pozo de salida de cables; el otro, se utiliza como corredor que se comunica con el túnel de evacuación.

El acceso a la casa de máquinas se hace mediante un túnel vehicular de doble vía, que llega a la sala de montaje dispuesta en su zona central. Para la excavación de las cavernas, se dispondrá de túneles de construcción, superiores e inferiores, los cuales se derivarán del túnel de acceso.

La salida de los cables de potencia hacia la subestación en el exterior, se hace a través de un pozo inclinado 47° con la horizontal; por otro lado, la ventilación de las cavernas y la evacuación de las mismas se hace a través de túneles dispuestos con pendientes que faciliten la posible salida de emergencia.

### **2.2.11.2 Caverna principal**

El dimensionamiento de la casa de máquinas se encuentra asociado directamente al tamaño y características de las unidades generadoras asociadas, éstas a su vez, con la capacidad instalada de la central y su proceso constructivo. Como se indicó, la caverna principal tiene su sala de montaje en el centro, a la llegada del túnel de acceso y, a cada lado se localizan cuatro unidades generadoras con sus pisos inferiores correspondientes. En los extremos norte y sur de la casa de máquinas, y en forma simétrica, se desarrollan sendos edificios de ocho pisos, provistos de ascensor y escaleras. A la casa de máquinas llegan los túneles inferiores de las conducciones a presión con su eje a la cota 207,2 msnm y de ella salen los tubos de aspiración que descargan a las almenaras, con piso en la cota 192,2 msnm.

El dimensionamiento del grupo generador típico se determinó con la ayuda de métodos estadísticos disponibles en INTEGRAL S.A. y de información de otras centrales similares ya construidas. A partir de estas dimensiones, se procedió a determinar el ancho, la altura y la longitud de la caverna principal. Adicionalmente, para la separación entre ejes de unidades, definida en 23 m, se tuvo en consideración el ancho de la boca de salida del tubo de aspiración de cada unidad y la dimensión del bloque de roca mínimo que debe quedar entre dos tubos; así mismo, las dimensiones del transformador típico y el espacio requerido por un banco de tres transformadores monofásicos dispuestos en sus celdas, asociado a cada grupo generador.

La caverna principal tiene 240,1 m de longitud total, 23 m de ancho y 49 m de altura, medida desde el fondo de la excavación para los tubos de aspiración hasta la corona de la bóveda.

La casa de máquinas incluye varias zonas principales: la sala de montaje, las zonas de unidades y las zonas de oficinas y sala de control y equipos auxiliares.

- **Sala de Montaje.** Tiene 32,1 m de longitud; su piso, a la cota 217,5 msnm, va parcialmente apoyado sobre la roca, y el resto en el costado este, sobre un recinto del piso de generadores, en la cota 211,9 msnm.

- **Zonas de Unidades.** Localizadas a ambos lados de la sala de montaje, cada una corresponde a las cuatro unidades generadoras.

En las áreas de unidades se tienen cuatro pisos: el piso principal en la cota 217,5 msnm, que es el nivel de las tapas de los recintos de los generadores y de la sala de montaje; el piso de generadores, en la cota 211,9 msnm que presenta continuidad para ambas zonas de unidades ya que se comunica parcialmente por la zona central, debajo de la sala de montaje; la galería de la cámara espiral en la cota 205,45 msnm, y el piso de equipos de enfriamiento, en la cota 199 msnm; además existe una galería de drenajes común, localizada aguas arriba de los tubos de aspiración, en la cota 190,9 msnm.

Las unidades de enfriamiento están dispuestas en las zonas entre los grupos generadores, en los extremos adyacentes al bloque de la sala de montaje; en el costado aguas arriba se encuentran las escaleras que conducen al piso de la galería de drenaje, en la cota 190,9 msnm.

- **Estructura para el puente grúa.** A nivel del piso principal, sobre la sala de montaje y las zonas de unidades, se tienen las estructuras para soporte del puente grúa, conformadas por dos pórticos de columnas de 1,3 m x 1,3 m de sección y una viga de 1,5 m de espesor, cuya cota superior es la 227,5 msnm, determinada de acuerdo con los tamaños y requerimientos para la movilización de los equipos.

La distribución de las columnas está asociada con la localización de las juntas de expansión entre módulos de unidades y, estas se apoyan en los muros de 1,50 m de espesor, al nivel del piso principal.

- **Zonas de oficinas y equipos auxiliares.** Estas zonas se encuentran localizadas en los edificios conformados en los extremos norte y sur de la casa de máquinas, de ocho pisos, a través de los cuales discurren huecos para el paso de ductos y cables; los edificios disponen de ascensor y escaleras, que también sirven para el acceso a los diferentes niveles de la casa de máquinas en las zonas de unidades. El piso superior está destinado a las unidades de manejo de aire del piso principal; los siguientes, en su orden, a oficinas y servicio, unidades de manejo de aire del piso de generadores, chillers y bombas, unidades de manejo de aire del piso de generadores, servicios eléctricos auxiliares, unidades de manejo de aire de los pisos inferiores, y bombas para infiltraciones y drenajes.

Para las oficinas se han previsto protecciones acústicas contra el ruido proveniente de las unidades generadoras.

A todo lo largo de la casa de máquinas se tiene un cielorraso aligerado, suspendido de la roca, para proteger de infiltraciones los equipos.

### **2.2.11.3 Caverna de transformadores, galerías de barras y acceso y sala de control**

A continuación se describen estos elementos.

- **Caverna de Transformadores.** Situada 30 m aguas arriba de la caverna principal, su piso está al mismo nivel del piso principal de la casa de máquinas, en la cota 217,5 msnm. El ancho de la caverna es de 16 m y su altura de 18,6 m, medidos a la corona de la bóveda del techo que tiene un radio de 10 m. Su longitud total es de 200,8 m.

La caverna de transformadores está comunicada con la caverna principal por la galería de acceso y tiene dos pisos. Al primer piso llegan las ocho galerías de barras de fase aisladas que parten de los generadores y se desarrollan los deltas que distribuyen a los transformadores dispuestos en celdas con muros cortafuego. Para las cuatro unidades del costado norte de la casa de máquinas se tienen previstas 13 celdas que ocupan 100 m; 12 celdas corresponden a las cuatro unidades, 3 por unidad, y una celda para el transformador de reserva; para las cuatro unidades restantes se tienen 12 celdas que ocupan 92 m. Entre ambos grupos de transformadores se genera un espacio que permite la ubicación de unas escalas en concreto para acceder al piso superior.

El segundo piso en la cota 227,8 msnm, incluye dos corredores paralelos separados por un muro dispuesto en sentido longitudinal; en uno, se disponen los cables provenientes de los transformadores, el cual se comunica sobre la culata norte con el túnel y pozo de salida de cables; el otro, se utiliza como corredor de evacuación que se comunica también en la culata norte con el túnel de evacuación y aireación de la central.

El diseño de las celdas prevé la posibilidad de explosiones o incendio de los transformadores; es por esto que, los muros y losa del techo se calculan acorde con esta situación. Para controlar el aceite derramado de los tanques, se dispone de cascajo en el piso de las celdas y tuberías recolectoras que llegan a un tanque en la galería de drenajes de la casa de máquinas.

- **Galerías de Barras.** Las galerías de barras comunican los recintos de los generadores con la caverna de transformadores, con su piso entre cotas 217,5 y 227,8 msnm. La sección transversal es en herradura con bóveda semicircular de 2,83 m de radio y paredes rectas, de ancho y altura iguales, de 5 m. El piso lleva revestimiento de concreto; a una altura de 3,5 m del piso de la galería, se tiene una losa que soporta, los tres conductos que llevan las barras de fase aisladas.
- **Galería de acceso y sala de control.** La galería de acceso es una prolongación del túnel de acceso a casa de máquinas y comunica las cavernas de transformadores y de casa de máquinas. El ancho es el mismo del túnel de 7,5 m, pero la altura es de 12,8 m, medida a la corona de la bóveda del techo que tiene un radio de 4,65 m, con el fin de adecuar una galería superior, en la cota 224,6 msnm, correspondiente a la sala de control de la central, para la cual se han previsto protecciones acústicas. El acceso a este piso se hace desde el corredor de salida de cables y evacuación de la caverna de transformadores o desde el primer piso de la galería de acceso.

#### **2.2.11.4 Sistema de aireación y evacuación de las cavernas**

Para el sistema de aireación de la casa de máquinas se plantea un túnel lo más corto posible, pero con una pendiente tal que permita, a su vez, en caso de una eventual emergencia, la evacuación de personas que se encuentren dentro de la central. El portal de este túnel se localiza en una plazoleta junto al talud de aguas abajo de la presa, en la cota 287 msnm, con acceso desde la corona de la presa por la vía construida sobre dicho talud. El área de la sección del túnel se establece de manera que la velocidad del aire no sea mayor de 3,5 m/s, de modo que permita la salida de las personas sin mayor dificultad.

El túnel empalma con el túnel de construcción superior, sobre el costado norte de las obras, frente a la llegada de éste a la caverna principal, permitiéndose la distribución del aire hacia las dos cavernas, así como la salida desde cualquiera de ellas. Su longitud es de 400 m hasta el túnel de construcción superior y su sección transversal, en forma de herradura con bóveda de 2,5 m de radio y paredes rectas, de 4 m de ancho por 3,5 m de altura. Su pendiente es del 5 % en los 124,7 m iniciales desde el portal y de -25 % en los 256,8 m restantes.

#### **2.2.11.5 Túnel y pozo de cables**

Los cables de potencia salen desde la caverna de transformadores a través de un túnel horizontal y un pozo inclinado, 47° con la horizontal, hasta la plazoleta excavada en la superficie, donde se encuentra la subestación encapsulada a 500 kV. Ver planos D-PHI-064-PSC-EX-C-005 y D-PHI-064-PSC-EX-C-010.

El túnel parte del costado aguas arriba de la caverna de transformadores, en línea con el corredor de salida de cables dispuesto en el segundo piso de esta caverna en la cota 227,80 msnm; su longitud es de 64,3 m de los cuales 27,3 m hacen parte del túnel de construcción superior de zona norte. La orientación del túnel tiene un azimut de 00°00'00" hasta su empalme con el pozo inclinado.

El pozo inclinado, de una longitud real de 329,53 m, se inicia en la cota 227,8 msnm y llega a la cota 469,1 msnm, donde empalma con un cárcamo en concreto dispuesto en el sentido longitudinal de la subestación superficial.

La sección, tanto del pozo de salida de cables, es en forma de herradura de 4,8 m de ancho y 5,2 m de altura, con paredes verticales y bóveda con radio de 3 m. El piso del túnel tiene una losa de concreto; el piso del pozo tiene a lado y lado escalas en concreto y en la zona central de la sección tiene una brecha para la operación del funicular para montaje y mantenimiento de los cables.

En cada pared del túnel y del pozo se instalarán, en columnas metálicas de las que se fijan las ménsulas, los cables de potencia correspondientes a cada una de las zonas de unidades norte y sur.

Los soportes de excavación se especifican de acuerdo con las secciones en roca tipo I, tipo II y tipo III, consistentes en una capa de concreto lanzado reforzado con fibra donde se requiera, dos capas de concreto lanzado de 0,05 m de espesor cada una, reforzada con fibra, o dos capas de concreto lanzado reforzado con malla

electrosoldada D335 y pernos de roca BAR 8 de 3 m de longitud, espaciados cada 1,8 m dispuestos al tresbolillo.

#### **2.2.11.6 Túnel de acceso a la casa de máquinas**

El túnel de acceso a la casa de máquinas se utiliza, durante la construcción, para el retiro de la roca proveniente de las excavaciones y el ingreso de los materiales para construcción de las diversas estructuras; durante la etapa de montajes, para la entrada de los blindajes y equipos de la central, en la etapa de funcionamiento hace parte del sistema de aireación de la central y permite la movilización del personal que tiene a su cargo la operación de la central.

La plazoleta para el portal se localiza encima de la correspondiente a los portales de los túneles de descarga, cerca al vertedero. Tiene una longitud total de 950 m con dos tramos rectos y una curva horizontal. El trazado vertical comienza con un tramo de 20,0 m y pendiente ascendente, del 2 %, con el fin de evitar la entrada de aguas de la plazoleta y para que las aguas de infiltración del tramo inicial drenen por gravedad, hacia ésta. A continuación, se tiene el tramo principal de 899 m de longitud y pendiente del 10 %. A la casa de máquinas, se llega por un tramo horizontal de 31,00 m longitud. Las correspondientes curvas verticales son parabólicas y tienen una longitud de 30 m.

Las secciones del túnel corresponden a los diferentes tipos de roca que se espera encontrar: roca sana (tipo I), roca fracturada (tipo II) y roca muy fracturada (tipo III), y roca descompuesta o muy mala (tipo IV). Los sistemas de soporte corresponden a las calidades de roca, y se tienen pernos de roca, concreto lanzado reforzado con fibras de acero, perfiles y atizado metálicos, dependiendo del tipo de sección. La sección tipo IV requiere soporte con entibados metálicos, y se ha previsto que en este tipo de roca se excave un 5 %. Sin embargo, se considera que la mayor parte del túnel se excavará en roca sana (un 60 %), y el portal se ha localizado de forma que se excave en este tipo de roca.

El piso es de concreto reforzado, con pendientes del centro hacia los lados. Para determinar su sección transversal, se consideró el transporte de los equipos principales, en especial los transformadores, y el tránsito de equipos y volquetas durante construcción.

Debido a la pendiente descendente, y a las probables infiltraciones durante la etapa de construcción del túnel, en la casa de máquinas se han previsto nichos laterales para subestación de energía y pozos recolectores y de bombeo de infiltraciones.

#### **2.2.11.7 Túneles de construcción**

Para efectos constructivos, se utilizan dos túneles superiores, uno de ellos en la zona norte y otro en la zona sur, y un túnel inferior. Parten del túnel de acceso a casa de máquinas, muy cerca a su llegada a la sala de montaje, y llegan a las culatas de las tres cavernas, cerca a las bóvedas y a los pisos correspondientes. El túnel inferior se utiliza también para construir los pozos de presión y los túneles inferiores de las conducciones. Ver plano D-PHI-061-TGC-EX-C-010.

- Túnel de construcción superior para la zona norte. Con este túnel, y sus ramificaciones, se llega a las bóvedas, en las culatas norte, tanto de la almenara N° 1 como de la zona norte de la caverna principal y de transformadores. El tramo final del túnel de construcción superior, que llega a la caverna de transformadores, hace parte del sistema de aireación y evacuación de las cavernas y, así mismo, de salida de cables de potencia, hasta su empalme con el pozo correspondiente, según se describió anteriormente.
- Túnel de construcción inferior para la zona norte. Con este túnel, y sus ramificaciones, se acomete la construcción de los pozos de presión y de los túneles inferiores de las conducciones; además, de este túnel se desprenden los ramales con los cuales se llega a las culatas norte de los bancos inferiores de las cavernas de almenara N° 1 y de la casa de máquinas y de transformadores.
- Ramales de construcción del túnel inferior para la zona sur. Para esta zona del Proyecto se construirán algunos ramales, que parten del túnel de construcción inferior de la zona norte:
  - Ramal superior, para llegar a las culatas sur de las bóvedas de la almenara N° 2 y de la zona sur de las cavernas de casa de máquinas y de transformadores.
  - Ramal inferior, para llegar a los bancos inferiores de las culatas sur de la almenara N° 2 y de la zona sur de las cavernas de la casa de máquinas y de transformadores.
- Características de los túneles. La sección de los túneles es en herradura, de paredes verticales, de 5 m de ancho y 5 m de altura con 3,13 m de radio de la bóveda. El tramo de túnel inferior hasta los codos de los pozos de presión, tiene dimensiones mayores, de 6,40 m de ancho y de altura total, dado que se ha previsto utilizarlo para la entrada del blindaje de los túneles inferiores de las conducciones a presión.

## 2.2.12 Equipos mecánicos

A continuación se describen los diferentes equipos mecánicos requeridos por el Proyecto.

### 2.2.12.1 Turbinas hidráulicas y equipo asociado

#### 2.2.12.1.1 Turbinas Francis

El proyecto hidroeléctrico Ituango estará provisto con ocho turbinas hidráulicas tipo Francis, de eje vertical, cuyas características principales se indican a continuación (ver Tabla 2.7).

**Tabla 2.7 Características técnicas de las Turbinas Francis**

Descripción	Valor
Capacidad nominal de la turbina	307 000 kW
Salto neto máximo	207,0 mca
Salto neto de diseño (nominal)	197,3 mca
Salto neto mínimo	166,9 mca
Caudal nominal por unidad (al 100% de apertura)	168,75 m <sup>3</sup> /s

**ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Descripción	Valor
Caudal nominal (de diseño) de la central	1.350 m <sup>3</sup> /s
Eficiencia al 100% de apertura y salto neto de diseño	94,5%
Eficiencia (mínima esperada) en el punto de máxima eficiencia	95,5%
Velocidad de rotación	180 min <sup>-1</sup>
Velocidad de embalamiento	330 min <sup>-1</sup>
Velocidad específica (en unidades m-kW)	134,8 min <sup>-1</sup>
Cota de instalación de la turbina	207,20 msnm

Fuente: Consorcio Generación Ituango

La línea del eje de la unidad generadora (conjunto turbina y generador) estará provista con tres cojinetes lubricados por aceite. Los tres cojinetes estarán dispuestos así:

- Un cojinete de guía para el eje superior del generador, montado sobre la ménsula superior del generador.
- Un cojinete de empuje situado por debajo del rotor del generador y provisto con su estructura de soporte apoyada directamente sobre la cubierta superior de la turbina.
- Un cojinete de guía para el eje inferior de la unidad o eje de turbina, montado sobre la cubierta superior de la turbina.

Cada cojinete, además de su respectiva cuba de aceite, estará provisto con un sistema independiente para la circulación y el enfriamiento del aceite de lubricación, incluidos los intercambiadores de calor (agua - aceite), los cuales serán dispuestos por fuera de los recintos de la turbina y del generador, las bombas de circulación de aceite como, también, todas las tuberías, válvulas, instrumentos, dispositivos de control y demás accesorios.

El rodete de la turbina será de construcción soldada en acero inoxidable (13% cromo, 4% níquel), de acuerdo con los requerimientos especificados de la norma ASTM A743 grado CA-6NM, o ASTM A744, a partir de piezas fundidas en estos mismos materiales y luego soldadas entre sí, o de fabricación soldada entre piezas fundidas en acero ASTM A743 grado CA- 6NM, o ASTM A744, y láminas de acero inoxidable.

La cámara espiral quedará empotrada en un plano horizontal a la cota 207,00 msnm. El diámetro estimado de la tubería de entrada a la cámara espiral es de 4,7 m. La cámara espiral será diseñada para resistir una presión nominal de trabajo de 2,70 MPa (27,5 Kg/cm<sup>2</sup>), incluida una sobrepresión del 34% por efecto del golpe de ariete máximo, en caso de presentarse un cierre de emergencia de siete segundos. La cámara espiral será fabricada con un acero aleado de grano austenítico fino que cumpla los requisitos de la norma ASTM A20. Dadas las dimensiones de la cámara espiral, sus virolas deberán ser ensambladas y soldadas en el sitio.

La descarga de la turbina se realiza a través del tubo de aspiración. La primera parte, de forma cónica, estará dispuesta verticalmente y la segunda parte será en forma de codo. Este codo inferior se conecta con un túnel de aspiración horizontal a través del cual el agua se lleva hasta la almenara de aguas abajo, en cuya salida se han previsto unas compuertas de tablero o “stop-logs” para permitir el mantenimiento de la turbina.

Para efectuar las operaciones de mantenimiento y reparación de la turbina, se ha previsto que el desmontaje se realice por debajo de la máquina para lo cual debe removerse el cono de succión o de descarga de la turbina a través de una galería de acceso prevista a la cota 200,00 msnm.

#### 2.2.12.1.2 Válvula de admisión

La turbina estará provista con una válvula de admisión del tipo cilíndrica, o en forma de anillo, cuyo cuerpo u obturador, en posición cerrada, estará dispuesto dentro del espacio entre los álabes fijos del anillo estacionario y los álabes móviles del distribuidor. El diámetro exterior del cuerpo de la válvula cilíndrica será de 6.900 mm y su altura de 1.000 mm, aproximadamente.

La válvula deberá estar en capacidad de cerrar con flujo, en caso de emergencia. El tiempo de cierre será ajustable entre 60 y 120 segundos. La válvula será accionada para la apertura mediante un conjunto de seis servomotores con aceite a presión suministrado desde la unidad hidráulica del regulador de la turbina. La válvula estará en capacidad de cerrar por su propio peso; durante el cierre, los servomotores se encargan de controlar la velocidad de cierre.

Para controlar el desplazamiento de la válvula cilíndrica y evitar atascamientos del obturador, los servomotores estarán provistos con un sistema de control electrónico y un conjunto de dispositivos hidráulicos que aseguran un movimiento uniforme.

#### 2.2.12.1.3 Regulador de la turbina

El regulador de la turbina será del tipo digital, programable, controlado por un microprocesador y por servosistemas electrohidráulicos, los cuales serán dispuestos de tal manera que se obtenga un equipo de regulación para la turbina Francis, completo y moderno, con acción proporcional, integral y derivativa (PID).

El tablero del regulador electrónico comprende todo el equipo de manejo (Hardware) y la programación (Software) necesarios para supervisar, detectar, procesar y generar las señales de regulación y de control, y los medios para ajustar las características dinámicas que determinan el comportamiento del regulador.

El Tablero de control de la turbina contiene los instrumentos de indicación, dispositivos de control y de señalización, como también, todos los elementos requeridos para realizar las diferentes operaciones de control de la turbina, de la válvula de admisión, de los sistemas de lubricación de los cojinetes de la turbina y del generador, de los frenos del generador y de otros equipos auxiliares.

El gabinete del actuador contiene la unidad de control electrohidráulica que recibe la señal de regulación eléctrica desde el regulador electrónico, la convierte y la amplifica, a través del amplificador electrohidráulico, en movimientos de apertura o de cierre de la válvula de distribución principal.

El gabinete del actuador contiene también la válvula de distribución principal, las electroválvulas, los instrumentos de indicación, y todos los dispositivos de control eléctricos e hidráulicos y de retroalimentación requeridos para la operación manual y

automática de la turbina desde el tablero del regulador, y para las maniobras locales que sean necesarias durante las pruebas de puesta en servicio y mantenimiento.

El sistema hidráulico del regulador será diseñado y construido para operar, a través del actuador electrohidráulico y de la válvula de distribución principal, el servomotor del distribuidor de la turbina, como también, para alimentar los diferentes circuitos hidráulicos de operación, protección y control de la unidad. Además, deberá tener capacidad para suministrar aceite a presión al circuito hidráulico de operación y control de la válvula de admisión de la turbina.

### 2.2.12.2 Puentes grúa de casa de máquinas

Para el manejo, montaje y mantenimiento de los equipos electromecánicos de la casa de máquinas, se ha previsto la instalación de dos puentes-grúa, los cuales compartirán las mismas vigas carrilera, y tendrán la capacidad de trabajar en paralelo “tándem” para el manejo y montaje del rotor y del estator del generador que serán las piezas más pesadas. Así mismo, cada puente grúa estará equipado con un polipasto monorraíl para el manejo, montaje y mantenimiento de los equipos menores. Cada puente grúa será operado de forma independiente desde una botonera inalámbrica (control por radio) o desde una botonera colgante.

La instalación de dos puentes-grúa en la casa de máquinas se requiere por las siguientes razones:

- Mayor agilidad durante el montaje, pues se trata de una central con ocho unidades generadoras. Se trata de evitar o reducir la presencia de cuellos de botella durante el montaje de los equipos.
- Mejor distribución de la carga máxima sobre las vigas que soportan los puentes-grúa, ya que se cuenta con el doble de apoyos en una longitud mayor.
- Menor consumo de energía durante la movilización de cargas menores.
- En caso de mantenimiento de uno de los puente grúa, se cuenta con la disponibilidad del otro.

Las características generales de los puentes-grúa se presentan en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8 Características de los puentes-grúa**

CARACTERÍSTICAS GENERALES PUENTES GRÚA	DATOS
Capacidad de carga nominal de cada puente grúa	3.000 kN (300 tons)
Capacidad de carga nominal del polipasto monorraíl	250 kN (25 tons)
Luz del puente	21,3 m
Longitud aproximada del recorrido de cada puente grúa	216,0m
Recorrido del gancho principal (desplazamiento vertical)	28,0m
Recorrido del gancho del polipasto (desplazamiento vertical)	30,0m

Fuente: Consorcio Generación Ituango

### **2.2.12.3 Sistema de agua de enfriamiento**

Para el enfriamiento del aceite de los cojinetes de las unidades generadoras, del aceite de los transformadores monofásicos y del aire de los generadores, se han considerado sistemas de agua en doble circuito: uno cerrado de agua tratada que circula por cada uno de los intercambiadores de la unidad y otro abierto de agua cruda que toma y descarga el agua de la almenara. Ambos circuitos circulan por un Intercambiador de calor común, del tipo de placas paralelas. El agua tratada retira el calor del aceite y del aire, y el agua cruda retira el calor acumulado por el circuito de agua tratada; de esta manera se preservan de suciedad y obturación los intercambiadores de la unidad pasando el trabajo de mantenimiento para el Intercambiador de placas común. El circuito de agua cruda también lleva un filtro autolimpiante antes del intercambiador de placas.

