



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DEFINITIVO DEL
 PROYECTO HIDROELÉCTRICO MINAS ALTERNATIVA SAN
 FRANCISCO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO
 DEFINITIVO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA UNIÓN.

INFORME EJECUTIVO

PROYECTO LA UNIÓN

EVENTO 22

Informe Ejecutivo



REV.	REDACCIÓN		VERIFICACIÓN		APROBACIÓN AGA		
	NOMBRE	FIRMA	NOMBRE	FIRMA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
A	Ing. A. Troncoso		Ing. M. Novillo		Ing. M. Novillo		26/02/2011
B	Ing. A. Troncoso Ing. L. Ríos		Ing. M. Novillo		Ing. M. Novillo		12/05/2011
C	Ing. A. Troncoso Ing. L. Ríos		Ing. M. Novillo		Ing. M. Novillo		17/07/2011
D	Ing. A. Troncoso Ing. L. Ríos		Ing. M. Novillo		Ing. M. Novillo		30/09/2011
Modificaciones: <ul style="list-style-type: none"> • A Emisión inicial • B Observaciones CFE Oficio ENJ UF 042 del 28 de marzo de 2011 • C Observaciones CFE Oficio ENJ UF 063 del 03 de junio de 2011 • D Aprobado con Oficio ENJ.UF-076 del 29 de agosto de 2011 							

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	PREMISA.....	1
1.2.	ANTECEDENTES.....	2
1.3.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	5
1.4.	OBJETIVOS DEL INFORME.....	8
CAPÍTULO 2.	TOPOGRAFÍA	10
2.1.	UBICACIÓN	10
2.2.	DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS Y COLOCACIÓN DE PUNTOS GPS.....	10
2.2.1.	RESTITUCIÓN AEROFOTOGRAMÉTRICA	10
2.2.2.	COLOCACIÓN DE PUNTOS GPS Y NIVELACIÓN DE PUNTOS GPS	11
2.2.3.	LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS A ESC. 1:1 000	13
2.2.3.1.	SECTOR SAN FRANCISCO	13
2.2.3.2.	SECTOR LA CASCADA Y TENDALES	14
2.2.3.3.	SECTOR RIO VIVAR.....	14
2.2.3.4.	SECTOR GRAMALOTE	14
2.2.3.5.	SECTOR PITAHUIÑA	15
CAPÍTULO 3.	HIDROLOGÍA.....	16
3.1.	INTRODUCCIÓN	16
3.2.	EL CLIMA.....	16
3.3.	CAUDALES MÁXIMOS.....	16
3.4.	CAUDAL ECOLÓGICO	17
3.5.	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y MATERIAL DE ARRASTRE	18
CAPÍTULO 4.	GEOLOGÍA	19
4.1.	SECTOR UZHCURRUMI–INTERCONEXIÓN CON EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SAN FRANCISCO	19
4.2.	TÚNEL DE CONDUCCIÓN	19
4.3.	SECTOR PITAHUIÑA: CHIMENEA DE EQUILIBRIO – TÚNEL DE ACCESO TBM – TUBERÍA DE PRESIÓN– CASA DE MÁQUINAS Y CANAL DE DESCARGA	19
CAPÍTULO 5.	ESTUDIO AMBIENTAL.....	20
5.1.	REALIZACIÓN DEL EIAD - DEFINITIVO.....	20
5.2.	MARCO LEGAL	20
5.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DEL PROYECTO	20
5.4.	LÍNEA BASE AMBIENTAL.....	21
5.5.	MEDIO FÍSICO	22
5.5.1.	CLIMATOLOGÍA.....	22

5.5.2.	CALIDAD DEL AIRE Y NIVELES DE RUIDO	22
5.5.3.	AGUA	22
5.5.4.	SUELO.....	23
5.5.5.	MEDIO BIÓTICO	23
5.5.6.	COBERTURA VEGETAL	23
5.5.6.1.	FLORA.....	23
5.5.6.2.	FAUNA.....	24
5.5.7.	MEDIO SOCIO – ECONÓMICO.....	27
5.5.8.	COMPONENTE ARQUEOLÓGICO.....	28
5.6.	COMPONENTE PERCEPTUAL.....	29
5.7.	CAUDAL ECOLÓGICO	29
5.8.	ÁREAS DE INFLUENCIA Y SENSIBILIDAD AMBIENTAL	30
5.8.1.	ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA E INDIRECTA.....	30
5.8.2.	SENSIBILIDAD AMBIENTAL	30
5.9.	ANÁLISIS DE PROCESOS NATURALES POTENCIALES GENERADORES DE RIESGOS.....	30
5.10.	IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	31
5.10.1.	METODOLOGÍA APLICADA	31
5.11.	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	31
CAPÍTULO 6.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO	33
6.1.	CAUDAL DE DISEÑO	33
6.2.	OBRAS CIVILES PRINCIPALES	33
6.2.1.	ACUEDUCTO O CRUCE AÉREO.....	33
6.2.2.	TÚNEL DE CONDUCCIÓN	33
6.2.3.	CHIMENEA DE EQUILIBRIO	34
6.2.4.	TUBERÍA DE PRESIÓN	34
6.2.5.	CASA DE MÁQUINAS Y DESCARGA	35
6.3.	DATOS TÉCNICOS PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA UNION.....	36
CAPÍTULO 7.	EQUIPAMIENTO MECÁNICO	37
7.1.	SELECCIÓN DEL TIPO Y NÚMERO DE TURBINAS.....	37
7.2.	DISEÑO DE LAS TURBINAS FRANCIS.....	38
7.2.1.	ESTIMACIÓN DE LA CURVA DE RENDIMIENTO DE LAS TURBINAS FRANCIS	39
7.3.	SISTEMAS AUXILIARES	39
7.4.	SISTEMA DE DESAGÜE Y VACIADO DE UNIDADES	40
7.5.	SISTEMA DE DRENAJE	40
7.6.	SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO Y SERVICIOS.....	41
7.7.	SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE SERVICIO	42

7.8.	SISTEMA DE VENTILACION	42
7.9.	SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	43
7.10.	SISTEMA DE AGUA TRATADA	44
7.11.	SISTEMA SANITARIO	45
7.12.	SISTEMA CONTRA INCENDIO	46
7.12.1.	CASA DE MAQUINAS Y TRANSFORMADORES.....	46
7.12.2.	SISTEMA DE CO2	46
7.12.3.	SISTEMA DE AGUA PULVERIZADA DE LOS TRANSFORMADORES.....	46
7.12.4.	EDIFICIO DE ADMINISTRACION Y SERVICIOS	47
CAPÍTULO 8.	EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO.....	49
8.1.	INTRODUCCIÓN	49
8.2.	VOLTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	49
8.3.	DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DE EQUIPOS DE CENTRAL	49
8.3.1.	GENERADORES.....	50
8.3.2.	EQUIPOS AUXILIARES DE UNIDADES.....	52
8.3.2.1.	DUCTOS DE BARRAS DE FASES AISLADAS A 13,8 KV	52
8.3.2.2.	TABLERO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	52
8.3.2.3.	TABLERO DE CONEXIÓN A TIERRA DEL NEUTRO.....	52
8.3.2.4.	TABLERO DE MEDICIÓN DE ENERGÍA BRUTA	53
8.3.2.5.	TABLERO DE SINCRONIZACIÓN.....	53
8.3.2.6.	EQUIPOS DE INYECCIÓN DE ACEITE	53
8.3.2.7.	TABLERO DE INSTRUMENTOS DEL GENERADOR.....	53
8.3.2.8.	TABLERO DE FRENOS Y ELEVACIÓN	53
8.3.2.9.	EQUIPOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS MEDIANTE CO2.....	53
8.3.2.10.	TABLERO DEL COJINETE SUPERIOR	54
8.3.2.11.	TABLERO DE CONTROL DE VIBRACIONES	54
8.3.2.12.	EQUIPOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN DE LA UNIDAD	54
8.3.3.	TRANSFORMADORES DE ELEVACION.....	55
8.4.	SISTEMAS DE PROTECCIÓN.....	56
8.4.1.	PROTECCIÓN DE GENERADORES.....	56
8.4.2.	PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES	56
8.4.3.	PROTECCIÓN DE SUBESTACIÓN	57
8.4.4.	PROTECCIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES	57
8.5.	SUBESTACIÓN	58
8.6.	CABLES DE POTENCIA.....	59
8.7.	EQUIPOS MISCELÁNEOS.....	59

8.7.1.1.	SISTEMA DE TIERRA DE LA CENTRAL Y LA SUBESTACIÓN	59
8.7.1.2.	SERVICIOS AUXILIARES DE C.A.....	60
8.7.1.3.	SERVICIOS AUXILIARES DE C.C.....	60
8.8.	SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA	60
8.8.1.1.	TABLEROS.....	61
8.8.1.2.	TABLEROS DE SERVICIOS AUXILIARES A 480 V	62
8.8.1.3.	GENERADOR DE EMERGENCIA.....	62
8.8.1.4.	SISTEMA DE ALUMBRADO.....	63
8.8.1.5.	SISTEMA DE DUCTOS , BANDEJAS Y CABLES.....	63
8.9.	NIVELES DE AISLAMIENTO.....	64
8.10.	SISTEMA DE MEDICIÓN COMERCIAL.....	65
8.11.	SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIONES.....	65
CAPÍTULO 9.	PRODUCCIÓN HIDROENERGÉTICA	67
9.1.	INTRODUCCIÓN	67
9.2.	PRODUCCIÓN HIDROENERGÉTICA ANUAL Y MENSUAL	67
CAPÍTULO 10.	PRESUPUESTO REFERENCIAL	70
CAPÍTULO 11.	PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN	71
CAPÍTULO 12.	EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA Y PRINCIPALES INDICADORES	72
CAPÍTULO 13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74

CUADROS

CUADRO 1. CUADRO DE COORDENADAS DE UBICACION DE LOS PROYECTOS	10
CUADRO 2. ÁREAS RESTITUIDAS POR AEROMAPA A ESC. 1:5.000.....	11
CUADRO 3. UBICACION DE PUNTOS GPS, PARA CONTROL TOPOGRAFICO DE LOS PROYECTOS HIDROELECTRICOS MINAS-SAN FRANCISCO Y LA UNION.....	13
CUADRO 4. UBICACION DE PUNTOS GPS, COLOCADOS PARA LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS A ESC: 1-1000, SECTORES DE UZHCURRUMI Y PITAHUIÑA	13
CUADRO 5. CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS CUENCAS DE DRENAJE HASTA LOS SITIOS DE INTERES. ...	16
CUADRO 6. VALORES CLIMATICOS CARACTERISTICOS DEL PROYECTO LA UNION	16
CUADRO 7. CAUDALES MAXIMOS PARA SITIOS DE INTERES DE INTERCONEXION.....	18
CUADRO 8. CAUDALES MAXIMOS PARA SITIOS DE INTERES DE DESCARGA.....	18
CUADRO 9. SEDIMENTOS TOTALES EN LOS SITIOS DE INTERES PROYECTO LA UNION	18
CUADRO 10. MATRIZ DE COMPARACION MULTICRITERIO	38
CUADRO 11. CARACTERISTICAS BASICAS DE LAS TURBINAS FRANCIS	38
CUADRO 12. NIVELES DE ILUMINACION	63
CUADRO 13. PRODUCCION ENERGETICA MEDIA ANUAL-PROYECTO LA UNION.....	67
CUADRO 14. POTENCIA Y ENERGIA CARACTERISTICA-PROYECTO LA UNION	68
CUADRO 15. PRODUCCION ENERGETICA MEDIA MENSUAL-PROYECTO LA UNION	68
CUADRO 16. PRODUCCION HIDROENERGETICA MENSUAL-PROYECTO LA UNION	69
CUADRO 17. PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO LA UNION.....	70
CUADRO 18. COSTO DE KW INSTALADO PROYECTO LA UNION.....	70
CUADRO 19. INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO LA UNION.....	73

FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA GENERAL DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS MINAS –SAN FRANCISCO Y LA UNIÓN, A NIVEL DE DISEÑO DEFINITIVO.....	6
FIGURA 2. ESQUEMA GENERAL DEL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA UNIÓN, A NIVEL DE DISEÑO DEFINITIVO	9
FIGURA 3. VARIACION DEL CAUDAL ECOLOGICO, ESCENARIO 4.....	17
FIGURA 4. ÁBACO DE SELECCION DE LAS TURBINAS PROYECTO LA UNION	37
FIGURA 5. MODELO DE RENDIMIENTOS DE LAS TURBINAS MEDIANTE LA ESTIMACION DE ESCHER-WYSS	39
FIGURA 6. PRODUCCION HIDROENERGETICA MEDIA ANUAL-PROYECTO MINAS-SAN FRANCISCO.....	68
FIGURA 7. PRODUCCION HIDROENERGETICA MEDIA MENSUAL-PROYECTO LA UNION	69
FIGURA 8. PRODUCCION MEDIA MENSUAL-PROYECTO LA UNION.....	69

ANEXOS

ANEXO 1	PRESUPUESTO REFERENCIAL DE OBRAS
ANEXO 2	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRAS
ANEXO 3	DATOS TÉCNICOS PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA UNIÓN
ANEXO 4	PLANOS PRINCIPALES
	1. PASO ELEVADO VISTA EN PLANTA
	2. PASO ELEVADO PERFIL
	3. TÚNEL DE CONDUCCIÓN VISTA EN PLANTA Y SECCIONES TÍPICAS
	4. TÚNEL DE CONDUCCIÓN-PERFIL
	5. CHIMENEA DE EQUILIBRIO-PERFIL
	6. CASA DE MÁQUINAS VISTA EN PLANTA
	7. CASA DE MÁQUINAS CORTE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. PREMISA

La actualización del Estudio de Factibilidad de los Proyectos Minas y La Unión, realizado por PROMAS, Universidad de Cuenca (2007), contempló el análisis de las alternativas para el aprovechamiento hidroenergético, denominado como proyectos hidroeléctricos Minas y La Unión. El estudio de complementación de la Factibilidad y el Diseño Definitivo del esquema propuesto por PROMAS fue objeto del contrato inicial suscrito entre la Asociación Geodata - Astec (AGA) y Enerjubones con fecha 24 de Mayo del 2009.

Los estudios de alternativas desarrollados por AGA en el periodo entre mayo y noviembre, en los cuales se contemplaba una presa en el sitio San Francisco sin captación en el sector de Minas, llevaron a la suscripción del contrato complementario entre AGA y Enerjubones, con fecha 19 de noviembre del 2009, con objeto de realizar los “Estudios de Factibilidad y Diseño Definitivo del Proyecto hidroeléctrico Minas con cierre de presa en el Río Jubones con su confluencia en el Río San Francisco, considerando la opción de conducción por la margen derecha del Río Jubones, y Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo del Proyecto hidroeléctrico La Unión”.

Los documentos técnicos presentados por la Asociación AGA: (i) “Informe de Formulación de Alternativas”, en Diciembre del 2009; y (ii) “Formulación de Alternativas 1bN y 1cN: Optimización considerando las Condiciones Geológicas Adversas”, en marzo del 2010, resumen el avance y los resultados logrados, a esas fechas, respecto de la Factibilidad de los esquemas de aprovechamientos Minas – San Francisco y La Unión.

Sobre la base de datos adicionales de ingeniería básica, en particular de topografía y de geología - geomorfología, así como tomando en cuenta las discusiones técnicas y las observaciones planteadas por la Supervisión y por la Fiscalización del Proyecto, se presentó el 31 de Octubre del 2010 el Estudio de Factibilidad para la alternativa seleccionada propuesta por AGA.

Esta Factibilidad fue aprobada por Enerjubones y la Fiscalización el 17 de Diciembre del 2010, en base a la cual se han hecho las complementaciones necesarias del Proyecto, para conseguir un informe a nivel de Diseño Definitivo.

Es necesario anotar que, bajo explicito pedido de la Fiscalización, se han hecho las siguientes reformas a la Factibilidad aprobada:

- La obra de toma, para la cual se ha considerado la alternativa propuesta por AGA y aceptada por la Fiscalización mediante el aprovechamiento de la descarga del Proyecto Minas-San Francisco, utilizando un paso elevado sobre el Río Jubones; se ha realizado la implantación de cámaras de interconexión y de presión sin mayores variaciones a la carretera actual, que permite el acceso a la población de Uzhcurrumi.
- También se han realizados nuevamente los estudios hidráulicos, estructurales, eléctricos, mecánicos, energéticos, ambientales y económicos, modificando las estructuras componentes del sistema de aprovechamiento de acuerdo a las nuevas condiciones determinadas por la implantación de la central Minas-San Francisco respecto a las modalidades de construcción del túnel de conducción.

En base a estas consideraciones expresadas, presentamos los informes de Diseño Definitivo, que permitirán en la siguiente etapa de los estudios realizar adecuadamente el análisis económico-financiero final, especificaciones técnicas, documentos precontractuales y presentar el Informe Ejecutivo del Proyecto, acompañado de los documentos necesarios para la futura licitación de las obras.

1.2. ANTECEDENTES

La actualización del Estudio de Factibilidad de los proyectos Minas y La Unión realizado por Promas en el año 2007 contempló un análisis de alternativas de aprovechamiento energético entre las cuales está aquella con los proyectos hidroeléctricos Minas y La Unión, esquema cuyo estudio de complementación de la factibilidad y diseño definitivo es objeto del contrato inicial suscrito entre la Asociación Geodata-Astec (AGA) con Enerjubones.

Promas eligió esta alternativa como la mejor, entre otras que habían sido comparadas por la Asociación, que confirmó la conclusión de Promas, en relación a la maximización energética, tal como lo expresamos en el oficio U02888/XL0073/0222 de fecha 26/08/09.

Durante el análisis realizado para la optimización de las obras que constituyen los proyectos hidroeléctricos Minas y La Unión, se encontraron elementos relevantes que recurrieron una definición por parte de la administración de los proyectos.

Las alternativas analizadas e ilustradas durante las reuniones semanales con el cliente Enerjubones a partir del mes de Julio 2009, conciernen principalmente a:

- La selección de la altura óptima para la presa del proyecto Minas.
- La ubicación más adecuada de la presa en el sitio de Minas.
- La utilización más conveniente de la casa de maquinas de La Unión

De otro lado, dos de las alternativas estudiadas por Promas contemplaban una presa en el sitio San Francisco, una como complemento al esquema original del proyecto Minas y la otra sin la captación de Minas. Sin embargo, en la comparación de alternativas elaborada por la Asociación Geodata – Astec (AGA), esta última alternativa -sin la captación en Minas mostró varias ventajas, tanto desde el punto de vista del costo unitario de energía, como de impacto ambiental, razón por la cual se la incluyó en el estudio de alternativas, mejorando el trazado del túnel.

En la complementación de este estudio, AGA ha desarrollado una primera evaluación de macro alternativas, finalizada con el informe “Estudio de alternativas, costos y optimización de la solución básica” de fecha 09/09/2009, que concertaba los siguientes escenarios examinados:

ESCENARIO 0: este escenario se basa sobre la solución original estudiada por PROMAS en el año 2007, e incluye a los dos esquemas de generación: Minas y La Unión (Escenario 0a). Como una variante de este escenario se ha considerado la posibilidad de

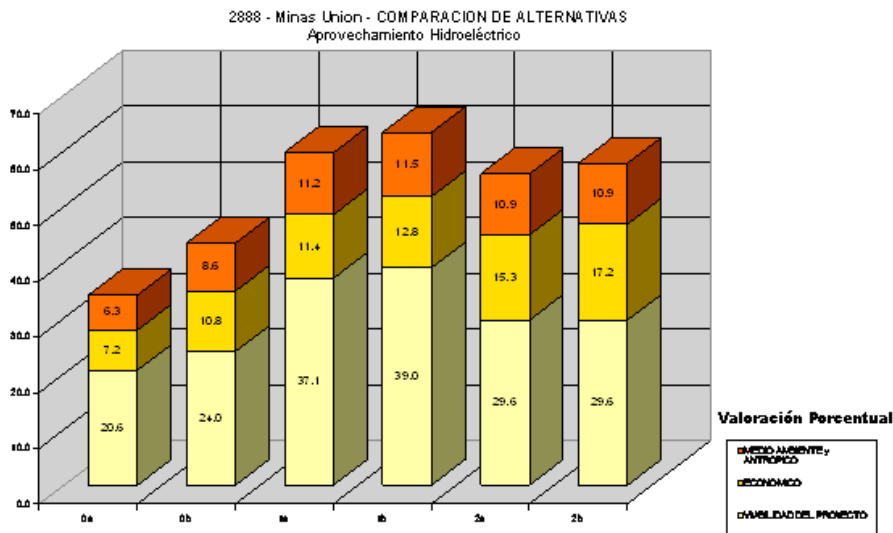
reducir la altura de la presa en Minas (Escenario 0b), para disminuir el tamaño del embalse y reducir de esta forma la afectación a la zona.

ESCENARIO 1: Para este escenario se considera la opción de reubicar el sitio de presa desde la zona de Minas hasta un lugar cercano a la confluencia del río San Francisco con el río Jubones. De esta manera, se aprovecha el tramo con mayor pendiente del río, sin afectar el área poblada en la zona de Minas. Otra diferencia importante respecto a la solución original sería el túnel de conducción, el cual en esta alternativa se ubica en la margen derecha del río. El esquema completo de aprovechamiento prevé también el proyecto La Unión a continuación de Minas, según contempló en el proyecto original.

- **Alternativa 1a** contempla un túnel de descarga al río Jubones en la zona de Uzhcurrumi, una presa aguas abajo en el sitio de La Unión y la casa de máquinas en Casacay.
- **Alternativa 1b**, se caracteriza por suprimir la presa de La Unión. Las aguas turbinadas en la casa de Máquinas de Uzhcurrumi cruzan el río Jubones mediante un azud hueco que sirve de estructura subfluvial y captación, para luego de las obras complementarias, descargar sus aguas en la casa de máquinas en Casacay, la misma que para esta variante se ha considerado a cielo abierto, al igual que la tubería de presión.

ESCENARIO 2: Este considera la posibilidad de realizar una sola planta generadora, con una caída bruta correspondiente a la suma de las dos señaladas anteriormente. El sitio de presa considerado es el de San Francisco, con la restitución en el mismo punto donde se descargaban las aguas del proyecto La Unión (Casacay). Al interior del Escenario 2, se distinguen dos sub.-alternativas, debido a los distintos trazados del túnel de conducción y de descarga, uno por la margen izquierda (Alternativa 2a), y otro por la margen derecha del río Jubones (Alternativa 2b).

A través de un detallado estudio de tipo multicriterio, considerando aspectos económicos, energéticos, constructivos y ambientales, cuyos resultados principales son resumidos en la siguiente Figura, se evidenció como alternativa más ventajosa la Alternativa 1b en el escenario 1, con captación en el sitio San Francisco y conducción y casa de maquinas por la margen derecha del Río Jubones.



Sobre la base de un análisis más amplio, los resultados obtenidos evidenciaron que los Escenario 0 y 2 son menos competitivos respecto del Escenario 1.

De acuerdo a todas estas consideraciones, se ha suscrito en fecha 19/11/2009 un contrato complementario entre AGA y ENERJUBONES, que considera este nuevo esquema de obras como base del estudio a desarrollarse para la central de Minas-San Francisco.

El “Informe de Formulación de Alternativas”, presentado en Diciembre del 2009, resume el avance y los resultados logrados a esa fecha respecto de la factibilidad del esquema de obras correspondiente al Escenario 1 como base del estudio a desarrollarse para el Aprovechamiento Minas – San Francisco – La Unión con sus respectivas Variantes 1a, 1b y 1c.