El sistema considerado se ha venido aplicando satisfactoriamente en centrales modernas, como una solución anticipada a los problemas que origina en estas aplicaciones una mala calidad del agua descargada por las turbinas.

El caudal de agua tratada se estimó teniendo en cuenta la información obtenida de los proyectos diseñados por INTEGRAL, que permite establecer una relación estadística entre la capacidad del generador, en MVA, y el caudal de agua de refrigeración.

### **2.2.12.4 Sistema de drenajes**

Se contemplaron los siguientes sistemas:

- Sistema de vaciado del foso de infiltraciones: el agua de infiltraciones de las cavernas de casa de máquinas y de transformadores y las aguas de condensado de los equipos se llevarán a un foso dispuesto en cada edificio, costado norte y sur. Desde allí, se bombearán estas aguas, por medio de bombas centrífugas sumergibles, hacia la almenara aguas abajo.
- Vaciado de los tubos de aspiración: mediante una línea de tuberías y válvulas de aislamiento instaladas en cada tubo de aspiración, se conduce el agua del tubo de aspiración a la almenara aguas abajo mediante bombas centrífugas horizontales instaladas en pozo seco que descargan directamente a la almenara aguas abajo

### **2.2.12.5 Sistema de ventilación y acondicionamiento de aire**

Teniendo en cuenta la configuración de la casa de máquinas, las cargas térmicas estimadas y las condiciones de diseño interiores y exteriores, se consideró, como el más adecuado, un sistema combinado de ventilación y de acondicionamiento de aire para remover la carga térmica producida por la operación de los equipos electromecánicos instalados en su interior y para deshumidificar el aire de renovación tomado desde el exterior.

El aire de renovación será ingresado a la central por el túnel de ventilación y evacuación previsto para tal fin. Parte del aire de renovación del piso principal de la

casa de máquinas se conducirá para ventilar las galerías de barras, el cual se unirá luego con el aire de renovación de la caverna de transformadores para ventilar el pozo de salida de cables. De igual manera, el túnel de acceso se ventilará con el exceso del aire de renovación de la casa de máquinas.

Así mismo, se tomará una parte del aire de renovación para la ventilación de los túneles de construcción inferiores, el cual será llevado por conductos e impulsado por ventiladores ubicados en el extremo inicial de los túneles para que salga hacia el túnel de acceso. Con el aire de renovación circulando por el túnel de acceso se obtiene una renovación en dicho túnel de 4,20 cambios por hora.

El esquema seleccionado asegura que la casa de máquinas y el túnel de acceso mantengan una adecuada sobre presión con respecto al aire exterior. De esta forma se evita el ingreso de aire contaminado a la central, incluyendo el de los gases de escape de los vehículos que circulan a través del túnel de acceso.

El sistema de acondicionamiento de aire es del tipo centralizado con enfriamiento por agua fría, dividido en dos etapas. El sistema de enfriamiento de agua utiliza un equipo de refrigeración mecánica para obtener el agua fría por medio de unidades de enfriamiento de agua –CHILLERS-, con condensador enfriado por agua proveniente de un circuito cerrado con agua tratada, que a su vez se enfría en intercambiadores de calor del tipo de placas con agua cruda proveniente de las almenaras de aguas abajo.

Para atender las diferentes áreas de la casa de máquinas y la caverna de transformadores, se dispondrá de varios subsistemas conformados cada uno por unidades de manejo de aire –UMAS-, conectadas a una red de conductos de suministro, retorno y renovación de aire. Cada unidad de manejo de aire –UMA- está equipada con una sección “ventilador” para suministro de aire, sección “serpentín” de enfriamiento con conexiones a la red de agua fría, sección de “filtros de aire” del tipo metálicos, lavables, impregnados de aceite, con una eficiencia del 60% y caja de mezclas para aire de retorno y aire de renovación, equipada con compuertas o “dampers” automáticos de aletas opuestas que permiten direccionar el aire de retorno hacia los ventiladores de extracción de humos en caso de incendio, accionadas por el sistema de control del sistema contra incendios.

En el evento de un incendio, los conductos de retorno de aire se utilizarán como vía para la evacuación de los humos, dirigiendo el flujo de aire hacia el ventilador de extracción de humos. En este evento, la respectiva unidad manejadora de aire se sacará de servicio y el extractor evacuará los humos garantizando como mínimo un cambio de aire por hora en la zona afectada por el incendio.

Los ventiladores de extracción descargan los humos hacia un conducto común encargado de conducirlos hacia el pozo de evacuación de humos, en el cual son recogidos y expulsados al exterior mediante un ventilador ubicado en la entrada del pozo.

Para las celdas de transformadores, se tiene un sistema de extracción de humos independiente, consistente en un ventilador de extracción acoplado a un conducto

central de extracción de humos que a su vez está conectado a cada una de las celdas. En caso de incendio, los humos estarán confinados en la celda y el sistema de extracción tendrá la capacidad para evacuar los humos garantizando una renovación de 20 cambios de aire por hora.

#### **2.2.12.6 Equipos auxiliares mecánicos**

Los equipos auxiliares mecánicos para el presente proyecto están constituidos por: la planta de tratamiento de agua potable y sistema de suministro, la planta de tratamiento de aguas residuales, el taller de máquinas herramientas, los paneles de cierre de transformadores y obras anexas, funicular del pozo de cables y los ascensores de casa de máquinas.

Para todos y cada uno de los equipos mencionados, se ha desarrollado en sus diferentes etapas, la ingeniería conceptual, así mismo todos los aspectos relacionados con los diseños detallados, por lo que se definen los siguientes aspectos que caracterizan a los equipos auxiliares mecánicos, así:

##### **2.2.12.6.1 Planta de tratamiento de agua potable**

La capacidad de la planta de PTAP, será de 1,5 L/s, con una dotación de 200 L por habitante–Día. La batería de tanques de la PTAP se localiza básicamente en el nivel 190,90 msnm de la casa de máquinas; piso que corresponde igualmente a la ubicación de la galería de drenajes, pozo de infiltraciones y bombas de vaciado de los tubos de aspiración. Las condiciones del agua tratada cumplirán con los parámetros de potabilización asignados por la normatividad ambiental vigente en el país, sin embargo en la casa de máquinas, no se destinará para la ingestión humana, en su lugar; se dispensará agua en presentación comercial, apta para el consumo.

Adicionalmente la planta de tratamiento, en su servicio deberá proveer agua de reposición para los tanques destinados al sistema de protección contraincendio de casa de máquinas.

##### **2.2.12.6.2 Planta de tratamiento de aguas residuales**

La capacidad de la PTAR domésticas de la casa de máquinas se estimó para una población máxima de 50 personas en su estadía. La planta estará en capacidad de tratar aguas residuales domésticas o aguas negras, y constará de una caja de inspección y monitoreo en su afluente, seguido de una trampa de grasas, a continuación dispondrá de un tanque séptico con filtración y aireación, para finalizar en una caja para inspección del efluente antes de su recolección a un foso de infiltraciones en el nivel más bajo de la casa de máquinas. Adicionalmente, las aguas de escurrentía de corredores por lavados de pisos, lavado de equipos en su mantenimiento, aguas con detergentes, con trazas de aceite, aguas de infiltraciones de la roca, etc., serán manejadas por una red de aguas grises, dotados de sendos separadores de hidrocarburos, posibilitando verter posterior y paralelamente estos efluentes al foso de infiltraciones compartido con las aguas negras tratadas que finalmente descargarán a la almenara de aguas abajo de la central.

#### 2.2.12.6.3 Taller de maquinas herramientas

Para atender las necesidades de mantenimiento o reparaciones prioritarias, se ha considerado proyectar en el interior de la casa de máquinas un taller de máquinas herramientas para el montaje y mantenimiento de los equipos de la central, dotado de herramientas y elementos necesarios para ejecutar trabajos menores en el sitio, sin necesidad de un desplazamiento a talleres de reparación por fuera del proyecto. Por otro lado, los trabajos de mantenimiento y/o reparación de complejidad serán direccionados a servicios tercerizados, que se atenderán en otras localidades.

El taller de herramientas estará localizado en la casa de máquinas, en el piso que corresponde a la ubicación de las turbinas, a una elevación de 206,20 msnm. El cuarto tendrá dimensiones de 21 m de largo por 7,5 m de ancho; contará con una red de aire comprimido, cuarto de herramientas, almacén de suministros y repuestos, y un área de servicios sanitarios dotada de duchas y vestier.

#### 2.2.12.6.4 Paneles de cierre de transformadores y obras anexas

Para los diseños de los paneles de cierre y obras anexas de los equipos auxiliares mecánicos, se estableció como directriz el Plan Maestro de Seguridad Contra Incendios, de acuerdo a la última metodología disponible en ingeniería de protección contra incendios que se basa en los criterios y recomendaciones de la “National Fire Protection Association” (NFPA).

Si se requiere efectuar el cierre hermético de las celdas de transformadores y garantizar así una adecuada operación de los sistemas de protección contraincendios y de ventilación de las celdas, serán provistos paneles de cierre equipados con aberturas para la recirculación del aire en cada una de las celdas de transformadores de potencia. Para el diseño y selección de los paneles se ha tenido en cuenta las dimensiones de los recintos o celdas; también son considerados los cerramientos y los elementos que se requiera instalar para aislar ciertas zonas durante la operación coordinada del plan maestro de seguridad del sistema de control de humos de la central en caso de presentarse un incendio al interior de la caverna de transformadores, como de cualquier otra zona de la casa de maquinas.

Además de los recintos dispuestos en la caverna de transformadores, se tienen proyectadas otras barreras físicas tales como puertas o cerramientos cortafuego para las zonas designadas a ser claramente separadas para su aislamiento seguro, como son los túneles de acceso y túneles de evacuación.

#### 2.2.12.6.5 Funicular para inspección del pozo de cables

Para las labores de montaje de los cables de alta tensión de 500 kV que van desde las celdas de transformadores, hasta la estructura de salida de cables hacia la subestación eléctrica de la central, y para las actividades de inspección de los mismos posteriormente, se ha concebido un vehículo como sistema de desplazamiento a través del pozo inclinado. Este equipo se utiliza para el desplazamiento de personal con herramientas durante el montaje, montaje de otras instalaciones eléctricas; como los sistemas de iluminación y fuerza, bandejas porta cables de potencia y control.

También, en caso de emergencia por accidentes del personal dentro del pozo, durante el montaje o la operación de la central, como también la localización exacta para la atención por el personal de primeros auxilios y rescate para su evacuación.

Adicionalmente se utiliza para las rutinas de mantenimiento de las instalaciones eléctricas, como bandejas porta cables de potencia y control.

#### 2.2.12.6 Ascensores de la casa de maquinas

Para la movilización del personal de la central entre los diferentes pisos de la casa de máquinas, se dispondrá de dos ascensores verticales aptos para el servicio continuo, con parada en ocho niveles de piso, desde el nivel 190,90 msnm, correspondiente al piso donde se ubican la planta de tratamiento de agua potable y las bombas de vaciado, aspiración y foso de infiltraciones, hasta el nivel 230,00 msnm, donde se ubican las unidades manejadoras de aire acondicionado que sirven al piso principal.

Estos ascensores se ubican en cada costado del edificio de casa de máquinas, que corresponde al bloque de oficinas principalmente. Cada ascensor tendrá una capacidad de 17 KN para movilizar pasajeros, como carga por equipos, en las fases del montaje inicial de la casa de máquinas.

#### **2.2.12.7 Equipos para aire comprimido**

Para las diferentes necesidades de mantenimiento, limpieza, operación de los sistemas de frenos de los generadores, se ha proyectado el uso de aire comprimido. Se ha dispuesto de una batería de compresores tipo tornillo en conjunto con sus tuberías, tanques y sistemas de control y dirección del suministro de aire que permita atender los requerimientos en todos los sitios de operación y maniobras de mantenimiento.

En el proyecto hidroeléctrico Ituango el sistema de aire comprimido distribuirá el aire por cada uno de los pisos técnicos de la casa de máquinas, esto es; el piso de generadores, el piso de turbinas, piso de enfriamiento, galería de drenajes, la caverna de transformadores y la almenara aguas abajo, a través de un circuito cerrado de tuberías de distribución que alimentarán tomas para los diferentes usos.

De acuerdo a la distribución de los diferentes pisos, la arquitectura de la casa de máquinas y los espacios disponibles, el trazado de las tuberías de suministro se dispuso en anillos o circuitos cerrados, y circuitos ramificados para el suministro en los puntos remotos y de difícil ejecución en anillos.

#### **2.2.12.8 Sistema de protección contraincendio.**

El sistema de protección contra incendio previsto para el Proyecto Hidroeléctrico Ituango está fundamentado en la normatividad de la NFPA (National Fire Protection Association), la cual en términos generales, tiene los siguientes tres objetivos frente al peligro de incendio:

- Proteger las vidas humanas
- Proteger la integridad de las instalaciones, maquinaria y equipos

- Garantizar la continuidad de las operaciones

Últimamente la normatividad NFPA esta incluyendo la protección del ambiente como un cuarto objetivo.

El control del peligro de incendio tiene dos componentes básicos: prevención y protección. Los sistemas de protección contra incendio pueden ser pasivos, tales como los muros cortafuego o activos como por ejemplo los sistemas de extinción con agua. Estos últimos pueden ser automáticos como los rociadores (sprinkler) o requerir la intervención humana para operar, como en el caso de los hidrantes.

Las previsiones dirigidas a controlar el peligro de incendio en las diferentes zonas del Proyecto Hidroeléctrico Ituango contemplan, además de los medios físicos, la necesidad de futuras acciones administrativas, en la etapa de producción de la central hidroeléctrica, relacionadas con los programas de prevención de incendios, los planes de emergencia y la organización de una brigada contra incendios.

En cuanto a la protección contra incendio se distinguen las siguientes zonas:

#### 2.2.12.8.1 Campamentos de propiedad de EPM-Ituango

Serán protegidos mediante una red de hidrantes y sistemas de rociadores automáticos en los edificios. También se instalarán extintores portátiles distribuidos estratégicamente. El almacenamiento de agua necesario para el sistema contra incendio de los campamentos es de 273 m<sup>3</sup> y se ha previsto común con el almacenamiento para el acueducto, de manera que en total se almacenarán 600 m<sup>3</sup> de agua tratada en el nivel 567 msnm. El agua se tomará de la quebrada Tacui. La red principal que alimentará los hidrantes y los sistemas de rociadores en los edificios será enterrada con trayectoria paralela a las vías internas del campamento. La alimentación de los sistemas de rociadores y de la mayoría de los hidrantes será por gravedad. Los hidrantes ubicados en la zona superior del campamento serán alimentados mediante una bomba diesel.

#### 2.2.12.8.2 Zona de almacenamiento

Para el almacenamiento de los equipos mecánicos, hidromecánicos (compuertas), eléctricos y electrónicos durante las etapas de montaje y operación de la central se ha previsto la construcción de dos bodegas con áreas de 3.300 m<sup>2</sup> y 3.600 m<sup>2</sup> y un almacén con un área de 3.000 m<sup>2</sup>.

Los tres edificios para almacenamiento de equipos estarán ubicados al oriente de la presa, a la cota 470 msnm. Para la protección contra incendios de las bodegas y el almacén, se ha previsto un sistema de rociadores automáticos. Adicionalmente se instalarán extintores portátiles adecuadamente distribuidos.

En cercanías de la zona de bodegas y almacén existe una quebrada que se ha identificado como una fuente confiable de agua para el sistema de extinción de incendio en las bodegas, el almacén y la subestación de construcción. Se ha previsto ubicar dos tanques para agua, con capacidad de 200 m<sup>3</sup> cada uno, en la cota 563 msnm, para el sistema de protección contra incendios. También se ha previsto que los

dos tanques alimenten además el sistema de acueducto para esas zonas, manteniendo una reserva suficiente exclusiva para el sistema contra incendios.

La conducción desde el tanque hasta la plazoleta de bodegas y almacén se hará a lo largo de una vía con longitud de 700 m aproximadamente. Se ha escogido la ruta de la tubería a lo largo de la vía en vez de un trazado más directo, debido a la facilidad de acceso y a la mayor estabilidad del terreno a lo largo de la vía.

#### 2.2.12.8.3 Central subterránea

Los generadores y los transformadores se protegerán mediante sistemas a base de agua pulverizada del tipo automático de diluvio. Los tableros eléctricos críticos se protegerán con sistemas de extinción a base de CO<sub>2</sub>. Las unidades oleo hidráulicas, el cuarto de control, los túneles de cables y las oficinas se protegerán con sistemas de rociadores automáticos. Para abastecer los sistemas de extinción a base de agua de la casa de máquinas se ha previsto un almacenamiento con volumen total de 900 m<sup>3</sup> en dos tanques cilíndricos con capacidad de 450 m<sup>3</sup> cada uno. Los tanques se ubicarán como mínimo en la cota 300 msnm, afuera de la central subterránea, con el fin de garantizar la presión necesaria mediante alimentación por gravedad. La tubería entre los tanques y la casa de máquinas será de doble línea.

Está prevista la instalación de un sistema de extracción de humos para extraer los humos que se originen durante un incendio en la casa de máquinas o en la caverna de transformadores.

La central subterránea estará protegida con un sistema de alarma manual, con sistema de notificación por voz y con un sistema de comunicación de dos vías.

Habrán dos vías de evacuación independientes y los principales riesgos estarán sectorizados mediante muros cortafuego.

#### **2.2.12.9 Compuertas para los tubos de aspiración**

Para llevar a cabo la puesta en servicio de las unidades y posteriormente la inspección y el mantenimiento de las turbinas, sin afectar la plena operación de las otras unidades, se han previsto un total de ocho compuertas con sus respectivas guías y asientos para ser instaladas en cada una de las salidas de los tubos de aspiración a las almenaras, de tal forma que se pueden vaciar el respectivo túnel de aspiración, el cono de descarga, y los pasajes de agua del rodete de la turbina. Así mismo, para el caso en que sea necesario inspeccionar o realizar trabajos en las almenaras o túneles de descarga, se dispondrá de compuertas tipo “stop-log” para su instalación en las estructuras de salida de estos túneles. Es de destacar que estas últimas compuertas serán las mismas previstas para el mantenimiento de las compuertas radiales del vertedero, descrita más adelante bajo el título “Compuertas auxiliares para el vertedero”.

Por las grandes dimensiones de los vanos de las compuertas, 10,5 m de ancho x 8 m de altura, se previó la fabricación en 3 cuerpos de 2,8 m de altura cada uno, para facilitar su manejo, ensamble e instalación con una grúa móvil desde el fondo de la almenara. Las compuertas ensambladas se manejarán desde el piso de operación de

la almenara con ayuda de un servomotor hidráulico dedicado para cada compuerta, las cuales se mantendrán almacenadas en un piso de mantenimiento, debajo del piso de operación. Un sistema de entramamiento mantendrá la compuerta suspendida en las guías sin necesidad de estar permanentemente sujetadas por el servomotor.

### **2.2.13 Equipos hidromecánicos**

A continuación se describen los diferentes equipos hidromecánicos requeridos por el proyecto.

#### **2.2.13.1 Compuertas para túneles de desviación**

El cierre de cada uno de los túneles de desviación se hará mediante dos compuertas, en paralelo, de 7,6 m de ancho y 14,4 m de alto, cuya presión normal de diseño es de 201 m.c.a. El tipo de compuerta es vertical plana con ruedas de guía, no de carga, para facilitar su colocación contra flujo. La operación de las compuertas se hará por medio de un servomotor de simple efecto.

Como se señaló anteriormente al describir las obras civiles de desviación, antes del cierre definitivo, el túnel No 1 (izquierdo) se cerrará provisionalmente para permitir la construcción de una cámara de operación y el montaje de dos compuertas adicionales en un punto cercano a la mitad de la longitud de dicho túnel. Dichas compuertas trabajarán como descarga de fondo inferior mientras se llena el embalse hasta llegar al nivel del túnel de descarga intermedia, de tal manera que se pueda evacuar, durante la primera etapa del llenado, un caudal ecológico de compensación al lecho del río estimado en 450 m<sup>3</sup>/s. El túnel de desviación izquierdo será clausurado definitivamente cuando entre en operación la descarga de fondo intermedia.

#### **2.2.13.2 Compuertas para descargas de fondo**

##### **2.2.13.2.1 Descarga de fondo inferior**

Como se indicó anteriormente, en el túnel de desviación N° 1 se instalarán dos compuertas deslizantes, en paralelo; cada una de éstas cerrará un vano de 3,0 m de ancho por 3,9 m de altura para una presión de diseño de 214 m.c.a, y serán utilizadas en la fase inicial del llenado del embalse para garantizar el caudal ecológico. Durante la construcción de la respectiva cámara de operación y para la instalación de estas compuertas, se cerrará el túnel mediante la operación de las compuertas en la entrada de la desviación. Una vez instaladas y probadas las compuertas de descarga de fondo, se abrirán nuevamente las compuertas de la desviación para que el túnel quede operativo por el resto del programa de construcción de la presa.

##### **2.2.13.2.2 Descarga de fondo intermedia**

A la cota 260 msnm, 41 m por encima de los túneles de la desviación, se construirá el túnel para la descarga de fondo intermedia, el cual estará equipado con dos compuertas radiales de servicio y dos compuertas deslizantes de guarda de las radiales. Las compuertas deslizantes están previstas para que operen con presiones equilibradas, pero tendrán la capacidad de cerrar contra-flujo en caso de atoramiento o

daño de la respectiva compuerta radial. El manejo de las compuertas será por medio de servomotores hidráulicos de doble acción.

Las dimensiones del vano de las compuertas serán 3,0 m de ancho por 3,9 m de altura y la presión de diseño de 170 m.c.a, tanto para las compuertas radiales como para las compuertas deslizantes.

Cuando el embalse esté lleno hasta la cota 403 msnm de la cresta del vertedero, el caudal ecológico de 450 m<sup>3</sup>/s, será proporcionado por medio de la descarga de fondo intermedia, mientras entre en operación la central o cuando, por cualquier motivo, un número de máquinas se salga del sistema, de tal forma que el caudal turbinado por las máquinas en servicio no alcance a compensar el caudal requerido al lecho del río. La operación de las compuertas deberá ser automatizada.

### **2.2.13.3 Rejas coladeras para la captación**

Cada una de las captaciones estará provista de un sistema de rejas coladeras que forman un marco en un mismo plano, compuesto por ocho módulos de rejas de 4,7 m de ancho por 6,0 m de altura. El propósito de las rejas coladeras es impedir el paso de basuras, residuos forestales y otros materiales sólidos en suspensión hacia la conducción y evitar daños en los componentes de la turbina. Cada módulo de rejas coladeras está compuesto por un conjunto de barras verticales de sección rectangular, reforzada y apoyada transversalmente sobre elementos horizontales de mayor sección, los cuales transmiten la carga a los asientos laterales. Se ha minimizado la posibilidad de rotura o vibración severa mediante el uso de criterios de diseño dinámico, con velocidades de flujo lentas y cálculos estructurales conservativos.

La separación libre entre varillas verticales se ha estimado en 165 mm y la velocidad promedio a través de las rejas de 1,0 m/s.

### **2.2.13.4 Compuertas para la captación**

En cada uno de los túneles de conducción superior, entre la estructura de captación y el pozo vertical de presión, se construirá otro pozo vertical para la instalación de la compuerta de cierre de la conducción, denominado pozo de compuertas.

De acuerdo con los correspondientes diseños de la obra civil, se construirá una galería subterránea para tener acceso a los pozos de compuertas 5 a 8. En el caso de los pozos 1 a 4, los más al norte, el acceso será sobre una plazoleta. Ambos accesos sobre la cota 435 msnm. Sobre cada una de las ocho aberturas de pozo, se instalará un servomotor, para manejar las compuertas de cada conducción. Cada conducción se ha previsto con una sola compuerta de 4,7 m de ancho por 6,7 m de altura, en el respectivo pozo. Cada compuerta estará compuesta de dos cuerpos, cada uno de 3,35 m de altura, con el fin de facilitar su manejo y limitar la altura requerida de la galería. Estas compuertas serán del tipo plana con ruedas-guía. Su operación normal será con presiones equilibradas pero se han previsto situaciones de cierre de emergencia, por lo que se requiere que la compuerta sea apta para cerrar contra-flujo.

### **2.2.13.5 Compuertas radiales para el vertedero**

El vertedero contará con cinco compuertas radiales, de 15,0 m de ancho y 19,5 m de altura, con diseño del tipo asistido en apertura por actuadores hidráulicos acoplados a la cara aguas abajo de la membrana. Tres de las compuertas estarán equipadas con una solapa superior, de accionamiento también hidráulico como la compuerta misma, para descargar periódicamente el material flotante del embalse. Así mismo, las compuertas desempeñarán funciones de regulación automática de nivel, en el caso de que se presenten crecientes de gran magnitud y controlar, así, su tránsito por el embalse.

#### **2.2.13.5.1 Compuertas auxiliares para el vertedero**

Para propósitos de mantenimiento de las compuertas radiales, se han previsto compuertas del tipo “stop-logs”, conformadas por 19 módulos independientes horizontales. Las dimensiones finales de esta compuerta son similares a la proyección horizontal de la compuerta radial, y se operará mediante grúa móvil desde el puente vial del vertedero. Los mencionados módulos servirán como mecanismo de cierre en las salidas de los túneles de descarga de la central.

### **2.2.14 Equipos eléctricos**

A continuación se describen los diferentes equipos eléctricos requeridos por el proyecto y sus características eléctricas y mecánicas principales

#### **2.2.14.1 Generalidades**

El Proyecto constará de ocho unidades, configuradas en un esquema que posiblemente se desarrollará en dos etapas, cada una de cuatro unidades.

Cada unidad consiste en un grupo Generador - Banco de transformadores monofásicos, conectados entre sí con barras del tipo de fase aislada. Desde el lado de alta tensión de los transformadores, se tendrá la conexión con cables aislados en XLPE para 500 kV, instalados a través de un túnel de cables, hacia una subestación encapsulada en SF<sub>6</sub>, localizada en la plazoleta del túnel de salida de cables que será la subestación del STN.

Se ha seleccionado una configuración de interruptor y medio para la subestación del STN, de donde partirán las líneas aéreas que harán parte del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Como resultado del estudio de conexión, se recomienda la salida de cinco circuitos de 500 kV, atendiendo a criterios de flujo de cargas y de estabilidad en el sistema. Los circuitos recomendados son:

- Dos hacia la subestación Cerromatoso.
- Dos hacia la subestación Primavera.
- Uno hacia la subestación San Carlos.

### 2.2.14.2 Generadores

La Tabla 2.9, se muestran las características básicas de los generadores seleccionados para el Proyecto.

**Tabla 2.9 Características básicas de los generadores**

Número de generadores	8
Potencia activa, (MW)	302
Factor de potencia	0,90
Potencia aparente, (MVA)	336
Voltaje, (kV)	18
Velocidad (min-1)	180

Fuente: Consorcio Generación Ituango

Los generadores serán de eje vertical, con enfriamiento por aire en circuito cerrado con intercambiadores agua-aire. El circuito de agua de enfriamiento consiste en uno de ciclo cerrado de agua tratada, enfriada a su vez con un sistema de agua cruda de ciclo abierto.

La configuración de los cojinetes de la unidad comprende un cojinete de empuje soportado sobre la tapa de la turbina, un cojinete de guía superior en el generador y un cojinete de guía en la turbina. Esta configuración permite obtener una reducción de espacio para la ménsula del cojinete de empuje, con la consecuente reducción en la dimensión vertical de la unidad.

El equipo de excitación para cada unidad será estático a base de tiristores, alimentado por un transformador de potencia, trifásico, tipo seco y conectado a las barras principales de potencia. Tendrá un interruptor bipolar de campo, una resistencia de descarga y un equipo estático de protección contra sobrevoltajes (crow-bar).

El neutro de los generadores estará conectado a tierra a través de un transformador de distribución seco, monofásico y una resistencia en el lado secundario del transformador. De allí se tomará la señal para la protección de falla a tierra del generador. El conjunto transformador - resistencia tendrá las características necesarias para limitar a un máximo de 21A la suma fasorial de las corrientes capacitivas y resistivas de falla a tierra y permitir la acción rápida de los relés de protección para sacar la máquina de servicio en el momento de la falla.

Las dimensiones del generador seleccionado se presentan en la **Tabla 2.10**

**Tabla 2.10 Resultados del dimensionamiento de los generadores**

Diámetro de rotor (Dg), m	9,0
Longitud del núcleo (Lc), m	2,70
Coefficiente de salida	8,6
Relación Y (Lc/Pp), (1.75<Y<4.0)	3,79
Diámetro exterior del recinto, m	14,30
Distancia entre tapas del generador, m	5,60
Peso estimado del rotor del generador, Mn	5,21
Momento de inercia de la unidad incluidos la turbina y el generador, GD2, MN-m <sup>2</sup>	311

Fuente: Consorcio Generación Ituango

### 2.2.14.3 Barras

Las barras serán del tipo de fase aislada y tendrán una capacidad continua de corriente de 15.000 A. Tendrán aisladores de resina o porcelana, ductos de aluminio y conductor de cobre o aluminio, y se calcularán para soportar las corrientes de cortocircuito de la máquina, más la contribución del sistema al cual estarán conectadas.

Las barras de conexión entre el generador y el banco de transformadores tendrán las características presentadas en la Tabla 2.11, basados en un voltaje del generador de 18 kV.

**Tabla 2.11 Características de las barras**

Tipo	Barras de fase aisladas
Corriente/fase, (A)	12 000
Voltaje de aislamiento, (kV)	18
Corriente de cortocircuito estimada en barras principales, (kA)	80
Corriente de cortocircuito estimada en derivaciones, (kA)	130

Fuente: Consorcio Generación Ituango

Las barras se dispondrán sobre las galerías que comunican al frente de cada unidad, la caverna de los generadores con la caverna de transformadores. En la disposición se tiene en cuenta el espacio para la formación de la delta en la conexión de los bancos de transformadores y las derivaciones para la excitación y para los transformadores de servicios auxiliares.

### 2.2.14.4 Bancos de transformadores

Cada generador estará conectado a un banco de tres transformadores monofásicos, con la capacidad correspondiente a la potencia del generador y para un aumento de temperatura de 65°C. La razón principal para seleccionar un banco de transformadores monofásicos por generador en lugar de transformadores trifásicos, es la limitación de peso y dimensiones para su transporte.

En la Tabla 2.12, se presentan las características básicas de los bancos de transformadores monofásicos para cada generador.

**Tabla 2.12 Características básicas de los bancos de transformadores monofásicos**

Potencia total del banco de transformadores, (MVA)	336
Potencia de cada transformador, (MVA)	112
Voltaje baja tensión (kV)	18
Voltaje alta tensión (kV)	$500/\sqrt{3}$
Eficiencia estimada	0,995
Tipo de enfriamiento	OFWF

Fuente: Consorcio Generación Ituango

Los transformadores serán instalados en la respectiva caverna, en celdas independientes separadas por muros cortafuegos y con paneles de cierre.

Para trasladar los transformadores entre la sala de montaje y las celdas y viceversa, se ha previsto el uso de colchones de aire.

Se ha previsto que se dispondrá de un transformador de repuesto, que se alojará en una celda localizada hacia el centro de la caverna, totalmente ensamblado.

Los bujes de baja tensión serán aislados en aire, para conexión a las barras provenientes de los generadores y los de alta tensión serán aislados en SF<sub>6</sub>, para la conexión de los cables secos aislados a 500 kV.

Cada transformador tendrá un cambiador de tomas en el lado de alta tensión, para operar en vacío, con posiciones para +/- 2 x 2,5%.

Peso de los transformadores. Para la capacidad seleccionada de 112 MVA de los transformadores monofásicos, se estima un peso para transporte de 80 toneladas, sin incluir el peso del vehículo.

Dimensiones de los transformadores. Tomando como referencia las dimensiones de transformadores similares, entre ellos los propuestos para la central de Porce III, en la Tabla 2.13, se presentan las dimensiones de los transformadores.

**Tabla 2.13 Dimensiones de los transformadores**

Dimensiones	Para transporte	Ensamblado	Celda
Largo	4,5	3,14	7,7
Ancho	4,8	5,85	7,4
Altura	4,5	6,1	10,0

Fuente: Consorcio Generación Ituango

En el dimensionamiento de las celdas se consideraron los espacios requeridos para montaje, mantenimiento y conexiones de barras de baja tensión y los terminales de alta tensión.

### **2.2.14.5 Cables aislados de 500 kV**

Para la conexión entre los transformadores y la subestación encapsulada, se consideró la instalación de ocho circuitos en cable aislado para 500 kV, del tipo seco, dispuestos a través de un túnel diseñado para este propósito, que parte de uno de los extremos de

la caverna de transformadores hasta un portal de salida, donde se tendrá la conexión de los cables aislados a la subestación encapsulada.

Los terminales interiores de los cables serán aislados en SF6 para acoplarse a los terminales de los transformadores, y los externos se acoplarán a los terminales en SF6 dispuestos en la subestación encapsulada.

Se ha considerado la instalación de un cable de repuesto, de la longitud del circuito más largo.

#### **2.2.14.6 Subestación de 500 kV**

De acuerdo con lo establecido por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) y para obtener máxima confiabilidad, seguridad, flexibilidad, facilidades de mantenimiento y expansión, y teniendo en cuenta la cantidad de circuitos de generación y de salida, se analizaron inicialmente dos alternativas de configuración: doble barra con seccionador de “by-pass” más barra de transferencia y con seccionamiento de barras y la de interruptor y medio; luego se estudiaron diferentes alternativas de subestaciones, de tipo convencional y encapsuladas en SF6 y en diferentes sitios de instalación.

El estudio de las alternativas dio como resultado que la de mínimo costo global para el sistema es disponer una subestación encapsulada en SF6, localizada en el portal de salida del túnel de cables, que a su vez sea la del STN y que permita la definición clara de fronteras de equipos y responsabilidades entre las bahías de conexión de los circuitos de la central y los del sistema de transmisión.

Se seleccionó la subestación de tipo encapsulada en SF6 debido a que, dadas las características topográficas de la zona, disponer de un área cercana para instalar una subestación del tipo convencional, implicaría costos excesivos para la adecuación de los terrenos o, en su lugar, obligaría a extender los circuitos de la central hasta un sitio donde se encuentre un terreno apropiado, lo que, igualmente, incrementaría los costos de las líneas y de las vías de acceso.

Aunque el costo de la configuración de doble barra con barra de transferencia y seccionador de “by-pass” es menor que la de interruptor y medio, se seleccionó esta última debido al número de circuitos, su alta confiabilidad, mayor flexibilidad y simplicidad en la operación para este sistema

La subestación consta de siete diámetros para la conexión de las ocho unidades y cinco salidas de línea hacia el exterior. Se ha previsto el espacio para una futura ampliación de dos circuitos, lo que se puede lograr con un diámetro adicional. En los espacios para la subestación, se han considerado los requeridos para la instalación de los reactores para las compensaciones reactivas de las líneas que lo requieran y para la construcción del edificio de control.

Para disminuir los volúmenes de excavación requeridos para la subestación encapsulada en SF6, se definió su instalación en dos niveles, uno para todo el equipo encapsulado y otro para la instalación de los reactores de las compensaciones de las líneas.

En la Tabla 2.14, se presentan las características generales de la subestación.

**Tabla 2.14 Características generales de la subestación**

Tipo	Encapsulada
Aislamiento	SF6
Número de diámetros	7
Número de circuitos de generación	8
Número de circuitos de líneas	5
Espacio previsto para ampliación	Para 2 líneas adicionales (un diámetro más y espacio para pórticos, reactores y edificio de control)
Voltaje nominal	500 kV, rms
Voltaje máximo	550 kV, rms
Frecuencia nominal	60 Hz
Nivel básico de aislamiento	1.550 kV, pico
Corriente de cortocircuito	40 kA
Corriente nominal de barras	3.500 A, rms

Fuente: Consorcio Generación Ituango

#### **2.2.14.7 Circuitos de distribución a 13,2 kv para energía de construcción y operación**

Estos circuitos estarán conectados a la subestación a 110 kV y algunos de ellos estarán conectados en la primera fase de construcción a la subestación a 44 kV. Básicamente se tienen circuitos para:

- Desviación aguas arriba, pozos de compuertas, captación, descarga intermedia y presa.
- Acceso a descarga intermedia.
- Desviación aguas abajo, túnel de acceso a casa de máquinas, túneles de descarga, circuito de respaldo a servicios auxiliares.
- Pozo de cables, subestación principal.
- Circuito principal de servicios auxiliares.

Estos circuitos tienen una longitud total aproximada de 3 km. Los mismos serán constituidos por estructuras en postes metálicos galvanizados, segmentados para facilitar el transporte, cables conductores ACSR tipo ecológico en configuración de red compacta con cable mensajero, con función de cable de guarda, de acero galvanizado de extra alta resistencia, de acuerdo con las normas para redes aéreas de EPM, y combinación de aisladores tipo suspensión y tipo pin o poste.

#### **2.2.14.8 Servicios auxiliares eléctricos**

El sistema de los servicios auxiliares eléctricos será dividido en servicios auxiliares de las unidades, servicios generales de la central, servicios de corriente continua y servicios auxiliares exteriores.

Los servicios auxiliares de cada unidad estarán conectados a las barras de fase aislada de cada generador y a los servicios generales de la central, y tendrán

capacidad para alimentar las cargas mecánicas y eléctricas requeridas para cada unidad.

Los servicios generales de la central estarán conectados a las barras de fase aislada de los generadores y a la subestación de construcción, mediante dos circuitos diferentes que alimentarán las cargas de la central, y respaldarán los servicios auxiliares de una unidad.

Los servicios de corriente continua estarán conectados a bancos de baterías de 125 V c.d. y a cargadores de baterías, cada uno con equipo de reserva. Las baterías tendrán capacidad para alimentar la excitación de una unidad en el arranque y el alumbrado de emergencia.

Los circuitos externos para los servicios auxiliares generales de la central, provenientes de la subestación de construcción, tendrán un respaldo de una fuente de emergencia alimentada con plantas diesel.

Para los sistemas de control y comunicaciones de la casa de máquinas se dispondrán alimentaciones confiables derivadas de fuentes de potencia ininterrumpibles (UPS).

Los servicios auxiliares exteriores estarán conectados a dos circuitos radiales; uno, proveniente de la subestación de construcción y, otro, de los servicios generales de la central, que alimentan los equipos y la iluminación en túneles, captación, presa y demás áreas exteriores.

#### **2.2.14.9 Línea de energía para construcción de 44 kv**

Esta línea, con una extensión aproximada de 7 km, se deriva de la línea Yarumal - El Valle - Ituango, de EPM, en el sitio de El Bombillo y sigue próxima a la vía industrial construida por la margen izquierda del río Cauca hasta las proximidades del sitio de la presa. Esta línea proveerá energía durante la primera fase de la construcción, hasta la entrada en operación de la subestación definitiva a 110 kV.

La línea está constituida por postes metálicos galvanizados, segmentados para facilitar el transporte, con cables conductores ACSR y cable de guarda de acero galvanizado, configuraciones de estructura en "delta" en un poste y configuración en "H" con dos postes, de acuerdo con las normas para redes aéreas de EPM, con combinación de aisladores de porcelana tipo suspensión y tipo poste.

#### **2.2.14.10 Sistema de control**

El sistema de control de la central será desarrollado con base en una filosofía del tipo distribuido, física y funcionalmente, con niveles jerárquicos, implementada a partir de tecnología digital.

Para el control y la supervisión de la casa de máquinas, subestación de 500 kV, presa y obras anexas se considerarán cuatro niveles jerárquicos de control, así:

- Nivel cero de control. En este nivel se realiza el control directo de equipos primarios, tales como válvulas, motores, interruptores de potencia y de servicios

auxiliares, seccionadores e instrumentos requeridos para realizar el control y la supervisión de la central.

- Primer nivel de control. Este nivel está conformado por los automatismos necesarios para operar el equipo primario. Cada automatismo dispondrá de las secuencias, enclavamientos, señalizaciones, medidas y protecciones necesarias para la operación de los equipos primarios de un modo autónomo, desde dispositivos de control local o a través de órdenes exteriores provenientes de niveles superiores de control.
- Segundo nivel de control. Corresponde al control de los diferentes grupos funcionales existentes en la central (unidades de generación, servicios auxiliares, presa, obras anexas, etc.), los cuales deberán tener funcionamiento autónomo de todo el equipo e interfaz necesarios para realizar el control digital de los equipos del proceso desde los niveles superiores, de forma tal que en el caso de pérdida de comunicación con los niveles superiores, se pueda seguir operando el grupo en forma independiente.
- Tercer nivel de control. Este nivel corresponde al control general de la central. Desde él se deberá supervisar y monitorear en forma global y en tiempo real, la totalidad de la central y los subsistemas que la integran.
- Estará conformado por las estaciones de operación (interfaz hombre-máquina), interfaces para integración al Centro Regional de Despacho (CRD) de EPM, Centro Nacional de Despacho (CND), y servidores para acceso a redes corporativas y para manejo de periféricos (impresoras, etc.), así como también por el software requerido para realizar las funciones de control y supervisión global de la central y de gestión de los equipos y sistemas.
- Físicamente este nivel será instalado en el edificio de control de la central.
- Cuarto nivel. Es el nivel más alto de la estructura de control, el cual corresponde a la integración de la central al Centro Regional de Despacho (CRD) de EPM y al Centro Nacional de Despacho (CND), desde donde se supervisará la central según los requerimientos de la CREG. Teniendo en cuenta las buenas características de regulación de las unidades, podrán participar en el Control Automático de Generación (AGC), controladas desde el CND.
- Para la interconexión con el CRD y el CND se requieren las interfaces de comunicaciones respectivas con los correspondientes protocolos, que serán coordinados, de acuerdo con la tecnología y sistemas utilizados en el momento de su implementación.

#### **2.2.14.11 Sistema de protección**

Para la protección del generador, del banco de transformadores y de los cables de conexión con la subestación, se adoptará el concepto de protección principal y de respaldo, diseñado con base en los criterios de fiabilidad, seguridad, selectividad y velocidad de operación.

Los relés de protección y relés auxiliares serán de estado sólido construidos de acuerdo con las últimas técnicas, del tipo digital y cumplirán con los requerimientos del anexo CC4 de la Resolución 025 del 13 de julio de 1995 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

Todos los relés de protección estarán provistos con interfaces de comunicación que les permitan su integración con el sistema de control de la central y para su gestión y supervisión local desde la sala de control de la central, y en forma remota desde las oficinas de EPM. De acuerdo con la tecnología disponible en el momento de la implementación, dicha integración se podrá hacer a través de la misma red del sistema de control o mediante una red de gestión independiente.

El sistema de protecciones incluirá los programas para prueba de los relés de protección y los programas de interfaz con el usuario, necesarios para la configuración y ajustes de los relés.

Los equipos de protección dispondrán de una supervisión continua y de autochequeo, con indicación local y remota, de indisponibilidad del relé.

Los relés de protección que requieran reposición tendrán la posibilidad para realizarla local o remotamente desde el sistema de control de la central.

Las transferencias de disparo y las señales permisivas se transmitirán con equipos de teledisparo a través de enlaces de fibra óptica entre la casa de máquinas y la subestación exterior.

Las redes de datos serán mediante fibra óptica.

#### **2.2.14.12 Comunicaciones**

Para atender las necesidades de comunicación de carácter operativo y administrativo de la central durante las etapas de construcción y operación, se implementarán enlaces de comunicación basados principalmente en sistemas de radio y sistemas de comunicación de fibra óptica.

Las comunicaciones requeridas para la integración de la central al Centro Nacional de Despacho se implementarán de acuerdo con los requerimientos de la CREG en la hoja 31/141 de su Resolución 025 del 13 de julio de 1995.

Para la interconexión de los diferentes sitios del Proyecto como son: presa, vertedero, descargas de fondo e intermedia, captación, casa de máquinas, descarga de la central, subestación, zona de campamentos, almacén, laboratorio, se utilizará cable de fibra óptica, a través de los cuales se efectuarán las comunicaciones operativas y administrativas de la central.

Los sistemas de fibra óptica que se implementen durante la etapa de construcción serán integrados y utilizados en la etapa de operación de la central.

La comunicación de la zona del proyecto con Medellín podrá hacerse en forma directa, empleando enlaces de radio digitales con diversidad de frecuencias o espacio en casa de máquinas, o a través de los sistemas de comunicación existentes en las

poblaciones cercanas, utilizando diversos medios de comunicación, los cuales serán evaluados en su momento.

Adicionalmente, en la línea de energía para construcción que parte del municipio de Yarumal hacia el Proyecto, se instalará un cable del tipo OPGW, por el cual se podrán establecer las comunicaciones administrativas y operativas con los sitios remotos, integrándose a la infraestructura de comunicaciones que posee EPM en la subestación de Yarumal.

Para el diseño de las redes de voz y datos (red corporativa) del edificio de control de la central, de los edificios de oficinas y administración y almacenes se utilizará el concepto de cableado estructurado o redes inalámbricas, de acuerdo con el estado tecnológico.

El diseño del sistema se realizará con una topología tipo estrella y se utilizarán los mismos tipos de cables, conectores y adaptadores para los servicios de voz, datos e imágenes. Para la implementación del cableado estructurado se emplearán principalmente los siguientes materiales y equipos:

- Cables UTP y/o fibra óptica
- Cables terminales en conectores
- Elementos de administración
- Sistemas de distribución de cableado

Para las comunicaciones de voz requeridas para la central, durante las etapas de construcción y operación, se instalará una planta telefónica de tecnología digital mediante la cual, empleando módulos remotos, se prestará el servicio telefónico requerido para el Proyecto. Utilizando un módulo de transmisión de datos, dicha planta será conectada, a través del sistema de microondas y/o fibra óptica, con la red telefónica de las Empresas Públicas de Medellín.

El diseño del sistema de comunicaciones se realizará teniendo en cuenta normas y publicaciones nacionales e internacionales aplicables y reconocidas para estos tipos de sistemas, tales como EIA/TIA, ANSI/ICEA, ASTM, ANSI/IEA/TIA, IEC, ITU-T, etc.

### **2.2.15 Campamentos, bodegas y almacenes**

A continuación se presenta una breve descripción de los campamentos que hacen parte del Proyecto.

#### **2.2.15.1 Generalidades**

Los campamentos para EPM-Ituango hacen parte del Proyecto Hidroeléctrico Ituango y servirán para el alojamiento del personal que supervisará la construcción de las obras y el montaje de los equipos electromecánicos principales, y posteriormente, los utilizará el personal que operará la central. Igualmente, se tendrá la zona de trabajos, que comprende las oficinas, el laboratorio, centro médico completamente dotado, el edificio de administración y logística y el taller de servicios automotores. Por otra parte, en la

etapa inicial, parte de los campamentos serán utilizados por el contratista de las obras civiles principales, durante la construcción de sus campamentos.

Igualmente, los diseños de las bodegas, almacén y taller metalmeccánico están incluidos en este lote, aunque su localización es en la zona adyacente a la subestación principal.

### **2.2.15.2 Elaboración de los diseños**

Los diseños de los campamentos para EPM-Ituango se basaron en el Informe de Diseño Conceptual, el cual hizo parte del contrato de diseño de las vías de acceso al Proyecto.

El diseño conceptual, a su vez, se basó en diseños anteriores, efectuados en los diferentes estudios de factibilidad, en los cuales se consideraron varias capacidades instaladas para la central, que, consecuentemente, requerían distintas cantidades de personas a atender. Por otra parte, también se tuvieron en cuenta diseños de campamentos recientes.

Los diseños se efectuaron en las siguientes áreas:

- Diseños urbanísticos, correspondientes a parqueaderos, arborización y paisajismo, andenes, etc. Los diseños de las vías internas y de las explanaciones sólo se efectuaron para las bodegas y almacén, pues los de los campamentos de EPM-Ituango hicieron parte de las vías de acceso al Proyecto.
- Diseños arquitectónicos, con la localización y disposición de las edificaciones, definición de acabados, muros, pisos, techos, instalaciones hidrosanitarias interiores, salidas de emergencia, etc.
- Diseños estructurales, considerándose muros no estructurales, con estructuras metálicas para los techos, y columnas metálicas.
- Diseños hidrosanitarios correspondientes a la red de acueducto de agua potable y de contraincendios, y de tratamiento de aguas servidas.
- Diseños de instalaciones eléctricas, tanto redes exteriores como internas, apantallamiento, iluminación, fuerza, etc.
- Diseños mecánicos, correspondientes a las instalaciones de gas, aire acondicionado y contraincendios, así como a los equipos de los talleres.

### **2.2.15.3 Localización**

- Campamentos de EPM-Ituango. El área de los campamentos de EPM-Ituango está localizada adyacente a la vía El Valle – Puente Pescadero, en la margen izquierda del río San Andrés, a unos dos kilómetros de Puente Pescadero, y a unos 5 km del río San Andrés.
- Almacén y bodegas. El almacén, las bodegas y el taller de metalmeccánica están localizados en la zona adyacente a la subestación principal. También se tiene una

explanación, para patio de almacenamiento de tuberías, en zona cercana a la plazoleta de acceso a la casa de máquinas.