Posteriormente y sobre la base de datos adicionales de ingeniería básica (hidrológica, topografía, geología, visitas al sitio) y considerando fundamentalmente las condiciones geológicas adversas y las discusiones técnicas y observaciones planteadas por la Supervisión del Proyecto, en las Jornadas del 26 – 27 - 28 de enero del 2010, se formularon básicamente las dos alternativas 1bN y 1cN, que se presentaron en el Informe “Formulación de Alternativas 1bN y 1cN- Optimización considerando las condiciones geológicas adversas”.

Para este análisis último, se reconocieron inicialmente dos problemas geotécnicos importantes, cuya solución afectó la propuesta de las variantes en las obras de cada aprovechamiento, presentada en diciembre del 2009.

En primer lugar, se detectó con la ayuda de la perforación en el cauce de la Qda. Santa Martha, que la ubicación de la roca en el subsuelo exigiría un desplazamiento del trazado del túnel, hacia aguas arriba de la quebrada, incrementado la longitud del túnel de aducción.

De igual modo, y en segundo término, la presencia potencial de un corrimiento profundo, de volúmenes muy importantes (macrodeslizamiento), en la margen derecha del río Jubones ponía en duda el desarrollo del trazado del túnel de

aducción del Aprovechamiento Minas – San Francisco, a lo largo de la margen derecha del río Jubones, según la propuesta realizada en diciembre de 2009.

Por estas razones, AGA propuso el análisis y el desarrollo de la Alternativa 1cN, a lo largo de la margen izquierda del río Jubones, para que fuera reanalizada, tomando en cuenta que, desde el punto de vista geológico, presenta condiciones probablemente mejores y con menores volúmenes de obra.

La Fiscalización, a través el oficio ENJ–A.C.-011 de fecha 2 de Marzo 2010 y recibido por AGA el 5 de Marzo con protocolo I02888/XL0147/0421, ratificó que “..el consultor, con el personal técnico ofertado, debe priorizar los estudios que fundamenten la factibilidad del trazado por la margen derecha..”, evidenciando entonces la necesidad de focalizar los estudios y las investigaciones en este sentido a nivel de factibilidad.

Con tal enfoque se ha desarrollado la Factibilidad del Proyecto Minas – Alternativa San Francisco, tomando en cuenta los resultados de los trabajos de campo y de las investigaciones ejecutadas en el periodo entre Febrero y Mayo 2010, a lo largo de todo el Proyecto y en particular, a lo largo del túnel de conducción. Se han considerado las medidas necesarias y suficientes para enfrentar las situaciones adversas evidenciadas a través de estos últimos trabajos de campo y de laboratorio.

1.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Los Proyectos Hidroeléctricos Minas – San Francisco y La Unión están ubicados en el sur del Ecuador. Siguiendo las vías principales, se encuentran aproximadamente a 500 km de la capital del país. Se localizan entre las Provincias de Azuay y El Oro; el Proyecto San Francisco está en el límite sur-occidental de la Provincia del Azuay, aproximadamente a 92 km de la ciudad de Cuenca, mientras que el Proyecto La Unión está en el límite nor-oriental de la Provincia de El Oro y aproximadamente a 29 km de la ciudad de Machala.

A lo largo del trazado de las obras propuestas, el Proyecto San Francisco atraviesa las parroquias de Pucará y San Rafael de Sharug, del Cantón Pucará (Prov. del Azuay), y en el sitio de Presa la parroquia Abañín del Cantón Zaruma (Prov. De El Oro). A su vez, las obras del Proyecto La Unión en la Provincia de El Oro atraviesan las parroquias de Uzhcurrumi y Casacay del Cantón Pasaje, y la parroquia Chilla del cantón del mismo nombre.

Los proyectos se encuentran en la Cuenca Media y Media-Baja del río Jubones y siguen una trayectoria paralela al mismo: el Proyecto San Francisco por la margen derecha, y el Proyecto La Unión por la margen izquierda; el cruce entre una margen y otra se da en el sector de Uzhcurrumi. Geográficamente, los proyectos se enmarcan entre las coordenadas 9'630 956 mN a 9'635 437 mN y 668 870 mE a 643 594 mE.

Un esquema global del desarrollo de los dos aprovechamientos se presenta en el esquema de la Figura 1, donde se puede distinguir los diferentes componentes del proyecto.

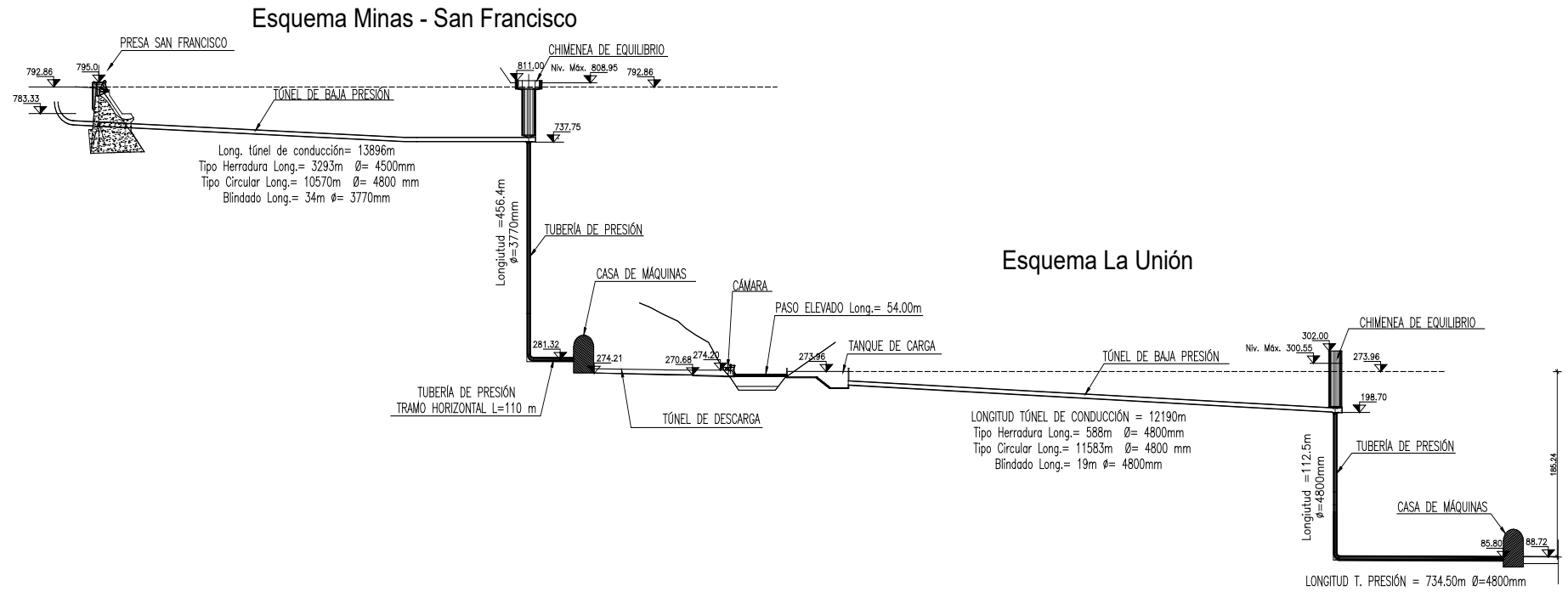


Figura 1. Esquema general de los Aprovechamientos Hidroeléctricos Minas –San Francisco y La Unión, a nivel de diseño definitivo.

Las principales obras componentes del Aprovechamiento Hidroeléctrico La Unión y sus características técnicas son:

- Se presenta una variante para la **Obra de Cruce** del río Jubones. Se desarrolla como un cruce aéreo, por medio de tres tuberías de acero, cada una de diámetro igual a 2,60 m, que permitiría su disposición como infraestructura del puente de acceso vehicular para el mantenimiento del túnel de descarga.
- **Túnel de conducción** o de baja presión, se desarrolla a lo largo de la margen derecha del río Jubones con 12,2 km de longitud y se diseña para un caudal de 65,0 m³/s. El 5% de la longitud del túnel será excavado mediante metodología convencional (DBM) y para el restante 95% se utilizará una máquina tuneladora (TBM). El primer tramo de túnel tiene una longitud de 221 m y está comprendido desde la obra de toma y la salida de la TBM; a continuación se encuentra un tramo que será excavado con TBM hasta el sitio de la ventana Pitahuiña con una longitud de 11 583 m, para finalmente excavar mediante método tradicional 396 m hasta el sitio de la chimenea de equilibrio.
La sección transversal excavada en tradicional es tipo herradura, con diámetro interior en la bóveda igual a 4,80 m; en tanto que la sección transversal del tramo excavado en mecanizado es circular D=4,80 m.
Los últimos 19 metros del túnel de baja presión tendrán un blindaje de acero de 26 mm en un diámetro de 4,80 m.
- Una **chimenea de equilibrio**, vertical, de sección transversal horizontal circular, de altura total igual a 99,0 m, hasta el perfil del terreno natural en el sector de Pitahuiña. La cota en el umbral de la chimenea de equilibrio es igual a 302,00 m s.n.m., el nivel calculado máximo para la oscilación se ubica en la cota 300,55 m s.n.m. La estructura principal está conformada por un cilindro de hormigón armado, con la altura total de 97 m y 15 m de diámetro además del orificio restringido cuya altura se desarrolla en 2 m con un diámetro de 4 m.
- La **tubería de presión**, que será construida subterránea, con un diámetro interno igual a 4,8 m y una longitud total de 888 m incluyendo el bifurcador. El perfil longitudinal de la tubería de presión se desarrolla en dos tramos: (i) un pozo vertical, de 112,50 m de diferencia de nivel, y (ii) un tramo horizontal de 734,50 m de longitud más 41 m por el bifurcador.
- La **Casa de Máquinas La Unión** se ubica al exterior, junto a la carretera principal, en el sector de Pitahuiña. Esta estructura debe alojar, como estructura principal, a dos turbinas tipo Francis, de eje vertical, posicionadas en la cota 85,80 m s.n.m. La cota del piso principal se ubica en 94,10 m s.n.m. La **Subestación Eléctrica** será ubicada al exterior, en la proximidad del conjunto de la central.
- La **descarga**, está conformada por un canal dividido en dos secciones rectangulares por medio de una pila que separa el caudal descargado por las dos unidades. En la primera parte del canal desde la salida de las turbinas hasta la carretera, el fondo tiene una transición con plano inclinado con una pendiente 1:6. El nivel de operación máximo y mínimo en la descarga es 88,72 y 88,03 m s.n.m. respectivamente.

En la Figura 2 se muestra el esquema para el desarrollo del Aprovechamiento Hidroeléctrico La Unión, a nivel de factibilidad.

1.4. OBJETIVOS DEL INFORME

El objeto del presente documento es poner a consideración un sumario de los aspectos importantes de las distintas especialidades que conforman y sustentan el Diseño Definitivo del Proyecto Hidroeléctrico La Unión.

Además se muestran aspectos complementarios tales como el cronograma de construcción, presupuesto referencial, evaluación económica-financiera, y los planos referenciales de las obras.

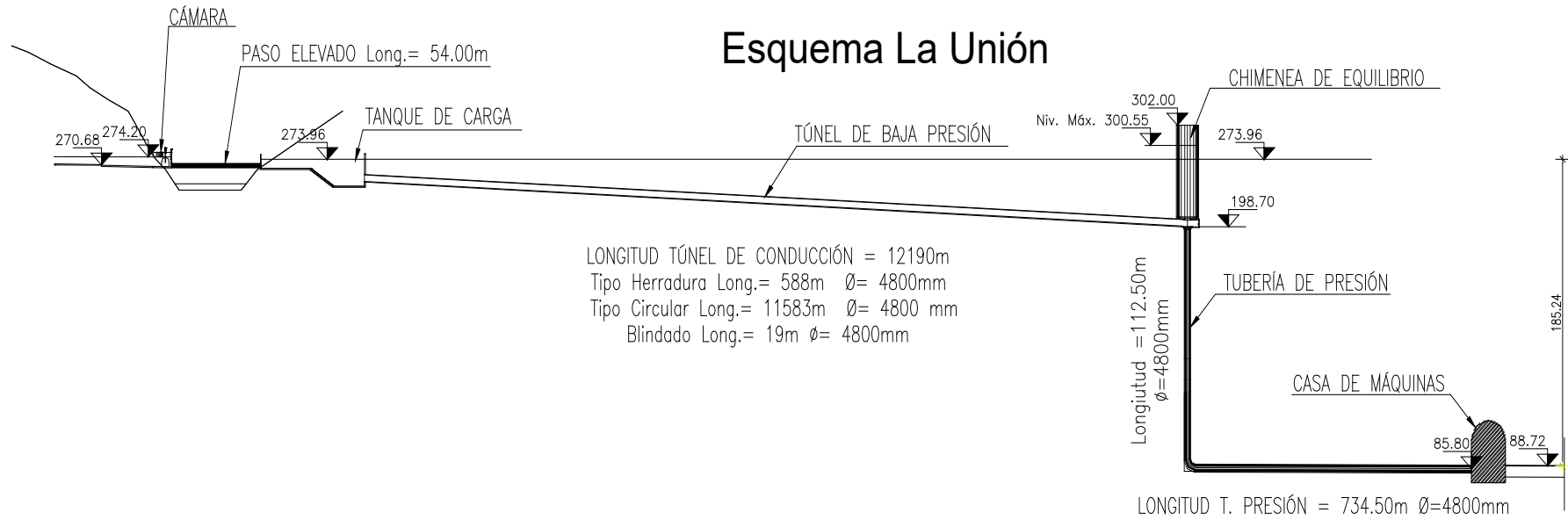


Figura 2. Esquema general del Aprovechamiento Hidroeléctrico La Unión, a nivel de Diseño Definitivo

CAPÍTULO 2. TOPOGRAFÍA

2.1. UBICACIÓN

Los proyectos hidroeléctricos Minas-San Francisco y La Unión se encuentran localizado al Suroeste del país, en las provincias de Azuay, Loja y El Oro.

El trazado de las obras propuestas se localiza a partir de aguas abajo de la confluencia del río San Francisco y río Jubones; con un trazado de su conducción por la margen derecha del río Jubones, hasta llegar al sector de Gramalote donde se ha ubicado la Chimenea de Equilibrio, Casa de Máquinas San Francisco en caverna y su posterior descarga al río Jubones en el sector de Uzhcurrumi; en lo que respecta el aprovechamiento San Francisco.

Luego utilizando una paso elevado y cámara de interconexión antes del ingreso al túnel de conducción del aprovechamiento de la Unión que se encuentra emplazado por la margen izquierda del río Jubones hasta llegar a la Chimenea de Equilibrio y casa de máquinas en el sector de Pitahuíña, para descarga con un canal en el río Jubones.

En el siguiente Cuadro 1 se puede indicar las coordenadas de ubicación de las áreas de los proyectos hidroeléctricos Minas-San Francisco y La Unión, que se pueden ver en los planos: MIN-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0000_A.dwg y UNI-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0000_A.dwg.

Cuadro 1. Cuadro de Coordenadas de Ubicación de los Proyectos

Proyectos Hidroeléctricos	Coordenadas mE	Coordenadas mN
Minas-San Francisco	Entre 678 000,00	9 629 500,00
	678.000,00	9 639 000,00
	Y 655 258,05	9 632 724,30
	655 258,05	9 639 000,00
La Unión	Entre 655.258,05	9 634 135,71
	655 258,05	9 629 000,00
	Y 641 500,00	9 632 000,00
	641.500,00	9 634 000,00

2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS Y COLOCACIÓN DE PUNTOS GPS

2.2.1. RESTITUCIÓN AEROFOTOGRAMÉTRICA

La compañía Geodata-Astec contrató los servicios de Aeromapa Cía. Ltda. Para restituir las áreas de los proyectos Hidroeléctricos Minas-San Francisco y La Unión, a Esc. 1:5000, para efectuar la restitución “**expeditiva**” se desarrollo en base a la siguiente información existente:

- Fotografía aérea disponible a Esc. 1:60 000, de los años 1986 y 1989, se utilizan los puntos aerotriangulados que dispone el IGM para controlar las fotos, dicho control fue establecido para obtenerse la cartografía 1:50 000 del IGM, y por tanto los errores que se pueden tener en cotas de las curvas de nivel están alrededor de +/-10 m, ya que el intervalo de las curvas de nivel a Esc. 1:50.000 es de 40 m.

Para el proyecto se han realizado por parte de AGA y Enerjubones varios pedidos de ampliación de las áreas de restitución que se utilizarán con fines de diseño de factibilidad, de acuerdo al Cuadro 2 se puede ver cuáles son las áreas restituidas a Esc. 1:5 000:

Cuadro 2. Áreas restituidas por Aeromapa a Esc. 1:5 000

Código	Ubicación del Área	Área restituida (Ha)	Fecha Restitución
1	Proyecto Minas-San Francisco y La Unión	9.081,55	Noviembre-2009; solicitado AGA
2	Promas	1.090,08	Año 2007, solicitado por PROMAS
3	Cola de Embalse Minas-San Francisco	308,60	Marzo-2010, solicitado AGA
4	Parte superior del Río San Francisco	26,74	Marzo-2010, solicitado AGA
5	Completar área del Río Jubones en la zona del río Vivar	745,40	Marzo-2010, solicitado Enerjubones
6	Sarayunga, zona del deslizamiento	1.929,36	Abril-2010, solicitado AGA

El área total restituida es de 13 181,73 Ha, las que abarcan la mayor información posible para el estudio de factibilidad de los proyectos Hidroeléctricos Minas-San Francisco y La Unión.

2.2.2. COLOCACIÓN DE PUNTOS GPS Y NIVELACIÓN DE PUNTOS GPS

La compañía Geodata-Astec contrató los servicios de Aeromapa Cía. Ltda. Y al Ing. Byron Ruiz para la determinación y colocación de dieciocho (18) puntos GPS en el área de los Proyectos Minas-San Francisco y La Unión, los mismos que ayudarían al control topográfico.

Los mismos que fueron determinados de acuerdo a la siguiente información:

- A partir de la utilización de los equipos Trimble 5 700, 4 400 y 5 600 tienen una precisión de 5mm + (1ppm x la distancia de la línea base), en tanto que en vertical es de 10mm + (2ppm x la distancia de la línea base) y fueron utilizados para las mediciones de las líneas base en la determinación de los puntos GPS requeridos.
- Sistema de Referencia geodésico: Datum SIRGAS (WGS84)
- Reducción de Elevaciones a Nivel del Mar, usando el modelo geoidal EGM96, Por ser desconocida la exactitud de este modelo para el área del proyecto, se niveló geoméricamente a partir de puntos de la red vertical del IGM (BMs).
- Procedimientos de Observación de campo, la localización y monumentación de todos los puntos GPS estuvieron a cargo del Consorcio Geodata – ASTEC, lo cual fue realizado con mojones de cemento y placa.

Todos los puntos fueron observados de manera estática, centrándose la antena GPS sobre la marca con la plomada óptica y midiéndose con exactitud la altura de la antena sobre la marca. Todas las antenas fueron orientadas al norte antes de las observaciones.

Para la determinación de todos los puntos GPS, Aeromapa utilizó como estación de referencia el punto denominado "Vértice Machala" determinado por el IGM y que es parte de la Red GPS del Ecuador (ver Anexo 1. Monografía del punto).

Las coordenadas geográficas de este punto en el sistema de referencia SIRGAS (WGS-84) son:

Vértice Machala: Latitud: S 03°15'23".2591, Longitud: W 79°58'06".42705 Alt. Elip. 13.4134 m.

Desde este punto y mediante observaciones estáticas de fase GPS, se determinaron a su vez con los equipos doble frecuencia, cuatro puntos en el área del proyecto GPS-5, GPS-6, GPS 3-18 y GPS 4-17, mediante líneas base independientes, y desde estos puntos se determinaron igualmente con líneas base independientes los otros catorce puntos de este proyecto, de la siguiente manera:

A partir del Vértice Machala se determinaron los puntos:

- GPS-5 y GPS-6
- GPS 3-18 y GPS 4-17

A partir del GPS-5 y GPS-6 se determinaron los puntos:

- GPS – 1
- GPS – 2
- GPS – 3
- GPS – 4
- GPS – 7
- GPS – 8
- GPS – 9
- GPS – 10
- GPS – 11
- GPS – 12
- GPS – 13
- GPS – 14

A partir del GPS 3-18 y GPS 4-17 se determinaron los puntos:

- GPS – 15
- GPS – 16

Es decir, para cada punto se midieron dos líneas bases independientes. Un esquema de la distribución geográfica de los puntos determinados se encuentra en los Planos: MIN-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0000_A.dwg y UNI-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0000_A.dwg.

- Nivelación geométrica de los puntos GPS, para determinar el valor de la cota real de cada punto GPS colocado.

De acuerdo con este procedimiento se han obtenido el siguiente 0 de ubicación de GPS:

Adicionalmente para los levantamientos topográficos a Esc. 1:1000 se requiero en las zonas de Uzhcurrumi y Pitahuiña la colocación de 6 puntos GPS adicionales, para corroborar que la topografía este dentro de los parámetros de error topográfico, de acuerdo al Cuadro 4.

Cuadro 3. Ubicación de Puntos GPS, para control topográfico de los proyectos hidroeléctricos Minas-San Francisco y La Unión

PUNTOS GPS			
Punto	NORTE m	ESTE m	Cota (m s.n.m)
GPS1	9633222.86	669181.47	820.65
GPS2	9633350.73	668890.81	805.80
GPS3	9634014.78	665548.79	723.84
GPS4	9634467.30	665778.20	839.10
GPS5	9634834.90	663524.73	783.48
GPS6	9634787.46	663247.95	830.03
GPS7	9634621.84	654821.91	660.02
GPS8	9634610.48	654802.84	659.05
GPS9	9635281.51	654114.12	426.74
GPS10	9635071.41	654173.33	429.09
GPS11	9632812.38	656199.43	364.03
GPS12	9632461.65	656099.37	367.53
GPS13	9632104.07	654580.79	273.70
GPS14	9631826.27	654549.78	362.58
GPS15	9632345.38	652420.48	311.29
GPS16	9632757.89	652294.87	295.85
GPS4-17	9633065.22	643158.84	97.40
GPS3-18	9633016.40	642984.74	96.66

Fuente: AGA-Aeromapa, Nov-2010

Cuadro 4. Ubicación de Puntos GPS, colocados para los Levantamientos Topográficos a Esc: 1-1000, sectores de Uzhcurrumi y Pitahuiña

PUNTOS GPS			
Punto	NORTE m	ESTE m	Cota (m s.n.m)
GPS 19-NP	9633214.32	643898.76	106.48
GPS 20-NP	9633243.66	643950.02	108.62
GPS 21-NP	9632962.62	643839.02	170.02
GPS 22-NP	9632928.38	643868.31	178.47
GPS-23-N-UZ	9632442.23	655746.93	309.04
GPS-24-N-UZ	9632395.84	655684.76	299.83

Fuente: AGA-Aeromapa, Nov-2010

2.2.3. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS A ESC. 1:1 000

Para la realización de diseños definitivos detallando las obras fundamentales fueron necesarios realizar trabajos de levantamiento topográfico a Esc: 1-1000, definiéndose estos en los siguientes sectores:

- Sector San Francisco.
- Sector La Cascada.
- Sector Tendales.
- Sector Gramalote.
- Sector Uzhcurrumi.
- Sector Río Vivar.
- Sector Pitahuiña.