- Campamentos apertura vía Puerto Valdivia – Presa. Se localizarán cinco campamentos a lo largo del proyecto vial los cuales estarán ubicados y distribuidos de la siguiente manera:
  - Campamento en Puerto Valdivia: en esta zona se localizarán dos sitios para campamentos, los cuales funcionarán alternos, uno en la finca Las Zorras, el cual de acuerdo con el avance de las obras debe ser trasladado para La Guamera.
  - Campamentos en Briceño. Aquí se ubicarán tres campamentos, los cuales estarán localizados en las veredas Palestina, Gurimán y en terrenos de la finca Capitán.
  - Campamento en Ituango: en este municipio se ubicará un campamento en la finca conocida como Humagá.

#### **2.2.15.4 Descripción de las zonas**

- Campamentos de EPM-Ituango. La zona de los campamentos es de forma triangular, de terreno pendiente, pero que permite la adecuación de las edificaciones requeridas. Las altitudes varían de los 430 a los 600 metros, sitio en el cual se encuentra la bocatoma del acueducto.
  - Las temperaturas medias anuales son mayores a 24°C y las humedades relativas medias anuales, se encuentran entre el 80 y 85%. La precipitación media para la región de Ituango según el IDEAM es de 2.000 mm/año.
  - La zona está limitada al norte con las quebradas Bagal y Tacuí, y al sur con la quebrada Pital. La quebrada Tacuí atraviesa también parte del área, y su caudal se ha aprovechado para surtir los acueductos, tanto de agua potable como de la red contraincendios.
  - La zona al sur de los campamentos, en la cual inicialmente se había ubicado la zona de trabajo, se dejó como reserva.
  - Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD): las planta de tratamientos de aguas residuales domésticas serán modulares prefabricadas.
  - Almacén y bodegas. La zona del almacén y bodegas se encuentra en la margen derecha del río Cauca, a una altitud 500 m, en una faja arriba de la vía de acceso a la subestación principal. El acceso es por la vía anterior, y por un tramo de la vía industrial que lleva a los botaderos.
- Campamentos apertura vía Puerto Valdivia – Presa
  - Campamento Puerto Valdivia (La Zorra y La Guamera). En este campamento se albergará personal obrero (200 personas) y personal supervisores (50 personas).

Vivienda para obreros: se requieren cuatro edificios en dos niveles de 28 alcobas para poder albergar 56 personas por edificación, lo que en total daría para alojar en este espacio 224 personas.

Vivienda para supervisores: se requiere un edificio en dos niveles de 24 alcobas para poder albergar un total de 48 personas.

- Campamentos Palestina y Gurimán. En cada uno de estos campamentos se albergará personal obrero (56 personas) y personal supervisores (24 personas).

Vivienda para obreros: se requiere para cada uno de los campamentos un edificio en dos niveles de 28 alcobas, este debe contar con alcobas para dos personas y servicios sanitarios colectivos.

Vivienda para supervisores: se requiere para cada uno de los campamentos un edificio en un nivel de 12 alcobas para poder albergar un total de 24 personas, este edificio debe contar con alcobas para dos personas y servicios sanitarios por cada dos alcobas.

- Campamentos Capitán y Umagá: En cada uno de estos campamentos se albergará personal obrero (36 personas) y personal supervisores (16 personas).

Vivienda para obreros: se requiere para cada uno de los campamentos un edificio en un nivel de 18 alcobas, este debe contar con alcobas para dos personas y servicios sanitarios colectivos.

Vivienda para supervisores: se requiere para cada uno de los campamentos un edificio en un nivel de 8 alcobas para poder albergar un total de 16 personas, este edificio debe contar con alcobas para dos personas y servicios sanitarios por cada dos alcobas.

### **2.2.15.5 Diseño conceptual**

Campamentos de EPM-Ituango. En el diseño conceptual de los campamentos de EPM-Ituango se planteó una distribución con cuatro zonas, a saber: viviendas individuales, para los directivos; viviendas en bloques de edificios, con su respectivo casino, para el personal profesional; viviendas en bloques, con su casino, para el personal no profesional, y área de trabajo, conformada por las oficinas, laboratorio y estación de servicio para vehículos.

En la parte norte se localizaron las viviendas para el personal profesional, tanto las individuales como los bloques. En la zona superior, las viviendas para el personal no profesional, y en la parte sur, el área de trabajo.

Todas las edificaciones se contemplaron de un solo nivel.

Se consideraron dos vías de acceso, con sus respectivas porterías, con el fin de tener mayor flexibilidad en la movilización de los vehículos, así como para aislar mejor la zona de trabajo de las viviendas.

### **2.2.15.6 Manejo de aguas residuales domésticas e industriales**

Para el manejo de aguas residuales domésticas e industriales se realizarán tratamientos por medio de trampas de grasa, desarenadores y plantas que permitirán

la disminución de la carga contaminante del agua residual y el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

Debido a las características de la población y los campamentos se recomienda el diseño e instalación de un sistema de alcantarillado simplificado no convencional teniendo en cuenta para su diseño y construcción consideraciones que permiten reducir el diámetro de los colectores, reducir el número de pozos de inspección o sustituir por estructuras más económicas.

Para su tratamiento es necesaria la implementación de trampas de grasas y plantas de tratamiento compacto.

La quebrada Tacuá abastecerá el campamento de EPM-Ituango para consumo humano y red contra incendio.

### **2.2.15.7 Manejo de residuos sólidos proveniente de las actividades del proyecto**

Los residuos sólidos que surjan de las diferentes actividades de proyecto hidroeléctrico Ituango, serán dispuestos en el relleno sanitario diseñado para este.

Para el manejo de los residuos sólidos se solicitó en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), aprobado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), bajo Resolución 155 de enero de 2009 licencia ambiental para ubicar dos rellenos sanitarios en las coordenadas mostradas en la Tabla 2.15.

**Tabla 2.15 Coordenadas rellenos sanitarios**

<b>Rellenos sanitarios</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Relleno Sanitario, cola del embalse	1.153.147	1.274.288
Relleno Sanitario, Zona de obras	1.134.229	1.235.875

Fuente: Consorcio Generación Ituango

En los diseños detallados, se identificó la inviabilidad de estos sitios, lo que obligó la evaluación de nuevos sitios para este. Los nuevos sitios propuestos se presentan en la Tabla 2.16.

**Tabla 2.16 Coordenadas nuevos sitios seleccionados**

<b>Nombre</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Caparrosa 1	1.154.947	1.273.729
Caparrosa 2	1.154.257	1.273.852
Bolivia	1.154.233	1.277.919

Fuente: Consorcio Generación Ituango

Los residuos a disponer en los rellenos sanitarios serán residuos de tipo ordinarios, comunes o inertes; estos son desechos no susceptibles de aprovechamiento y/o reutilización y cuyo fin último más adecuado es ser dispuestos en un relleno sanitario. La procedencia de los desechos será de tipo doméstico. Los residuos peligrosos deberán ser excluidos del relleno sanitario de residuos sólidos de sitio de obras, para proteger las aguas subterráneas de la contaminación, incompatibilidad con otros materiales del relleno y por constituir un impacto negativo a la tratabilidad del lixiviado.

La gestión y el manejo de dichos residuos deben hacerse de acuerdo a lo establecido en el Plan de manejo ambiental de residuos sólidos, que se detalla en el Capítulo 7 Plan de Manejo Ambiental.

#### 2.2.15.7.1 Relleno Sanitario

Los residuos sólidos provenientes del Campamento EPM-Ituango, serán dispuestos en el relleno sanitario que se construirá de acuerdo a los siguientes parámetros de diseño (ver Tabla 2.17).

**Tabla 2.17 Parámetros de diseño del relleno sanitario**

Parámetros	Valoración
Número de habitantes	7.300
Vida Útil	9 años
PPC (Kg/hab-día)	0,45
Producción de residuos	1200 t/año
Tipo de Relleno	Combinado (Área y trinchera)
Fondo	Impermeabilización en arcilla y geomembrana
Capacidad total	12.000 m <sup>3</sup>
Densidad de Compactación	0.5 ton/m <sup>3</sup>
Densidad sin Compactar	300 Kg/m <sup>3</sup>
Manejo de Gases	Mediante usos de chimeneas
Manejo de lixiviados	Recirculación

Fuente: Consorcio Generación Ituango

El tipo de relleno planteado en un tipo combinado (área y trinchera), de acuerdo a la selección de los dos puntos para el estudio detallado.

La altura máxima del relleno será aproximadamente de 15 m de altura, con una pendiente en sus taludes de 3H:1V.

El relleno contará con sistemas de impermeabilización de fondo en arcilla compactada y geomembrana, dicha impermeabilización garantizará un aislamiento con el suelo.

El material de cobertura intermedio corresponde a un material de préstamo que cumpla las condiciones de impermeabilización y estabilidad del terreno, este será extraído de las zonas de préstamo del Proyecto que se encuentren más cerca a cada sitio.

Con respecto al manejo de lixiviados se propone conducirlos por medio de filtros tipo espina de pescado, hasta un colector final que los conducirá hasta la planta de tratamiento, donde se realizará el tratamiento de descontaminación del agua.

Las chimeneas de extracción de biogás se empezarán a construir a partir del momento de entrada en operación del relleno. Dichas chimeneas contarán con todas las especificaciones técnicas para su construcción y se ubicarán sobre los vértices de una retícula de 20 x 20 metros, estas serán en tubería perforada con sellamiento en arcilla y los acoples necesarios para la conducción del gas hasta la superficie.

- Diseño de las celdas. Se propone emplear pendientes de 18% usando taludes 3H:1V, con el fin de garantizar la estabilidad del sistema y lograr un mejor aprovechamiento del espacio disponible, permitiendo así la circulación de la maquinaria y la adecuada compactación de los residuos.

- Material de cobertura. El material de cobertura intermedio para la celda consta de una capa de 0,10 m y los residuos se disponen en 2 capas de 0,20 m y se compactan, sumando en total 0,50 m.

Se debe garantizar además una semipermeabilidad a los lixiviados no solo en la parte superior de manera horizontal, sino también conexiones entre una capa y otra empleando filtros longitudinales construidos con grava o gaviones que actúan como filtros verticales, estos serán elaborados con malla de alambre de diámetro 1/8" y eslabón cuadrangular de 2", tubería PVC perforada y canto rodado de diferentes diámetros.

- Sistemas de drenaje. Cumplen la función de interceptar las aguas de escorrentía y las superficiales.

Las obras a construir se describen a continuación:

- Las rondas de coronación serán cunetas en geomembrana y mortero de sección trapezoidal.
- Las cunetas temporales serán tipo vial de sección triangular y se conducirán a la fuente de agua más cercana para realizar su descarga.
- Sistema de impermeabilización del fondo del relleno. La impermeabilización que se contempla para el relleno será de tipo mixta y se realizará de la siguiente manera:
  - El terreno deberá ser descapotado (libre de raíces y material pétreo).
  - Se pondrá una capa de 0,20 m de arcilla seleccionada, como base de la geomembrana y en caso de rotura servirá como protección.
- Evaluación de biogás. Para el relleno se proyectan filtros con función de chimeneas, estos tendrán el mismo método constructivo de los gaviones, por lo que el sistema de recolección y evacuación de gases será una red de gaviones que se construirán vertical y horizontalmente en toda el área de influencia del relleno.

Los filtros horizontales estarán interconectados a los sistemas de recolección de lixiviados, mientras que los verticales tendrán el mismo sentido de avance de las plataformas y se elevarán a medida que avanza la disposición.

- Tratamiento de lixiviados. Los lixiviados se van a recolectar a través de un sistema de filtros longitudinales en las celdas y en la terraza, que luego son descargados a unas cajas ubicadas al final de cada celda y conducidos de ahí por tubería a un tanque principal, desde donde se hará el proceso de recirculación, toda la circulación de lixiviado en el relleno se hará por gravedad y la recirculación por bombeo. En las celdas y al nivel de todo el fondo de la terraza se construirá un filtro principal para la recolección de lixiviados, el filtro tiene una sección transversal de 0,50 m x 0,50 m recubierto con un geotextil no tejido NT2500 que se traslapa 0,30 m, la pendiente mínima longitudinal del filtro es de 3%, se puede observar la forma de empalme del filtro a una caja de concreto, y de ahí a través de una tubería, que tiene la función de llevar los lixiviados hasta el tanque de acumulación de lixiviados.

Todo el sistema de recolección de lixiviados, se debe construir antes de entrar en operación el relleno

La recirculación de lixiviado es la alternativa propuesta para el tratamiento de lixiviados para los rellenos seleccionados, las razones que llevaron a esta elección son las condiciones de temperatura que tiene la zona, donde es fácil de usar por las altas temperaturas, que permiten una eficiente evaporación. Para la recirculación se usará un sistema de bombeo, que a través de mangueras lleva el lixiviado hasta los aspersores ubicados en los sitios marcados en el plano de diseño , la función del aspersor es expandir el lixiviado hasta saturar el sitio en un radio de aproximadamente 10 m. La recirculación se realiza con el objetivo de disminuir la cantidad de lixiviados almacenados en el tanque a través de la evapotranspiración.

**Equipos para recirculación de lixiviados**

Para la labor de recirculación se va a usar un sistema de aspersores y bombeo, los cuales deberán ser plásticos y hechos en un material apto para trabajar con aguas acidas, se debe usar un aspersor de turbina o similar, con tobera de 4.5 mm, presión de operación de 2.07 bar, radio de riego de 9.75 m y caudal de 15.90 l/min y la bomba será de superficie o caracol, con un caudal =1.03 l/s y una cabeza dinámica o NPSH = 41 m.c.a (La bomba puede ser una Pedrollo modelo CPM225/200B de 3HP, aunque se pueden evaluar las mejores opciones de acuerdo con la capacidad requerida y las ofertas del mercado)

**2.2.15.8 Diseños civiles y arquitectónicos**

- Campamentos de EPM-Ituango. Los criterios de diseño considerados para los campamentos fueron los siguientes:
  - El área deberá ser suficiente para albergar todas las viviendas, casinos, áreas relacionadas y áreas de trabajo, de modo que se pueda adecuar el terreno sin volúmenes excesivos de excavaciones.
  - La zona para los campamentos debería estar cercana a las obras principales de la central, para tener poca movilidad de las personas. Igualmente, debía estar cerca de alguna vía existente o próxima a construir, para tener una vía corta de acceso.
  - Se tendrían edificaciones de un solo nivel, en lo posible.
  - La zona debería tener una fuente de agua cercana, para el suministro de agua potable, en lo posible por gravedad.
  - Las aguas residuales domésticas provenientes del campamento de EPM-Ituango serán vertidas hacia el río San Andrés en las siguientes coordenadas (ver Tabla 2.18).

**Tabla 2.18 Sitio de vertimiento campamento EPM-Ituango**

Coordenadas	
X	Y
1.154.092	1.273.507

Fuente: Consorcio Generación Ituango

- Los materiales de construcción de las edificaciones deberían adoptar un sistema de prefabricación liviana y que permitiera una construcción rápida.
- Las edificaciones deben agruparse en varios conjuntos, o sea de viviendas individuales; viviendas para el personal profesional, con su casino; viviendas para el personal no profesional, con su casino, y zona de trabajo. Además se tendrán otras edificaciones, para las cuales no se tendrá una ubicación definida.
- Las edificaciones y parqueaderos se adecuarán en explanaciones conseguidas con sólo excavaciones, y no tener llenos. El volumen de excavaciones, de las vías y las explanaciones se tiene previsto llevarlos a las zonas de botadero de las vías de acceso.
- Almacén y bodegas. En el lote de campamentos también están incluidos la bodega, el almacén y los patios de almacenamiento. Sin embargo, al comenzar los diseños de los campamentos, se acordó separarlos, determinándose que se localizarán cerca a las obras principales. Se consideró que la zona de la subestación principal será un sitio apropiado para su localización, ya que la explanación podrá utilizarse como patio de almacenamiento, pues la construcción de la subestación se requerirá mucho tiempo después.
- Campamentos apertura vía Puerto Valdivia – Presa

Los campamentos estarán divididos en grupos según su ocupación, comunicados mediante vías vehiculares y senderos peatonales. Para su ubicación se tendrán en cuenta los aspectos paisajísticos, ambientales y de orientación.

- Materiales de construcción y acabados. Los materiales a utilizar deben ser de fácil montaje y desmontaje, además de ser recuperables, reutilizables o reciclables. Se propone adoptar para estas edificaciones un sistema de prefabricación liviana, el cual consiste en paneles metálicos, de madera o de PVC, en lo posible con aislamiento térmico, para cerramientos interiores y exteriores, anclados a una losa de piso de concreto.
- Las cubiertas serán a dos aguas y estarán compuestas por tejas de lámina metálica tipo sándwich, con aislamiento térmico.
- Las puertas y ventanas serán con marcos de aluminio anodizado natural. Las ventanas tendrán vidrios fijos de 4 mm de espesor con varillas de seguridad y malla mosquitero donde se requiera. Las alas de las puertas exteriores serán de aluminio anodizado natural y las interiores de madera.
- Los pisos serán de cerámica y de baldosín cerámico en las zonas de servicios.
- Los aparatos sanitarios serán de porcelana, con sus respectivos accesorios. Las cocinas estarán provistas de poyos con pozuelos de acero inoxidable y muebles de madera para colocar bajo y sobre poyo.
- Servicios sanitarios. El abastecimiento de aguas potable de los campamentos deberá hacerse de una fuente cercana, en lo posible por gravedad.

- Cada campamento contará con sistema de tratamiento de aguas residuales, antes de verter estas hacia la corriente receptora.

- Campamentos para el contratista de las obras civiles principales

Se ha considerado en el lote de campamentos los diseños de viviendas e instalaciones relacionadas, para el personal del contratista de las obras civiles principales, de modo que sirvan para que este pueda acometer la construcción de las obras, sin mayores retrasos. El campamento es para alojar unas 6.200 personas.

Las aguas residuales domésticas provenientes de los campamentos para el contratista serán tratadas mediante un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD).

El manejo de los residuos sólidos proveniente de los campamentos del contratista que no puedan ser aprovechados como el caso de los biodegradables y reciclables, deberán ser dispuestos en un relleno sanitario que cumpla con las especificaciones descritas en el numeral 2.2.15.5.

- Instalaciones consideradas

- ◆ Las instalaciones relacionadas, consideradas en el diseño, fueron las siguientes:

- ◆ Campamentos de EPM-Ituango

Los campamentos de EPM-Ituango se dividieron en dos grupos.

- Grupo 1

- Viviendas para el personal no profesional
- Casino para el personal no profesional, con sus áreas de recreación, tanto interior como exterior (piscina, cancha de baloncesto, cancha múltiple, gimnasio, zona húmeda, etc.).
- Oficinas para el personal de EPM-Ituango, el de la Interventoría, el de la asesoría y el de gestión social.
- Centro de salud.
- Lavanderías menores en las zonas de las viviendas de no profesionales.
- Laboratorio para suelos y concretos.
- Taller de servicios automotores.
- Edificio de administración y de logística de los campamentos, incluyendo una lavandería industrial y depósitos.
- Porterías.
- Brigada contraincendios.
- Sitio de paso de fauna, los cuales deben contar con:

- ◆ Áreas de circulación

- ◆ Alojamiento de animales
- ◆ Barreras para evitar la transmisión de enfermedades
- ◆ En cuanto a su distribución física se recomienda considerar las siguientes zonas:
  - Zona de arribo: sitio donde se reciben los animales
  - Zona de cuarentena: sitio donde se localizan los animales después del arribo para su observación.
  - Cuarto de hospitalización
  - Cuidado de infantes
  - Jaulas o encierros
- Áreas de diagnóstico: incluye los siguientes espacios:
  - ◆ Sala de examen, área de necropsias (de ser necesario), laboratorio clínico (el cual no hace parte del centro de paso pero debe considerarse a través de una clínica veterinaria cercana), laboratorio de patología (ídem al anterior).
  - ◆ Área de servicios: incluye almacenamiento de alimentos y otros insumos.
  - ◆ Biotero (para la cría de animales, para el alimento de especies predatoras, en caso que se requiera mantener especímenes, por períodos de más de 10 días).
- Zona de lavado de jaulas y materiales
- Bodega y área de almacenamiento de desechos o residuos
- Personal requerido: para la operación de cada sitio de paso de fauna se requiere de un veterinario, un biólogo con experiencia en manejo de fauna silvestre y un tecnólogo auxiliar que haga las veces de enfermero (puede ser un estudiante de los últimos semestres de veterinaria).
- Los sitios de paso de fauna no tendrán un uso mayor al previsto para el llenado del embalse (alrededor de tres meses), dado que el sistema de manejo para el ahuyamiento, traslado y relocalización de fauna, lo mismo que el rescate contingente, no se contempla manipulación importante de animales que requiera de atención en gran número de ellos.
- Baños
- Grupo 2
  - Viviendas para directivos, personal especializado y profesionales
  - Casino para el personal profesional, con sus áreas de recreación, tanto interior como exterior. (piscina, cancha de tenis, cancha múltiple, gimnasio, zona húmeda, etc.).
  - Lavanderías menores en las zonas de las viviendas de profesionales.

- Helipuerto
- Kiosco, piscina para niños, caseta para comunicaciones
- Almacén, bodegas y taller metalmecánico.
- Bodegas
- Almacén
- Taller metalmecánico
- Portería
- Patios de almacenamiento

### **2.2.16 VÍAS**

En la zona del Proyecto solo se cuenta con la carretera que comunica a Medellín con el Municipio de Ituango. Ésta utiliza un tramo de la Troncal del Norte (Medellín-Cartagena), hasta los Llanos de Cuivá, en donde se desprende un ramal de reducidas especificaciones que pasa inicialmente por el municipio de San Andrés de Cuerquia y luego por el corregimiento de El Valle, para más adelante cruzar el río Cauca, en el sitio Pescadero y dirigirse finalmente al municipio de Ituango (Véase Plano D-PHI-110-DP-PR-INF-010). Los tramos de esta carretera próximos al río serán inundados por el embalse, por lo que será necesario construir una vía sustitutiva.

Los estudios y trabajos realizados en esta etapa, han comprendido los diseños de las vías sustitutivas y de acceso requeridas para la construcción y posterior operación del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, la fijación de los parámetros de diseño correspondientes y la determinación de sus aspectos más relevantes, como volúmenes, estructuras y obras de arte y zonas de depósito de materiales. En los siguientes numerales se presenta un resumen del trabajo realizado.

El diseño de las vías se realizó con base en topografía de detalle obtenida directamente en campo.

Con base en las necesidades de sustitución vial, creación de accesos a zonas específicas, o vías necesarias para la construcción, se plantean diez vías nuevas, las cuales, de acuerdo con sus respectivos propósitos, se han catalogado dentro de los siguientes grupos:

- **Vías Principales:** comprende las vías El Valle – Presa, margen derecha del río Cauca, Ituango – Zona Presa margen izquierda, que sirven de sustitución al tramo de la vía intermunicipal existente entre los municipios de San Andrés de Cuerquia e Ituango que se verá inundado por el embalse; incluye también, la variante vial para rodear el municipio de San Andrés de Cuerquia, la variante vial para rodear el corregimiento El Valle, el túnel del Chirí, nuevo túnel, vía Puerto Valdivia - Presa y la rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle (municipio de Toledo).
- **Vías Secundarias:** son las vías necesarias en el proceso de construcción de las obras principales y en la etapa de operación de la Hidroeléctrica. Corresponde a las

vías de acceso a casa de máquinas, a la subestación de 500 kV y a los campamentos en donde se alojará el personal vinculado a la construcción del proyecto.

- Vías Terciarias: son las vías necesarias para el proceso constructivo, a saber: las vías de acceso a los portales de aguas arriba y de aguas abajo de los túneles de desviación y a la salida de los túneles de descarga de la central.

El diseño definitivo se presenta para un total de 35,45 km de vías autorizadas en la Licencia Ambiental y las obras adicionales requeridas para la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico Ituango.

Las vías autorizadas en la Licencia Ambiental, para las cuales se han efectuado los diseños definitivos, son:

- Vía sustitutiva El Valle – Zona Presa (13 km)
- Vía sustitutiva Ituango – Zona Presa (9,2 km)
- Carretera al túnel de acceso a la Casa de Máquinas (2,9 km)
- Carretera a la subestación (1,1 km)
- Carretera de acceso a portales de aguas arriba de los túneles de desviación (0,9 km)
- Carretera de acceso a portales de aguas abajo de los túneles de desviación (4,2 km)
- Carretera de acceso a los portales de aguas abajo de los túneles de descarga (0,3 km)
- Vías internas de los campamentos (1,5 km)
- Vía industrial aguas abajo del sitio de presa (2,92 km)
- Vía industrial aguas arriba del sitio de presa (1,15 km)

De otro lado, los diseños definitivos, establecen la necesidad de construcción de nuevas obras, aspecto por el cual fue necesario llevar a cabo la primera y segunda modificación de la Licencia Ambiental. Estas obras que están localizadas dentro del área de influencia establecida para el Proyecto y por ende dentro de la poligonal de la declaratoria de utilidad pública son:

- Rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle (municipio de Toledo)
- Variante El Valle
- Túnel de Chirí.
- Vías industriales margen derecha para los túneles de desviación y depósitos, y hacia la descarga que comienza en la margen izquierda y termina en la margen derecha.