2.2.3.1. SECTOR SAN FRANCISCO

En el sector de San Francisco, aguas debajo de la confluencia de los ríos San Francisco y Jubones, se ubico la Presa de San Francisco, la misma que requirió realizar investigaciones de campo a detalle tanto para los diseños: hidráulicos, estructurales, geológicos y de investigaciones geotécnicas, e incluso para la realización de los diseños

viales de la variante de la Vía existente Cuenca-Pasaje, que por efectos de la implantación de la obra de la presa, se debe realizar la modificación de la carretera existente.

En vista de estos requerimientos de diseño fueron necesarias realizar un levantamiento topográfico a Esc. 1:1000 en un área de 81,20 ha; teniendo como puntos de control los GPS 1 y 2, colocados en el momento de la realización de la restitución Aerofotogramétrica a Esc. 1:5000.

Esto se puede observar en el plano: MIN-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0001_A.DWG.

2.2.3.2. SECTOR LA CASCADA Y TENDALES

En los sectores de La Cascada y Tendales, en los estudios de Factibilidad se tenía la configuración del túnel de conducción con una excavación tradicional para la que preveía la ubicación de Ventas de Acceso al Túnel en los sectores antes mencionados.

Para este efecto se realizó los trabajos de levantamiento topográfico a Esc. 1:1000 de acuerdo a las siguientes áreas: 14,24 ha en el sector de La Cascada y 9,21 ha en el sector de Tendales.

Los puntos de control son los GPS 1 y 2, para el cierre del polígono geométrico del sector La Cascada, y los GPS 3 y 4 para el cierre del polígono geométrico del sector de Gramalote de Tendales, colocados en el momento de la realización de la restitución Aerofotogramétrica a Esc. 1:5000.

Esto se puede observar en los planos: MIN-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0003_A.DWG y MIN-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0004_A.DWG.

2.2.3.3. SECTOR RIO VIVAR

En el sector del río Vivar, se ubicaría el portal de acceso al túnel de ingreso a la Casa de Máquinas ubicada en caverna de la central hidroeléctrica San Francisco, en el sector de Gramalote.

Para este efecto se realizó los trabajos de levantamiento topográfico a Esc. 1:1000 de acuerdo a las siguiente área: 20,45 ha.

Los puntos de control son los GPS 9 y 10, para el cierre del polígono geométrico del sector del río Vivar, colocados en el momento de la realización de la restitución Aerofotogramétrica a Esc. 1:5000.

Esto se puede observar en el plano: MIN-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0006_A.

2.2.3.4. SECTOR GRAMALOTE

En el sector de gramalote se ubicarán las siguientes estructuras: Llegada del Túnel de conducción e ingreso a Chimenea de Equilibrio, tubería de Presión, Casa de Máquinas en caverna, subestación eléctrica, Túnel de descarga y los accesos de acceso, para lo

cual fue necesario realizar un gran levantamiento topográfico de la zona, para prever los diseños de las distintas obras e incluso el diseño de la vía de acceso a los sitios de obra.

Para este efecto se realizo los trabajos de levantamiento topográfico a Esc. 1:1000 de acuerdo a las siguiente área: 101,72 ha.

Los puntos de control son los GPS 7 y 8, para el cierre del polígono geométrico del sector de Gramalote, colocados en el momento de la realización de la restitución Aerofotogramétrica a Esc. 1:5000.

Esto se puede observar en el plano: MIN-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0005_A.

SECTOR UZHCURRUMI

En el sector de Uzhcurrumi, se ubicará el paso elevado que une las dos centrales de Minas-San Francisco y La Unión, para lo cual el diseño hidráulico implanta las estructuras necesarias. El sitio de implantación del trabajo involucra el cruce del río Jubones en la zona de Uzhcurrumi.

Para este efecto se realizo los trabajos de levantamiento topográfico a Esc. 1:1000 de acuerdo a las siguiente área: 24,43 ha.

Los puntos de control son los GPS 23-N-UZ y 24-N-UZ, para el sector de Uzhcurrumi, estos puntos GPS fueron colocados como auxiliares para el cierre del polígono de levantamiento geométrico.

Esto se puede observar en el plano: UNI-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0002_A.

2.2.3.5. SECTOR PITAHUIÑA

En el sector de Pitahuiña, sitio poblado cercano a Pasaje, se ubicarán las siguientes estructuras del proyecto hidroeléctrico La Unión, como son: Chimenea de Equilibrio, tubería de Presión, Casa de Máquinas, Descarga al río Jubones, Subestación eléctrica La Unión.

Para este efecto se realizo los trabajos de levantamiento topográfico a Esc. 1:1000 de acuerdo a las siguiente área: 66,83 ha.

Los puntos de control son los GPS 19-NP, 20-NP, 21-NP y 22-NP, para el sector de Pitahuiña, estos puntos GPS fueron colocados como auxiliares para el cierre del polígono de levantamiento geométrico.

Esto se puede observar en el plano: UNI-L0-PD-GEN-TOP-P-A-0003_A.

CAPÍTULO 3. HIDROLOGÍA

3.1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista hidrológico, el proyecto La Unión contempla dos sitios de interés:

1. La obra de cabecera (paso elevado) que interconecta las aguas turbinadas del proyecto Minas-San Francisco con el túnel de baja presión; y,
2. El sitio de descarga de las aguas turbinadas de la casa de máquinas en Pitahuiña.

La cuenca de drenaje del río Jubones hasta el sitio del paso elevado tiene las siguientes características físicas:

Cuadro 5. Características físicas de las cuencas de drenaje hasta los sitios de interés.

Sección de interés en el río Jubones	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del Cauce Principal (km)	Longitud total de drenajes (km)	Densidad de Drenajes (km/km ²)	Altura Media de la subcuenca (m s.n.m.)	Pendiente Media de la subcuenca (%)	Coefficiente de Compacidad – Kc
Interconexión	3 630,91	310,93	118,78	4 672,98	1,29	2 539	30,88	1,44
Descarga Pitahuiña	3 949,58	317,31	134,44	5 089,47	1,29	2 447	31,57	1,41

3.2. EL CLIMA

La caracterización del clima se sustenta en los registros históricos de 20 estaciones climáticas distribuidas en la cuenca de drenaje del río Jubones. Los parámetros climáticos principales dados para los sitios del proyecto se muestran a continuación:

Cuadro 6. Valores climáticos característicos del proyecto La Unión

Variable Climática	Sitio de Interconexión	Descarga Pitahuiña
Precipitación anual media, (mm)	690	966
Temperatura media, (°C)	23,9	24,3
Temperatura máxima absoluta, (°C)	36,9	37,2
Temperatura mínima absoluta, (°C)	13,1	14,0
Humedad relativa, (%)	84	85
Nubosidad, (octas)	6	7
Evaporación, (mm)	68,4	68,4

- Captación cercana a Uzhcurrumi
- Casa de máquinas en Pitahuiña

3.3. CAUDALES MÁXIMOS

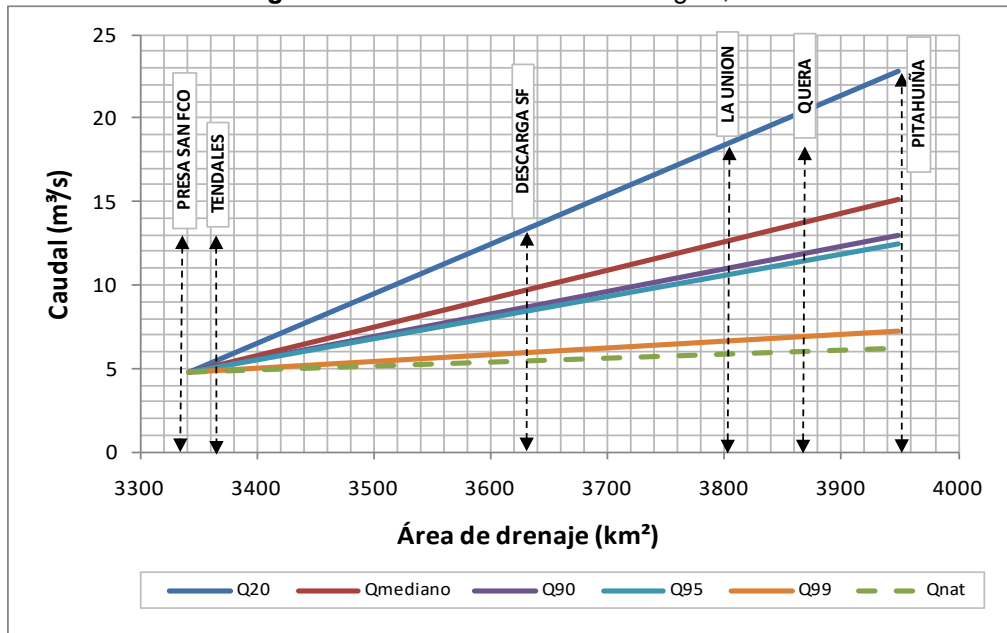
Para la determinación de los caudales máximos en el sitio del paso elevado se consideran los caudales dados para la estación río Jubones en Uzhcurrumi, en tanto que para la obtención de los caudales de máxima crecida para el sector de la descarga en la casa de máquinas de Pitahuiña se considera un factor por ajuste de áreas de 1.09 con la misma estación hidrométrica.

3.4. CAUDAL ECOLÓGICO

Se analizó al caudal ecológico desde el punto de vista hidrológico y fue justificado bajo concepciones y criterios ambientales. Se planteó un modelo en donde se verificó el incremento de caudal por aportaciones de la cuenca intermedia para distintas probabilidades de excedencia y se determinó que con una descarga mínima en el sitio de presa de 4,83 m³/s, la recuperación de caudales en el río Jubones es importante y supera los valores esperados para probabilidades mínimas extremas.

Con una descarga de 4,8 m³/s en el sitio de la presa, se demuestra que la integración de los caudales para Q99% finaliza con valores superiores al impuesto por el 10% del caudal medio en el sitio de la descarga en Pitahuiña.

Figura 3. Variación del caudal ecológico, escenario 4



Por lo tanto, el caudal mínimo a descargarse aguas abajo de la Presa San Francisco es 4,83.m³/s, caudal a respetarse como Normativa de Caudal Ecológico, no obstante este valor de caudal ecológico puede ser mayor en las épocas de lluvias en donde se ponga en funcionamiento los vertederos de exceso cuando la capacidad del embalse sea superada

Cuadro 7. Caudales máximos para sitios de interés de Interconexión

TR (años)	Caudales Máximos Rango Medio		Caudales Máximos Rango Superior	
	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)
Sitio de Interconexión				
10	815	224	975	268
25	1001	276	1209	333
50	1138	313	1383	381
100	1 360	375	1 596	440
500	1 610	443	1 979	545
1 000	1 800	496	2 177	600
5 000	2 090	576	2 582	711
10 000	2 200	606	2 774	764

Cuadro 8. Caudales máximos para sitios de interés de Descarga

TR (años)	Caudales Máximos Rango Medio		Caudales Máximos Rango Superior	
	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)
Descarga Pitahuiña				
10	886	224	1060	269
25	1089	276	1315	333
50	1238	313	1504	381
100	1479	375	1736	440
500	1751	443	2153	545
1000	1958	496	2368	600
5000	2273	576	2808	711
10000	2393	606	3017	764

3.5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y MATERIAL DE ARRASTRE

La estación hidrométrica base para la determinación del volumen de arrastre de sólidos en suspensión es la estación hidrométrica río Jubones en Uzhcurrumi, que cuenta con una base de aforos sólidos importante que además fue complementada con el trabajo de campo realizado.

El arrastre de sedimentos total (suspensión + arrastre de fondo) determinado para los sitios de interés (interconexión y descarga Pitahuiña) se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Sedimentos totales en los sitios de interés proyecto La Unión

Descripción del sitio	Sedimentos en Suspensión (m ³ /año)	Sedimentos en Suspensión por crecidas (m ³ /año)	Sedimentos de Fondo (m ³ /año)	Sedimentos Totales (m ³ /año)
Interconexión	1 788 761	268 314	357 752	2 414 828
Descarga en Pitahuiña	1 945 754	291 863	389 151	2 626 767

CAPÍTULO 4. GEOLOGÍA

4.1. SECTOR UZHCURRUMI-INTERCONEXIÓN CON EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SAN FRANCISCO

En este sector los materiales que conforman el sustrato son cuerpos intrusivos de composición granodiorítica – cuarzo monzonítica que afloran en las márgenes del río Jubones, este material se encuentra levemente meteorizado a fresco y superficialmente se encuentra cubierto por depósitos coluviales que pueden alcanzar hasta los 20m de espesor. Las condiciones geomecánicas de este cuerpo son buenas, lo que garantiza que las implantaciones sean seguras y estables.

Las obras que se ejecutarían en este sector se emplazarían directamente sobre el intrusivo y la entrada al túnel de baja presión o conducción se encuentra sobre una terraza aluvial que alcanza unos 20 m de espesor. Para la ejecución de estas obras serán necesarios trabajos de remoción de material superficial suelto, así como obras de contención de los taludes de excavación.

4.2. TÚNEL DE CONDUCCIÓN

El trazo de esta obra se extiende de Este a Oeste desde el sector de Uzhcurrumi hasta el poblado de Pitahuiña, respectivamente. Aproximadamente los primeros 1700m de longitud de este túnel atravesarán al cuerpo intrusivo cuarzodiorítico (cuarzomonzonita de acuerdo a los análisis petrográficos en secciones delgadas) levemente meteorizada a fresca con buenas condiciones geomecánicas. Los siguientes 10 km de túnel atravesarían rocas metamórficas de tipo filitas, cuarcitas, esquistos y gneises que presentan una tendencia de foliación E-W. Superficialmente estos materiales se encuentran fuertemente meteorizados y fracturados sin embargo en profundidad la roca se encuentra fresca y con una elevada resistencia mecánica.

Las características geológicas-geotécnicas de estos materiales garantizan que la obra sea emplazada de manera estable y segura.

4.3. SECTOR PITAHUIÑA: CHIMENEA DE EQUILIBRIO – TÚNEL DE ACCESO TBM – TUBERÍA DE PRESIÓN- CASA DE MÁQUINAS Y CANAL DE DESCARGA

En este sector se planifica emplazar varias obras del proyecto siendo las más importantes la chimenea de equilibrio, el túnel de acceso TBM, la casa de máquinas y en canal de descarga. Los materiales que conforman el sustrato de esta zona son igualmente las rocas metamórficas descritas anteriormente (filitas, cuarcitas). La cobertura está constituida por depósitos coluviales de pequeña dimensión y terrazas aluviales en al menos dos niveles depositados por el río Jubones.

Las obras que se encuentran en superficie como el portal de entrada al túnel de acceso TBM y la salida del túnel de descarga requieren procesos de remoción de material superficial y estabilización de taludes.

Existen pocas evidencias que demuestren la existencia de estructuras tectónicas que puedan afectar de manera significativa el proyecto.

CAPÍTULO 5. ESTUDIO AMBIENTAL

5.1. REALIZACIÓN DEL EIAD - DEFINITIVO

EL EIAD tiene como objetivo establecer los criterios para determinar las características e implicaciones ambientales originadas por la Construcción, Operación y Mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Minas – San Francisco, de manera que éstas se reduzcan, mitiguen, controlen o eviten. De esta manera cumplir con lo estipulado en el Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas -Decreto Ejecutivo 1 761, R.O. N° 396, del 23 de Agosto de 2001 - y las demás Normativas y Reglamentos vigentes compilados dentro del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (2 003).

El Estudio de Impacto Ambiental Definitivo EIAD – del Proyecto Hidroeléctrico La Unión se realizó en base a la Normativa Ambiental Vigente (véase capítulo 3) y Manual de Procedimientos para la Evaluación Ambiental de Proyectos y Actividades Eléctricas del CONELEC, además se ha acogido las observaciones de los fiscalizadores en las cuales se han definido metodologías, salidas de campo, incorporación de información, resultados y formatos. Incluso se realizó una previa reunión con el CONELEC, para una revisión general del estudio en donde la consultora como ENERJUBONES recibieron una retroalimentación de temas que se deben incorporar o especificar; según esto se examinó el estudio y se acogieron los diferentes puntos de vista de los técnicos.

5.2. MARCO LEGAL

Resume los aspectos más relevantes del compendio de leyes, reglamentos y demás normativas que el Gobierno del Ecuador posee para la protección del ambiente y concretamente para la ejecución de actividades de generación eléctrica y que se han considerado para la elaboración del presente Estudio de Impacto Ambiental Definitivo.

El marco legal se ha realizado en base al Manual de Procedimientos para la Evaluación Ambiental de Proyectos y Actividades Eléctricas de CONELEC (Módulo 3), en donde se enlista el marco legal aplicable para este tipo de actividad. Una breve descripción se presenta a continuación; esta se encuentra dividida en Normas Jerárquicas Superiores, Normativa General y Normas Reglamentarias.

- Normas Jerárquicas Superiores: Estas normas incluyen convenios a nivel internacional.
- Normativa General: Incluye leyes en materia de protección ambiental, conservación de la flora y fauna y del sector eléctrico.
- Normas Reglamentarias: Están relacionadas con el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS), Reglamentos del Sector Eléctrico y Ordenanzas Municipales.
- Normas Conexas: Las normas conexas se detallan en el Código Civil y Código Penal.

5.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DEL PROYECTO

Se describe de manera específica los elementos que contemplan el proyecto, es importante recalcar que dados los cambios que se han dado en los diseños en el transcurso de este año, la realización del EIAD ha tenido que realizar diferentes ajustes

a los estudios de cada componente, este particular se describe en el capítulo de Línea Base. A continuación se describe el contenido:

- Ubicación
- Principales Obras del proyecto La Unión
- Resumen de la Producción Hidroenergética
- Caudal de Diseño
- Canteras para agregados y Materiales de Préstamo
- Realización previa vías de Acceso a las Obras Principales
- Desvío de la carretera existente en el Sector de San Francisco
- Obras de desvío del río Jubones en el Sector de la Presa
- Cierre en el Río Jubones – Presa
- Ventanas de acceso al túnel de conducción
- Túnel de conducción
- Túnel/Canal de Descarga de la Casa de Máquinas
- Túnel de acceso a la Casa de Máquinas Subterráneas
- Chimenea de Equilibrio y Tubería de Presión Vertical
- Casa de Máquinas (Subterránea)
- Obras eléctricas principales
- Edificio de control en superficie
- Producción de equipo electromecánico principal
- Chequeo final de la planta
- Inspección de aceptación de la planta
- Puesta en marcha de la planta
- Presupuesto referencial del Proyecto Minas – San Francisco o La Unión
- Glosario de Términos

5.4. LÍNEA BASE AMBIENTAL

La línea base trata del diagnóstico de la zona en su estado actual. Se realizó una revisión bibliográfica (como se detalla en metodología) para posteriormente definir los puntos estratégicos para la realización de salidas al campo, las cuales dependieron de la ubicación de los sitios de obra. De esta manera por los cambios en los diseños, localizaciones de sitios de obra entre otros se realizaron varias campañas de campo, es así que se han realizado comparaciones entre diferentes muestreos (en el caso de que se ha tenido la información necesaria) y se pudo también determinar el estado de la zona en diferentes momentos y estaciones. A continuación se realiza un resumen del contenido:

5.5. MEDIO FÍSICO

5.5.1. CLIMATOLOGÍA

La información meteorológica utilizada para la caracterización climática se sustenta en los registros contenidos en los estudios (Promas - U.Cuenca, 2 007a) y (Promas - U.Cuenca, 2 007b), y se soporta también en los registros históricos publicados en los Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Es un extracto del informe de Hidrología y Sedimentología del Evento 1 y 12. Se ha tratado del análisis de las variables climatológicas: Temperatura, Precipitación, Humedad Relativa, Evaporación, Nubosidad, Heliofanía, Velocidad del Viento; todas estas fueron enfocadas al aporte al diseño y factibilidad del proyecto.

5.5.2. CALIDAD DEL AIRE Y NIVELES DE RUIDO

Se realizó la caracterización en los puntos estratégicos de obra como el sector de la presa San Francisco, Casa de máquinas de Pitahuiña, en la carretera mediante un laboratorio especializado y certificado es así que se tienen los valores base con los cuales se podrá luego hacer una estimación de la calidad de aire una vez que el proyecto esté en su fase de construcción y operación.

5.5.3. AGUA

Para la determinación del estado del componente agua se realizaron diferentes estudios basados en recopilación de información de estudios anteriores de la cuenca, información de instituciones como el INAMHI, SENAGUA, INAR y revisión bibliográfica además de la información de las diferentes salidas de campo que empezaron en marzo de 2 010 y terminaron en enero de 2 011.

Comprende los siguientes aspectos:

- Usos del Agua: En donde se determinan las concesiones de agua de la cuenca, se realizó énfasis en las concesiones para canales de riego aguas debajo de la descarga del proyecto.
- Caracterización Físico-Geográfica de la Cuenca del Río Jubones: Se describe las características físicas de la cuenca, tipos de suelo.
- Hidrología: Según los datos de las estaciones hidrométricas se realizó el análisis de caudales medios y mínimos, curvas de generación general y curvas de duración estacional, caudales máximos, caudales mínimos, caudales máximos con períodos de retorno, curvas de descarga y huellas de crecida. En base al informe hidrológico y sedimentológico del Evento 1 y 12 presentado por AGA.
- Cuña salina
- Sedimentos: Curvas de descarga de sólidos, sólidos totales. En base al informe hidrológico y sedimentológico del Evento 1 y 12 presentado por AGA.
- Calidad de Agua Superficial: Para la determinación de la calidad de agua se han tomado en cuenta tres muestreos realizados en diferentes fechas:
 - Septiembre y Octubre del 2 009 (este se toma como un solo muestreo, ya que se realizaron en los mismos puntos para completar con análisis de otros parámetros)

- Marzo del 2.010
- Junio de 2.010
- Diciembre de 2 010

Se han realizado comparaciones con los límites permisibles del TULAS:

- Anexo 1: Tabla 3 – Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.
- Anexo 1b: Tabla 1 – Parámetros de muestreo físico químico en cuerpos de agua superficial; Tabla 2 - Parámetros de monitoreo de diversidad biológica en el sector hidrográfico (río y /o embalse).
- Otros parámetros: para determinar la influencia de la actividad minera.

Es así que se determinó que a lo largo del río Jubones los valores de los parámetros como amoniaco, aluminio, hierro, coliformes fecales no cumplen con los límites permisibles. Solo el hierro y el amoniaco después de la unión con el río San Francisco disminuye. Se observa según un análisis multitemporal que puede existir una degradación de materia orgánica. Valores de sílice como de sulfuros de hidrógeno fueron bajos

5.5.4. SUELO

Para la caracterización del suelo se desarrollaron diferentes ítems

- Geología: basado los Informes Geológicos a escala 1: 10 000 y 1:5 000 de AGA, como también en salidas de campo de verificación
- Geomorfología: basados en Informes Geológicos de AGA, como también en salidas de campo de verificación; además se realizó un análisis general de la Hidrogeología.
- Erosión (Grados de erosión actual): Se utilizó una metodología que aplica operaciones cartográficas para la determinación de los diferentes grados de erosión presentes en la zona.
- Calidad y Tipos de Suelo: Se realizaron muestreos en las diferentes tipos de relieve presentes en la zona de estudio.