- Vía Puerto Valdivia – sitio de Presa

### **2.2.16.1 Descripción y ubicación de los tramos viales**

- A continuación se describen los diferentes tramos viales contemplados para las vías de acceso al proyecto.

#### 2.2.16.1.1 Vía sustitutiva El Valle – Ituango

La construcción de la vía sustitutiva El Valle (municipio de Toledo) – Ituango se construye en dos tramos: El Valle - Sitio de Presa y Sitio de Presa – El Bombillo, ubicado en el municipio de Ituango, cerca al Puente Pescadero.

La vía sustitutiva se constituye en una medida de compensación del Proyecto por la afectación a la vía existente que quedará incorporada a la zona de embalse, donde se incluye el Puente Pescadero. La longitud total es de 21,4 km.

En este tramo de vía se afectará el puente Pescadero, infraestructura que sirve de cruce sobre el río Cauca, cuya compensación será el manejo del paso sobre la cresta de la presa. Dicho puente, se constituye en referente simbólico de los habitantes de la zona y ha sido solicitado, por la comunidad del municipio de Ituango, el traslado, como patrimonio cultural e histórico.

Aunque el nuevo recorrido representa un incremento en longitud, las nuevas especificaciones técnicas de la vía en este tramo disminuirán el tiempo de recorrido.

Para la Vía sustitutiva entre El Valle y la presa, será necesario construir dos puentes uno sobre el río San Andrés y otro sobre la quebrada Chirí; además, la vía sustitutiva entre Pescadero y la presa, requiere la construcción de dos puentes, sobre las quebradas Tenche y Orejón.

#### 2.2.16.1.2 Variante San Andrés de Cuerquia (1,3 Km)

Se define como una vía nueva alterna a la existente de acceso al municipio, con 1,3 km de longitud. La construcción de esta vía incluirá un puente sobre la quebrada Piedecuesta, casi en el inicio del trazado en la abscisa km 0+075, y luego recorre los sectores: Piedecuesta, Matadero, Calle Vieja, y La Mayoría, donde empalma con la vía existente.

- Zona de acceso: Piedecuesta y Matadero

La variante inicia antes del cruce de la quebrada Piedecuesta, en la entrada al municipio, zona integrada al área urbana, donde además se localizan infraestructuras municipales como el Matadero Municipal y la planta de tratamiento del acueducto.

Se reconocen por la comunidad varios sectores: Matadero como la parte inicial de acceso por su cercanía con este equipamiento y también se le reconoce como Piedecuesta por la quebrada que lleva este nombre, y el sector, reconocido como Matadero arriba, sobre la carrera 29 y subiendo por calle 22, donde se localiza la planta de tratamiento.

- Zona media Carrera 29 o Calle Vieja

Con el trazado final, se deberá considerar no sólo la implementación de alternativas de reasentamiento y/o relocalización de las familias que serán afectadas por el trazado del corredor vial, sino otras de carácter preventivo, que involucren aquellas viviendas localizadas en áreas aledañas que puedan quedar en riesgo de accidentalidad o de afectación durante la construcción y operación de la vía.

La topografía escarpada hacia la pendiente y la necesidad de definir un diseño técnico con las mejores condiciones de orden físico y ambiental, obliga a que en este sector se comprometa necesariamente un número importante de las viviendas localizadas en la base del talud y parte de la calzada actual.

- Sector La Mayoría, empalme de la variante con la vía existente

Esta zona baja del municipio, se reconoce como el sector La Mayoría, donde se localizan además equipamientos municipales como el cementerio, la escuela Manuel Tejada, el núcleo educativo, el parque infantil, el asilo y el Hospital, como también tierras con potencial para la expansión urbana, de propiedad de particulares; objeto de análisis para el traslado definitivo de los hogares.

El diagnóstico de este tramo consideró para su evaluación, la localización de la ESE Hospital San Vicente de Paúl, la Institución Educativa Manuel Tejada, el asilo San Vicente de Paúl, el núcleo educativo y el parque infantil, con respecto a la construcción y uso de la futura vía. Aunque el Hospital no está localizado sobre el corredor y su acceso se realiza por dos costados, por una vía pendiente de bajas especificaciones, se espera que con el mejoramiento de la vía actual, el impacto por la contaminación atmosférica disminuya y el acceso desde la cabecera urbana sea más rápido. Se consideró en el diseño de la vía una pantalla o barrera natural de aislamiento por ruido que sería el impacto más relevante con la operación de la vía por el Proyecto, pero que también sirve de barrera para el material particulado, que se verá disminuido por la capa asfáltica o pavimentación.

#### 2.2.16.1.3 Carretera al túnel de acceso a la Casa de Máquinas

Vía permanente con una longitud de 2,9 km. Tiene las mismas especificaciones técnicas consideradas para la vía sustitutiva. Comienza 500 m antes de la quebrada Tenche. De esta vía se desprenden las vías industriales hacia la subestación y hacia los portales de aguas abajo de los túneles de desviación.

#### 2.2.16.1.4 Carretera a la subestación

Vía permanente con una longitud de 1,1 km. Tiene las mismas especificaciones técnicas consideradas para la vía sustitutiva. Se desprende de la vía al túnel de acceso a la Casa de Máquinas, en la abscisa km 4+080.

#### 2.2.16.1.5 Carretera de acceso a portales de aguas arriba de los túneles de desviación

Vía industrial con una longitud de 0,9 km. Entre las especificaciones técnicas se consideran curvas circulares, pendientes máximas del 12% y radios mínimos de

curvatura de 20 m con sobreeanchos de 1 m, la sección es de 7 m con cunetas de 1 m. Esta vía tiene una estructura de afirmado con un bombeo del 3%. Comienza en la abscisa km 10+000 de la vía sustitutiva El Valle – Sitio de Presa.

#### 2.2.16.1.6 Carretera de acceso a los portales de aguas abajo de los túneles de desviación

Vía industrial con una longitud de 4,2 km. Entre las especificaciones técnicas se consideran curvas circulares, pendientes máximas del 12% y radios mínimos de curvatura de 20 m con sobreeanchos de 1 m, la sección es de 7 m con cunetas de 1 m. Esta vía tiene una estructura de afirmado con un bombeo del 3%. Comienza en la abscisa km 5+550 de la vía al túnel de acceso a la Casa de Máquinas.

#### 2.2.16.1.7 Vías internas de los campamentos

Estas vías con una longitud total de 3,43 km, se dividen en 6 tramos. El primero de 1,3 km se constituye en la vía de entrada a los campamentos con dirección a la zona del personal no profesional. El segundo tramo, con una longitud de 0,9 km brinda acceso a las oficinas, termina en el tercer tramo, cuya longitud es de 0,69 km y comienza en el primer tramo, en la abscisa km 1+050. El cuarto, quinto y sexto tramo, con longitudes de 0,13 km, 0,18 km y 0,23 km respectivamente, brindan accesos locales a instalaciones específicas, tales como, en su orden, al laboratorio, a las viviendas de los tecnólogos y al casino del personal no profesional. Las especificaciones de estas vías tienen en cuenta una sección de 7 m, con un andén de 1 m al lado izquierdo de cada vía, con cunetas de 1 m y curvas circulares.

#### 2.2.16.1.8 Rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle

Comprende la adecuación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle, en una longitud de 25,5 km. Inicia en el sector conocido como La Mayoría al empalmar la variante de San Andrés con la vía existente. La sección típica es de 7,0 m con cunetas de concreto de 1,0 m, excepto el primer kilómetro, ya que con el fin de afectar lo menos posible las viviendas ubicadas sobre los costados de la vía existente, este se diseñó con un ancho de calzada de 6 m. El diseño se realizó, de manera que el alineamiento horizontal y vertical se ciñera lo máximo posible a la vía existente, motivo por el cual el diseño en este primer kilómetro no presenta curvas de transición tipo espiral y presenta radios de curvatura menores a lo exigido en el manual de diseño geométrico, curvas en las cuales se diseñó un sobreeancho de 1 m. Esta vía contará con una berma – cuneta en concreto de 0,5 m y superficie de rodadura de concreto asfáltico.

Su diseño, se ciñó al máximo a las condiciones de la vía existente tanto horizontal como verticalmente, motivo por el cual la rasante diseñada presenta valores hasta del 14% y radios de curvatura hasta de 20 m, en donde se trazaron sobreeanchos de 1 m.

#### 2.2.16.1.9 Variante a El Valle

Este tramo contempla la construcción de una Variante de 0,8 km, en la vía San Andrés de Cuerquia – El valle, frente a este corregimiento, cuya finalidad es evitar los impactos generados por las actividades de transporte, sobre el mismo, cuyos desarrollos se localizan sobre ambos costados de la vía hacia el municipio de Ituango. Con esta

variante se evita el ingreso a El Valle. Su sección típica es de 7,0 m y contará con cunetas de concreto de 1,0 m y superficie de rodadura en concreto asfáltico.

#### 2.2.16.1.10 Vía Industrial margen izquierda

La vía industrial de la margen izquierda, se construirá con el fin de lograr un acceso expedito al túnel de desviación aguas arriba del sitio de presa, con una longitud de 2,9 km, inicia en el km 0+500 de la vía Sustitutiva Presa – Ituango y transcurre por la margen izquierda del río Cauca hasta el km 2+290 donde lo cruza con un puente metálico de 70,0 m de longitud, y del km 2+360 hasta el km 2+889 transcurre por la margen derecha hasta la plazoleta de casa de máquinas. La vía tendrá una banca de 5,0 m y su acabado será en afirmado.

#### 2.2.16.1.11 Vía Puerto Valdivia – Sitio de Presa

La vía de acceso al proyecto hidroeléctrico Ituango por el corregimiento de Puerto Valdivia tiene una longitud total de 37,855 km, que incluye la construcción de nueve túneles relativamente cortos, los cuales suman una longitud de 1,4 km; en un terreno escarpado y en su mayoría se encuentra por la margen izquierda del río Cauca, a excepción del kilómetro final. Su abscisado comienza en Puerto Valdivia, en la intersección con la vía principal que comunica a Medellín con la Costa Atlántica, y termina en la plazoleta del túnel de acceso a la casa de máquinas del Proyecto, 1 km después de pasar sobre el río Cauca por un puente de 140 m de longitud.

Esta vía de 37,855 km se divide en dos zonas:

- La zona 1 está diseñada para una velocidad de 40 km/h, se encuentra entre el km 0+000 hasta el km 36+832. Su punto de inicio está en Puerto Valdivia se desarrolla en la margen izquierda del río Cauca. Tiene una sección de vía de 3,65 m por carril, más una berma de 1 m de ancho a cada lado, por lo cual, el ancho total de la calzada es de 9,3 m.
- La zona 2 está diseñada para una velocidad de 30 km/h, se encuentra entre el km 36+840 hasta el km 37+855, en la margen derecha del río. Termina al empalmar con las vías de acceso al Proyecto que conducen a la plazoleta del túnel de acceso a la casa de máquinas. Tiene una sección de vía de 3,5 m por carril, sin bermas.

La transición entre las dos zonas ocurre al final del puente sobre el río Cauca en una longitud de 8 m.

En la Figura 2.1 y Figura 2.2 se ilustra la sección típica de la vía en la zona uno y zona dos, respectivamente y sus criterios de diseño se muestran en la Tabla 2.19 y Tabla 2.20.

ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

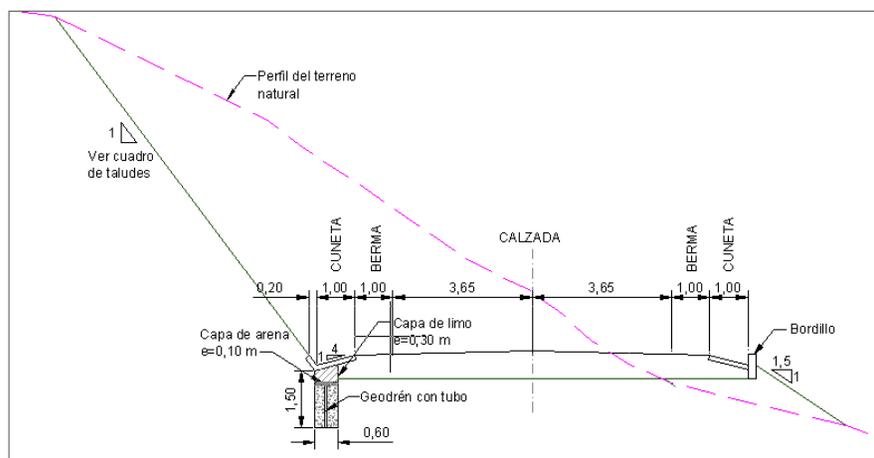


Figura 2.1 Sección típica de la vía Zona uno

Tabla 2.19 Criterios de diseño de la Zona uno.

Criterio	Valor	
Velocidad de diseño	40 km/h	
Tipo de terreno	Escarpado	
Tipo de carretera	Secundaria	
Clase de pavimento	Carpeta asfáltica	
Ancho del pavimento total	Calzada	7.3-m
	Bermas	1,0 m x lado
Bombeo	+2,0 %/-2,0 %	
Peralte máximo	8,0%	
Radio mínimo en curva	50 m	
Tipo de curvas	Espirales	
Longitud espiral	Máxima	100,0 m
	Mínima	30,2 m
Pendiente longitudinal máxima	10,0 %	
Pendiente longitudinal máxima promedio	7,0 %	
Pendiente longitudinal mínima	0,3 %	
Longitud de curva vertical mínima	30 m	
Cunetas en concreto	1.0	

Fuente: Consorcio Generación Ituango

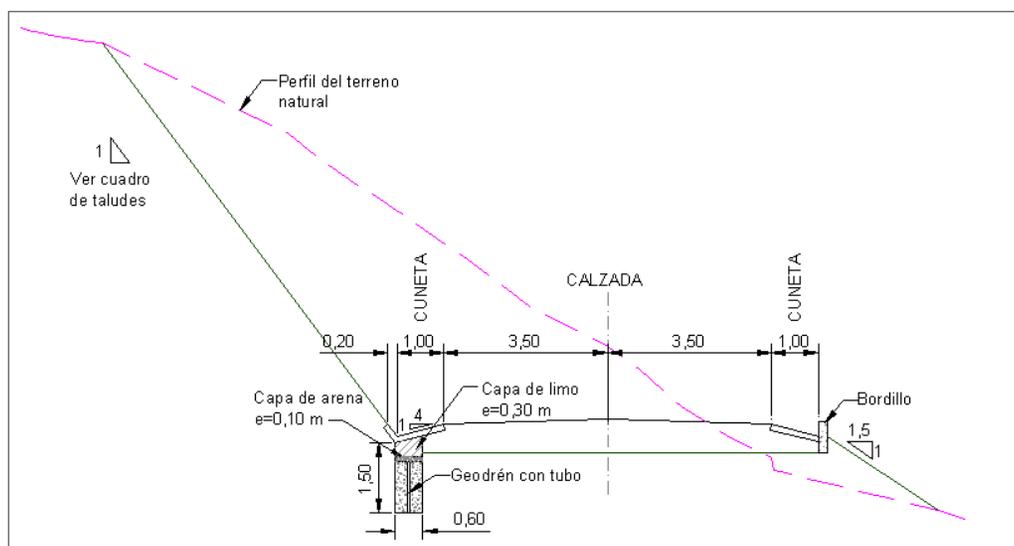


Figura 2.2 Sección típica vías entre el km 36+480 hasta el km 37+855 zona dos

Tabla 2.20 Criterios de diseño zona dos

CRITERIO	VALOR
Velocidad de diseño	30 km/h
Tipo de terreno	Escarpado
Tipo de carretera	Secundaria
Tipo de pavimento	Carpeta asfáltica
Ancho de calzada	7,00 m
Ancho de berma	-
Bombeo	+2,0 %/-2,0 %
Peralte máximo	8,0%
Radio mínimo en curva	30,00 m
Tipo de curvas	Espirales
Pendiente longitudinal máxima	10,0 %
Pendiente longitudinal mínima	0,5 %

Fuente: Consorcio Generación Ituango

### 2.2.16.2 Diseño geométrico

El proyecto consta de dos tipos de vías, el primer tipo corresponde a las vías permanentes, las cuales se caracterizan porque prestan servicio durante la etapa de construcción y luego en la fase de operación del Proyecto. Para el Proyecto Hidroeléctrico Ituango son las siguientes: Variante San Andrés de Cuerquia (1,3 km), Rectificación vía San Andrés – El Valle (25,5 km), Variante el Valle (0,8 km), Acceso a campamentos (1,5 km), Vía sustitutiva El Valle – Zona Presa (13 km), Vía sustitutiva

Ituango – Zona Presa (9,2 km), Carretera al túnel de acceso a la Casa de Máquinas (2,9 km) y Carretera a la subestación (1,1 km).

El segundo tipo de vías corresponde a las Industriales, las cuales se caracterizan por ser vías que únicamente serán utilizadas en la etapa de la construcción de la hidroeléctrica y son las siguientes: Carretera de acceso a portales de aguas arriba de los túneles de desviación (0,9 km) y carretera de acceso a los portales de aguas abajo de los túneles de desviación (4,2 km).

#### 2.2.16.2.1 Criterios de diseño

El diseño de las vías se realizó teniendo en cuenta las Normas Colombianas para el Diseño de Carreteras y el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, del INVIAS y *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 2001, AASHTO. Los criterios de diseño son enfocados a considerar las vías como carreteras secundarias de carácter intermunicipal, bajo un tipo de terreno escarpado; además, el diseño se ha orientado a obtener los menores movimientos de tierra posibles.

Los criterios de diseño para cada tipo de vías se pueden apreciar en la Tabla 2.21.

**Tabla 2.21 Criterios de diseño para las vías de acceso**

CRITERIO		CARRETERA	
		Permanentes	Industriales
Velocidad de diseño		30 km/h	30 km/h
Tipo de terreno		Escarpado	Escarpado
Tipo de carretera		Secundaria	Terciaria
Clase de pavimento		Carpeta asfáltica	Afirmado
Ancho del pavimento total	Zona Urbana	6.0-m	-
	Zona Rural	7,0 m	7,0 m
Bombeo		+2,0 %/-2,0 %	+3,0 %/-3,0 %
Peralte máximo	Normal	8,0%	6,0%
	Excepcional	10,0-	-
Radio mínimo en curva	Normal	30,0 m	30,0 m
	Excepcional	25.0-	20.0-
Tipo de curvas		Espirales	Circulares
Longitud espiral	Máxima	80,00 m	-
	Mínima	21,8 m	-
Pendiente longitudinal máxima		10,0 %	12,0 %
Pendiente longitudinal mínima		0,3 %	0,3 %
Longitud de curva vertical mínima		30 m	30 m
Cunetas en concreto	Zona Urbana	0.5	
	Zona Rural	1.0	1.0

Fuente: Consorcio Generación Ituango

- Velocidad de diseño

La velocidad de diseño que se estableció para definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado para todas las vías del Proyecto, en condiciones de comodidad y seguridad, fue de 30 km/h.

- Longitud de la espiral

Con respecto a la longitud de las espirales, el manual de Diseño Geométrico de carreteras del Instituto Nacional de Vías, en el numeral 3.3.5.7 estipula que  $Le_{\text{mín}} = 0,10472 \cdot R$  y  $Le_{\text{máx}} = 1,21 \cdot R$ , pero se debe tener en cuenta que el valor de la espiral no puede aumentar indefinidamente con el radio, tiene una limitación y es la misma establecida para el peralte máximo, que es el 8% para  $30 \text{ m} < R < 170 \text{ m}$ .

El Consultor adoptó como longitud de la espiral “Le” el valor correspondiente a la longitud de rampa (LR), que es el valor mínimo para desarrollar el peralte, este valor es un valor intermedio entre  $Le_{\text{máx}}$  y  $Le_{\text{mín}}$ .

- Rasante

La rasante de la nueva calzada se diseñó siguiendo, básicamente, el alineamiento vertical de la calzada existente, para el caso de la rectificación entre el municipio de San Andrés y el corregimiento El Valle (municipio de Toledo); igualmente, en los cruces con las quebradas existentes la rasante se trazó de modo que el gálibo fuera suficiente y que los movimientos de tierra fueran los menores posibles.

- Peralte

El peralte requerido para cada curva se calculó de acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVÍAS. La transición del peralte se realizó a lo largo de la longitud de la espiral, aplicando el peralte máximo requerido a lo largo de toda la curva circular, en el caso de curvas espiralizadas.

### **2.2.16.3 Puentes Viales**

Debido a la topografía escarpada, los cauces de las corrientes de agua son muy pendientes. Por lo anterior en la mayor parte de los casos no se dan las condiciones para el uso en la vía de alcantarillas de cajón, y deben usarse puentes de placa o pontones para el paso de la vía sobre muchas de las corrientes. Los tipos de puentes que se utilizarán en los diferentes tramos de vía se definen a continuación.

#### **2.2.16.3.1 Pontones de una luz**

En general las fundaciones están localizadas sobre suelos granulares con alta capacidad de soporte o en roca.

- Sub Estructuras

Como sub estructuras se utilizarán estribos con aletas en U con muros de acompañamiento a continuación de los estribos hasta chaflanes de corte, y Pilas, la mayor parte de las pilas en estos puentes serán del tipo Pile-Bent, conformadas por dos pilotes que se empotran en el terreno y sobresalen de él hasta una viga cabezal en la cual se apoyará el tablero. Hay casos en los que las pilas son columnas de sección celular.

- Superestructuras

Para alturas menores de 15 m y luces menores de 15 m se encontró como mejor solución el uso de pontones. Para obras con alturas menores de 15 m sobre el terreno, es factible utilizar obra falsa y la sección sin vigas resulta económica para luces menores de 15 m.

Para luces mayores de 15 m y menores de 25 m, con alturas menores de 15 m sobre el terreno, se encontró como mejor solución la utilización de tablero con vigas y placa de concreto reforzado. Se utilizarán vigas aligeradas, para reducir la cantidad de concreto.

Para puentes con alturas mayores de 15 m sobre el terreno o luces mayores de 25 m pero no mayores de 35 m, se encontró como tipo de tablero más adecuado el conformado con placa de concreto reforzado sobre vigas prefabricadas postensadas para ser colocadas en posición por lanzamiento o utilizando grúas.

Para puentes con luces mayores a 35 m pero no mayores de 60 m, se encontró como tipo de tablero más adecuado el conformado con placa de concreto reforzado sobre vigas metálicas para ser colocadas en posición por lanzamiento o utilizando grúas.

Para puentes con luces mayores a 60 m, se encontró como tipo de tablero más adecuado el conformado por una viga unicelular, para realizar la construcción por el método de los voladizos sucesivos.

#### 2.2.16.3.2 Puentes de una luz con vigas de concreto reforzado

- Generalidades. Estos puentes se escogieron en los sitios en los cuales la altura del tablero sobre el terreno es menor de 15 m.

Estos puentes requieren de estribos placas, vigas de concreto reforzado.

- Estribos. Para el empuje lateral en los estribos se ha utilizado la teoría de Coulomb con un ángulo de fricción de 30°. Para el empuje por sismo se ha utilizado la teoría de Mononobe y Okabe con una aceleración sísmica de la mitad de la aceleración del terreno: 0,15 g.

Para la determinación de presiones y para el análisis de estabilidad se ha utilizado la combinación I (service load) de la AASHTO. Se consideran factores de seguridad al deslizamiento de 1,5 y al volcamiento de 2 sin incluir sismo y se consideran factores de seguridad al deslizamiento de 1 y a volcamiento de 1 cuando se incluye sismo.

Para el diseño de los elementos de concreto reforzado se ha utilizado la combinación I (load factor design) de la AASHTO.

- Placa. El análisis se efectuó con la metodología indicada en el numeral 3.24.3.1 caso A de la norma AASHTO para la combinación de carga I (load factor design)

Para el valor de la carga de rueda se ha considerado además de la del camión C-40-95 la de los vehículos especiales tipos 1 sin impacto.

La carga de rueda de los vehículos especiales no se aplica en los voladizos de la placa.

Para el refuerzo de placa perpendicular al tráfico no se aplica la revisión por fatiga.

- Vigas de concreto reforzado. Las vigas son en forma de “I” para disminuir la cantidad de concreto.

La carga de eje del vehículo especial se considera repartida por igual entre las vigas del tablero y no se aplica en estos casos el factor de impacto de la norma AASHTO.

#### 2.2.16.3.3 Puente de una luz con vigas de concreto postensado

- Generalidades. El criterio para escoger esta solución es que la altura del tablero sobre el terreno sea mayor de 15 m por lo cual no sería razonable la utilización de obra falsa; o la luz sea mayor de 25 m.
- Estribos. Para el empuje lateral en los estribos se ha utilizado la teoría de Coulomb con un ángulo de fricción de 30°. Para el empuje por sismo se ha utilizado la teoría de Mononobe y Okabe con una aceleración sísmica de la mitad de la aceleración del terreno: 0,15 g.
- Placa. El análisis se efectuó con la metodología indicada en el numeral 3.24.3.1 caso A de la norma AASHTO para la combinación de carga I (load factor design).