5.5.5. MEDIO BIÓTICO

Para la determinación de la línea base del componente biótico se realizaron diferentes operaciones, la utilización de operaciones cartográficas para la determinación de la cobertura vegetal. Para el análisis de la flora y fauna se realizaron diferentes salidas al campo además de la comparación con información secundaria. El análisis de la información multitemporal aportó notablemente a la caracterización de la zona. A continuación se presentan el contenido:

5.5.6. COBERTURA VEGETAL

5.5.6.1. FLORA

El estudio de flora se realizó en los sitios de obras y puntos específicos que se definió según revisión bibliográfica y la consideración del experto. Como se explicó

anteriormente se realizaron diferentes salidas de campo por los cambios de diseño del proyecto, lo cual aportó para concluir con información actualizada y específica que permitió determinar y caracterizar el área respecto a flora y así tener los criterios suficientes para realizar una evaluación de impactos acorde al área de estudio como así también plantear medidas ambientales que tomaron en cuenta las consideraciones del técnico especializado. El contenido de este sub-acápite es:

- Estructura y Composición Florística-análisis cualitativo
- Densidad, diversidad y especies más frecuentes – análisis cuantitativo
- Índice de valor de Importancia
- Fenología
- Dendrología
- Ecología de las especies importantes
- Especies endémicas e importantes para la conservación
- Uso del recurso
- Se registraron importantes hallazgos a nivel de la flora, como especies endémicas (*Croton rivinofolius*, *Epostoa frutescens*, *Puya aequatorialis*, *Miconia brevitheca*, *Eugenia valvata* y *Clavija pungens*); sin embargo, por las condiciones del proyecto, estas especies no corren peligro, ya que tienen en el sector un rango amplio de distribución.
- Se determinó una nueva formación vegetal, y que podría denominarse Matorral seco piemontano para el sector de San Francisco. Es importante que esta nueva formación restringida para esta área sea declarada como área de protección, bajo alguna categoría de manejo y que garantice su conservación y uso.
- Debido a las categorías de amenaza en que están expuestas varias especies encontradas en los muestreos estudiados, se recomienda implementar procesos de reforestación y revegetación con plantas nativas del mismo sector, y también apoyo a todas las actividades de conservación en todas las subcuencas hidrográficas que implique el Proyecto.

5.5.6.2. FAUNA

Al igual que la flora los sitios de muestreo se determinaron por la localización de obras y según el criterio de los expertos. Es importante recalcar, que para este medio también se realizaron diferentes salidas de campo que permitieron caracterizar de mejor manera la fauna de la zona y así tener los criterios suficientes para realizar una evaluación de impactos acorde al área de estudio como así también plantear medidas ambientales que tomaron en cuenta las consideraciones de los técnicos especializados. Los resultados fueron discutidos, analizados y justificados con la fiscalización de ENERJUBONES y también se realizaron diferentes ajustes por las recomendaciones que los expertos del CONELEC realizaron.

A continuación se realiza una síntesis de las conclusiones más importantes de cada grupo faunístico.

5.5.6.2.1. MAMÍFEROS

Existe poco interés por el uso del recurso faunístico por parte de los campesinos locales; esto seguramente se debe a lo intervenido del área, lo que conlleva a pocos mamíferos

silvestres que justifiquen esta actividad; sin embargo, todavía existe actividad de cacería, dirigida principalmente a animales utilizados como fuente de alimento, como es el caso de la guanta (*Cuniculus paca*) y la guatusa (*Dasyprocta punctata*).

Se identificó una especie en la categoría Vulnerable según la Lista Roja del Ecuador (Tirira, 2 001), se trata de la nutria (*Lontra longicaudis*). Esto indica que era una zona de poca importancia en términos de conservación de especies; lo que sugiere implementar un nuevo estudio que determine el estado de conservación de este mamífero, de tal manera que no se vea afectado por la implementación del proyecto en el sector La Unión.

5.5.6.2.2. AVES

Se registraron pocas especies de aves con alta sensibilidad, lo que contrasta con el alto porcentaje de especies de baja sensibilidad que generalmente son especies indicadoras de hábitats alterados, y que cualquier impacto a realizarse en esta zona no afectaría en un alto grado a especies importantes de aves. En general se puede decir, que el estado de conservación de la avifauna mantiene relación con el tipo de hábitat presente. Así, en las áreas alteradas el estado de conservación es bajo ya que existen especies propias de pastizales y algunas especies de bosque que se han adaptado bien a las áreas abiertas con árboles dispersos. Al interior del bosque, hay muchas aves típicas de estos ambientes, esto se manifiesta por la alta riqueza y dominancia de especies insectívoras.

En el área de influencia del proyecto La Unión, existió un alto porcentaje de especies no comunes y frecuentes a pesar de que la abundancia relativa de cada especie estarían influenciados por el comportamiento alimentario, los diferentes ritmos circadianos de las especies según la temporada (Delauriers & Francis, 1.990), la topografía del terreno y hábitat escogido entre otros.

5.5.6.2.3. REPTILES

Se estimó una diversidad media para los reptiles del área de influencia del Proyecto Minas - San Francisco y baja para los reptiles del área de influencia del Proyecto La Unión, lo que podría deberse a que los hábitats han sido severamente alterados para dar paso a cultivos y pastos, lo que ha ocasionado la disminución en la diversidad de reptiles.

5.5.6.2.4. ANFIBIOS

Al igual que los reptiles, la diversidad de los anfibios se ha visto disminuida debido a que extensas áreas de bosques naturales que han sido convertidas en cultivos y pastos en el área de influencia del proyecto.

5.5.6.2.5. PECES

La comunidad ictiológica estuvo caracterizada por una diversidad baja, (índice de Shannon-Wiener). Sin embargo, esto debe ser analizado con mucho cuidado ya que la región se caracteriza por tener una diversidad baja a media, factor que en principio nada tiene que ver con disturbios antrópicos en el ambiente. El sector de la obra de interconexión muestra tener una comunidad ictiológica caracterizada por una diversidad media, (índice de Shannon-Wiener).

Las especies registradas para la zona son: de extensa y continua distribución a lo largo del cauce (ej. *Brycon sp.*, *Aequidens rivulatus*); o son de presencia focalizada (Ej. *Astroblepus sp.*, sector represa o de zona alta; *Gobiomorus maculatus*, sector conducto o de zona baja). En el caso de las lisas (*Mugil spp.*) se trata de especies mayoritariamente marinas, de costumbres anfidromas, es decir que penetran a los ríos durante su ciclo de vida, pero no lo hacen por apareamiento y sus desplazamientos, en nuestra región, son aún muy poco conocidos. Tienen una amplísima distribución a lo largo del pacífico tropical (California a centro de Perú), son excelentes nadadores, con ligera capacidad de salto, pero no superan con facilidad los obstáculos. Es por esta razón que no se justifica la construcción de obras de interconexión de especies: primero porque no existen especies migratorias estrictas y segundo, porque la especie que podría migrar no superaría las barreras y además no lo hace para procesos reproductivos, lo cual al final, tal vez, lo justificaría.

5.5.6.2.6. INSECTOS

Se determinó que en el área de influencia del presente proyecto existe un proceso continuo de antropización, esto ha generado un reemplazo de la vegetación silvestre por paisajes constituidos por arbustos y herbazales, cuyas comunidades de insectos terrestres se hallan simplificadas. Se determinó la presencia de un significativo número de invertebrados, de los cuales un tercio presenta estrechas relaciones con el medio acuático, ya que su fase juvenil la desarrollan en el lecho de los cuerpos de agua del cual emergen para reproducirse y dispersarse. Al evaluar la diversidad se determinó que esta zona presentó una mediana diversidad.

5.5.6.2.7. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

El Río Jubones en la zona de la Unión (Aguas Arriba MM-1 y Aguas Abajo MM-2), mostró una calidad de agua Buena (BMWP/Col 115 y 101 respectivamente) según los datos del 2 009. Pese a la presión antrópica existente en la zona (cultivos) este río tiene una buena capacidad de autodepuración debido al gran caudal y la presencia de cantos rodados, lo que permite el ingreso de oxígeno disuelto al río, permitiendo el desarrollo de poblaciones macrobentónicas sensibles a la contaminación. Pero en el presente estudio, según datos del 2 010 mostraron, una calidad de agua Dudosa (BMWP/Col 59), posiblemente estos valores se deban a la presión antrópica que sufre el recurso hídrico, por la presencia en la zona de cultivos de caña y canteras que afectan la calidad de agua debido al ingreso de plaguicidas, abonos de uso agrícola e ingreso de sedimentos al río desde las minas ubicadas en los márgenes del río. Otro factor que puede estar influyendo sobre la calidad de agua del río Jubones en esta zona, es la disminución del caudal con respecto al año anterior, por falta de lluvias.

5.5.6.2.8. FITOPLANCTON

En las tres estaciones se obtuvieron diversidades bajas; registrando la estación EF1 el menor valor, donde la especie *Stigeoclonium sp.* fue la más abundante, este género es bioindicador de contaminación por metales. La presencia de las minas cerca del sitio monitoreado está influyendo la calidad del agua de esta estación; la contaminación podría ser puntual del desfogue de las aguas de esta actividad, el alga *Stigeoclonium* ha resultado ser bastante tolerante a las altas concentraciones de cobre y otros metales y contribuyen a neutralizar el pH. Otro resultado importante a tomarse en cuenta en esta estación es el índice planctónico dentro del cual un valor de 64 caracteriza a este ecosistema como deficiente, lo que nos indica un posible comienzo de eutrofización.

La estación EF2 y EF3 posee un estado ecológico moderado o mesotrófico, según las especies fitoplanctónicas encontradas; es decir la calidad de agua en cuanto a consumo de oxígeno y procesos de oxidación se encuentra equilibrada pero un exceso de aportes de materia orgánica externa podría empeorar el estado de río.

5.5.6.2.9. ZOOPLANCTON

El sistema fluvial del río Jubones se presenta en términos generales en buen estado sin alteraciones en su cauce, exceptuando la zona del punto ZP-3, sitio bajo influencia directa de actividades antropogénicas de los habitantes del poblado Ducos. Además el punto PZ-2 también se presenta sometido a la influencia de un poblado cercano, sin embargo las características propias del río permiten su autoregeneración; este punto fue registrado con una mayor diversidad (1,99 bits).

La visibilidad de la columna de agua es baja lo que lo califica como un ecosistema eutrófico, ambiente con características apropiadas para las especies reportadas como: Alona sp, Lecane sp y otros cladóceros. Estos últimos son buenos indicadores de los nichos tróficos y de la calidad de agua del sistema. Por su parte el género Hyalella sp. es característico de aguas bien oxigenadas y asociadas a sustratos rocosos como es el caso del Río Jubones.

5.5.7. MEDIO SOCIO – ECONÓMICO

El proyecto tanto para la etapa de construcción como para la de operación, genera efectos puntuales al medio; no obstante, el proyecto es receptor de las externalidades e internalidades que genera la cuenca alta y media del Jubones.¹ La cuenca del río Jubones cubre gran parte de las provincias del Azuay, Loja y El Oro; el complejo hídrico se encuentra delimitado al norte por las cuencas de los ríos: Paute, Gala, Tenguel y Siete; al sur por las cuencas de los ríos: Zamora, Puyango, río Negro y Buena Vista; y al Este por la cuenca del río Zamora y al Oeste por el océano Pacífico. La cuenca hidrográfica del río Jubones cubre un área total de drenaje de 4.351 km².²

Para fines operativos del presente informe, las macro y micro cuencas hidrográficas están atravesadas por:

- Límites político-administrativos de las Provincias del Azuay, El Oro y Loja, y de la división intra-zonal (poblados, recintos, comunidades) resultado de los procesos de ocupación territorial y/o ampliación de la frontera agrícola (colonización-campesinización)³; y por,
- La apertura de carreteras que han modificado parcialmente la comunicación y las formas de intercambio a través de los cursos fluviales, acciones que se integran al proceso de ocupación de la zona de estudio, al amparo de la legislación y las condiciones de la política de acción de la época ejecutada desde el Estado.⁴

¹ Ver: En la siguiente fase se realizará la Evaluación de Impactos Ambientales.

² SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (SENAGUA), **Problemática y conflictos sobre los recursos hídricos por efectos del cambio climático. Estudio exploratorio**, DED/SENAGUA, Quito, 2 009.

³ Colonización-campesinización se refiere al proceso de colonización pionera de tierras consideradas baldías que desemboca en un proceso de apropiación espacial y simbólica del nuevo espacio, interactuando con un proceso de consolidación de las redes parentales en términos de conformación, reproducción y fisión familiar, que implica una suerte de identificación con la nueva matriz territorial.

⁴ La ley de reforma Agraria y Colonización de 1973 fue uno de los cuerpos legales que incentivó el poblamiento de la zona de estudio, a partir de un objetivo impérate de ampliar la frontera agrícola e insertar a zonas consideradas como baldías e improductivas al desarrollo nacional.

No obstante de lo dicho, estos factores mencionados se yuxtaponen sobre las unidades geográficas, configurando un complejo de relaciones sociales y productivas con un explícito uso de micro verticalidad ecológica, que finalmente se expresan en formas de presión y apropiación sobre los distintos recursos naturales existentes.

Desde el punto de vista socioeconómico, el impacto que rodea a la construcción del proyecto hidroeléctrico, debe ser analizado en el contexto local y regional. Los factores que condicionan este criterio se basan en:

- Tipo de población que se desenvuelve alrededor del sitio, macro y micro cuencas
- Particularidades productivas de las poblaciones y las posibles alianzas económicas y políticas en favor o en contra de la operación
- Municipios y gobiernos locales

Estos elementos metodológicamente separados han sido evaluados de forma particular e integrarse a una visión general del contexto socio-geográfico que rodea al proyecto y a la población allí inserta.

Así este componente ha sido estudiado según las poblaciones que serán influenciadas directa e indirectamente por el proyecto, a continuación se enlista el contenido de este acápite:

- Contexto del área de Estudio
- Características Naturales y su relación con el medio socio económico
- Aspectos Demográficos
- Vivienda
- Salud
- Agua Consumo Humano y Saneamiento Básico
- Educación
- Aspectos Económicos y Productivos
- Características de las Unidades de Producción Agrícola
- Ingresos Estimados en una Unidad de Producción Agrícola Tipo
- Turismo
- Migración
- Roles de Género dentro del Hogar y Comunitario.
- Organización Social y Participación Ciudadana
- Percepción sobre el Proyecto
- Conflictos Socio-Ambientales
- Infraestructura Existente

5.5.8. COMPONENTE ARQUEOLÓGICO

Este componente fue realizado una vez se tuvieron los lugares definitivos de las obras, para lo cual se realizó un diagnóstico arqueológico para lo cual se realizó una visita de campo y revisión bibliográfica.

El diagnóstico de campo contempló los siguientes sectores:

- Sector Gramalote
- Sector Tendales

- Sector San Francisco
- Sector Uzhcurrumi
- Pitahuiña sector sur Jubones
 - El reconocimiento arqueológico realizado, revela la existencia áreas con posibilidades de contener ocupaciones arqueológicas que deberán ser delimitadas una vez que se determine la ubicación definitiva de las áreas.
 - Por la bibliografía consultada y por las características topográficas del área de estudio, puede concluirse que la zona donde se instalará la infraestructura termoeléctrica pudo haber albergado en el pasado un importante asentamiento humano de filiación Cañari.

5.6. COMPONENTE PERCEPTUAL

Para el análisis del componente perceptual se determinaron cartográficamente las cuencas visuales en donde se posicionaron como observadores los sectores de las obras, de esta manera se pudo determinar desde las locaciones desde donde serán fácilmente visibles las obras.

Posteriormente se utilizó la metodología BLM, 1 980 para la valoración del paisaje. En donde se analizaron los siguientes sitios de obras:

- Embalse Minas: Valoración B
- Obras en la Zona San Francisco: Valoración B
- Casa de Máquinas (Gramalote): Valoración A
- Casa de Máquinas y Chimenea de Equilibrio(Casacay): Valoración A
- Obra de Interconexión - Zona La Unión: Valoración B

Para lo cual:

- Clase A: Áreas de calidad alta, áreas con rasgos singulares y sobresalientes
- Clase B: Áreas de calidad media, áreas cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color y línea, pero que resultan comunes en la región estudiada y no son excepcionales

5.7. CAUDAL ECOLÓGICO

Para la determinación del caudal ecológico se unieron diferentes criterios técnicos: físicos – químicos, bióticos y socioeconómicos en donde se aplicó una metodología sistematizada que recopila todos los criterios antes mencionados, la misma que fue discutida y analizada con el personal de fiscalización de ENERJUBONES; este análisis utilizó información del informe de Hidrología y Sedimentología del evento 1 y 12 de AGA.

Es así que se concluye según la revisión técnica del proyecto como el Diagnostico Ambiental utilizado para el caudal ecológico que con el Caudal de Diseño de 65 m³/s no se mantiene la representatividad del régimen hidrológico del río, sin embargo, no se generarán problemas de calidad del agua en el segmento intervenido ni aguas debajo de este, en lo que respecta a contaminantes orgánicos y oxígeno disuelto.

Empero de lo anotado en el presente informe, al tratarse de modelos matemáticos, que si bien están debidamente sustentados, estos no son más que una representación simplificada de un fenómeno físico químico, por lo que una vez que el proyecto entre en operación, deberán monitorearse los parámetros más representativos del Río Jubones en todos sus componentes, ya sean físicos, bióticos o sociales.

5.8. ÁREAS DE INFLUENCIA Y SENSIBILIDAD AMBIENTAL

De acuerdo con el Manual de Procedimientos para la Evaluación Ambiental de Proyectos y Actividades Eléctricas del CONELEC, el área de influencia directa es el territorio en el que se manifiestan los impactos ambientales directos, es decir aquellos que ocurren en el mismo sitio en el que se produjo la acción generadora del impacto ambiental, y al mismo tiempo, o en tiempo cercano, al momento de la acción que provocó el impacto. El área de influencia indirecta es el territorio en el que se manifiestan los impactos ambientales indirectos o inducidos, es decir aquellos que ocurren en un sitio diferente a donde se produjo la acción generadora del impacto ambiental, y en un tiempo diferido con relación al momento en que ocurrió la acción provocadora del impacto ambiental.

5.8.1. ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA E INDIRECTA

Se basó en operaciones cartográficas estableciendo áreas hasta donde pudiera llegar la afectación de los impactos ambientales así también se utilizaron modelos matemáticos como el de atenuación de ruidos entre otros para determinar con mayor precisión estos. Es así que se expresan los resultados por medio de figuras en donde se puede distinguir fácilmente las áreas de influencia directa e indirecta de los componentes físicos y biológicos. Por otra parte el área de influencia social se determinó de acuerdo a la localización de las obras vinculada a poblados cercanos tanto para la fase de construcción y operación.

5.8.2. SENSIBILIDAD AMBIENTAL

La sensibilidad física estuvo evaluada por el caudal ecológico ya que es un compendio y análisis de todos los componentes ambientales. Para la sensibilidad biótica y social se utilizó una metodología específica en donde se concluye que bióticamente la zona tiene sensibilidad alta; mientras que la sensibilidad social y arqueológica depende tanto de la locación de obras vinculada a las obras como de la influencia directa e indirecta. El componente perceptual presentó una sensibilidad media.

5.9. ANÁLISIS DE PROCESOS NATURALES POTENCIALES GENERADORES DE RIESGOS

El análisis se realiza en base a la información geológica y gemológica que consta en la línea base del EIAD, la información generada en los distintos estudios efectuados para la pre-factibilidad y factibilidad del proyecto e información levantada en campo.

Se orienta a la identificación y análisis de los fenómenos: sísmico, de remoción de masas, de erosión hídrica y de inundaciones, como amenazas que pueden influir o han influido en el área del proyecto; se hace referencia también a los fenómenos volcánicos, a pesar de que como fue establecido en la línea base, no influyen en el área. Se pone

énfasis en los fenómenos que representan una amenaza para los sitios de obra. El contenido de este capítulo es el siguiente:

- Peligro Volcánico
- Amenaza Por Fenómenos En Masa
- Descripción de Deslizamientos en la Zona de los Proyectos: Análisis de:
- Fenómenos Recientes
- Fenómenos Actuales
- Susceptibilidad A Deslizamientos
- Peligro Sísmico: Análisis específico de la Falla Girón
- Peligro a Inundaciones
- Peligro a la Erosión

5.10. IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

5.10.1. METODOLOGÍA APLICADA

Se realizó en base a la metodología CAUSA – EFECTO, la cual fue discutida y justificada con la fiscalización de ENERJUBONES; al ser ésta utilizada en proyectos de la misma naturaleza y además ser la que el CONELEC recomienda usar para la identificación, caracterización y evaluación del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos.

Se realizó de esta manera el listado de factores ambientales que podrían ser afectados lo cual se basó en toda la información recopilada en la Línea Base, además se realizó una síntesis de 7 macro – actividades del proyecto las cuales contienen las diferentes sub – actividades que fueron agrupadas según su naturaleza, ubicación geográfica, generación de impactos similares o interdependientes. Esto también fue discutido y justificado ante la fiscalización de ENERJUBONES.

De esta manera, la evaluación se realizó para la fase de construcción como de operación por separado para los proyectos MINAS – SAN FRANCISCO y LA UNIÓN ya que las actividades defieren la una de la otra.

5.11. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Dando cumplimiento al artículo 25 del Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas se presenta el Plan de Manejo Ambiental para la Fase de Construcción, Operación, Cierre y Abandono del Proyecto Hidroeléctrico Minas - San Francisco y La Unión, los cuales toman en consideración las especificaciones del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, la Ley de Gestión Ambiental y diferentes especificaciones y normas técnicas internacionales que se describen en el capítulo del Marco Legal.

Una vez identificados y evaluados los posibles impactos que se podrían generar en las fases mencionadas se establecen medidas para prevenir o mitigar estos posibles impactos durante el desarrollo del proyecto.

Para esto se realizó un plan de manejo para la fase de construcción y otro para la fase de operación tal como lo recomienda el CONELEC y lo cual se consideró apropiado ya

que los impactos difieren de la una fase a la otra; se utilizó información secundaria, experiencias de otros proyectos.

A continuación se enumeran los programas que contempla el PMA

- Programa de Prevención y Mitigación de Impactos
- Programa de Manejo de Desechos
 - Desechos sólidos
 - Desechos líquidos
- Programa de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional
- Programa de Contingencias y Análisis de Riesgos
- Programa de Participación Social y Relaciones Comunitarias
- Programa de Capacitación
- Programa de Auditorías Ambientales
- Programa de Monitoreo Ambiental y Seguimiento

Los programas que comprenderán el Plan de Cierre y Abandono son los siguientes:

- Abandono y reconfiguración de la casa de máquinas y áreas constructivas
- Programa de revegetación y reforestación

Para sintetizar el Plan de Manejo Ambiental (PMA) se realizó una Matriz Lógica para la fase de operación y para la fase de construcción, la cual es una herramienta de fácil comprensión y que permitirá la determinación de las medidas ambientales según las actividades del proyecto (ver Anexo).