Para el valor de la carga de rueda se ha considerado además de la del camión C-40-95, la de los vehículos especiales tipos 1 sin impacto.

La carga de rueda de los vehículos especiales no se aplica en los voladizos de la placa.

Para el refuerzo de placa perpendicular al tráfico no se aplica la revisión por fatiga.

- Vigas de concreto postensado. Para el diseño de las vigas se ha escogido un concreto de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>.

Se han escogido cables con características semejantes y compatibles con las marcas comerciales confiables y conocidas: FREYSSINET, VSL y DYWIDAG.

En general se ha diseñado teniendo en cuenta la sección 9 de la norma Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition 2002 de la AASHTO. Este análisis y diseño de las vigas se realizó mediante el programa VIPO.

#### 2.2.16.3.4 Puentes de varias luces

- Estribos. Los estribos son convencionales en U. Para el empuje lateral en los estribos se ha utilizado la teoría de Coulomb con un ángulo de fricción de 30°. Para el empuje por sismo se ha utilizado la teoría de Mononobe y Okabe con una aceleración sísmica de la mitad de la aceleración del terreno: 0,15 g.

Para la determinación de presiones y para el análisis de estabilidad se ha utilizado la combinación I (service load) de la AASHTO. Se consideran factores de seguridad al deslizamiento de 1,5 y al volcamiento de 2 sin incluir sismo y se consideran factores de seguridad al deslizamiento de 1 y a volcamiento de 1 cuando se incluye sismo.

Para el diseño de los elementos de concreto reforzado se ha utilizado la combinación I (load factor design) de la AASHTO.

- Pilas. Análisis y diseño del vástago. Para los puentes sobre la quebrada El Aro y sobre el Río San Andrés se requiere que la sección del vástago de las pilas sea celular, en cajón.

Para los puentes de varias luces lo más adecuado es usar una pila aporticada con columnas circulares.

#### 2.2.16.3.5 Placas sobre vigas postensadas, metálicas o reforzadas

El análisis de las placas para todas las luces del puente, se efectuó con la metodología indicada en el numeral 3.24.3.1 caso A de la norma AASHTO para la combinación de carga I (load factor design).

Para el valor de la carga de rueda se ha considerado además de la del camión C-40-95, la de los vehículos especiales tipos 1 y 2 sin impacto.

La carga de rueda de los vehículos especiales no se aplica en los voladizos de la placa.

Para el refuerzo de placa perpendicular al tráfico no se aplica la revisión por fatiga.

#### 2.2.16.3.6 Placa maciza en una de las luces

El análisis se efectuó con la metodología indicada en el numeral 3.24.3.2 caso B de la norma AASHTO para la combinación de carga I (load factor design).

Para el valor de la carga de rueda se ha considerado además de la del camión C-40-95, la de los vehículos especiales tipo 1 sin impacto.

Para esta placa, se efectúa una verificación del esfuerzo en el refuerzo por fatiga, según lo indicado en el numeral 8.16.8.3 de la norma AASHTO.

- Vigas de concreto postensado. Para el diseño de las vigas se escogió un concreto de  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>.

Se han escogido cables con características semejantes y compatibles con las marcas comerciales confiables y conocidas: FREYSSINET, VSL y DYWIDAG.

En general se ha diseñado teniendo en cuenta la sección 9 de la norma Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition 2002 de la AASHTO.

El análisis y diseño de las vigas se realizó mediante el programa VIPO.

Con el programa, se determinan los esfuerzos en las vigas para la combinación I (service load) de la AASHTO y se comparan con lo establecido en los numerales

9.15.2.1 y 9.15.2.2, de la misma norma. Además se verifica la resistencia de la viga para la combinación de carga I (load factor design) de acuerdo con lo indicado en los numerales 9.17 y 9.18. Adicionalmente la determinación de refuerzos para atender la cizalladura se realizó siguiendo el numeral 20 de la norma AASHTO.

Para la determinación de refuerzos en las zonas de anclaje se utilizaron las recomendaciones de Fritz Leonhardt.

- Vigas metálicas. Para el diseño de las vigas metálicas se escogió acero autoprotector A709 Gr50W.

En general se ha diseñado teniendo en cuenta la sección 10 de la norma Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition 2002 de la AASHTO en especial los numerales 10.31-10.32 (tabla 10.32.1<sup>a</sup>) 10.34. y 10.38.

#### 2.2.16.3.7 Análisis y diseño de la superestructura

- Dimensionado inicial y suposiciones básicas. Con base en la experiencia se escogieron las dimensiones.

Se escogió segmentar el tablero con sección en cajón en dovelas con una longitud de 4 m para los voladizos.

Por medio de un análisis preliminar se definió la utilización de cables superiores de 12 torones de 0,6”.

Se definió la utilización de un concreto de 350 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia.

Peso de carro formaleta supuesto 100 t.

#### 2.2.16.3.8 Análisis y diseño longitudinal del tablero

- Análisis y diseño correspondiente a las etapas de construcción. A partir de las dimensiones iniciales de la sección y las características asumidas para el carro formaleta, se calculan los momentos flectores causados por el peso propio de las dovelas y por el peso del carro formaleta.

Se determinaron los esfuerzos normales por flexión y carga axial en cada sección y en cada etapa de construcción. Se comprobaron las dimensiones asumidas haciendo la comparación entre los esfuerzos resultantes durante construcción y los esfuerzos admisibles.

Se prepararon los modelos SAP para los voladizos incluyendo en el modelo los cables de postensado y se compararon los resultados de este análisis con los resultados del análisis anterior efectuado con el programa en Excel. Para el análisis y diseño transversal del tablero. Para la determinación de la flexión y cizalladura en la sección transversal en cajón, en las placas, se hizo la evaluación siguiendo las recomendaciones de las normas Código Colombiano de Diseño Sísmico De Puentes-1995, y Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition 2002.

Adicionalmente se determinaron los momentos flectores en la placa superior de la sección cajón utilizando superficies de influencia (Pucher), ese procedimiento se

utilizó además para obtener la flexión inducida por la carga viva en la placa inferior y en las paredes verticales del cajón del puente.

#### 2.2.16.3.9 Análisis y diseño de la subestructura

- Pilas. Se preparó el modelo SAP de la estructura completa del puente. Este modelo es el mismo mencionado anteriormente en el numeral sobre el análisis del tablero. Los casos de carga más críticos y que gobiernan el diseño son los correspondientes a la acción sísmica.

Para el diseño de las pilas se siguieron las normas: Código Colombiano De Diseño Sísmico De Puentes-1995, y las Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition 2002.

Para la verificación de las secciones celulares de las pilas y los refuerzos de confinamiento y para atender cizalladura se tuvo en cuenta especialmente lo indicado en la Division I-A y los 1998 Commentary to Standard Specifications for Highway Bridges.

- Fundaciones. En el puente existen dos condiciones geotécnicas distintas. En la margen izquierda el suelo corresponde a una terraza aluvial mientras en la margen derecha está expuesta la roca de buena calidad a nivel de fundación.

Las pilas en la margen izquierda están fundadas en el subsuelo de la terraza sobre pilotes de 1,50 m. En la margen derecha a pesar de la presencia superficial de la roca hubo que usar pilotes porque la fundación en caso de sismo queda sometida a momentos flectores muy altos comparados con la reacción vertical.

#### 2.2.16.3.10 Sección transversal típica de los puentes.

La sección transversal de la superestructura tiene 11,30 m de ancho. Está conformada por dos andenes de 1,00 m, dos bermas de 1,00 m y dos carriles de 3,65 m para conformar un ancho de calzada de 9,30 m. Cuenta con una carpeta asfáltica de 0,05m de espesor y vigas o losa que serán definidas de acuerdo a los criterios de diseño especificados al inicio de este informe. Ver Figura 2.3

ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

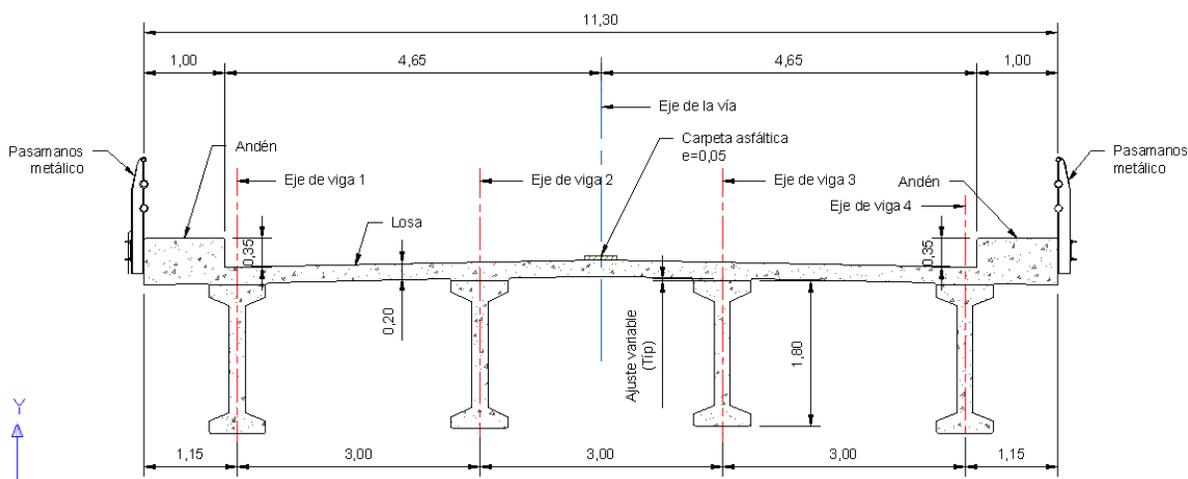


Figura 2.3 Sección Transversal

2.2.16.3.11 Descripción de los puentes.

En la Tabla 2.22, se muestran los puentes diseñados para la vía San Andrés de Cuerquia – Presa.

La nueva vía entre Puerto Valdivia – Presa tendrá un total de sesenta y seis (66) puentes, los cuales se mencionan a continuación en la Tabla 2.23.

Tabla 2.22 Características de los puentes de la vía San Andrés de Cuerquia -Presa

Puentes	Abscisa	Altura	Longitud
PUENTE TACUI	km 1+092,206 - km 1+114,206	8,39-5,28	22
PUENTE km 0+70	km 0+062,49 - km 0+084,99	7,08-10,32	22,5
PUENTE km 0+740	Km 0+736,457 - km0+746,030	9,34-9,38	9,57
PUENTE URIAGA	km 23+874,00 - km 23+893,00	6,80-7,63	19
PUENTE SOBRE RIO SAN ANDRES	km 0+065,112	13,5	242,25
	km 0+095,212	20,58	
	km 0+125,162	23,08	
	km 0+155,112	25,83	
	km 0+195,162	39	
	km 0+267,162	39	
	km 0+307,362	3,9	
PUENTE CAREPERRO	Km 0+860,000 - km 0+874,600	9,25-5,58	14,6
PUENTE CHIRI	km 7+111	3,45	95
	km 7+136	38,43	
	km 7+166	37,46	
	km 7+18	35,11	
	km 7+206	11,07	
PUENTE OREJON MARGÉN DERECHA	km 9+031,88	12,27	46,83
	km 9+045,831	24,04	
	km 9+078,78	6,82	
PUENTE TENCHE 1	Km 11+162 - km 11+186	7,30-8,60	24
PUENTE TENCHE 2	Km 0+696,65 - km 0+717,99	7,12-8,80	21,34

**ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Puentes	Abscisa	Altura	Longitud
PUENTE SUCRE	km 1+470,60	5,95	41
	km 1+496,60	16,54	
	km 1+511,60	7	
PUENTE BURUNDA	km 3+874,35 - km 3+904,35	8,1-8,87	30
PUENTE OREJÓN MI	km 6+143,500 - km 6+157,500	3,87-5,95	14
PUENTE LINDEROS	km 7+159,60 - km 7+177,60	5,52-3,59	18
PONTÓN km7+417	km 7+417,800 - km 7+427-800	4,10-2,70	10
PONTON LA VUELTA	km 7+900,600 - km 7+910,600	7,00-5,74	10
PONTON km 1+185	km 1+179,80 - km 1+189,80	7,20-5,25	10
PONTON km 9+890	km 9+885,400 - km 9+890,40	6,63-5,51	5
PONTON km 9+970	km 9+970,600 - km 9+976,900	5,46-6,99	6
PONTON km 10+100	km 10+95,726 - km10+101,726	5,22-476	6

Fuente: Consorcio Generación Ituango

**Tabla 2.23 Características de los puentes de la vía Puerto Valdivia - Presa**

No	Nombre del Puente	Longitud	Altura
1	PUENTE K0+178,00 Q. LOS MÚNERA.	10	3,90
2	PUENTE K0+247,00 Q. ARROCERA	26	7,65
3	PUENTE K0+670,30 Q. TAPIAS	32	8,20
4	PUENTE K1+084,00 Q. REMOLINOS	21	5,80
5	PUENTE K1+803,00 Q. VAGAMENTÓN	28	5,80
6	PUENTE K2+051,00 Q. LAS CIRUELAS	30	5,90
7	PUENTE K2+403,50 Q. EL DERRAME	14	6,60
8	PUENTE K2+681,60 Q. DE IRSE	50	6,40
9	PUENTE K3+605 Q. LA ROCA	18	5,60
10	PUENTE K3+732,00 Q. SANTA BÁRBARA	21	9,60
11	PUENTE K3+975,85 Q. ARENALES	23,65	5,70
12	PUENTE K4+190,898 Q. LA MONA	37	6,05
13	PUENTE K5+351,00 Q. ACHIRÁ	80	6,70
14	PUENTE K6+275 Q. EL ATRASO	11,35	7,00
15	PUENTE K6+887 Q. SILOCARGO	22	5,45
16	PUENTE K7+118 Q. PTO. ESCONDIDO1	30,10	4,40
17	PUENTE K7+275 Q. PTO. ESCONDIDO2	24	5,90
18	PUENTE K8+020 Q. LA GUAMERA	85	7,40
19	PUENTE K9+300 Q. TÁMARA	28,1	6,05
20	PUENTE K9+720 Q. MOJACULO	40	5,07
21	PUENTE K10+060 Q. LAS PAVAS	60	7,40
22	PUENTE K11+000 Q. SECA	35	5,30
23	PUENTE K11+270 Q. ORGANI	55	7,60
24	PUENTE K12 +100 Q. TIGRERA	35	4,60
25	PUENTE K13+900 Q. SEVILLA	48	6,30
26	PUENTE K14+100 Q. EL SEVILLANO	30	7,00
27	PUENTE K14+900 Q. LA FLORESTA	20	6,65
28	PUENTE K15+915 Q. EL COCAL	20	6,65
29	PUENTE K16+348 Q. EL ARO	57	7,75
30	PUENTE K17+167.5 Q. EL ARITO	38	8,25
31	PUENTE K17+700	18,30	4,35
32	PUENTE K18+221.0 Q. LA HONDA	76	5,45
33	PUENTE K19+050 Q. PITAL	23	5,90
34	PUENTE K19+360	32	5,65
35	PUENTE K20+440	50	7,35
36	PUENTE K20+780	58	5,60

**ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

No	Nombre del Puente	Longitud	Altura
37	PUENTE K21+110	18,5	4,15
38	PUENTE K21+256,30	19,2	7,60
39	PUENTE K21+347,00	22,7	4,60
40	PUENTE K21+664,90	54,50	7,65
41	PUENTE K22+034,30	25,40	5,60
42	PUENTE K22+443,70	46,7	7,55
43	PUENTE K22+621.7 Q. LA VOLCANERA	24,5	6,90
44	PUENTE K22+289.6 Q. LOS RODRÍGUEZ	60	6,20
45	PUENTE K23+230	17,10	4,75
46	PUENTE K23+867.10	36	6,85
47	PUENTE K24+236.5 Q. AGUA RICA	65	6,25
48	PUENTE K25+150 Q. SINITAVÉ	60	5,85
49	PUENTE K27+100 Q. ARENALES ARRIBA	69	5,00
50	PUENTE K28+300	37	6,70
51	PUENTE K28+500 Q. LA MINA	50	5,30
52	PUENTE 29+150	40	7,50
53	PUENTE K29+730	19,50	7,50
54	PUENTE K29+790	10	5,40
55	PUENTE K30+250 Q. EL GUAICO	39	6,50
56	PUENTE K31+450	32	6,50
57	PUENTE K31+700.	78	5,10
58	PUENTE K32+600 Q. GOLONDRINA	64	7,20
59	PUENTE K33+500	43	7,5
60	PUENTE K34+120	12,5	6,75
61	PUENTE K34+600 Q. EL PESCADITO	95	6,40
62	PUENTE K35+150	19	5,00
63	PUENTE K35+410	11,8	7,00
64	PUENTE K36+840. RÍO CAUCA	131,25	6,60
65	PUENTE K37+250.	28	5,70
66	PUENTE K19+690	14	7,30

Fuente: Consorcio Generación Ituango

#### **2.2.16.4 Túneles viales**

Para el desarrollo vial del proyecto hidroeléctrico Ituango se tiene definido 11 túneles, distribuidos de la siguiente manera nueve en la vía puerto Valdivia – Presa, y dos para la vía sustitutiva El valle –Ituango.

##### **2.2.16.4.1 Túnel de Chirí:**

El túnel es otra de las obras necesarias, es un túnel ubicado en el km 8+020 de la vía San Andrés de Cuerquia-Ituango, sobre la margen derecha del río Cauca (aguas abajo), el cual comunica las cuencas de las quebradas Chirí y Orejón. Este túnel fue concebido, para evitar los problemas de estabilidad presentes en la divisoria.

Sobre los sitios de los portales se encuentra la roca sana con escasa cobertura de alteración, la cual va aumentando en espesor a medida que se asciende en las laderas. El espesor de la capa de suelos fue investigado por medio de seis líneas de refracción sísmica, reportando menos de 5 m cerca de los portales antes de la roca sana, y hasta 20 m en las partes superiores, con aumento así mismo de la roca alterada.

En la zona se registran fundamentalmente esquistos negros desde grafitosos hasta cuarzosericíticos y biotíticos, de calidad geotécnica variable. Solo se dispone de afloramientos de roca en los cauces de las quebradas cercanas a los portales, el resto del macizo a cruzar se ha investigado con la perforación P-16, que evidencia la existencia de zonas de debilidad asociadas a la presencia de esquistos grafitosos.

Dicho túnel contará con las siguientes características constructivas: Longitud: 990 metros, Altitud del portal de entrada: 560,61msnm, Altitud del portal de salida: 566,00 msnm, Galibo requerido: 5,0 m, Ancho de la vía: 8,0 metros, Calzadas: Dos aceras laterales de 0,6 m de ancho, Altura total de la sección del túnel: 7,37 m, Área de la sección del túnel: 58,72 m<sup>2</sup>, Velocidad de diseño: 30km/h.

El túnel contará con un sistema de ventilación longitudinal, con ventiladores de chorro del tipo reversibles instalados por pares en la parte superior de la sección del túnel y los cuales reforzarán el empuje hidráulico que pueda ser producido al interior del túnel por efectos del tiro natural y del efecto pistón generado por la circulación de los vehículos al interior del túnel. El control del sistema será efectuado por medidores combinados de opacidad y de CO instalados al interior del túnel; estos instrumentos (dos) serán instalados a una distancia de 50 m, medidos desde los portales. Como complemento de los medidores, serán instalados anemómetros que medirán la velocidad y dirección de la corriente de aire al interior del túnel. La dirección de giro de los ventiladores estará gobernada por el sentido de la circulación del aire al interior del túnel, y será determinada por los anemómetros.

Para el caso en que se presente incendio cuenta con dos botones pulsadores, los cuales estarán localizados cada 200 m al interior del túnel; esta acción ocasionará que el sistema de control arranque los ventiladores hasta su máxima velocidad, de tal forma que se produzca una corriente de aire con una velocidad de 2,6 m/s aproximadamente, que es la velocidad crítica para evitar que no se presente dispersión y retroceso del humo generado por el incendio. Los ventiladores continuarán girando en el sentido preestablecido por los anemómetros y el humo será descargado en el portal por donde se estaba descargando el aire contaminado. En este caso, los vehículos que circulan en el mismo sentido del flujo de aire detendrán su marcha los que se dirigen al incendio y los que se alejan, en ambos sentidos, saldrán del túnel. Quedarían pendientes por evacuar los ocupantes de los vehículos que se dirigen hacia el incendio en sentido contrario a la circulación del aire, los cuales deberán apearse de los vehículos y desalojar el túnel por sus propios medios. La velocidad de evacuación de los humos será de 9,4 km/h aproximadamente.

Es importante resaltar que por el alineamiento del túnel, no transitan fuentes de agua superficiales. Su ubicación geográfica, las condiciones topográficas del terreno, la altura del túnel respecto al río Cauca y las dimensiones de los predios, evidencian que no existe probabilidad de alteraciones a las fuentes de agua que sean aprovechadas por población existente o potencial.

Los volúmenes esperados de materiales resultantes de las excavaciones del túnel, de aproximadamente 60.000 m<sup>3</sup> se utilizarán predominantemente como materiales para

preparación de concretos en las obras civiles, y el sobrante se dispondrá en los depósitos autorizados.

#### 2.2.16.4.2 Túnel km 12

El nuevo túnel se ubica en el km 12 de la vía sustitutiva El Valle – Presa, presenta una longitud de aproximadamente 1,4 km, el cual funcionará para una velocidad de diseño de 30 km/h.

Este túnel sirve de tránsito de la vía que se desprende del corregimiento El Valle del municipio de Toledo por la margen derecha del río San Andrés continuando por la margen derecha del río Cauca hacia el municipio de Ituango, pasando por la cresta de la presa, al acceso a casa de máquinas, y a Puerto Valdivia, la mayoría de su excavación se encuentra en roca del horizonte de meteorización IIB, excepto en los portales en los cuales se tienen contemplados cortes en material de clasificación IC-IIA y de IIA.

Para la perforaciones en este túnel se requiere uso de agua, para actividades propias de éste y servicios sanitarios de este frente, así como manejo y vertimiento de estas aguas. Para suministro del agua requerida para esta actividad se requiere 2,5 l/s, los cuales se sacarán de las quebradas Ticuitá y Tenche, cuya localización y características se puede apreciar en la Tabla 2.24.

**Tabla 2.24 Características de las fuentes de agua quebradas Ticuitá y Tenche**

Nombre de la fuente	Caudal Requerido l/s)	Coordenadas		Uso	Permisos(*)
		X	Y		
Quebrada Ticuitá	2,5	1.157.792	1.281.008	Doméstico Industrial	Concesión - Ocupación de cauce
Quebrada Tenche	2,5	1.156.819	1.279.606	Doméstico - Industrial	Concesión - Ocupación de cauce

Fuente: Consorcio Generación Ituango

(\*) Autorización de concesión en trámite

El vertimiento de las aguas residuales, de infiltración, industriales y domésticas de los dos frentes de trabajo que tendrá dicho túnel se verterán al río Cauca en las coordenadas presentadas en la Tabla 2.25.

**Tabla 2.25 Vertimiento de las aguas de infiltración y residuales**

Nombre fuente	Vertimiento (l/s)	X	Y	Permisos
Río Cauca	2	1.156.813	1.281.458	Vertimiento Doméstico - Industrial
Río Cauca	2	1.156.239	1.280.326	Vertimiento Doméstico - Industrial

Fuente: Consorcio Generación Ituango

El Diseño geométrico de las vías de acceso al túnel se realizó teniendo en cuenta las Normas Colombianas para el Diseño de Carreteras del INVIAS 1998. Los criterios de diseño de las vías de acceso al túnel se pueden apreciar en la Tabla 2.26.

Tabla 2.26 Criterios de diseño vías de acceso al túnel km12

Criterio	Valor
Velocidad de diseño	30 km/h
Tipo de terreno	Escarpado
Tipo de carretera	Secundaria
Tipo de pavimento	Carpeta asfáltica
Ancho de calzada	7,00 m
Bombeo	+2,0 %/-2,0 %
Peralte máximo	8,0%
Radio mínimo en curva	30,00 m
Tipo de curvas	Espirales
Pendiente longitudinal máxima	10,0 %
Pendiente longitudinal mínima	0,5 %

Fuente: Consorcio Generación Ituango

El túnel del km 12 presenta las siguientes ventajas:

- El túnel del km 12 sirve de galería de drenaje al vertedero del proyecto hidroeléctrico Ituango.
- Con la construcción del túnel se evita construir 4,5 km de vía a superficie, con lo cual se prescinde de la excavación y disposición de 500.000 m<sup>3</sup> aproximadamente.
- La vía de acceso a Casa de Máquinas elimina la posibilidad de utilizar los depósitos Ticuitá 1 y Ticuitá 2. El nuevo alineamiento del acceso a la casa de Máquinas utilizando el túnel vial del km 12 permite utilizar completamente el área destinada a dichos depósitos.
- Las características principales del túnel del km 12 se presentan en la Tabla 2.27, la sección típica del túnel vial del km 12 se presenta en la Figura 2.4 y el perfil se presenta en la Figura 2.5.

Tabla 2.27 Criterios de diseño túnel km 12

Criterio	Valor
Tipo de pavimento	Concreto hidráulico
Ancho de calzada	8,00 m
Bombeo	+2,0 %/-2,0 %
Radio de curva interna	250
Peralte en curva interna	7,4%
Área sección del túnel	57 m <sup>2</sup>
Tipo de curvas	Espirales
Pendiente longitudinal	0,9 % y 4,9 %
Pendiente longitudinal mínima	0,5 %

Fuente: Consorcio Generación Ituango

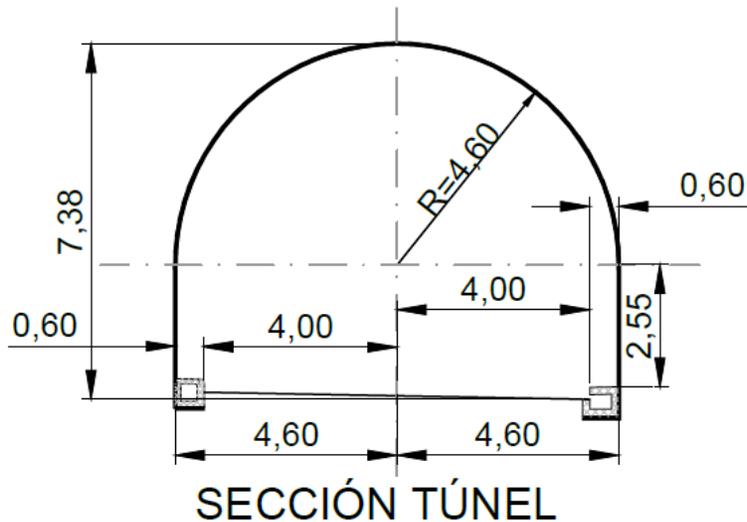


Figura 2.4 Sección típica del túnel vial km 12

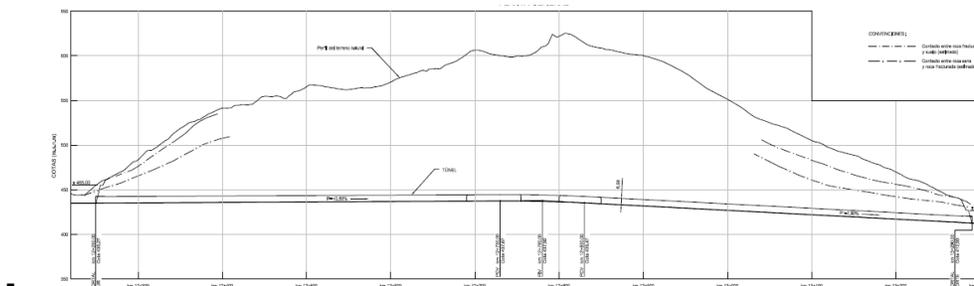


Figura 2.5 Perfil del túnel vial km 12

#### 2.2.16.4.3 Túneles de la vía Puerto Valdivia - Presa

El abscisado de la vía comienza en Puerto Valdivia, en la intersección con la vía principal que comunica a Medellín con la Costa Atlántica, y termina en la plazoleta del túnel de acceso a casa de máquinas del Proyecto, un kilómetro después del cruce con puente sobre el río Cauca; como tal, el abscisado de los túneles está referenciado al de la vía.

Se definió el criterio de rebajar excavaciones superficiales en la vía disponiendo la longitud más corta posible para los túneles, bajo un concepto que logren economía y tenga en cuenta las restricciones de tipo técnico impuestas por la conformación del terreno, las condiciones geológicas y geotécnicas de los tramos de túnel, y la posición de los portales de entrada y salida en lo posible en roca sana o fracturada y donde se garantice la estabilidad de los taludes. Es así como se establecieron nueve túneles viales con longitudes que oscilan entre el más corto de 75,0 m y el más largo de

338,0 m. Ver la Tabla 2.28, con las características de los túneles y los planos D-PHI-021-VPV-TU-C-010, 040, 070, 100, 130, 160, 190, 220 y 250.

El trazado en planta y en perfil de los túneles se asocia con el diseño geométrico de la vía que tiene en cuenta la rasante, el bombeo, los peraltes, el radio de las curvas, el tipo de curva y su longitud, la pendiente longitudinal y la longitud de las curvas verticales, según lo expresado en el numeral anterior. El trazado debe garantizar que los túneles tengan confinamiento adecuado de roca vertical y lateral para lograr estabilidad estructural de los mismos. En general los túneles viales incluyen curva(s) horizontal(es) y sus pendientes van desde el 0,7% para la mínima hasta el 7,0% para la mayor, a pesar de que en la vía se admiten pendientes máximas de hasta el 8%.

El área de la sección transversal de los túneles se diseñó con base en la información sobre las dimensiones de los equipos a movilizar (en las diferentes etapas del Proyecto, construcción, montajes y operación), y teniendo en cuenta las instalaciones en el piso bien para drenaje consistente en una cuneta con entrada del agua por vanos dispuestos lateralmente y bien un cárcamo para el paso de la línea de transmisión, ambos dispuestos a todo lo largo del túnel en inmediaciones de las paredes. Es así como se definió para cada túnel un ancho de 4,0 m por carril para un total de 8,0 m de calzada, más el ancho del cárcamo para la línea de transmisión y el ancho de la cuneta de drenaje; en altura, prima el gálibo mínimo requerido que es de 5,0 m medido en el sitio de empalme entre la losa de piso y el cárcamo o la cuneta, donde comienza la pendiente descendente bien sea del drenaje o del peralte.

Con respecto a las instalaciones de concreto en el piso, la cuneta con dimensiones libres de 0,40 m de ancho por 0,25 m de altura se dispone sobre la cuerda interna de la curva más representativa de cada túnel, y en el lado opuesto se ubica el cárcamo para la línea de transmisión de 0,40 m de ancho por 0,25 m de altura libres, garantizándose en todo caso la continuidad del drenaje del interior del túnel con el de la vía. El ancho libre de las cunetas y del cárcamo para la línea de transmisión en el primer túnel (entre km 0+307 y km 0+645) es de 0,70 m ya que al ser este el más cercano al casco urbano del corregimiento de Puerto Valdivia debe tener un andén un poco más ancho que el de los demás túneles, y al ser las tapas de las cunetas y cárcamos las que cumplen este papel, dicha dimensión es mayor.

Tanto la cuneta como el cárcamo incluyen tapas en concreto prefabricadas de 0,50 m de longitud, con asas para permitir el alce de las mismas.

La línea de suministro de energía al portal del túnel ubicado en el km 0+307 será conectada a una línea existente que va del corregimiento de Puerto Valdivia al municipio de Tarazá y tendrá una longitud aproximada de 0,4 km; y la línea de suministro de energía a los túneles restantes será conectada a la subestación de construcción del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, con una longitud aproximada de 28 km. La tensión de las líneas será de 13,2 kV.

El pavimento de los túneles consiste en una losa de concreto de 0,20 m de espesor y resistencia de  $f'c = 28$  Mpa; este se apoyará sobre una capa de 0,20 m de base granular en caso de existir roca, para el caso de encontrarse suelo, se deberá agregar

una capa de 0,15 m de suelo estabilizado con cemento al 5% y efectuar un reemplazo de 0,20 m en material granular. Las juntas de la losa tendrán un espaciamiento máximo de 4,00 m tanto a lo ancho como a lo largo de cada túnel; en caso de ser necesario, se podrán construir losas con menores dimensiones siempre y cuando se cumpla que la relación largo (x) y ancho (y) oscile entre 0,80 m y 1,3 m ( $0,80 < x/y < 1,3$ ). Como refuerzo estructural de las losas deberá colocarse en las juntas longitudinales, barras corrugada #3 de 65 cm de longitud, espaciada cada 90 cm y en las juntas transversales, barras lisas #10 de 40 cm de longitud, espaciadas cada 30 cm.

La sección de los túneles es en forma de herradura modificada con bóveda en arco y paredes rectas con las siguientes características:

- Las dimensiones de excavación de los túneles son de 9,60 m de ancho por 7,28 m de altura.
- Con el ancho de calzada de 8,00 m más la cuneta y el cárcamo y con el requerimiento del gálibo vertical anteriormente mencionado, se definió el radio de la bóveda y la altura de las paredes. El radio de la bóveda en las secciones de excavación para roca tipo I, II y III es de 5,86 m con un ángulo que subtiende la bóveda de  $110^\circ$  y para la sección en roca tipo IV y la zona de portales es de 6,11 m, con un ángulo de  $111^\circ 32'$ . Debido a que la pendiente de la losa de piso es variable, entre la mínima del 2% para drenaje y la máxima del peralte definida según el diseño geométrico de la vía, la altura de las paredes es variable. La altura de la pared corta es de 4,78 m salvo para la sección en roca tipo IV que es de 4,86 m, esto en el caso con pendiente del 2% en el piso.
- Debido a la cercanía del túnel entre las abscisas km 0+307y km 0+645 con Puerto Valdivia, podrá existir circulación peatonal (como se mencionó anteriormente) y como tal, se amplió el ancho de las tapas de la cuneta y el cárcamo, pasando de 0,70 m a 1,00 m, representando unas dimensiones diferentes a las del resto de los túneles; en cuanto a los demás criterios para la definición de la sección, estos fueron los mismos. La sección del túnel tiene las siguientes características:
  - Las dimensiones de excavación son de 10,20 m de ancho por 7,28 m de altura.
  - El radio de la bóveda en las secciones de excavación para roca tipo I, II y III es de 5,86 m con un ángulo que subtiende la bóveda de  $121^\circ$ , y para la sección en roca tipo IV y la zona de portales es de 6,11 m, con un ángulo de  $122^\circ 18'$ . La altura de la pared corta es de 4,30 m y para la sección en roca tipo IV, es de 4,36m.

En la Tabla 2.28, se muestra el resumen de las dimensiones principales de los túneles de la vía Puerto Valdivia - Presa.

## ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Tabla 2.28 Dimensiones de los túneles de la vía puerto Valdivia.

		Abscisa	Long. Túnel [m]	Ancho de excavación [m]		Altura de excavación por el eje [m]		Long. De portales [m]	Cota Rasante [msnm]	Pendiente [%]
				Roca tipos I, II Y III	Portales y roca tipo IV	Roca tipos I, II Y III	Portales y roca tipo IV			
Túnel 1	Portal entrada	Km 0+307	338	10,20	10,70	7,38	7,63	6,00	160,21	-0,80%
	Portal salida	Km 0+645						6,00	157,58	
Túnel 2	Portal entrada	Km 10+371	182	9,60	10,10	7,38	7,63	6,00	198,76	1,10%
	Portal salida	Km 10+553						6,00	200,76	
Túnel 3	Portal entrada	Km 18+095	104	9,60	10,10	7,38	7,63	6,00	257,39	-0,70%
	Portal salida	Km 18+199						6,00	256,67	
Túnel 4	Portal entrada	Km 21+443	215	9,60	10,10	7,38	7,63	6,00	277,51	1,00%
	Portal salida	Km 21+658						6,00	276,00	-5,30%
Túnel 5	Portal entrada	Km 23+435	142	9,60	10,10	7,38	7,63	6,00	244,98	7,00%
	Portal salida	Km 23+577						6,00	254,86	

## ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

		Abscisa	Long. Túnel [m]	Ancho de excavación [m]		Altura de excavación por el eje [m]		Long. De portales [m]	Cota Rasante [msnm]	Pendiente [%]
				Roca tipos I, II Y III	Portales y roca tipo IV	Roca tipos I, II Y III	Portales y roca tipo IV			
Túnel 6	Portal entrada	Km 26+960	95	9,60	10,10	7,38	7,63	6,00	288,28	3,80%
	Portal salida	Km 27+055						6,00	289,46	-3,80%
Túnel .7	Portal entrada	Km 31+757	75	N/A	10,10	N/A	7,63	0,00	289,85	4,90%
	Portal salida	Km 31+832						0,00	293,52	
Túnel 8	Portal entrada	Km 33+150	172	9,60	10,10	7,38	7,63	6,00	287,61	-0,70%
	Portal salida	Km 33+322						6,00	286,41	
Túnel 9	Portal entrada	Km 36+393	116	9,60	10,10	7,38	7,63	6,00	245,48	-3,70%
	Portal salida	Km 36+509						6,00	241,19	

Fuente: Consorcio Generación Ituango

### **2.2.17 Energía para construcción**

La energía para construcción será proporcionada mediante una línea de transmisión de energía, a 110 kV, entre la subestación Yarumal de EPM y la subestación de 44 kV de construcción, localizada en el sitio de la obra.

Si bien esta solución corresponde a la adoptada desde estudios anteriores, para los presentes diseños de factibilidad se acopió información actualizada de EPM, relacionada con facilidades existentes en la zona y reglamentos y normas aplicables a este tipo de trabajos, y se desarrollaron las actividades de selección de la ruta y de los principales elementos componentes de la línea, tales como conductor, cable de guarda, estructuras, aisladores, herrajes para las cadenas de aisladores, etc., y se efectuó un plantillado preliminar sobre un perfil levantado con base en la topografía digital disponible, para alcanzar mayor precisión en la determinación de cantidades y pesos de las estructuras, de tal manera que se pudiera determinar también con mayor precisión el presupuesto de la línea

#### **2.2.17.1 Información utilizada**

La selección de la ruta de la línea, hasta el corregimiento de El Valle, se efectuó sobre una restitución topográfica en escala 1:10.000 del corredor de la línea de transmisión a 44 kV Yarumal – El Valle. Para el tramo de El Valle hasta la subestación de construcción, se utilizó la topografía disponible para el Proyecto y el diseño preliminar de la vía de acceso al mismo.

Para la definición del ancho de faja de servidumbre, distancias de seguridad y otros criterios de diseño, se utilizó la última versión del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE (Abril – 2007).

Fueron utilizados también programas preparados por Integral para cálculo de regulación y pérdidas, cálculo de temperatura en el conductor, cálculo mecánico de conductores y cálculo de plantillas para las catenarias del conductor.

#### **2.2.17.2 Diseños de factibilidad**

Selección del conductor y del cable de guarda. Se calcularon la regulación y las pérdidas para una gama de conductores que para la potencia por transmitir (10.000 kW), la tensión de transmisión (110 kV) y la longitud de la línea (42,5 km), cumplieran el criterio de regulación máxima de 5%. Así mismo, se calculó la temperatura máxima de cada uno de los conductores de la gama anterior, en condiciones normales.

Entre los conductores de la gama estudiada que cumplen con las restricciones técnicas, se seleccionó el conductor ACSR 477 kcmil HAWK, con miras a la estandarización, por ser el de menor calibre normalmente utilizado en líneas de 110 kV.

Por la necesidad de disponer de fibras ópticas para las comunicaciones, se optó por la utilización del cable de guarda tipo OPGW, de 12 fibras, con las características del que actualmente utiliza EPM.

Cálculo mecánico de conductor y de cable de guarda. El cálculo mecánico del conductor y del cable de guarda, se realizó mediante programa para computador (hoja de EXCEL), y los resultados se utilizaron en la determinación de las cargas sobre las torres.

En el cálculo de las cargas de viento se utilizó la formulación tradicionalmente utilizada por EPM, adoptando una “velocidad del viento básico” de 100 km, para cumplir con las exigencias de la norma de construcciones sismo resistentes NSR-98.

Plantillado preliminar, cargas y pesos. Las plantillas fueron calculadas por un programa para computador (hoja de EXCEL); el perfil para el plantillado preliminar fue obtenido por medio del programa In-Road a partir de la topografía 1:10.000 disponible.

Se efectuó un plantillado libre, que permitió definir una familia de torres con tres tipos: suspensión, retención en ángulos medios y retención en ángulos grandes/terminal.

Con base en el resultado del plantillado, se calcularon las cargas sobre las estructuras y finalmente, se determinó el peso de estas por medio de la metodología de la BPA, (Bonnevillle Power Administration).

Con base en el trabajo descrito anteriormente, se determinaron a este nivel de factibilidad, las características de los principales componentes de la línea de energía para construcción, a saber, conductor, cable de guarda, aisladores, torres y herrajes, y se elaboró el presupuesto correspondiente.

## **2.2.18 Ubicación y características de planta de triturado y de concretos**

### **2.2.18.1 Planta de trituración**

El beneficio de materiales pétreos es el proceso técnico que permite mediante adecuados procesos industriales, convertir en áridos de distinta granulometría y con las características especificadas, los materiales crudos provenientes de las minas o canteras y garantizar el cumplimiento de normas y ensayos en todas las etapas del proceso de producción.

El proceso de beneficio de materiales es un proceso en el cual no se genera ningún tipo de emisión, ya que debido al uso de agua en los equipos de lavado, el material permanece húmedo y se entrega húmedo a la salida de las bandas transportadoras, para ser llevado luego a los sitios de acopio para despacho, el agua industrial se recircula constantemente pasando por piscinas de sedimentación.

La producción de material se efectúa sólo durante la jornada diurna y su operación comprende el procesamiento de agregados de forma selectiva, es decir, no hay operación en paralelo para las siete líneas disponibles.

En cuanto al proceso productivo, el material extraído de la cantera, es depositado en una tolva de 45 m<sup>3</sup>, en la parte inferior de la tolva hay un alimentador vibratorio grizzly el cual realiza una primera clasificación del material mediante unas rejillas de 3” de separación. El material mayor a 3” pasa directamente a la trituradora de mandíbulas, mientras que el material que se clasificó inicialmente (menor 3”) pasa mediante la

banda número 16, hacia la banda número 1 donde se une con el material triturado en la trituradora de mandíbulas. Luego se realiza uno de los siguientes procedimientos alternativos, según el tipo de material requerido.

Para material triturado y arena para concreto se realiza el siguiente procedimiento: el material pasa de la banda 1 a la banda 2 que lo eleva al tambor de lavado trommel, allí se le inyecta el agua de bombeo de las piscinas de sedimentación y se hace una separación parcial de la arena. El material pasa a la criba 8x24 la cual posee un sistema de duchas para retirar la arena remanente del primer proceso, esta criba cuenta con tres pisos donde el material es clasificado de acuerdo a tamaños de aberturas de malla repartidos en cada piso de acuerdo a las especificaciones del material que se requiera. El material seleccionado en el primer piso es el sobre tamaño, el cual pasa al transportador número 3 y lo lleva a la tolva pulmón donde se almacena para ser triturado en el triturador de cono. El material que sale del piso intermedio pasa al transportador número 10 y este cae directamente a la zona de despacho. El material clasificado en el piso inferior pasa al transportador número 9 que también lo pasa a la zona de despacho.

La arena recogida en los dos procesos, es dirigida hacia los tornillos sinfín, los cuales por gravimetría, separan la arena del agua remanente y la llevan al transportador número 8 hacia su sitio de despacho. El agua de todo el proceso sale por rebose de los tornillos areneros a un canal que la dirige a las piscinas de sedimentación.

Para base granular y subbase: el material sale del transportador número 1 pasa a la banda número 15, la cual lo lleva a una tolva secundaria de aproximadamente 25 m<sup>3</sup>, mediante un alimentador vibratorio pasa al transportador número 11, que lo lleva a una criba 6x20 donde se hace clasificación de material y pasa al transportador número 14 hacia su sitio de acopio. El sobre tamaño pasa al transportador número 7 el cual lo retorna a la línea húmeda en el transportador número 2 (primer proceso). En este proceso no hay inyección de agua debido a que el material a procesar contiene entre el 18 y el 25% de humedad, por lo que no se generan emisiones de material particulado.

Se realiza el procedimiento número 1 hasta que llega a la tolva pulmón, de ahí, pasa el material por gravedad al transportador número 4, el cual lo lleva directamente al triturador de cono, posteriormente se descarga en el transportador número 6 así:

Si se requiere base granular el transportador lo descarga a la criba 6x20.

Si se requiere subbase granular, el material se deriva hacia el transportador número 13 el cual lo retorna al transportador número 7 que lo descarga en la línea húmeda.

- Elementos generales de la planta:
  - Bandas transportadoras: 14
  - Tolvas: 2
  - Trituradoras: 2, una mandíbulas y una de cono
  - Cribas: 2

- Alimentadores vibratorios: 2
- Tambor de lavado: 1
- Tornillo sinfín: 2, 1 doble
- Tipo de material procesado:
  - Triturados para concretos de tamaño máximo nominal 1-1/2", 3/4"
  - Arena lavada para concretos
  - Piedra filtro clasificada
  - Subbase granular
  - Base granular

En la Figura 2.6, se presenta el esquema general de la planta de trituración

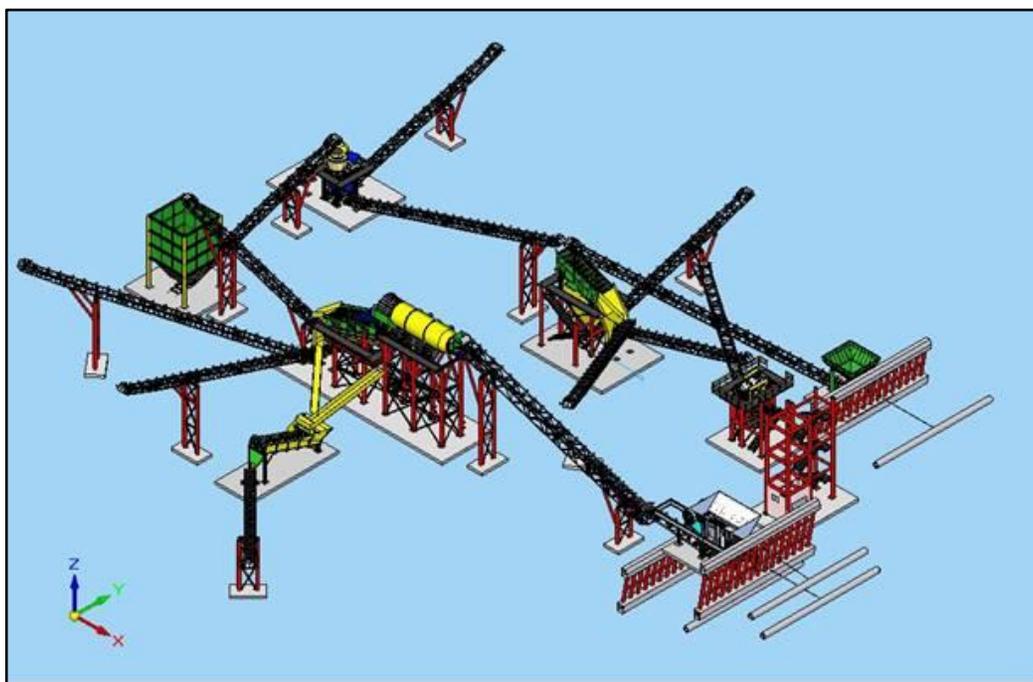


Figura 2.6 Esquema general de la planta de trituración

La Tabla 2.29, presenta las coordenadas de ubicación de las plantas de trituración fijas dispuestas para el Proyecto, estas se encuentran ubicadas cerca al corregimiento El Valle del municipio de Toledo.

**Tabla 2.29**      **Coordenadas de Planta de Trituración**

Planta de trituración	X	Y
Planta de trituración 1	1.156.733	1.280.336
Planta de trituración 2	1.157.372	1.281.336

Fuente: Consorcio Generación Ituango

Nota: Coordenadas MAGNA SIRGAS

### **2.2.18.2 Planta de concretos**

Contará con una planta dosificadora marca Koneko de 40 m<sup>3</sup>/hr, con un sistema de automatización marca Command Batch el cual registra todos los pesos y litros aplicados, entregando un registro de cargue preimpreso. Los silos cuentan con sistema captador de partículas tipo silo-top y sistema aireador neumático. Los silos tienen una capacidad de almacenamiento de 60 y 70 ton.

El sistema de cargue es por descuento de masas es decir una báscula de agregados de 20.000 kg con dos compartimentos (arena y grava) y una báscula de cemento de 4.000 kg de capacidad y sistemas cuenta litros de agua y aditivos, la mezcla la realizarán los mixer en sus trompos; la caída de materiales a los carros se realizará de la siguiente forma:

Inicia el 70% de agua al inicio, luego se procede con la caída simultánea de cemento y agregados (ya sea arena o grava), una vez finalizado este proceso de agregados se procede con el 30% restante de agua y el 100% de los aditivos.

Después de tener todos los materiales en el trompo se da un tiempo de mezclado de aproximadamente 8 minutos para homogenización de la mezcla.

Por último, se toma la respectiva muestra de concreto ya sea para realizar prueba de asentamiento o cilindro, el sobrante de concreto del coche se dispone en el sistema de sedimentación.