Cada uno de los programas contiene:

- Actividades y sub-actividades aplicables al procedimiento: en donde se determinan las actividades del proyecto en las que se debe cumplir cada programa.
- Manejo y verificación: Responsables p.ej. CONELEC, ENERJUBONES, supervisores, fiscalizadores.
 - Ejecución
 - Responsable
 - Verificación
 - Recursos
 - Medios de verificación
 - Frecuencia
 - Supuesto
- Actividades Verificables: Se describen las actividades de cada programa que deben ser ejecutadas y las cuales pueden ser auditadas, supervisadas o verificadas

CAPÍTULO 6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO

6.1. CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño de esta central es el mismo caudal del aprovechamiento San Francisco, 65 m³/s, en vista que la captación se hace desde el paso elevado de la descarga del aprovechamiento aguas arriba.

6.2. OBRAS CIVILES PRINCIPALES

6.2.1. ACUEDUCTO O CRUCE AÉREO

Se descarta la posibilidad de captar las aguas del tramo entre San Francisco y Uzhcurrumi, porqué para ello son necesarias obras en el cauce del río Jubones a un alto costo, lo que no compensa el beneficio obtenido por la generación de energía en Pitahuiña.

El alto costo de captación obedece a que el río Jubones tiene aproximadamente 22 m de material aluvial y cualquier obra, por pequeña que sea, necesita realizar obras adicionales como ataguías y desvío del río; no es posible construir el azud por vanos pues el río es muy estrecho y la excavación aún en estiaje se hace imposible por la presencia del material aluvial.

La configuración que se ha adoptado para el acueducto, con las dimensiones y reforzamientos que se indican, cumple satisfactoriamente para las condiciones de funcionamiento que va a brindar.

Es importante mencionar que, el paso elevado es una estructura que no representa mayor inversión, pues no es necesario realizar obras para desviar el cauce del río Jubones, situación que beneficia en el análisis económico-financiero del Proyecto. Este paso elevado servirá también como puente para cruzar a la margen derecha y construir todas las obras incluido el túnel de descarga de la Central San Francisco.

El acueducto está conformado por 3 tuberías de acero, cuyo diámetro interior es 2600 m y se desarrolla en una longitud de 54 m, une a la cámara de interconexión con el tanque de carga que presuriza el flujo del ingreso al túnel de baja presión.

6.2.2. TÚNEL DE CONDUCCIÓN

El túnel de conducción del proyecto La Unión será realizado con método mecanizado (Tunnel Boring Machine) en su mayor longitud (D=4,80 m); la entrada de la tuneladora está prevista en las inmediaciones de Pitahuiña. Para los tramos de enlace del ingreso y salida de la TBM está prevista una excavación tradicional DBM con una sección transversal en herradura.

En general, los análisis efectuados para el dimensionamiento de los soportes y del revestimiento se basan en el perfil geomecánico del túnel el mismo que permite hacer una previsión del comportamiento del macizo que considera principalmente los levantamientos geo-estructurales de campo y las evidencias geomorfológicas, además de las pruebas de laboratorio para la caracterización de la roca intacta. Las investigaciones directas actualmente en curso dotarán de importantes datos respecto a la confiabilidad de la información utilizada.

La ruta escogida para el trazado del túnel ha permitido conseguir un techo adecuado sobre la clave del mismo. Para el túnel de carga realizado con método mecanizado, los análisis del comportamiento a la excavación evidencian algunos sectores de filitas y cuarcitas donde el riesgo de elevada convergencia es inevitable dejar de considerar, debido a una combinación de medio-alta cobertura y condiciones esperadas del macizo de pobre calidad. En estos tramos se ha previsto la ejecución de intervenciones (inyecciones y drenajes) sistemáticas en avance para mejorar las características de la roca y mitigar el riesgo de atascamiento debido a un comportamiento de tipo “squeezing” o colapso directo del frente de excavación. En los otros tramos analizados los valores de convergencia se encuentran compatibles con las normales características operativas de una tuneladora de este tipo (<5 m).

En este caso, el revestimiento del túnel estará constituido por anillos de dovelas prefabricadas. El anillo es de tipo universal, de manera que pueda adaptarse fácilmente a las variaciones plano-altimétricas del trazado en cualquier circunstancia. Es importante mencionar que las propiedades finales de las dovelas (espesor, número y longitud del anillo, cantidad de acero de refuerzo) deberán ser necesariamente definidas de acuerdo a las características propias de la tuneladora que será utilizada en el proyecto, para verificar la compatibilidad de todos los elementos acoplados.

En todo caso, se recomienda una excavación con tuneladora de tipo doble escudo, equipada con todas las facilidades para un correcto manejo del riesgo constructivo (investigaciones directas e indirectas en avance, posibilidad de ejecutar perforaciones para inyecciones/drenaje a través del escudo y de la cabeza de corte), condición que se considera absolutamente necesaria para la realización de túneles tan largos y en condiciones geológicas y geomecánicas varias y complejas.

6.2.3. CHIMENEA DE EQUILIBRIO

La chimenea se ubica en el sector de Pitahuiña cuya posición representa la mejor ubicación desde un punto de vista geométrico del aprovechamiento y de la morfología de la zona (altura del pozo respecto al máximo nivel de operación aguas arriba y a las respectivas oscilaciones durante la maniobras de cierre y/o apertura de las turbinas).

El sitio ha sido escogido en función de varios datos geotécnicos obtenidos con los sondeos realizados, además el sitio está ubicado en una cuchilla del macizo montañoso cuya posición permite ubicar la casa de maquinas a cielo abierto, junto a la carretera principal.

La chimenea de equilibrio tiene una cámara cilíndrica simple $D=15$ m y altura de 99 m, con un orificio restringido al pie.

6.2.4. TUBERÍA DE PRESIÓN

Los resultados del sondeo ejecutado en el eje de la tubería evidencian una condición aceptable en la calidad de roca, que no afecta el diseño de la obra.

El tramo horizontal del tubería de presión será emplazado en condiciones geológicas y geomecánicas aceptables de acuerdo a los datos de campo recabados.

La obra está prevista en una longitud total de 847 m, 112,5 m de tubería vertical y 734,5 m de tramo horizontal sin incluir el bifurcador..

6.2.5. CASA DE MÁQUINAS Y DESCARGA

Será excavada por su parte inferior en roca junto a la carretera principal, y será ubicada en una sola plataforma con la subestación en función de la menor excavación.

Es importante indicar que el posicionamiento de las obras en este sector toma en consideración una eventual ampliación de la carretera existente. La margen considerada para estas futuras actividades es de 20 m respecto al borde actual de la vía.

Con los diseños efectuados para las diferentes áreas y elementos constitutivos de la estructura de casa de máquinas, se ha obtenido una buena resolución a nivel de Diseño Definitivo de este componente importante del Proyecto.

La resolución mostrada, que ha sido revisada por los cálculos estructurales indicados, garantiza un satisfactorio comportamiento de todos los componentes de la Central del Proyecto.

La casa de máquinas es semienterrada, tendrá una cubierta tipo nave industrial y el piso de maniobras se ubica en la cota 103 m. s.n.m. El canal de descarga está constituido por un canal rectangular de 80 m de longitud.

Los datos técnicos principales del proyecto La Unión se muestran en el apartado 6.3; en tanto que el Anexo 3 del presente documento presenta un resumen con mayor detalle.

6.3. DATOS TÉCNICOS PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA UNIÓN

CAUDALES CARACTERÍSTICOS		
Caudal de diseño	65	m ³ /s
Caudal 90%	13.64	m ³ /s
Caudal medio	48.33	m ³ /s
CAUDALES MÁXIMOS PARA DISEÑO PASO ELEVADO		
Q(TR=10 años)	815	m ³ /s
Q(TR=100 años)	1275	m ³ /s
Q(TR=1000 años)	1800	m ³ /s
Q(TR=10000 años)	2200	m ³ /s

PASO ELEVADO Y TANQUE DE CARGA		
Cota fondo del río	260	msnm
Cota fondo tanque de carga	262.44	msnm
Nivel normal máximo de operación (NAMO)	273.96	msnm
Nivel normal mínimo de operación (NAMINO)	270.05	msnm
H útil	3.91	m
Volumen tanque de carga	6,814	m ³

TÚNEL DE BAJA PRESIÓN		
Cota solera en captación	262.44	msnm
Pendiente longitudinal	0.52	%
Cota solera al pie chimenea	198.7	msnm
Sección DBM 588 m-TBM 11583 m-Blindado 19 m		
Diámetro ponderado circular	4.79	m
Área	18.02	m ²
Perímetro	15.05	m
Diámetro hidráulico	4.79	m
Longitud	12190	m
n	0.014	
λ	0.0143	
Velocidad en túnel DBM 3,78- TBM 3.59- Blindado 3.59 m/s	3.61	m/s
Hf fricción	24.20	m
Hf locales	0.50	m

CHIMENEA DE EQUILIBRIO		
Número de cámaras cilíndricas	1	
Diámetro 1	15	m
Altura 1	100	m
Orificio restringido	4	m
Nivel normal operación	249.26	msnm
Nivel máximo oscilación	300.55	msnm
Nivel mínimo normal oscilación	229.62	msnm
Cota umbral chimenea	302.00	msnm

PRESUPUESTO		
DESCRIPCIÓN	TOTAL (M \$)	% EDT
La Unión-Total	274.29	100.0%
Obras Civiles	167.37	61.0%
Equipamiento Electromecánico	75.28	27.4%
Transmisión	14.28	5.2%
Mitigación ambiental	4.51	1.6%
Ingeniería y Administración	12.85	4.7%

TUBERÍA DE PRESIÓN		
Sección	Circular	
Diámetro	4.8	m
Área	18.10	m ²
Perímetro	15.08	m
Diámetro hidráulico	4.8	m
Longitud	847	m
n	0.011	
λ	0.009	
Velocidad en tubería	3.59	m/s
hf	1.11	m
Pérdidas locales	0.53	m

CASA DE MÁQUINAS		
Tipo de turbinas	2	Francis
Cota eje turbina	85.8	msnm
Cota piso válvulas	82.5	msnm
Cota piso generadores	90.1	msnm
Cota piso principal	94.1	msnm
Cota piso de montaje	103	msnm
BxLxH	21x56x40	m
H succión	2.13	m
Cota mínima descarga	88.03	msnm
Cota descarga (Q100%)	88.72	msnm

CANAL DE DESCARGA		
Número de canales	2	
Longitud	80	m
Sección	Rectangular	
Ancho	8.25	m
Altura	3	m

RESUMEN DEL APROVECHAMIENTO		
Altura bruta máxima	185.24	m
Altura bruta mínima	181.33	m
Altura bruta promedio	183.94	m
Pérdidas de carga	26.337	m
Altura neta de diseño	157.60	m
η turbina	94.1	%
% Pérdidas	14.2	
Potencia bruta	117.7	MW
POTENCIA INSTALADA (turbina)	94.138	MW
POTENCIA DEL GRUPO (t+g)	92.255	MW
Energía producida	412.3	GW-h/año

COSTOS	TOTAL (M \$)	USD/kw
Generación	260.01	2,762
Generación + Transmisión	274.29	2,914

CAPÍTULO 7. EQUIPAMIENTO MECÁNICO

7.1. SELECCIÓN DEL TIPO Y NÚMERO DE TURBINAS

La selección de las turbinas se realizó tomando en cuenta el tamaño de las unidades y la versatilidad del funcionamiento de la central para varios caudales, es por esto que se ha llegado a determinar que la colocación turbinas Francis para esta central es lo adecuado.

Para la altura y caudal respectivo, de acuerdo al ábaco de selección de turbinas, le corresponde a turbinas Francis; además esta información se respalda en la verificación de la estadística de las unidades instaladas en centrales de características similares a nivel mundial.

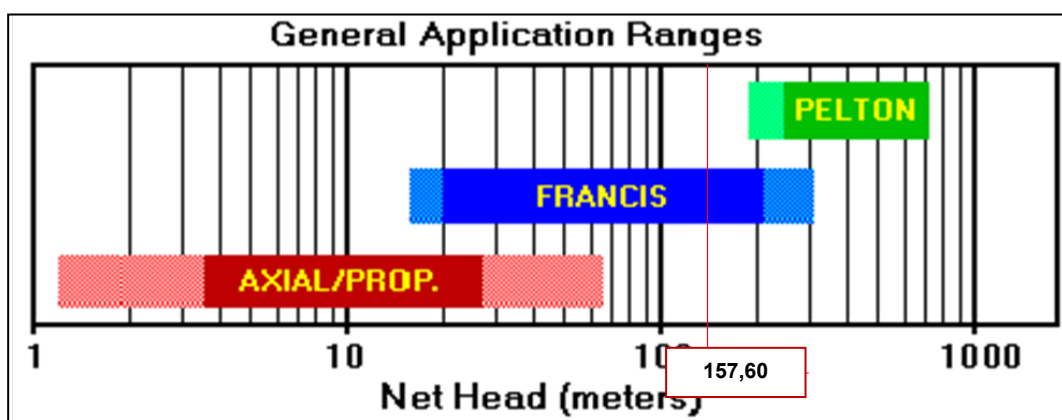


Figura 4. Ábaco de selección de las turbinas proyecto La Unión

La selección del número de turbinas a ser instaladas consideró los siguientes puntos:

- Máxima energía generada
- Mínimo tamaño de los equipos
- Inversión lo más ajustada a la máxima tasa interna de retorno
- Valor de inversión inicial

El detalle de estas consideraciones consta en el Informe de Equipos Mecánicos del Estudio de Factibilidad, cuyas evaluaciones se sustentaron en criterios técnicos, económicos y de seguridad.

Se resumen todos los parámetros en mención en la siguiente matriz comparativa:

Cuadro 10. Matriz de comparación multicriterio

PARÁMETRO	NUMERO DE UNIDADES FRANCIS			
	1	2	3	4
Máxima energía generada	Mínima	Mayor que 1	Mayor que 2	Mayor que 3
Mínimo tamaño de los equipos	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
TIR %	2,93	4,57	4,50	4,42
Inversión inicial M\$	38,11	42,04	50,92	60,58

	Favorable
	Intermedio
	Desfavorable

Se concluye que si instalamos 2 turbinas cumplimos con todos los requisitos ajustándonos a la selección del arreglo con mayor tasa interna de retorno y por ende una producción energética que devenga de mejor manera los costos de instalación. Además que la inversión inicial tiene un menor diferencial con respecto a una turbina y obviamente mejores prestaciones en la generación hidroeléctrica.

La decisión es por lo tanto la instalación de 2 turbinas Francis en la central La Unión.

7.2. DISEÑO DE LAS TURBINAS FRANCIS

En el siguiente Cuadro se muestra las características básicas de las turbinas Francis determinadas con el diseño:

Cuadro 11. Características básicas de las turbinas Francis

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura bruta promedio	183,93	m
Altura neta de diseño	157,60	m
Pérdidas de carga	26,34	m
Caudal de diseño total	65	m ³ /s
Número de unidades	2	
Caudal mínimo turbinable	16,67	m ³ /s
Caudal nominal de turbina	32,50	m ³ /s
Caudal máximo de diseño	59,03	m ³ /s
Eficiencia mínima de la turbina	73,0	%
Eficiencia nominal de la turbina	94,1	%
Potencia instalada	94,138	MW
Potencia de cada turbina	47,07	MW
Potencia del grupo	92,255	MW
Velocidad de giro	360	rpm
Velocidad específica η_s	140,0	
Altura de succión	-2,6	m

7.2.1. ESTIMACIÓN DE LA CURVA DE RENDIMIENTO DE LAS TURBINAS FRANCIS

Los coeficientes de la ecuación de rendimientos son fácilmente estimados con los datos anteriormente indicados tomando en cuenta además que el caudal nominal de fabricación de las turbinas se puede calcular a partir del caudal máximo aprovechable que es de $65\text{m}^3/\text{s}$ a un porcentaje del 55% del caudal nominal a máximo rendimiento, por lo tanto el caudal nominal total de fabricación de la turbina a máxima capacidad volumétrica será de $118\text{m}^3/\text{s}$. dividido para el número de turbinas instaladas.

Mediante la aplicación del modelo de Escher-Wyss se logra asignar el rendimiento máximo al caudal de diseño de las turbinas, pese a que su capacidad volumétrica es mayor dada la naturaleza y la forma de la curva de rendimiento que tiene un punto de inflexión cuyo valor depende del número de turbinas a instalarse (Ver Figura 1).

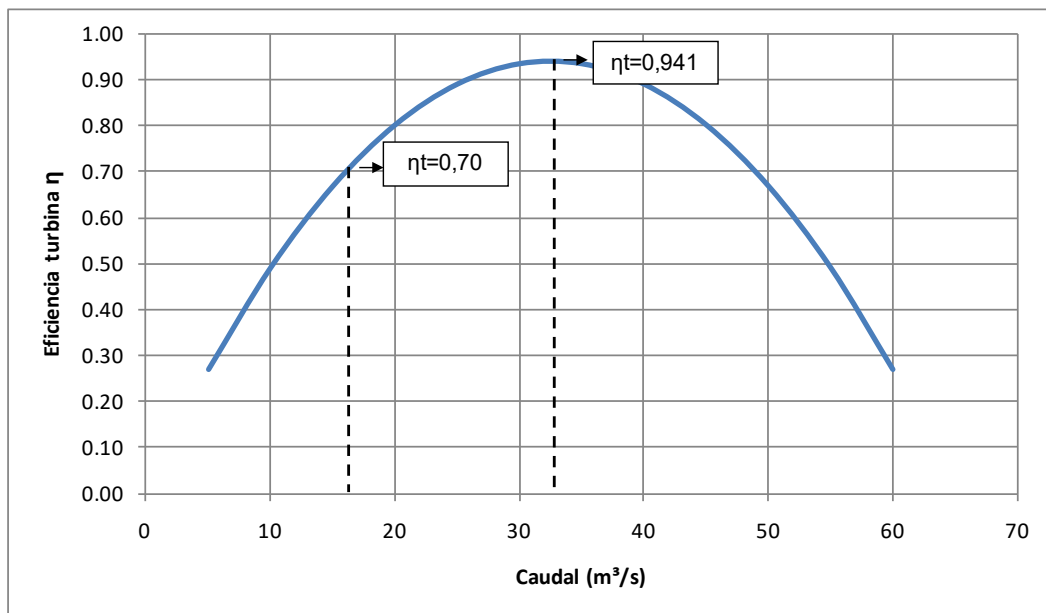


Figura 5. Modelo de rendimientos de las turbinas mediante la estimación de Escher-Wyss

7.3. SISTEMAS AUXILIARES

Los sistemas auxiliares en casa de máquinas están compuestos por:

- Sistema de desagüe y vaciado de unidades
- Sistema de drenaje
- Sistema de agua de enfriamiento y servicio
- Sistema de aire comprimido de servicio
- Sistema de ventilación
- Sistema de aire acondicionado
- Sistema de agua tratada
- Sistema sanitario
- Sistema contra incendio

7.4. SISTEMA DE DESAGÜE Y VACIADO DE UNIDADES

El sistema de desagüe y vaciado de las unidades realiza operaciones tanto de desagüe parcial como de desagüe total del codo de aspiración de las unidades. Adicionalmente, durante la operación normal de la Central, el sistema de desagüe es respaldo del sistema de drenaje.

El sistema cuenta con dos (2) bombas, ubicadas en el piso de turbinas para vaciar el pozo de desagüe y cuatro (4) válvulas principales para su operación, de las cuales dos (2) son motorizadas y dos (2) son de operación manual y el pozo de desagüe que es hermético.

En la línea de desagüe de cada una de las unidades existe una válvula de bola con accionamiento manual y una válvula motorizada automática. Las válvulas motorizadas son comandadas desde el sistema SCADA, sin embargo por seguridad, se hace necesaria la apertura de la válvula manual para iniciar las operaciones de desagüe.

Se tienen dos (2) transmisores de nivel en el pozo de desagüe, los cuales llevan las señales de operación al tablero de control local y al sistema SCADA. Estos transmisores controlan la operación automática de las bombas desde el tablero de control local o desde el sistema SCADA, como respaldo del control local, en la operación normal del sistema y de desagüe total de las unidades. En desagüe parcial de las unidades, los transmisores controlan la operación automática de las bombas desde el sistema SCADA.

Si ocurren daños en el pozo hermético de desagüe o en alguna de las tuberías de agua, de casa de máquinas podría inundarse. Para evitar que exista una inundación por ésta u otras causas posibles, existe el sistema de control de inundación del sistema de agua de enfriamiento y servicio, implementado en el tablero de control de dicho sistema. En el sistema de desagüe y vaciado de las unidades, cuando ocurre inundación, se cierran las válvulas de las tuberías de desagüe, buscando cortar la fuente de la inundación.

Para la operación de vaciado de las unidades, la compuerta de mantenimiento del tubo difusor y la válvula mariposa deben estar cerradas, vaciando el tubo difusor a través de la válvula de la compuerta hasta alcanzar su nivel. A continuación se abre la compuerta de mantenimiento del tubo difusor cuando se tengan equilibradas las presiones entre el tubo difusor y el caracol de la unidad. Luego se abre la válvula de by-pass de la válvula mariposa para dar inicio a equilibrar la presión entre el túnel de carga y el caracol de la unidad; una vez equilibradas las presiones, se procede a abrir la válvula mariposa, finalizando la operación de vaciado.

7.5. SISTEMA DE DRENAJE

El sistema de drenaje está compuesto por dos (2) centrales de bombeo, ubicadas una en la casa de máquinas y otra en la casa de transformadores. Cada central cuenta con tres (3) bombas sumergibles, para la casa de máquinas y para la casa de transformadores, un pozo de drenaje, un sistema de recolección de aguas las cuales son llevadas a los pozos de drenaje, tuberías, válvulas, accesorios, instrumentos y tableros de control para el sistema.

El nivel de cada pozo de drenaje es medido mediante dos transmisores de nivel (piezómetros). Estos transmisores de nivel controlarán la operación automática de las bombas desde el tablero de control local para la casa de máquinas y para la casa de transformadores o desde el sistema SCADA, como respaldo al control local. La operación de las bombas es secuencial. Dicha secuencia se hace con respecto al nivel del agua en los pozos de drenaje.

Cuando el pozo de drenaje en la casa de máquinas alcanza su máximo nivel arranca la bomba principal, si esta no arranca o el nivel llega a punto superior, arranca la bomba de respaldo. En caso que ninguna de las dos primeras bombas arranque o no se encuentren disponibles, arranca la bomba de reserva cuando el nivel está en su punto extremo, el cual será debidamente estudiado. Cuando el nivel llega a la elevación mínima se apagan las bombas que se encuentren en funcionamiento.

Para la casa de transformadores, el mecanismo de funcionamiento será el mismo...

El modo normal de operación del sistema es local-automático. El sistema está diseñado para que cuando se suba el nivel de agua de los pozos de drenaje, las bombas empiecen a operar de manera secuencial intentando siempre mantener un nivel bajo en los mismos. Cuando el nivel en los pozos es inferior al establecido y las bombas se puedan dañar al operar en vacío, todas las bombas serán apagadas.

7.6. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO Y SERVICIOS

El sistema de agua de enfriamiento y servicio es de circulación abierta, toma el agua de una fuente natural externa colindante a la casa de máquinas.

Su función es suministrar agua cruda para los siguientes sistemas:

- Intercambiadores de calor aire/agua de los generadores.
- Intercambiadores de calor aceite/agua del cojinete combinado de empuje y guía del generador
- Intercambiadores de calor aceite/agua del cojinete guía del generador.
- Intercambiadores de calor aceite/agua del cojinete guía de la turbina.
- Intercambiadores de calor de los transformadores elevadores.
- Intercambiadores de calor aceite/agua de la unidad hidráulica del regulador de velocidad de las turbinas.
- Sistemas auxiliares mecánicos:
- Sistema de agua de servicio.
- Sistema de agua tratada.
- Sistema de ventilación.
- Sistema de aire acondicionado.
- Sello del eje de las turbinas.