Para el lavado de las mixer, se contará con un sistema de recirculación compuesto por dos tanques de sedimentación, dos piscinas de clarificado y un compartimiento de secado de lodos; dos bombas una de lavado y otra de retorno hacia el tanque de almacenamiento de agua el cual posteriormente es utilizado en el proceso de preparación de concreto. El mantenimiento se realiza de acuerdo al volumen de despacho, dicho sedimento será reutilizado en las vías como adición para la estabilización de fallos o como lleno estructural.

### **2.2.18.3 Plantas de asfaltos**

Las plantas de asfalto que se utilicen en el Proyecto pueden ser continuas de flujo paralelo, plantas de asfalto continuas de contraflujo y mezclado externo en tambor o Plantas Batch, las cuales se diferencian por el proceso que llevan al momento de mezclar los componentes del asfalto, en la Tabla 2.30, se presenta la ubicación de las plantas de asfalto licenciadas.

**Tabla 2.30 Coordenadas de plantas de asfaltos**

Sitio	X	Y
Sitio 1	1.155.367	1.270.901
Sitio 2	1.155.585	1.260.262
Sitio 3	1.157.325	1.260.262
Sitio 4	1.157.038	1.268.890
Sitio 5	1.155.823	1.270.498
Sitio 6	1.153.879	1.273.904

Fuente: Consorcio Generación Ituango

Nota: Coordenadas MAGNA SIRGAS

En la Tabla 2.31, se encuentran las coordenadas de localización de las plantas de asfalto concreto y triturado que se requieren en la construcción de la vía Puerto Valdivia – Presa.

**Tabla 2.31 Coordenadas de localización de las plantas requeridas para la vía Puerto Valdivia-Presa**

PLANTAS	COORDENADAS	
	X	Y
1 Planta Quebrada El retoño	1.160.062	1.282.655
	1.160.055	1.283.040
	1.160.254	1.283.044
	1.160.260	1.282.723
2. Planta quebrada Sinitavé	1.166.705	1.288.100
	1.166.566	1.288.374
	1.166.745	1.288.465
	1.166.883	1.288.190
3. Planta Quebrada La Guamera	1.180.534	1.293.716
	1.180.401	1.293.997
	1.180.577	1.294.080
	1.180.710	1.293.799
4. Planta Quebrada De Irsi	1.184.094	1.296.846
	1.183.936	1.296.746
	1.184.148	1.296.196
	1.184.329	1.296.516

Fuente: Consorcio Generación Ituango

Nota: Coordenadas MAGNA SIRGAS

## 2.2.19 Estimativo de los volúmenes especificados por tipo de obra o actividad

A continuación se relacionan los diferentes volúmenes generados por actividad durante la construcción del proyecto.

### 2.2.19.1 Descapote

Se entenderá por descapote en los terraplenes y en las zonas de depósito, la remoción, cargue, disposición y colocación en las zonas de depósito, de las capas

superficiales de terreno natural o de suelos orgánicos, y todo material inadecuado que normalmente deben retirarse del lugar de las obras.

El material producto del descapote deberá ser retirado fuera de la zona de descapote y depositado en la zona dispuesta para ello o en aquellos sitios que señale el Interventor.

Las zonas de depósito deberán descapotarse en el mismo orden en que vayan a excavar y a ser utilizadas, pero las porciones descapotadas no deberán exceder del área necesaria para colocar y compactar los volúmenes de materiales depositados en dicha zona.

El material proveniente de los descapotes se depositará en zonas donde no cause interferencias ni contaminen los cauces naturales de acuerdo con lo mostrado en los planos y lo indicado por el Interventor.

El volumen estimado es de 341.873 m<sup>3</sup>.

#### **2.2.19.2 Excavaciones en roca y material común**

Comprende la excavación de masas de rocas que requieren el empleo sistemático de explosivos para su fracturación y posterior remoción.

Comprende, también, la excavación de bloques con volumen individual mayor de un metro cúbico (1 m<sup>3</sup>), procedentes de macizos alterados o de masas transportadas o acumuladas por acción natural, que para su fragmentación requieran el uso de explosivos.

Las excavaciones de material común comprende la excavación de materiales no cubiertos por el aparte anterior, excavación en roca. La excavación podrá ser por encima o por debajo del nivel freático.

El volumen estimado de material en roca es de 2.425.688 m<sup>3</sup> y de material común 3.210.920 m<sup>3</sup>.

#### **2.2.19.3 Terraplenes**

Comprende la escarificación, nivelación y compactación del terreno natural o del afirmado en donde haya de colocarse un terraplén nuevo, previa ejecución de las obras de desmonte y limpieza, demolición, drenaje y subdrenaje; y la conformación y compactación de materiales apropiados.

El volumen estimado es de 99.620 m<sup>3</sup>.

#### **2.2.19.4 Llenos para estructuras**

Comprende la colocación en capas, conformación y compactación de los materiales adecuados provenientes de la misma excavación, de los cortes o de otras fuentes de materiales utilizadas para el Proyecto.

El volumen estimado es de 26.665 m<sup>3</sup>.

### **2.2.19.5 Conformación de zonas de depósito**

Se refiere a la disposición en las áreas de depósito seleccionadas para tal fin, de los materiales producto de las excavaciones, demoliciones y derrumbes del proyecto vial, que por sus características sean inadecuados para la construcción de llenos, filtros, bases y sub-bases u otros fines de la obra o cuya cantidad exceda la requerida para fines de la construcción.

El volumen estimado es de 5.812.400 m<sup>3</sup>.

### **2.2.19.6 Zonas de depósito de materiales**

En la fase de factibilidad del Proyecto se determinaron algunos depósitos, los cuales fueron presentados en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Ituango y fueron aprobados en los Artículos Tercero y Séptimo de la Resolución 155 del 30 de enero de 2009, por medio de la cual se otorgó la Licencia Ambiental. Luego en los Artículos Cuarto y Quinto de la Resolución 1891 del 01 de octubre de 2009, por medio de la cual se modifica la Licencia Ambiental, se autoriza el aumento de la capacidad y se denominan algunas zonas de depósito, previamente aprobadas en la Resolución 155; también se adicionan otros sitios de depósito, para atender la demanda de disposición de materiales sobrantes de excavaciones provenientes de la rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle, la construcción de la variante El Valle y la construcción del túnel de Chirí, nuevas actividades aprobadas.

Para el Proyecto existen 21 sitios de depósito de material de excavación aprobados a la fecha (30 de junio de 2010), en la segunda modificación de la Licencia Ambiental, se solicito permiso para utilizar otros dos sitios de depósito identificados para la zona de obras principales, Orejón y para las vías Tacuí 2.

A continuación se describen los sitios de material de depósito aprobados en la Licencia Ambiental, los presentados en la segunda modificación de la licencia ambiental y otros identificados para la construcción de la vía Puerto Valdivia- sitio de presa, agrupados en obras principales y vías. Así mismo en los planos D-PHI-110-DP-SO-DEP-030, D-PHI-110-DP-SO-DEP-040 y D-PHI-110-DP-SO-DEP-050 se presentan cada uno de los depósitos contemplados para el Proyecto Hidroeléctrico Ituango, con las vías, construcciones y cuerpos de agua cercanos a ellos.

#### **2.2.19.6.1 Depósitos obras principales**

- Depósito Tenche. Ubicado en la zona de obras principales cerca de la quebrada Tenche. Su capacidad se ha estimado en 1.700.000 m<sup>3</sup>.
- Depósito Subestación. Ubicado en la zona de obras principales cerca del depósito Ticuitá 2. Su capacidad se ha estimado en 700.000 m<sup>3</sup>.
- Depósito Ticuitá 2. Se localiza a unos 200 m al Este del depósito Ticuitá 1, ocupando un sector entre las cotas 300 y 430 msnm. Este depósito será únicamente empleado para disponer materiales sobrantes no aptos para el lleno de la presa y los provenientes de la construcción de las vías en la zona de la central. Su capacidad se ha estimado en 1.800.000 m<sup>3</sup>.

- Depósito Ticutá 1. Se localiza a una distancia del orden de 1 km de las obras de descarga de la central, en la cuenca de la quebrada Ticutá. Este depósito es de gran importancia ya que será la zona de acopio de la roca apta para colocar en la presa que se obtenga durante los dos primeros años de la excavación del vertedero, tiempo estimado para la construcción de los túneles de desviación y preparación de la fundación de la presa. También se llevará a este depósito material resultante de las excavaciones subterráneas de la central acometidas desde el túnel de acceso y de los túneles de desviación acometidas desde el portal de salida. Una vez iniciada la construcción de la presa, el depósito proveerá de roca a ésta constantemente, hasta la finalización de la construcción de la misma.

Se estima que el depósito alcanzará una capacidad máxima del orden de 6.000.000 m<sup>3</sup> y que al final del Proyecto almacenará permanentemente un volumen sobrante del orden de 2.000.000 m<sup>3</sup>.

- Depósito Villa Luz. Ubicado en la vía sustitutiva entre el municipio de Ituango y la presa - Km 3+500. La capacidad de este depósito se estimó en 200.000 m<sup>3</sup>.
- Depósito El Palmar. Ubicado en la vía sustitutiva entre el municipio de Ituango y la presa - Km 5+400. La capacidad de este depósito se estimó en 504.000 m<sup>3</sup>.

#### 2.2.19.6.2 Depósitos de las vías

- Depósito La Variante. Ubicado en las afueras de la cabecera municipal de San Andrés de Cuerquia, en el K0+000, antes del inicio de la variante ha dicho municipio. Aquí se dispondrán materiales provenientes de la construcción de la variante San Andrés. La capacidad se estimó en 113.246 m<sup>3</sup>. Este depósito tiene afectación sobre varias viviendas y se encuentra cerca a la quebrada Piedecuesta del municipio de San Andrés de Cuerquia.
- Depósito La Ladrillera. Ubicado desde el K1+300 (margen derecha e izquierda de la vía), hasta el K1+800 (margen derecha de la vía) de la rectificación San Andrés - El Valle. Aquí se dispondrán materiales provenientes de esta rectificación. La capacidad de este depósito se estimó en 954.274 m<sup>3</sup>. Este depósito tiene afectación sobre varias viviendas y se encuentra cerca a la quebrada Cañaduzales del municipio de San Andrés de Cuerquia.
- Depósito Cañaduzales. Ubicado en el Km 2+400 (margen derecha e izquierda de la vía), de la rectificación San Andrés - El Valle. Aquí se dispondrán materiales provenientes de esta rectificación.
- Depósito Las Heliconias. Ubicado en el Km 4+100 (margen izquierda de la vía), de la rectificación San Andrés - El Valle. Aquí se dispondrán materiales provenientes de esta rectificación.
- Depósito Alto Seco. Ubicado en el K5+000 (margen izquierda de la vía), de la rectificación San Andrés - El Valle. Aquí se dispondrán materiales provenientes de esta rectificación. Este depósito se encuentra cerca a la quebrada El Pílon del municipio de San Andrés de Cuerquia.

- Depósito El Medio. Está situado en la rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle en el kilómetro 9+100. El depósito se conformará con pendientes de 2,0H : 1,0V. La capacidad de este depósito se estimó en 69.000 m<sup>3</sup>.
- Depósito El Valle. Ubicado en la rectificación de la vía San Andrés - El Valle entre el K22+100 y K23+200. La capacidad de este depósito se estimó en 1.036.749 m<sup>3</sup>. Este depósito se encuentra ubicado cerca al corregimiento El Valle (municipio de Toledo).
- Depósito La Uriaga. Ubicado en los puntos, rectificación de la vía San Andrés – El Valle km 23+700, km 24+600 y km 24+800. La capacidad de este depósito se estimó en 2.087.450 m<sup>3</sup>. Este depósito se encuentra ubicado cerca al corregimiento El Valle (municipio de Toledo).
- Depósito Taque. Está situado en la rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle en el km 17+600. El depósito se conformará con pendientes de 2,0H:1,0V. La capacidad de este depósito se estimó en 343.000 m<sup>3</sup>.
- Depósito La Matanza. Ubicado en la rectificación de la vía San Andrés de Cuerquia – El Valle en el km 20+100 y km 21+800. La capacidad de este depósito se estimó en 1.516.000 m<sup>3</sup>.
- Depósito Caparrosa. Ubicado en la vía sustitutiva entre el Valle y la presa - Km 1+100. La capacidad de este depósito se estimó en 1.500.000 m<sup>3</sup>.
- Depósito La Cumbre. Ubicado el km 4, en la vía que conduce desde el corregimiento del Valle al sitio de presa.
- Depósito El Pescadero. Está situado en la vía sustitutiva que desde la presa conduce a Ituango en el km 8+800. El depósito se conformará con pendientes de 2,0H:1,0V. La capacidad de este depósito se estimó en 378.140 m<sup>3</sup>.
- Depósito Tacuí 1. Ubicado en la vía existente a 1,5 Km de la entrada a los campamentos. La capacidad de este depósito se estimó en 948.560 m<sup>3</sup>. Este depósito se encuentra cerca al campamento de EPM-Ituango.
- Depósito Tacuí 2. Ubicado a una distancia aproximada de 1,2 km de la zona de campamentos en el sentido de la vía que conduce desde El Valle (municipio de Toledo) hasta el municipio de Ituango. El depósito se encuentra ubicado entre las cotas 305 y 345 msnm, encontrándose en la zona de inundación del embalse. Su capacidad se ha estimado en 67.000 m<sup>3</sup> y su ubicación en las coordenadas X= 1.153.448 Y=1.274.631.

En el plano D-PHI-110-DP-SO-DEP-020 se presentan la localización de los sitios de depósito asociados a las vías del Proyecto. Estos planos incluyen tanto las zonas licenciadas, y que se encuentran alrededor de las obras y el corregimiento de El Valle (municipio de Toledo), como las adicionales que buscan disminuir los tiempos de acarreo y por lo tanto minimizar las emisiones de material particulado, gases y el riesgo por accidente. Para el drenaje en zonas de depósito, se han propuesto varios tipos de

canal y cunetas. Estas obras comprenden desde canales excavados en tierra hasta estructuras de concreto, conformando canales escalonados.

A la fecha se han identificado los siguientes depósitos necesarios para la construcción de la vía Puerto Valdivia – presa, para los cuales se identificará la demanda de recursos naturales y se solicitará permiso para su utilización, antes del comienzo de la construcción de la vía en mención, los sitios se nombran a continuación:

- Las Pecas: son 5 depósitos ubicados cerca a Puerto Valdivia en dirección a la Presa, a continuación se especifican las características de cada uno, cuyo volumen total de disposición es de 132.500 m<sup>3</sup>.
  - Pecas 1: se ubica en el km 1+200 en la margen izquierda de la vía, con coordenadas X = 1.185.128 Y = 1.297.429, ocupará un volumen aproximado de 66.000 m<sup>3</sup>.
  - Pecas 2: se ubica en el km 1+400 en la margen izquierda de la vía, con coordenadas X = 1.185.017 Y = 1.297.336, ocupará un volumen aproximado de 22.000 m<sup>3</sup>.
  - Pecas 3: se ubica en el km 1+600 en la margen izquierda de la vía, con coordenadas X = 1.184.928 Y = 1.297.189, ocupará un volumen aproximado de 8.400 m<sup>3</sup>.
  - Pecas 4: se ubica en el km 1+750 en la margen izquierda de la vía, con coordenadas X= 1.184.829 Y= 1.297.056, ocupará un volumen aproximado de 16.400 m<sup>3</sup>.
  - Pecas 5: se ubica en el km 1+950 en la margen izquierda de la vía, con coordenadas X= 1.184.733 Y =1.296.915, ocupará un volumen aproximado de 19.700 m<sup>3</sup>.
- La Planta: se ubica en el km 2+500 en la margen izquierda de la vía, con coordenadas X= 1.184.407 Y= 1.296.443, ocupará un volumen aproximado de 10.000 m<sup>3</sup>.
- Humagá 1: se ubica cerca al km 31+000 en la margen derecha de la vía, con coordenadas X= 1.161.620 Y= 1.285.715, ocupará un volumen aproximado de 3.400.000 m<sup>3</sup>.
- Humagá 2: se ubica cerca al km 31+400 en la margen derecha de la vía, con coordenadas X= 1.161.467 Y= 1.284.977, ocupará un volumen aproximado de 2.250.000 m<sup>3</sup>.
- Cachirime 1: se localiza a 1,90 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, con coordenadas X= 1.187.262 Y= 1.299.197, ocupará un volumen aproximado de 57.733 m<sup>3</sup>.
- Cachirime 2: se localiza a 1,93 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, con coordenadas X= 1.187.432 Y= 1.299.464, ocupará un volumen aproximado de 89.760 m<sup>3</sup>.

- La Bomba: se localiza a 2,90 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, con coordenadas X= 1.188.079 Y= 1.300.016, ocupará un volumen aproximado de 26.000 m<sup>3</sup>.
- Las Zorras: se localiza a 3,90 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, con coordenadas X= 1.188.688 Y= 1.300.801, ocupará un volumen aproximado de 625.000 m<sup>3</sup>.
- El Pescado1: se localiza a 9,50 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, en la margen izquierda de la vía, con coordenadas X = 1.192.376 Y = 1.304.692, ocupará un volumen aproximado de 66.645 m<sup>3</sup>.
- El Pescado 2: se localiza a 9,50 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, en la margen derecha de la vía, con coordenadas X = 1.192.409 Y = 1.304.589, ocupará un volumen aproximado de 59.721 m<sup>3</sup>.
- El Raudal: se localiza a 11,00 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, en la margen derecha de la vía, en las coordenadas X = 1.193.032 Y= 1.306.570, ocupará un volumen aproximado de 72.000 m<sup>3</sup>.
- La Canaria: se localiza a 16,60 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, en la margen derecha de la vía, con coordenadas X = 1.195.740 Y = 1.310.861, ocupará un volumen aproximado de 160.000 m<sup>3</sup>.
- La Mina 1: se localiza a 16,60 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, en la margen izquierda de la vía, ocupará un volumen aproximado de 165.000 m<sup>3</sup>.
- La Mina 2: se localiza a 16,60 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, en la margen izquierda de la vía, ocupará un volumen aproximado de 133.000 m<sup>3</sup>.
- La Mina 3: se localiza a 16,60 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, en la margen izquierda de la vía, ocupará un volumen aproximado de 354.000 m<sup>3</sup>.
- La Mina 4: se localiza a 16,60 km de Puerto Valdivia en dirección al municipio de Tarazá, en la margen izquierda de la vía, ocupará un volumen aproximado de 230.000 m<sup>3</sup>.

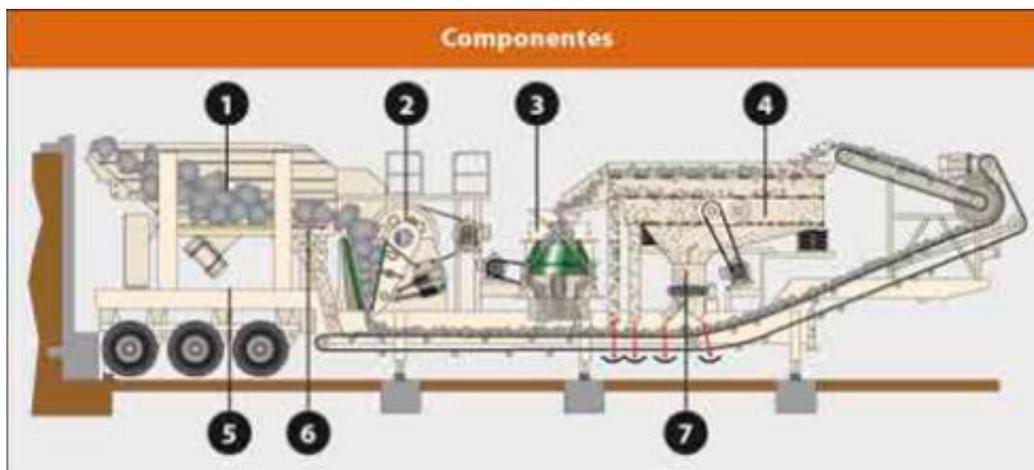
#### **2.2.20 Descripción de las fuentes de emisiones atmosféricas y de ruido por fuentes fijas y móviles**

La maquinaria utilizada en actividades constructivas, la construcción de obras de ingeniería como vías, puentes y edificaciones, y el tránsito de vehículos para suministro y transporte de material y personal, generan material particulado, gases y ruido que modifican la calidad del aire en la zona del Proyecto; sumado a ésta, se encuentra las emisiones generadas en la explotación de material y las excavaciones superficiales.

En cuanto a las Plantas de trituración, actualmente se cuenta con una cerca al corregimiento El Valle, otras plantas de trituración que se piensa deben ser móviles se instalarán en la zona de excavación del vertedero la cual irá bajando el nivel y la planta deberá reubicarse.

Las plantas de trituración móviles que se instalarán en la zona del vertedero, deberán procesar alrededor de 500.000 m<sup>3</sup> de material mensual durante 46 meses que dura la construcción de la presa. Estas plantas funcionan mediante energía eléctrica. El material procesado será humectado para controlar las emisiones que se puedan generar en la banda transportadora, mediante flautas de microaspersión. El material que se triturará es el resultante de la excavación del vertedero.

El rendimiento de producción de estas plantas varía entre 60 Ton/h y 200 Ton/h. Un esquema típico de la planta, que puede variar de acuerdo al modelo y la marca, se presenta en la Figura 2.7, donde se identifican los siguientes componentes:



**Figura 2.7 Esquema típico de Planta**

1. Alimentadora de velocidad variable, 2. Trituradora de mandíbulas, 3. Trituradora secundaria  
4. Zaranda vibratoria horizontal, 5. Chasis, 6. Grilla, 7. Último piso de la zaranda

La Planta de Asfalto puede generar emisiones por el material particulado (finos, polvo) provenientes del proceso de secado de los áridos, para lo cual es común utilizar sistemas como un Separador Estático, un Filtro de Mangas o un sistema multiciclón.

### **2.2.21 Requerimiento de uso, aprovechamiento y afectación de recursos naturales por actividad durante las etapas de construcción y operación**

Los requerimientos de uso, aprovechamiento y afectación de recursos naturales se explican y desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo 4 Demanda, uso y /o aprovechamiento de recursos naturales, en el cual se incluye la fase de construcción y operación.

## 2.2.22 Características del embalse

La Tabla 2.32 presenta las características del embalse del Proyecto.

**Tabla 2.32 Características del embalse del Proyecto Hidroeléctrico Ituango**

Área del embalse (Ha)	3.812
Longitud (m)	77.100

Fuente: Consorcio Generación Ituango

### 2.2.22.1 Regla de operación del embalse

La regla de operación del embalse de proyecto hidroeléctrico Ituango, consiste en garantizar que en un mismo día (o lapso de 24 horas) la fluctuación del caudal del río debe restringirse en función del caudal medio del río Cauca en ese día, de la siguiente manera:

- Para un caudal medio del río igual al caudal máximo turbinable ( $Q=1.350 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la restricción está en no generar variaciones de caudal mayores al 25%, bien sea generando energía o utilizando el rebosadero o utilizando la descarga intermedia. El hecho es que no se puede disminuir el caudal por debajo de este valor.
- En el caso de vertimientos por el rebosadero esta restricción no aplicaría debido a que se estaría descargando excedentes de almacenamiento.
- Cuando el caudal medio del río Cauca equivalga a la mitad de la capacidad de generación ( $Q = 675 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la restricción en la variación de caudal descargado a lo largo del día debe ser del 12,5%.
- Para otros rangos de caudales, la restricción será proporcional teniendo en cuenta estos dos valores extremos, tal como se presenta en la Tabla 2.33.

**Tabla 2.33 Restricción de la variación de caudales extremos evacuados por el embalse en un lapso de 24 horas**

Caudal medio en el río Cauca	Variación máxima
( $\text{m}^3/\text{s}$ )	(%)
2.000	37,0%
1.750	32,4%
1.500	27,8%
1.400	25,9%
1.350	25,0%
1.300	24,1%
1.200	22,2%
1.100	20,4%
1.000	18,5%

Caudal medio en el río Cauca	Variación máxima
900	16,7%
800	14,8%
700	13,0%
675	12,5%
600	11,1%
500	9,3%
400	7,4%
300	5,6%
200	3,7%

Fuente: Consorcio Generación Ituango

### **2.2.22.2 Estimación de la mano de obra requerida**

Se estima que en su punto máximo, el contratista tendrá en la zona, vinculadas a la ejecución del Proyecto unas 6.200 personas. Por otro lado, se estima que de parte del propietario el personal de administración e interventoría podrá ascender a unas 300 personas, lo que lleva a un total de 6.500 personas.

### **2.2.22.3 Duración de las obras y costos**

Se estima que la construcción del proyecto Hidroeléctrico Ituango tendrá una duración de 11 años comenzando en octubre de 2009 y terminando en diciembre de 2020. El detalle de las etapas, actividades y su duración se muestran en el Cronograma de actividades del Proyecto, Anexo D-PHI-EAM-EIA-CAP02-ANX-A.

Además el costo de la etapa de construcción del proyecto asciende a \$ 3.001.446 millones de dólares, el resumen de los costos de construcción del Proyecto se pueden observar en el Anexo D-PHI-EAM-EIA-CAP02-ANX-B.