El sistema está compuesto por (1) una tubería que provienen de la parte posterior de una unidad y posteriormente será distribuida a cada uno de los sistemas. Antes de alimentar cualquier sistema se colocarán válvulas reductoras de presión de acuerdo a los requerimientos de cada equipo.

7.7. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE SERVICIO

El sistema está compuesto por una central de aire comprimido de servicio con tres (3) compresores fijos, tres (3) secadores por refrigeración, un (1) tanque de almacenamiento de aire, localizado en el piso de turbinas dedicado exclusivamente para los servicios generales y dos (2) tanques de aire comprimido ubicados en la parte más cercana al generador de cada turbina. Además tendremos elementos para la conducción de aire (tubería, válvulas, filtros, purgas) y un (1) compresor portátil, que suple las necesidades en las zonas de la Central, no atendidas por el sistema de aire comprimido.

En el cuarto de compresores, un compresor estaría dedicado únicamente para el suministro de los frenos del generador y del sello de la turbina. En tanto que el segundo compresor estaría dedicado para aire comprimido de servicios generales.

El tercer compresor estaría en standby para asistir como unidad emergente a cualquiera de los dos sistemas principales.

El modo normal de operación del sistema es local – automático. El funcionamiento es automático a través del módulo electrónico del compresor, según la presión medida a la descarga de los mismos y el rango de presiones para carga y descarga programado en cada compresor. Los compresores pueden recibir comandos de bloqueo desde el sistema SCADA.

La presión del tanque es supervisada por un (1) transmisor de presión, cuya señal es conectada al sistema SCADA. Si la presión en el tanque alcanza 5,6 bar, actúa una alarma de baja presión y si la presión en el tanque alcanza 7,2 bar, actúa una alarma de alta presión. Estas alarmas funcionan a nivel local y remoto.

El sistema de aire comprimido de servicio tiene como finalidad producir, almacenar y suplir las necesidades de aire comprimido de los sistemas y equipos de la casa de máquinas, que son: accionamiento del sistema de frenos del generador, sello auxiliar de la turbina, alimentación de instrumentos y actuadores neumáticos de válvulas, limpieza de líneas y actividades de mantenimiento en general.

7.8. SISTEMA DE VENTILACIÓN

El sistema de ventilación tiene como finalidad asegurar la renovación de aire en los sitios atendidos de la casa de máquinas, cámara de las compuertas, área de los transformadores y túneles de circulación.

El sistema de ventilación está compuesto por varias unidades manejadoras de aire, ventiladores axiales, ventiladores centrífugos de simple succión, ventiladores centrífugos de doble succión e intercambiadores de calor agua aire.

La ventilación de la casa de máquinas se da por suministro de aire externo por inyección de aire en todos los pisos y áreas tales como piso principal, piso de turbinas, piso de los generadores, piso de válvulas mariposa, área de montaje y otras áreas, a través de la central de ventilación. Para reducir el nivel de presurización de los ambientes y garantizar extracción más eficiente, equilibrada y distribuida, la extracción de aire se hace a través de extractores y ductos instalados entre las diversas áreas y la central de extracción, ubicada en la galería de interconexión entre el área de montaje (piso principal) y el pozo de servicio (pozo de escalera, cables, ascensor si lo hay y ventilación).

El control y supervisión del sistema es realizado por el sistema SCADA a través de la UAC de servicios auxiliares. El sistema SCADA supervisa el funcionamiento de los ventiladores y/o extractores por medio de interruptores de bajo flujo, ubicados en la descarga de los mismos; detecta si los filtros están sucios por medio de interruptores de presión diferencial alta y supervisa la temperatura del aire en diferentes lugares de la central por medio de transmisores de temperatura, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

El sistema de ventilación actúa sobre las siguientes áreas que enumeramos más adelante y que son las siguientes:

- Escaleras y ascensor si lo hay
- Celdas de transformadores
- Galería de barras, galería de cables y pozo de cables
- Túnel de acceso en la presa
- Extracción pozo de la turbina
- Cámara de equilibrio y pozo de compuertas
- Tratamiento sanitario y baños
- Central de tratamiento de agua
- Cámara de equilibrio, pozo de compuertas y baño
- Cámara de compuerta de mantenimiento y túnel de carga
- Cámara de compuerta desagüe de fondo

El control de los sistemas es realizado a través del sistema SCADA.

7.9. SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

El sistema de aire acondicionado tiene como función climatizar los diferentes ambientes del edificio de administración, el edificio de control (casa de máquinas) y el edificio de servicios. Para este fin se cuenta con unidades acondicionadores de aire, una red de ductos, elementos de suministro y difusión de aire, tuberías de agua de condensación, resistencias de calentamiento, humidificadores y elementos de protección y control.

El edificio de administración cuenta con unidades acondicionadoras para climatizar todas las salas, en la casa de máquinas para las salas de control, de telecomunicaciones, de reuniones el cuarto de baterías y el comedor, se tienen unidades también en el edificio de servicios todos los espacios son acondicionados con unidades que serán determinadas más adelante.

El sistema de aire acondicionado para el edificio de administración y de servicios está diseñado para climatizar todas las salas. En la casa de máquinas está diseñado para climatizar las salas de control, de telecomunicaciones, de reunión, el cuarto de baterías y el comedor. El aire exterior se toma a través de rejillas adecuadas para ésta aplicación y se combina con el aire de circulación de los sistemas. El aire que es suministrado al comedor no retorna al sistema, la extracción de este aire se hace a través de rejillas para el ambiente a su alrededor o hacia el exterior.

En las unidades acondicionadoras con enfriado de agua, el flujo de agua de condensación es controlado automáticamente, esto hace posible la operación del compresor bajo cualquier condición climática del ambiente a controlar. La variable de

control es la presión de condensación, siendo el control ejecutado por válvula de dos vías motorizada, instalada en la tubería de descarga del condensador. Estos acondicionadores son también provistos de válvulas solenoides tipo abre/cierra en la salida de agua de condensación. La abertura de esta válvula estará enclavada al funcionamiento del compresor de la unidad acondicionadora.

El control de todas las unidades acondicionadoras se hace por medio de sensores de temperatura y humedad ubicados dentro de cada unidad. Las unidades acondicionadoras se pueden arrancar y parar. Adicionalmente en ellas se puede ajustar la temperatura y humedad relativa a la que se quiere mantener los ambientes a controlar, además dicha operación se puede programar en horarios pre-establecidos (programación semanal y diaria) e indicar localmente las fallas a través de alarmas visuales.

Las unidades acondicionadoras posibilitan la comunicación con el sistema SCADA para la supervisión de los estados de arranque/parada y falla de cada una de ellas.

El modo normal de operación del sistema es local-automático. El funcionamiento es automático en las unidades acondicionadoras y el sistema SCADA solo supervisa el estado de arranque/parada de las unidades y de falla.

El control automático está basado en la medición de temperatura y humedad del ambiente, la función principal del sistema es la de mantener las condiciones internas de temperatura y humedad relativa adecuadas para el buen funcionamiento de los equipos, así como para el confort e higiene de la central. El sistema está diseñado para mantener la temperatura entre 22 y 26 °C en verano y 18 y 22 °C en invierno. La humedad estará entre 45 % y 55 %.

Si durante el funcionamiento del sistema de aire acondicionado, la temperatura excede el valor máximo de trabajo (26 °C en verano y 22 °C en invierno), se activa una alarma de alta temperatura y si disminuye por debajo del valor mínimo (22 °C en verano y 18° C en invierno), se activa una alarma de baja temperatura. Estas alarmas actúan a nivel local.

7.10. SISTEMA DE AGUA TRATADA

El sistema de agua tratada estará destinado para el suministro de agua potable y servicios generales. El agua tratada será almacenada en un tanque cisterna, el cual será llenado mediante una conducción desde una vertiente natural próxima a las instalaciones y tendrá un tratamiento para consumo humano.

Se colocará una bomba Booster en la parte superior del tanque cisterna para realizar la distribución del agua a los diferentes puntos.

El sistema Booster estará compuesto de un conjunto de bombas en paralelo, con su tanque hidroneumático, controles de presión y demás.

Este sistema suple las necesidades de agua para un total de 40 personas (20 permanentes y 20 temporales). En la casa de máquinas se suple la necesidad de la mitad del personal, mientras que en el edificio de administración, se suple la otra mitad.

El sistema está programado para que en primera instancia llene el reservorio, ubicado en la casa de máquinas. Este reservorio está equipado con interruptores de nivel para

regular el funcionamiento de la planta de tratamiento y bloquear las bombas que son las encargadas de bombear el agua al edificio de administración, en caso que el nivel de agua sea muy bajo.

El sistema está diseñado para que generalmente una bomba opere al tiempo, pero será capaz de detectar el incremento de demanda y pondrá a funcionar las otras bombas que se encuentran en paralelo de manera secuencial.

El modo normal de operación del sistema es automático y mantendrá la presión en el sistema permanentemente.

7.11. SISTEMA SANITARIO

El sistema sanitario está compuesto por dos (2) subsistemas, uno para recolección de aguas servidas de la casa de máquinas y otro para recolección de aguas servidas de los edificios de administración y servicio. Los subsistemas reciben las aguas residuales domésticas generadas con el propósito de tratarlas antes de ser vertidas en los sumideros, los cuales eventualmente las conducirán a cuerpos de agua naturales. Cada uno de los dos (2) sistemas de tratamiento está compuesto por una fosa séptica, un filtro anaeróbico de flujo ascendente y una cámara de cloración (ésta última únicamente para el sistema de la casa de máquinas), los cuales tienen como objetivo disminuir la carga contaminante del residuo líquido, representada en alta DBO5, coliformes fecales, nitrógeno total oxidable, sólidos suspendidos y grasas y aceites, principalmente. Una vez las aguas son tratadas y se verifica el cumplimiento de su calidad con respecto a las normas aplicables, es posible realizar el vertimiento al cuerpo receptor.

El sistema de casa de máquinas cuenta con bombas sumergibles, ubicadas en el tanque de homogenización. Los subsistemas cuentan con tuberías, válvulas, accesorios, instrumentos y tableros de control para el sistema.

En la casa de máquinas, se bombea agua desde el tanque de homogenización hasta la planta de tratamiento de aguas residuales, desde allí se bombea agua hasta la tubería de descarga del sistema de drenaje. Para el subsistema del edificio de administración y servicio no se requieren equipos mecánicos ya que el agua es conducida hasta la estación de tratamiento de aguas residuales por gravedad.

El control automático de las bombas está basado en el nivel de aguas residuales medido en el tanque de homogenización y el control automático de las bombas está basado en el nivel agua medido en el reservorio. El sistema está diseñado para que las bombas mantengan un nivel bajo en el tanque de homogenización y en el reservorio, operando de manera secuencial o temporizada. Cuando el nivel de agua es inferior al establecido, las bombas son apagadas para evitar algún daño en ellas al operar en vacío.

El sistema sanitario tiene como finalidad la recolección y el tratamiento de las aguas servidas provenientes de las siguientes instalaciones: ambulatorio, sanitarios, comedor, vestuarios y bebederos de la casa de máquinas, edificio de administración y edificio de servicio. Más específicamente, para el subsistema de la casa de máquinas: sanitarios, comedores y bebederos situados en el piso principal. Sanitarios del piso de turbinas, piso de los generadores y piso de válvulas. Los efluentes de este subsistema son conducidos por gravedad a los respectivos tubos de caída y de allí directamente al tanque de homogenización. De este tanque, el agua es enviada a la estación de tratamiento, constituida por una fosa séptica, un filtro anaerobio y una caja de cloración.

Después del tratamiento el agua es conducida al pozo de drenaje, donde es bombeada, juntamente con las aguas de drenaje, para la cámara inferior.

Para el subsistema del edificio de administración y el edificio de servicio: instalaciones sanitarias y bebederos. Los efluentes de este subsistema son recolectados y conducidos por gravedad hacia el sistema de tratamiento constituido por una fosa séptica, un filtro anaerobio y un sumidero, que están localizados en el área externa de los edificios.

Se tienen instrumentos de medición de nivel en el tanque de homogenización, los cuales llevan señales de operación a las bombas correspondientes, a través del sistema SCADA y un (1) instrumento de medición de nivel en el reservorio, el cual lleva señales de operación a las bombas correspondientes, a través de la caja de control del sistema sanitario.

7.12. SISTEMA CONTRA INCENDIO

7.12.1. CASA DE MÁQUINAS Y TRANSFORMADORES

El sistema contraincendio – agua a presión, para la casa de máquinas y el área de transformadores, toma agua del tanque cisterna del sistema de incendios. Después se divide en dos (2) sub-redes, una para la casa de máquinas y la otra para el área de transformadores. Una válvula reductora de presión a la entrada de las subredes, controla la presión de los gabinetes en la casa de máquinas y en el sistema de agua pulverizada en el área de transformadores; garantizando que los equipos trabajen dentro de los márgenes establecidos.

La sub-red de la casa de máquinas cuenta con gabinetes que son activados manualmente y un sistema de agua pulverizada comandada por las válvulas de diluvio, activadas hidráulicamente por ampollas de calor para cada transformador.

7.12.2. SISTEMA DE CO2

Se prevé para los generadores sistemas de CO2 con cilindros móviles almacenados en un área específica para estos lo más cercana posible al generador. De allí se derivarán mediante tuberías el suministro de CO2 para cada uno de los generadores.

Este sistema de CO2 funcionará independientemente en cada unidad de generación, y a su vez estarán interconectados.

7.12.3. SISTEMA DE AGUA PULVERIZADA DE LOS TRANSFORMADORES

Este sistema toma el agua de la tubería forzada de la central, compartida con el sistema de hidrantes. El agua es llevada por una cañería embebida por la galería de conexión hasta un cuarto intermedio entre los dos transformadores, allí están ubicadas las válvulas de diluvio que controlan la descarga a la red de boquillas. Cada transformador tiene una red de aspersores (sprinklers) tipo ampolla que activan la válvula de diluvio. Una alarma hidráulica sonora aguas abajo de cada válvula de diluvio se activa cuando el sistema tiene flujo de agua.

El sistema de pulverizadores se constituye básicamente de anillos de tubería convenientemente proyectados sobre cada transformador y sobre los cuales son armados los picos pulverizadores. Esta tubería está conectada a una válvula de diluvio

que contrala el abastecimiento de agua para los pulverizadores. A partir de la válvula de diluvio se arma una segunda tubería que envuelve el transformador, sobre el que son armados los detectores de temperatura.

En el subsistema de agua pulverizada, cuando ocurre un principio de incendio, con la consecuente elevación de la temperatura, el elemento termo-sensible del detector de calor (sprinklers) se rompe, provocando la caída de presión en la red que mantiene la válvula de diluvio cerrada, abriendo el solenoide de la válvula de diluvio que desarma la válvula de diluvio en posición cerrada, dando paso de agua hacia los anillos de protección donde están instalados los picos pulverizadores, que están proyectados para cubrir toda la superficie del transformador y su tanque de aceite, provocando el impacto del agua a alta velocidad sobre el aceite incendiado, apagando el incendio.

Este subsistema es activado automáticamente, con posibilidad de activación local _manual en la válvula de diluvio y activación remota – manual en el tablero de control y alarma contraincendios (cuadro de señalización y activación). Las señales de supervisión remota son enviadas al sistema SCADA a través de contactos secos libres de potencial. Cuando la válvula de diluvio es activada, el motor de alarma hidráulico es activado, operando en alarma sonora. El tablero de control y alarma contraincendios provee información audio – visual de anomalía y operaciones para cada válvula de diluvio instalada.

Se realiza también mediciones de presión a la salida de la unidad reguladora de presión, en dos (2) puntos de la tubería donde se encuentran los hidrantes más lejanos en la casa de máquinas y a la entrada de la tubería que va hacia cada válvula de diluvio en el sistema de agua pulverizada.

7.12.4. EDIFICIO DE ADMINISTRACIÓN Y SERVICIOS

El sistema de contraincendios, para el edificio de administración y el edificio de servicios, toma agua del reservorio de agua perteneciente al sistema de agua tratada, y pasa por un sistema de bombeo, compuesto por dos (2) bombas centrífugas horizontales, para bombear el agua hacia reservorios de almacenamiento de agua contraincendios y luego, por gravedad, suplir los hidrantes internos y externos de los edificios mencionados.

Los reservorios de almacenamiento que tiene el sistema tienen una capacidad de almacenaje de 35 m³. Esta capacidad está calculada de tal manera que un hidrante del sistema opere a total capacidad (30 m³/h – 8,333 LPS), durante un tiempo de 30 minutos, según indica la norma NFPA 14 en su numeral 7-2.

Para realizar el llenado de los reservorios, se impulsa el agua con la ayuda de las bombas, una principal y una de respaldo. Para su funcionamiento se utiliza un (1) interruptor de flujo alto, ubicado a la salida de los reservorios y un (1) interruptor de flujo bajo, ubicado en la descarga de las bombas.

Cuando el interruptor de flujo alto detecta caudal en la línea de extinción, la bomba principal es arrancada. Si la bomba principal no enciende, la bomba de respaldo entra en funcionamiento. Cuando el interruptor de flujo bajo detecta caudal bajo en la descarga de las bombas, es decir las válvulas flotador se cierran, las bombas son paradas. La operación de dichas bombas está sujeta a la disponibilidad de agua en el reservorio.

Las bombas se encienden una vez por semana, de manera alternada, para efectos de mantenimiento.

Las bombas serán seleccionadas para que cada una de ellas fuera capaz de reabastecer el consumo que produce un hidrante en operación (15 m³) en un tiempo no superior a 8 horas. Este tiempo máximo de reposición del agua de consumo está definido según la norma NFPA 22, en el numeral 11-4.2.

Los hidrantes a instalar dentro de los edificios son de tipo interno y por fuera de los edificios (patio de maniobras) son de tipo externo. Estos hidrantes son activados manualmente. Cada hidrante cuenta con un flujóstato para su supervisión. Estas señales destinadas a la supervisión remota, son enviadas al sistema de adquisición de datos (sistema SCADA).

El modo normal de operación de las bombas es remoto. El funcionamiento es automático a través de las secuencias programadas en el SCADA. La protección por bajo nivel en el reservorio (reservorio del sistema de agua tratada) es automática mediante enclavamientos programados en el SCADA.

El control automático de las bombas, realizado por el sistema SCADA está basado en el caudal detectado por el interruptor de flujo alto ubicado en la línea de extinción (salida de los reservorios) y el interruptor de flujo bajo ubicado en la descarga de las bombas. La función principal es la de mantener los reservorios de agua llenos.

Se dispondrán de interruptores de flujo alto, los cuales detectan caudal en la tubería de alimentación de cada hidrante, indicando si se está operando o no. Estos instrumentos llevan señales para supervisión al sistema SCADA a través del tablero de control local.

CAPÍTULO 8. EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO

8.1. INTRODUCCIÓN

ENERJUBONES, como parte del programa de expansión de energía a nivel nacional, ha concebido la ejecución, a mediano plazo, del Proyecto Hidroeléctrico Jubones, ubicado en las provincias de Azuay y El Oro, por lo que ha encargado al Consorcio ASTEC-GEODATA la realización de los estudios y diseños de Factibilidad y de Licitación, parte de los cuales lo constituyen los diseños eléctricos y de control, de los cuales precisamente se tratará en esta sección.

La Casa de Máquinas La Unión se ubica al exterior, junto a la carretera principal, en el sector de Pitahuiña. Esta estructura debe alojar, como estructura principal, a dos turbinas tipo Francis, de eje vertical, cuyo eje se posiciona en la cota 85,80 m s.n.m. La cota del piso principal se ubica en 94,10 m s.n.m. La subestación eléctrica será ubicada al exterior, en la proximidad del conjunto de la central.

Los transformadores de elevación estarán localizados adosados a la casa de máquinas a un nivel superior al de los generadores, desde los cuales partirán cables de potencia a 230 kV hasta la subestación, que será ubicada exteriormente.

8.2. VOLTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

En el Ecuador actualmente existen dos voltajes para el sistema de transmisión, 138 y 230 kV, entre los cuales debería realizarse la elección para este proyecto.

Para una potencia total de 370 MW, de un cálculo sencillo, considerando una distancia de alrededor de 40 km en línea de transmisión hasta la subestación S. Idelfonso del Sistema Nacional, se puede aseverar que no es posible llevar esta potencia a nivel de 138 kV en condiciones razonables de voltaje y pérdidas de potencia (3% y 2% respectivamente), a menos que se proyectara una cantidad exagerada de líneas a 138 kV, por lo cual evidentemente resulta que la única opción viable es la de llevar los 360 MW con una línea a 230 kV.

Por otra parte, en cuanto respecta a las potencias naturales de líneas, con un factor de potencia de 0,9, de acuerdo a EHV TRANSMISSION LINE, para 230 kV la potencia natural o SIL es de 138 MVA para un circuito, con lo cual se confirma que 230 kV es el voltaje óptimo para este proyecto.

8.3. DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DE EQUIPOS DE CENTRAL

En general, el dimensionamiento de los equipos eléctricos en la central se ha realizado en coordinación con las otras disciplinas, específicamente, las mecánica y civil, que han determinado las áreas a ocuparse por sus equipos.

Es así que, luego de definidas las áreas a ocuparse por el área de turbinas, escotillas de montaje y válvulas mariposa, se ha localizado el resto de equipos electromecánicos, con el esquema generador-transformador, con un único interruptor de máquina por unidad, ubicado en la subestación, que es comúnmente usado en centrales de este tipo por ofrecer adecuados márgenes de confiabilidad y a la vez economía, puesto que con este

interruptor y el del campo es posible garantizar la protección de los elementos más importantes de la instalación como son generador, transformador y línea de transmisión.

En general, la altura de la casa de máquinas ha sido definida por la altura total del grupo turbina-generador, por lo cual la casa de máquinas tendrá cuatro niveles:

- Piso de válvulas, en la elevación 82,50 m.
- Piso de turbinas, en la elevación 85,80 m.
- Piso de generadores, en la elevación 90,10 m
- Piso principal, en la elevación 94,10 m.

El área para los transformadores estará ubicada en el nivel 94,1 m.

Las vías de acceso se han dimensionado en función de las dimensiones de los equipos más pesados y de mayores dimensiones, esto es, generadores y transformadores.

El peso mayor dentro de la caverna de casa máquinas corresponderá al rotor del generador con polos completos, estimado en 150 T, que será ensamblado en el área de montaje del piso principal, estimándose que el peso del rotor sin los polos será de 110 T.

La longitud estimada del generador será de 4m, incluyéndose en la misma el eje, la cruceta inferior, freno, cojinete de empuje y cruceta superior. Sobre el piso de generadores solo se localizará el domo que contendrá el cojinete guía superior y los anillos rozantes, con una altura total adicional de 1,5 m.

Los equipos principales de la central se detallan a continuación:

8.3.1. GENERADORES

Se tendrá dos generadores cuya capacidad es determinada por el caudal disponible y la altura neta, los cuales serán de eje vertical, acoplados a las turbinas tipo Francis. La potencia de cada generador, para servicio continuo, será de 52 MVA.

El voltaje de generación será 13,8 kV $\pm 5\%$, que es el comúnmente utilizado en máquinas de esta potencia. Voltajes mayores como 16 o 17 kV, por ejemplo, conducirán a un encarecimiento innecesario del generador y de los equipos asociados como ductos de barras y transformadores de elevación.

Adicionalmente, cabe indicar que, de acuerdo con la IEEE 50-1, para potencias de hasta 200 MVA, el voltaje de generación recomendado es 13,8 kV.

En función de la velocidad sincrónica de 360 rpm determinada por los estudios hidráulicos, el número de polos del generador será 20. Cada polo deberá tener un bobinado de amortiguamiento.

El sentido de rotación será horario, visto desde arriba.
La secuencia de fases será A-B-C

El factor de potencia será 0,90, considerando que el factor de potencia establecido por el CENACE a nivel nacional es de 0,96 y debido a que no se considera conveniente conducir demasiada energía reactiva al consumidor, recargando innecesariamente la línea de transmisión e incrementado las pérdidas de potencia.

Las bobinas del generador serán conectadas en estrella, con el neutro conectado a tierra.

La clase de aislamiento del estator y del rotor será tipo F.

Las unidades serán dimensionadas para trabajar en forma aislada o conectadas al Sistema Nacional Interconectado.

El sistema de excitación que alimentará la corriente del campo estará constituido de excitación tipo estática, mediante transformadores de excitación que estarán alimentados desde los bornes de salida del generador, para transformar a un voltaje en el rango de 480-600 V, voltaje con el cual se alimentará propiamente el tablero de excitación y regulación de voltaje. Los transformadores de excitación serán del tipo seco, de acuerdo con la Norma IEC 146, cuya potencia deberá ser definida por el fabricante del generador.

El transformador de excitación será trifásico .

Dentro de este tablero deberán ser instalados también los puentes de tiristores trifásicos, mínimo dos, con la debida redundancia, para transformar al voltaje de corriente continua requerido por el campo del generador , interruptor del campo y resistencia de descarga, y sistema de excitación inicial, con un transformador auxiliar tipo seco alimentado de 480V y un puente de rectificadores. El interruptor será fabricado de acuerdo con la Norma ANSI C37.18. Los rectificadores tendrán ventilación redundante.

El sistema de regulación de voltaje, totalmente digital, incluirá un PSS(estabilizador del sistema de potencia) y dos PLC s, uno de respaldo. Será de alta respuesta inicial, conforme la definición de la Norma IEEE 421.1, con control automático y además con regulación manual de la excitación. Incluirá un display para el HMI,(interfaz hombre-máquina).

Los equipos del sistema de excitación estarán instalados en el piso de generadores.

El sistema de excitación y regulación de voltaje incluirá las siguientes protecciones:

- Relé de falla a tierra del campo, (64 R)
- Relé de protección de sobrecorriente del transformador de excitación, (50/51) y de la corriente del campo
- Protección de sobrevoltaje, (crowbar)
- Protección V/Hz, (24)
- Protección de subexcitación, (40)

Por otra parte, los generadores tendrán todos los equipos y tableros auxiliares necesarios para supervisión del funcionamiento de sus componentes, como el tablero de control de vibraciones y calentadores para evitar condensación en el caso de que la máquina se halle parada.

De acuerdo con las prácticas comunes para este tipo de unidades, y, de acuerdo con el área mecánica se ha proyectado generadores tipo semiumbrella, es decir, con 3 cojinetes: cojinete guía de la turbina, cojinete de empuje combinado y cojinete guía del

generador, por tratarse de máquinas pesadas que necesitan mayor estabilidad del eje. El cojinete combinado se ubicará bajo el rotor.

En la parte superior del eje del generador se tendrá el cojinete guía.

Los generadores satisfarán los requerimientos de la Norma IEC 34-1

8.3.2. EQUIPOS AUXILIARES DE UNIDADES

Los principales equipos auxiliares asociados con cada generador, instalados en el piso de generadores, serán los siguientes:

8.3.2.1. DUCTOS DE BARRAS DE FASES AISLADAS A 13,8 kV

Saldrán de cada generador hasta los bushings del transformador de elevación, con una corriente nominal de 3000 A. Estarán constituidas de tubos de aluminio encerrados en tuberías metálicas de aluminio, separadas para cada fase, diámetro medio 0,8 m, con grado de protección IP 54, soportadas a intervalos por aisladores de porcelana. De los ductos principales se derivarán ramales de mínimo 1000 A para alimentar los transformadores de servicios auxiliares, los transformadores de excitación y los tableros para protección contra sobretensiones. Las barras incluirán transformadores de corriente tipo ventana, relación 3000/5 A, con núcleos para protección y medición, tanto en el lado de salida de las fases como en el lado del neutro del generador. Los transformadores de corriente satisfarán los requerimientos de la Normas IEC 60044-1. Los ductos irán soportados de losas o paredes mediante accesorios aprobados y de resistencia adecuada.

8.3.2.2. TABLERO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

Será del tipo metalclad, un tablero por fase. Comprenderán básicamente los siguientes equipos:

Transformadores de potencial monofásicos con núcleos para protección y medición, aislados en resina, voltaje secundario 66 V fase-neutro, conexión en estrella. Los transformadores de potencial satisfarán los requerimientos de las normas IEC 60044-2, serán del tipo extraíble, con fusibles en el lado primario.

Capacitores monofásicos para 13,8 kV, capacitancia de 0,25uF, de acuerdo a la recomendación de la Norma IEC 1036. Los capacitores satisfarán los requerimientos de la Norma IEC 18.

-Pararrayos en óxido de zinc para 13,8 kV, tensión nominal 18 kV, MCOV 15,3 kV, según la Norma IEC 60099-4, adecuados para protección de generadores.

8.3.2.3. TABLERO DE CONEXIÓN A TIERRA DEL NEUTRO

Consistirá en un tablero en el cual irá instalado un transformador de conexión a tierra del neutro del generador, tipo seco, monofásico, relación 13800/240 V y una resistencia de carga, todo esto con el fin de limitar la corriente de falla a tierra a valores de hasta 35 A,

sistema conocido como de alta resistencia. De este equipo saldrá una señal para los relés de falla a tierra del estator.

La capacidad del transformador de conexión a tierra deberá ser determinada para un minuto y para operación continua, y calculada en función de la capacitancia total por fase del sistema de 13,8 kV en caso de una falla fase-tierra.

8.3.2.4. TABLERO DE MEDICIÓN DE ENERGÍA BRUTA

Se tendrá un solo tablero para las dos unidades. El medidor será digital, de última tecnología, alimentado de los propios transformadores de corriente y de potencial a la salida de cada generador.

8.3.2.5. TABLERO DE SINCRONIZACIÓN

Será del tipo completamente digital, con relé de chequeo de sincronismo, y mando manual y automático del interruptor de máquina.

Como principio, se ha proyectado que en S. Idelfonso se energizaría cada línea de transmisión a La Unión, y en esta subestación se sincronizaría con el interruptor de máquina respectivo a nivel de 230 kV.

8.3.2.6. EQUIPOS DE INYECCIÓN DE ACEITE

Consistirá en dos bombas eléctricas para suministro de aceite a presión para el cojinete combinado de empuje de la unidad, una de ellas de respaldo.

8.3.2.7. TABLERO DE INSTRUMENTOS DEL GENERADOR

Es un tablero de terminales en el cual se concentrarán las señales provenientes de RTDs para sensar señales de temperatura de los devanados y cojinetes del generador, del agua de enfriamiento y de aceite, tablero del cual partirán a su vez señales para alarmas o para disparo a los tableros de protección respectivos y/o al sistema SCADA.

8.3.2.8. TABLERO DE FRENOS Y ELEVACIÓN

Los frenos serán operados por aire comprimido, a su vez obtenido de la central de aire comprimido, con su respectivo motocompresor, con mando automático. La central de aire comprimido también alimentará los instrumentos y actuadores neumáticos de válvulas.

8.3.2.9. EQUIPOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS MEDIANTE C02

Consistirá en dos bancos de baterías, principal y de respaldo, para los generadores, tanto para descarga rápida como para descarga lenta, con su correspondiente tablero

de control, accesorios y tuberías, operados por sensores de humo y/o calor y por la protección diferencial del generador.

8.3.2.10. TABLERO DEL COJINETE SUPERIOR

En este tablero se incluirán las señales de temperaturas del agua y aceite, para alarma y disparo.

8.3.2.11. TABLERO DE CONTROL DE VIBRACIONES

Será un tablero digital para control de vibraciones de los ejes de la turbina y generador, el cual enviará señales al SCADA.

8.3.2.12. EQUIPOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN DE LA UNIDAD

Consistirá en los siguientes equipos y/o tableros, a instalarse en el piso de turbinas. Unidad oleohidráulica de regulación de velocidad, con dos motores para accionamiento de los servomotores del distribuidor de la turbina y dos para circulación de aceite, ambos en configuración redundante. Además incluirá un set de acumuladores hidráulicos cargados con nitrógeno.

Regulador de velocidad de la turbina, tipo digital, de última tecnología, con control tipo PID, controlado en base de PLCs, principal y redundante, interfaz hombre-máquina, dispositivos de protección de sobrevelocidad, relés de velocidad, mando local-remoto, modos de operación por potencia o por velocidad, limitadores de potencia y de apertura, watchdog y más accesorios.

Tablero de terminales de la turbina, que reunirá las señales de presiones, niveles y temperaturas de los diferentes componentes de la turbina, tanto para el agua como para el aceite, señales que serán llevadas al sistema de protección y al SCADA.

Sistema de agua tratada compuesto de una estación de tratamiento de agua, una bomba, un reservorio para almacenaje de agua para servicio de la casa de máquinas y el correspondiente tablero de control con PLC, con funcionamiento automático a través del SCADA.

Sistema sanitario, con una bomba sumergible, una bomba centrífuga, una estación de tratamiento y un tablero para operación local, siendo posible también el mando automático desde el SCADA.

Sistema de ventilación para los diferentes pisos y ambientes de la casa de máquinas mediante una central de ventilación y ventiladores centrífugos cuyo control, de tipo automático, será realizado a través del sistema SCADA.

Bombas para enfriamiento del sello del eje, dos en total, con tablero de mando local.

Sistema de agua de enfriamiento, compuesto de bombas eléctricas de enfriamiento de la unidad, 4 en total, una para cada unidad y una para usos varios como agua de servicio, agua tratada y sistema de ventilación, la cual estará operativa aún cuando las unidades estén paradas y será en todo caso de respaldo en caso de falla de las

correspondientes a las unidades. El sistema tendrá además 4 tableros de filtros de retrolavado y un tablero para operación local de las bombas.

Tablero de control local de la válvula mariposa.

Los siguientes equipos, entre otros, se localizarán en el piso de bombas:

Sistema de desagüe , con dos bombas eléctricas y un tablero para mando local . El sistema también tendrá mando automático.

Sistema de drenaje, compuesto por una central de bombeo, con 3 bombas eléctricas sumergibles, y un tablero para mando local. El sistema también tendrá mando automático

8.3.3. TRANSFORMADORES DE ELEVACION

Se ubicarán en un área cercana a la Casa de Máquinas, por lo cual, se ha proyectado transformadores en aceite con radiadores, con enfriamiento ONAN/ONAF, 52/58 MVA,(enfriamiento natural por aire-aire forzado), de acuerdo con las normas IEC, relación 13,8/230 kV+- 2x2,5%.

Debido a la escasa capacidad de los puentes de acceso al proyecto, estos constituyen el limitante para la definición del número y tipo de transformadores.

Entonces, se ha verificado que la mejor posibilidad es tener 2 transformadores trifásicos de 52/58 MVA cada uno, con dimensiones aproximadas de transporte de 4 x 4,5 x 6 m, para largo, ancho y altura, con un peso aproximado de transporte de cada uno de 50 T, sin aceite.

Los transformadores tendrán cambiador de taps sin carga en el lado de alta tensión, pues se estima que solo con la maniobra de la excitación del generador se podría tener un adecuado voltaje de salida en el lado de alta del transformador. Por otra parte, al usar cambiador de tomas bajo carga el precio del transformador se incrementará aproximadamente en un 30%.

El BIL del transformador será 950 kV para aislamiento interno y para los bushings, esto en el lado de 230 kV, y en el lado de 13,8 kV, será 110 kV.

La impedancia máxima del transformador será del 12% en referencia a la potencia máxima del mismo.

El transformador tendrá conservador de aceite, tablero de control, transformadores de corriente tipo bushing para protección en los lados primario y secundario y neutro, pararrayos tipo óxido de zinc encapsulados en SF6 y las siguientes protecciones mecánicas:

- Relé Buchholz para el tanque conservador
- Válvula de seguridad
- Termómetro para el aceite
- Nivel bajo de aceite
- Termómetro para temperatura de los devanados de alta y baja tensión, con contactos para arranque del sistema de enfriamiento, alarma y disparo.

- -Sensor de detección de gases

La rigidez mínima del aceite aislante será 42 kV.

El transformador satisfecerá en general las Normas IEC 60076 y ANSI C 57.12, última versión.

8.4. SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Se ha proyectado básicamente para los equipos eléctricos de esta central varias zonas de protección para generadores, transformadores, subestación y tableros de servicios auxiliares, todas ellos adecuadamente traslapadas, de modo de que no queden zonas sin protección, y por supuesto guardando la adecuada coordinación y selectividad.

En general, los relés serán de última generación, de tipo digital, numérico, multifuncionales.

8.4.1. PROTECCIÓN DE GENERADORES

- Protección diferencial, (87G)
- Protección de subexcitación, (40)
- Protección de sobretensión, (59)
- Protección de desequilibrio de tensión, (60)
- Protección de impedancia, (21), la cual considera un alcance total del transformador de elevación
- Protección de secuencia negativa, (46)
- Protección de falla a tierra del estator al 90%, (64 E1)
- Protección de falla a tierra del estator al 100%, (64 E2)
- Protección de sobreexcitación, (24)
- Energización inadvertida del generador, (50/27)
- Protección de potencia inversa, (32)
- Protección de frecuencia, (81G)
- Protección de la flecha,(51F)

Se tendrá para cada generador protección principal y secundaria, con relés idénticos Para la aplicación de los relés de protección deberá seguirse las recomendaciones de la Norma IEEE C37-102.

8.4.2. PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

- Protección diferencial larga, que incluye el generador, transformador y el cable de alta tensión, (87 GT)
- Protección diferencial del neutro , (87N)
- Protección de sobrecorriente de fase, (50/51) en los lados primario y secundario
- Protección de sobrecorriente a tierra , (50/51NT) en los lados primario y secundarios
- Protección de sobrecorriente del neutro, (51G)
- Protección de sobretemperatura del cable de 230 kV, (49 C)

Se tendrá para cada transformador protección redundante.

Los tableros de protección de generadores y transformadores estarán ubicados en la casa de máquinas.

8.4.3. PROTECCIÓN DE SUBESTACIÓN

- Protección diferencial de línea, (87 L) a base de comunicación a través del cable OPGW con las subestaciones Minas y S. Idelfonso.
- Protección de distancia de fase y tierra de línea de transmisión, (21/21 N), esquema de disparo transferido por sobrealcance permisivo, con comunicación a través de fibra óptica. Esta protección permitirá la apertura simultánea de alta velocidad de ambos interruptores de los extremos de cada línea mediante teleprotección. El relé de distancia tendrá por lo menos 4 zonas.
- Protección de sobrecorriente de línea, (50N/51N)
- Protección direccional de falla a tierra, (67N)
- Protección de falla del interruptor, (50BF)
- Protección diferencial de barras, (87B)
- Protección de sobrevoltaje de barras, (59)
- Protección de bajo voltaje de barras, (27)

En general, en todos los casos, incluyendo las líneas de transmisión, se deberá tener protección redundante, esto es, con la posibilidad de operación de la protección de respaldo en caso de falla de la principal.

Los tableros de protección de la subestación estarán localizados en el edificio de control de la misma.

Todos los tableros de protección tendrán clase de protección tipo IP54 según IEC y dispondrán de calefacción a 127 V.

8.4.4. PROTECCIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES

- Protección del generador de emergencia: sobrecorriente, potencia inversa, frecuencia y sobrevelocidad y protecciones mecánicas del motor, a más de las protecciones propias ofrecidas por la unidad electrónica regulable del interruptor del generador.
- Protección de transformadores de servicios auxiliares: sobretemperatura y sobrecorriente de fase y tierra, para los lados primario y secundario.
- Protección de líneas de distribución a tensión primaria: sobrecorriente de fase y tierra, recierre
- Protección de motores:
- Interruptor termomagnético en caja moldeada o de potencia para protección contra cortocircuitos
- Relé térmico para protección contra sobrecargas, de acuerdo con la Norma IEC 947-4-1
- Protección de alimentadores:

Interruptor termomagnético en caja moldeada o de potencia, regulable, para protección contra sobrecargas y cortocircuitos, con curvas regulables para largo tiempo y corto tiempo y disparo instantáneo.

Para los alimentadores troncales se deberá tener interruptores motorizados.

8.5. SUBESTACIÓN

La subestación de este proyecto recibirá potencia desde las unidades de generación a través de los transformadores de elevación 13,8/230 KV y los respectivos cables de potencia y la transmitirá a la subestación S. Ildefonso a través de una línea de transmisión de doble circuito a 230 KV. En general la subestación será del tipo no atendido o semiatendido, a ser manejada desde un centro de control remoto y en forma local desde la sala de control respectiva.

Considerando que en el área cercana a la casa de máquinas existe limitaciones de espacio, se dispondrá de una subestación tipo GIS, esto es aislada en gas SF₆, inclusive con espacio para el edificio de control.

La subestación tendrá un esquema denominado interruptor y medio, con dos posiciones de transformador, dos salidas de línea de transmisión hacia la subestación Minas y dos para la subestación S. Idelfonso del Sistema Nacional.

Los equipos principales de la subestación serán los siguientes para 230 KV:

- Diez interruptores tripolares motorizados en SF₆, tipo tanque vivo, 1200 A, 31.5 KA, tiempo de despeje 3 ciclos
- Veinte seccionadores tripolares con mando motorizado, 1200 A
- Veinte y seis seccionadores similares a los anteriores, pero con cuchillas de conexión a tierra ,1200 A
- Sesenta transformadores de corriente, corriente secundaria 5 A, para 230 kV, 4 núcleos, 23 para protección y uno para medición
- Veinte y seis transformadores de potencial, voltaje secundario 66V, para 230 kV, 3 núcleos, 2 para protección y uno para medición
- Doce pararrayos clase estación, tipo óxido de zinc, 10 KA , para 230 kV, voltaje nominal 190 kV
- Seis terminales cable-SF₆
- Doce terminales cable-aire

Las posiciones de transformador tendrán los mismos equipos que la posición de línea, excepto los pararrayos.

El BIL de los equipos será 950 kV.

Los equipos localizados fuera de la GS irán instalados en soportes metálicos de una altura mínima de 2,25 m. Cada posición de línea tendrá además asociado un pórtico de salida conformado por torres y vigas en celosía, fabricadas de acero galvanizado, con un ancho de 15 m. por cada salida.

Alrededor de la subestación deberá haber caminos de circulación con un ancho mínimo de 5 m, con fines de facilitar el montaje y mantenimiento de los equipos de la subestación.

8.6. CABLES DE POTENCIA

Los cables de potencia interconectarán los transformadores localizados contiguos a la Casa de Máquinas con la subestación, e irán instalados en canaletas de aproximadamente 100 m de longitud, con accesorios de sujeción aprobados.

Los cables irán en formación triangular, instalados en canaletas con tapa de hormigón.

El conductor será de aluminio, aislamiento seco de polietileno reticulado, con pantalla metálica y cubierta de PVC, cuya corriente permanente se ha calculado de acuerdo con las recomendaciones de las Normas IEC 62067, 60287 e ICEA S-108-720.

La sección del conductor será 600 MCM,(300 mm²) en función de las corrientes de cortocircuito a presentarse en el sistema, de acuerdo a la Norma IEC 61443, pero deberá ser verificada por el contratista.

En todo caso, la sección indicada será suficiente para conducir la corriente nominal de cada unidad.

La pantalla de los cables se conectará a tierra en ambos extremos, a fin de evitar circulación de corrientes en la misma.

8.7. EQUIPOS MISCELÁNEOS

A más de los equipos principales, se tendrá en la central los siguientes equipos o sistemas auxiliares:

8.7.1.1. SISTEMA DE TIERRA DE LA CENTRAL Y LA SUBESTACIÓN

Tanto la casa de máquinas como el área de transformadores y la subestación tendrán su propia malla de tierra, las cuales finalmente serán interconectadas entre si. La norma a aplicarse será la IEEE 80.

A la malla de tierra, denominada tierra de protección, se conectarán todos los equipos eléctricos y mecánicos y las partes metálicas de la instalación.

La malla de la casa de máquinas se proyectará para cada piso, embebida en el hormigón, y conectadas entre ellas en por lo menos 4 puntos. La norma a aplicarse será la IEEE 665.

La resistencia total a tierra del conjunto de mallas no deberá ser superior a 1 ohmio.

Todas las bandejas se conectarán a tierra a intervalos para lograr la equipotencialidad del conjunto, de acuerdo a las recomendaciones del NEC.

La sección del conductor de tierra de protección se regirá a lo estipulado en el NEC, Tabla 250-122.

La tierra de servicio estará conformada para los generadores por una impedancia de alta resistencia conectada en el neutro.

Para los transformadores la tierra de servicio será mediante conexión directa del neutro a tierra.

8.7.1.2. SERVICIOS AUXILIARES DE C.A.

Comprenderán los transformadores de servicios auxiliares, de 13,8/0,48 kV, los cuales serán del tipo seco, si se hallan dentro de la casa de máquinas, y sumergidos en aceite en ambientes exteriores, tipo convencional, conexión triángulo-estrella con el neutro a tierra.

Se instalarán dos transformadores de servicios auxiliares, cada uno capaz de suplir la carga de toda la central, alimentados en forma redundante desde las barras de 13,8 kV de los generadores, en esquema de transferencia automática del prioritario al redundante.

La capacidad de cada transformador será de 750 kVA.

En caso de falla de los transformadores de servicios auxiliares o por parada total de la central, se ha previsto la entrada en servicio de un transformador alimentado de la red de 22 KV prevista para este proyecto, y en caso de falla de las dos primeras fuentes, la operación automática de un generador de emergencia con un voltaje de 480 V.

El sistema de tomacorrientes de fuerza será alimentado desde los tableros de distribución de servicios auxiliares de 220 V.

8.7.1.3. SERVICIOS AUXILIARES DE C.C

8.8. SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA

El sistema de corriente continua, proyectado para funciones de control y protección, será a 125 V.C.C., que es la tensión a la cual se alimentarán la mayoría de dispositivos. Para casos especiales, como eventualmente se tiene en el sistema de comunicaciones, se ha creído conveniente que es más económico disponer de convertidores 125/ 48 o a 24 v.c.c. para esos casos específicos.

Tampoco ha sido conveniente prever voltajes superiores como por ejemplo 250 V.c.c. considerando que en la central no se tendrá alimentadores con distancias superiores a 100 m. En el caso de la subestación, localizada a 100 m de la central, se ha proyectado con su propio sistema de 125 V.c.c., inclusive para garantizar el despeje de alguna falla grave en un colapso de las instalaciones de la casa de máquinas.

Los bancos de baterías serán del tipo plomo-ácido, selladas, con un voltaje nominal de 2 V por celda, para una corriente de descarga de 8 horas.

Para el sistema de 125 V.C.C se dispondrá de dos rectificadores alimentados del tablero general de distribución a 480 V y que los transformarán a 125 V c.c. Cada rectificador estará trabajando en paralelo con un banco de baterías de 125 V constituido por 60 celdas, que normalmente trabajará en carga de flotación, en paralelo con el rectificador, con un rango de 2,00 a 2,10 V/celda.

En caso de falla de un rectificador tomará la carga el segundo rectificador y, en caso de falla de ambos rectificadores, entrará a alimentar totalmente la carga uno de los bancos de baterías. El voltaje final de descarga por celda será 1,75 V. Periódicamente se deberá someter al banco a una carga de equalización, en un rango de 2,25 a 2,40 V/celda.

Los bancos de baterías se instalarán en racks antisísmicos.

La capacidad de cada rectificador será 300 A.

El diagrama unifilar de servicios auxiliares de c.c. consta en el Plano UNI-L0-PD-CDM-ELE-P-P-0002-B .

Del banco de baterías se alimentará al inversor de la central, el cual servirá las cargas críticas como el sistema SCADA, comunicaciones, sistema de incendios, de excitación, etc. El inversor incluirá un convertidor de cc. a a.c. y un transformador de reducción de 480/220 V, entre otros elementos.

El inversor estará alimentado alternativamente del sistema de 480 V.c.a. en caso de falla del sistema principal.

La capacidad de cada inversor será de 20 KVA, en 127 V.c.a.

8.8.1.1. TABLEROS

Los tableros de media tensión serán modulares, con tecnología metalenclosed, con enclavamientos de seguridad para protección del personal. Deberán tener protección contra contactos de los componentes individuales, con separaciones normalizadas, mediante paredes de separación entre ellos y distancias de seguridad hacia barras y cables para considerar las labores de seccionamiento.

Los tableros podrán ser construidos en secciones, de modo de posibilitar su separación para transporte y montaje, después del cual el alineamiento será impecable. Cada sección para transporte del tablero deberá poseer dispositivos que permitan el izamiento y una base de fijación en perfil.

En el piso y en el techo de cada sección de tablero deberán ser previstas dos tapas fijas, de lámina de acero, para mantener un sello adecuado. Una de las láminas recibirá los cables de fuerza y otra los cables de control.

Si el tablero tiene equipos de fuerza y control, esto deberán ir separados entre sí, definiéndose una sección para cada finalidad, siendo que los circuitos de c.a. y c.c. deberán ir lo más separados posible. Con este objetivo, circuitos de automatismos, enclavamientos, protección, alarmas, señalización, medición y afines, deberán ocupar secciones distintas de los circuitos de fuerza.

Los tableros deberán tener los grados de protección definidos por la IEC 60529, estos es, IP 41 para instalación interior bajo techo, e IP 54 para instalación a la intemperie, como mínimo.

La disposición de las fases para tableros de corriente alterna deberá ser A, B, C (N) de izquierda a derecha, de arriba para abajo y del frente hacia atrás, cuando se está de frente al tablero.

Para los tableros de corriente continua la disposición de las barras positiva y negativa deberá también obedecer la secuencia arriba citada.

Las barras deberán ser identificadas por los colores de las fases mediante pintura, de acuerdo con la siguiente estandarización: fase A negro, fase B rojo y fase C azul, mientras que para el neutro se utilizará el blanco y para la tierra el verde o verde-amarillo, siendo igual convención para los cables conductores de fuerza, de acuerdo a las normas y recomendaciones del NEC, Código Eléctrico Americano.

8.8.1.2. TABLEROS DE SERVICIOS AUXILIARES A 480 V

De principio se tendrá un tablero principal de fuerza, alimentado a la vez por los dos transformadores de servicios auxiliares mencionados anteriormente, en configuración de barra seccionada, del cual se alimentará a su vez a los diferentes centros de control de motores de la central.

En todos los casos estos serán del tipo MCC, (motor control center), con gavetas extraíbles para facilidad de mantenimiento de algún equipo sin interferir con los demás. Cada gaveta para alimentación de motores tendrá su propio transformador de control de 480/220 V con luces indicadoras y cada gaveta para alimentación de subtableros tendrá solo interruptor, maniobrable desde fuera de la misma. El grado de protección será IP54 según IEC.

Se proyectará además los siguientes tableros: una para cada unidad, uno para servicios auxiliares, uno para la subestación y uno para la presa

Para el comando local de motores se tendrá tableros individuales con selectores, botoneras y luces indicadoras de posición.

Los tableros localizados en el exterior o en cavernas sujetas a humedad tendrán clase de protección IP65 según IEC.

Los motores serán en general trifásicos, para una tensión de 480 V, tendrán clase de protección IP55, clase de aislamiento F y tendrán calentadores a 220 V.

8.8.1.3. GENERADOR DE EMERGENCIA

Se instalará un grupo generador trifásico, de 750 kVA, 480V, sistema en estrella con conexión directa a tierra del neutro, en un área adosada a la subestación, motor de 1800 rpm, para servicio de emergencia, con tanque diario y tanque de reserva, que incluirá su propio interruptor y tablero de control con las protecciones estandarizadas para este tipo de máquinas.

8.8.1.4. SISTEMA DE ALUMBRADO

El sistema de alumbrado normal de la central será a un voltaje de 220 V, alimentado de cuatro tableros ubicados en los niveles principal, de generadores, turbinas y válvulas . A su vez, cada tablero tendrá asociado un transformador trifásico tipo seco de 30 KVA, 480-220/127 V, adecuado para montaje interior, instalado junto al respectivo tablero de alumbrado.

Los niveles de iluminación adoptados de acuerdo al Cuadro 12, en base de las normas IES serán los siguientes:

Cuadro 12. Niveles de Iluminación

Localidad	Nivel de iluminación (luxes)
Equipo de acondicionamiento de aire	100
Auxiliares, cuartos de baterías	200
Cuartos de control	300
Frente de tableros	300
Alumbrado de emergencia	30
Tableros tipo escritorio,(nivel horizontal)	500
Oficina	300
Bodega	200
Corredor	200
Sanitarios	100

En cuanto se refiere al tipo de luminaria se han adoptado las siguientes para el alumbrado normal:

- Pisos de generadores, turbinas y válvulas : luminarias fluorescentes tipo industrial cerradas de 2 x 64 W.
- Piso principal: luminarias industriales de vapor de sodio tipo reflector de 250 W, cerradas, instaladas en muro.
- Fachada exterior de casa de máquinas: luminarias industriales de vapor de sodio, tipo reflector de 250 W, cerrados, instaladas en pared.
- Áreas de oficinas y sala de control: luminarias fluorescentes empotradas de 2 x32 W o de 3 x17 W, tipo T8, con arranque electrónico, de acuerdo a la configuración modular del cielo raso.

Para el alumbrado de emergencia de áreas de oficinas y sala de control se utilizará luminarias incandescentes compactas empotradas de 15 W y para los ambiente tipo industrial luminarias similares de 15 W instaladas en pared, a una altura de 3 m.

Las luminarias de las áreas de oficinas y sala de control serán encendidas mediante interruptores, mientras que las del resto de áreas estarán encendidas permanentemente mediante contactores.

Como criterio general deberá evitarse la interferencia de luminarias con la ubicación de equipos o tuberías de otros procesos.

8.8.1.5. SISTEMA DE DUCTOS , BANDEJAS Y CABLES

Para alojar los cables de fuerza, control e instrumentación se instalarán bandejas portacables de aluminio, tipo escalera, semipesadas, en la casa de máquinas y en la subestación, separadas a una distancia media de 30 cm., en disposición vertical, de acuerdo a su función, esto es, media tensión, fuerza, control e instrumentación.

Los cables de fuerza e iluminación en todos los casos serán de cobre, aislamiento termoplástico para 75 y 90°C, unipolares y multipolares, con código de colores normalizados de acuerdo a Normas IEC e INEN 021, con aislamiento libre de halógenos no propagante al fuego.

Los cables para control, instrumentación y comunicaciones serán multiconductores, con pantalla común, voltaje mínimo 300 V, temperatura 70°C, con código de colores de acuerdo con las normas IEC, también con aislamiento libre de halógenos no propagante del fuego.

El diseño de los cables en general satisficará lo requerido por las Normas ANSI/IEEE 422.

Los ductos serán de acero rígido con acoplamientos roscados y galvanizados en caliente, con roscas revestidas de zinc, de acuerdo con la norma ANSI C 80.1.

En locales no industriales, como oficinas y salas de control, los ductos serán del tipo conduit EMT embebidos en losas y paredes.

Para el diseño de las bandejas se utilizará las Normas NEMA VE-1.

8.9. NIVELES DE AISLAMIENTO

Los valores de aislamiento de los materiales para una tensión nominal dada, quedan fijados por los valores de la tensión de prueba a la onda de impulso,(BIL) y por la tensión de prueba durante a minuto a frecuencia industrial.

El ensayo para el material al exterior o para interior a la tensión de impulso se entiende en seco. La forma de la onda normalizada es 1,2/50 us.

El ensayo de rigidez dieléctrica a frecuencia industrial se realiza en seco para el material de tipo interior y bajo lluvia para el material expuesto al exterior.

Para los niveles de tensión de este proyecto se han fijado niveles de aislamiento estandarizados recomendados por las normas IEC y ANSI, los cuales constan a continuación.

VOLTAJE(kV)	BIL(kV cresta)	VOLTAJE SOPORTADO A 60 Hz, 1 minuto (kV rms)
230	950	395
13,8	95(110)	38(50)
0,480-0,220	30	3

Notas:

- 1.- El voltaje entre paréntesis corresponde a las Normas ANSI y el otro a las Normas IEC
- 2.- El BIL indicado para baja tensión solo es aplicable para los transformadores de distribución

8.10. SISTEMA DE MEDICIÓN COMERCIAL

De acuerdo a las regulaciones del MEM, Regulación 005/06, Mercado Eléctrico Mayorista, se deberá tener en el punto de entrega, esto en la salida de las líneas de transmisión, un sistema de medición comercial de energía neta, clase de precisión 0,2 ,con medidor redundante, con comunicación en tiempo real al CENACE, mediante protocolos estandarizados por esta entidad.

Adicionalmente, a la salida de los generadores, deberá disponerse de un sistema de medición de energía bruta, alimentado de los transformadores de potencial y de corriente asociados a los generadores.

En la llegada a la subestación S. Idelfonso se tendrá propiamente el sistema de medición comercial con dos medidores por cada línea de 230 KV, acoplados a sus respectivos transformadores de corriente y de potencial.

8.11. SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIONES

En general, el sistema de control ha sido concebido para que esta central sea del tipo semiatendida, pero con la posibilidad de ser manejada remotamente desde un Centro de Control Remoto, por lo cual todos los equipamientos deberán ser diseñados con todos los elementos inteligentes necesarios para realizar estas funciones y con los enclavamientos que aseguren la integridad de equipos y personas.

El sistema estará conformado por una red de fibra óptica en anillo redundante, con una confiabilidad del 99,999%. El sistema también tendrá redundancia en procesadores, PLCs y alimentaciones.

Para tal objeto deberá haber en la planta cuatro niveles de operación:

- Nivel 0: Modo local, desde los propios equipos. Solo para y mantenimiento.
- Nivel 1: Modo local, desde las unidades de control (UACs)
- Nivel 2: Modo remoto, desde la estación de operación o de trabajo de la sala de control de la central (COL).
- Nivel 3: Modo remoto, desde la estación de operación del centro de control remoto (COR).

Habrán en total 3UAC'S para la Unión, dos para las unidades y una UACSA para servicios generales además de una para la subestación.

Modos de Operación:

- Manual local, correspondiente básicamente al nivel jerárquico 0.
- Automático local, correspondiente al nivel jerárquico 1
- Automático remoto, correspondiente a los niveles jerárquicos 2 y 3. Ligado directamente al modo automático estará la regulación por caudal más nivel.

La arquitectura del sistema SCADA considera además el siguiente equipamiento todos conectados en una red de área local LAN tipo redundante con protocolo TCP/IP.

- Estación de operación, (4) en configuración redundante
- Servidor del sistema SCADA en configuración redundante
- Estación de ingeniería de escritorio y una portátil
- Adicionalmente se tendrá los siguientes componentes, independientes del sistema SCADA.
- Estación de gerencia de protecciones
- Estación de gerencia de medición
- Estación de gerencia de CCTV,(circuito cerrado de televisión)

La estación de cada unidad a su vez recibirá información del regulador de velocidad, regulador de voltaje, sensores de velocidad, vibraciones, temperatura, etc.

Además se instalará un inversor del tipo on line en la casa de máquinas y subestación, pero solo para el servicio de los sistemas de control mencionados y el sistema de comunicaciones.

El sistema de comunicaciones se realizará entre todas estas estaciones mediante fibra óptica, así como con la subestación Minas, a través del cable OPGW de la línea de transmisión.

Los protocolos a utilizarse serán los actualmente recomendados por el CENACE, esto es IEC 870-5/102 y DNP3.0.

El software será de última tecnología, del tipo abierto, con ventanas o despliegues fácilmente configurables, alarmas y tendencias.

El modo normal de operación de cada unidad será desde el nivel 2 o del nivel 3, es decir, en forma remota automática, en las siguientes modalidades para el arranque

- -Paso a paso con mando local, paso a paso con mando desde el SCADA y automático desde el SCADA, mediante las siguientes subsecuencias: unidad aislada, unidad lista para arranque, velocidad nominal en vacío, unidad excitada y unidad sincronizada.
- Para la parada de las unidades se tendrá los siguientes casos:
- 86E, parada de emergencia por falla eléctrica, con rechazo de carga
- 86M, parada de emergencia por falla mecánica sin rechazo de carga
- 5PD, parada parcial con rechazo de carga

Los sistemas de alarmas se dispondrá en los tableros de control y/o en los monitores del sistema SCADA, (alarmeros virtuales)

También se ha proyectado para la central los siguientes sistemas de comunicaciones:

- Sistema buscapersonas
- Sistema telefónico convencional con central telefónica
- Distribuidor general óptico
- Sistema de monitoreo mediante circuito cerrado de televisión, (CCTV)
- Tablero de ruteadores
- Tablero de multiplexores
- GPS
- Sistema de intercomunicación y voice

CAPÍTULO 9. PRODUCCIÓN HIDROENERGÉTICA

9.1. INTRODUCCIÓN

El análisis de producción hidroenergética del aprovechamiento La Unión fue realizado al tomar en cuenta la serie de datos de caudales medios diarios del período 1963 – 2006 y la serie de caudales turbinados en la Central San Francisco.

Se considera un caudal ecológico mínimo en el río Jubones igual a 4,80 m³/s en el sitio de presa San Francisco.

La caracterización del sistema hidráulico de generación del aprovechamiento La Unión incluye todos los parámetros geométricos, hidráulicos y electromecánicos de las estructuras involucradas tales como el túnel de baja presión, chimenea de equilibrio, tubería de alta presión, turbinas, generadores y transformadores.

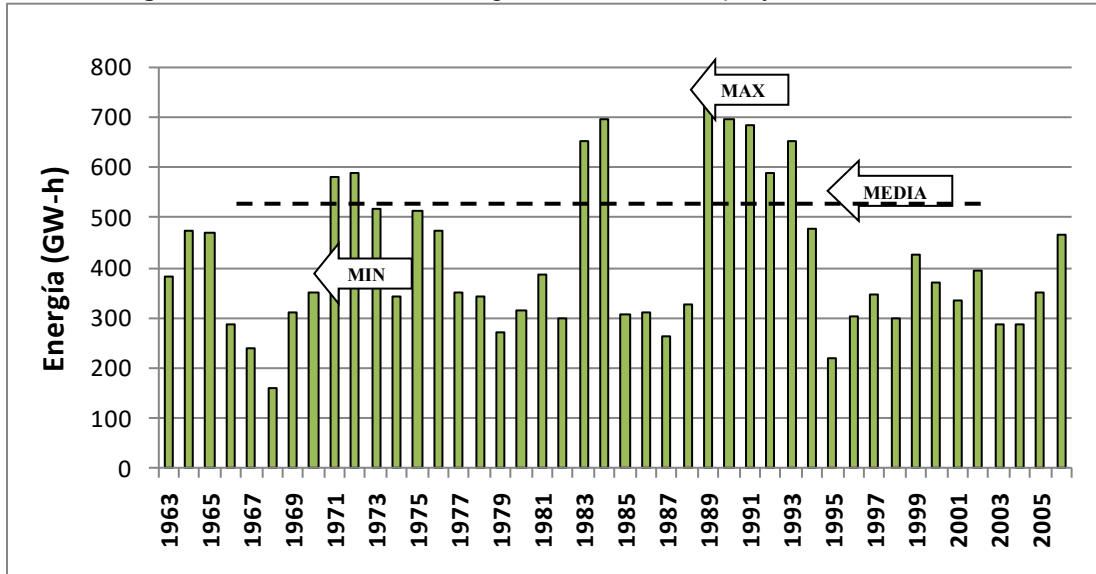
9.2. PRODUCCIÓN HIDROENERGÉTICA ANUAL Y MENSUAL

A continuación se muestran los valores característicos de producción hidroenergética del proyecto La Unión, tanto a nivel anual y mensual.

Cuadro 13. Producción energética media anual-proyecto La Unión

AÑO	ENERGÍA (GW-h)	AÑO	ENERGÍA (GW-h)	AÑO	ENERGÍA (GW-h)	AÑO	ENERGÍA (GW-h)
1963	380,5	1975	514,9	1987	264,5	1999	425,6
1964	473,2	1976	471,7	1988	328,1	2000	372,0
1965	467,8	1977	350,9	1989	727,1	2001	334,2
1966	287,7	1978	343,4	1990	695,9	2002	392,3
1967	237,9	1979	269,5	1991	681,8	2003	285,2
1968	161,3	1980	313,6	1992	588,1	2004	285,1
1969	309,7	1981	388,0	1993	650,8	2005	351,9
1970	349,1	1982	299,3	1994	477,9	2006	464,2
1971	580,8	1983	653,4	1995	219,0	MEDIA	412,3
1972	586,7	1984	696,8	1996	302,8	MAX	727,1
1973	516,1	1985	305,7	1997	347,1	MIN	161,3
1974	341,4	1986	311,4	1998	298,4		

Figura 6. Producción hidroenergética media anual-proyecto Minas-San Francisco



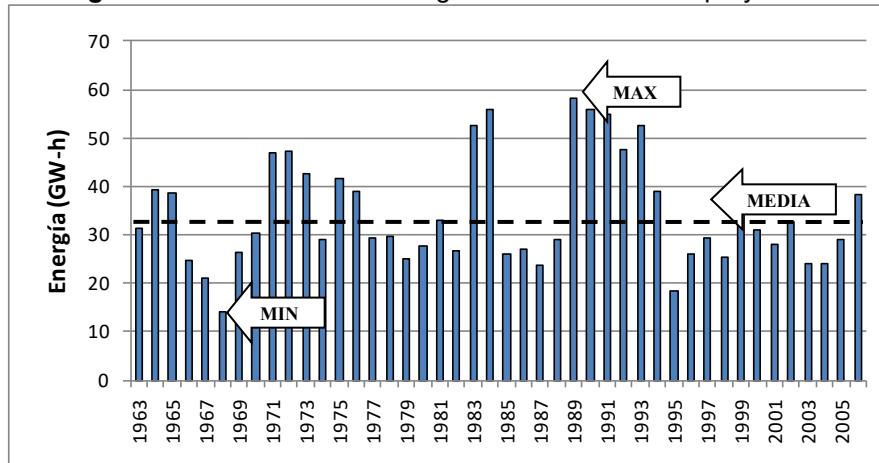
Cuadro 14. Potencia y energía característica-proyecto La Unión

Potencia y Energía	Valor
Potencia máxima (MW)	94,0
Potencia mínima (MW)	21,3
Potencia instalada (MW)	94,1
Potencia media (MW)	47,0
Factor de planta	0,51
Energía Firme Anual (GW-h/año)	203,9
Energía Secundaria Anual (GW-h/año)	208,5
Energía Media Anual (GW-h/año)	412,3

Cuadro 15. Producción energética media mensual-proyecto La Unión

Año	Energía (GW-h)	Año	Energía (GW-h)	Año	Energía (GW-h)	Año	Energía (GW-h)
1963	31,7	1975	42,9	1987	22,0	1999	35,5
1964	39,4	1976	39,3	1988	27,3	2000	30,9
1965	39,0	1977	29,2	1989	60,6	2001	27,9
1966	24,0	1978	28,6	1990	58,0	2002	32,7
1967	19,8	1979	22,5	1991	56,8	2003	23,8
1968	13,4	1980	26,1	1992	49,0	2004	23,8
1969	25,8	1981	32,3	1993	54,2	2005	29,3
1970	29,1	1982	24,9	1994	39,8	2006	38,7
1971	48,4	1983	54,4	1995	18,3	MEDIA	34,3
1972	48,9	1984	58,1	1996	25,2	MAX	60,6
1973	43,0	1985	25,5	1997	28,9	MIN	13,4
1974	28,4	1986	25,9	1998	24,9		

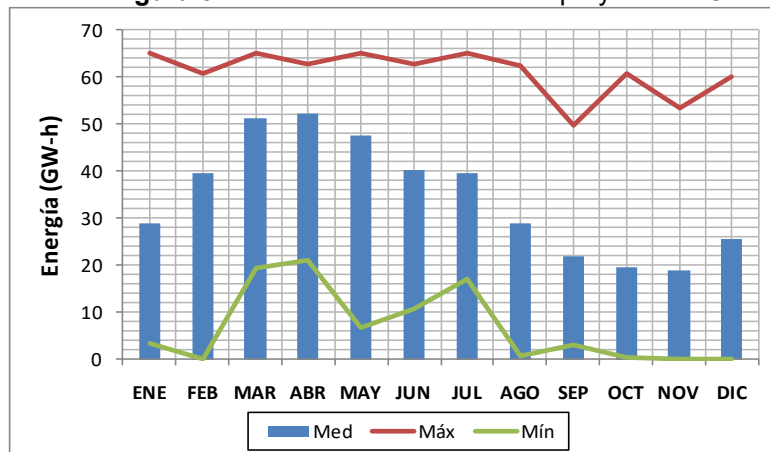
Figura 7. Producción hidroenergética media mensual-proyecto La Unión



Cuadro 16. Producción hidroenergética mensual-proyecto La Unión

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
MEDIA	27,9	40,0	52,1	53,7	49,6	40,4	39,5	27,5	20,5	18,2	18,0	24,9	412,3
MAX	67,2	63,1	67,5	65,4	67,7	65,3	67,6	64,8	51,3	63,1	55,0	62,1	727,1
MIN	2,0	0,0	17,3	20,9	5,7	9,2	16,1	0,8	2,0	0,0	0,0	0,0	161,3

Figura 8. Producción media mensual-proyecto La Unión



La potencia máxima y mínima generada por la central es 94,0 y 21,3 MW, asociando una producción diaria de energía máxima de 2,19 GW h y una mínima de 0,50 GW-h; la potencia instalada del proyecto es 94,1 MW. El factor de planta es de 0,51, con una producción media anual de energía de 412,3 GW-h; la garantía de que la central opere con el caudal de diseño es del 26%.

Los meses con mayor producción de energía lo constituyen marzo, abril y mayo con tasas que fluctúan entre 45 y 55 GW-h/mes, situación que denota la complementariedad hidrológica con los proyectos de la cuenca del río Paute.

CAPÍTULO 10. PRESUPUESTO REFERENCIAL

El presupuesto de obra en el Diseño Definitivo del Proyecto La Unión ha sido subdividido en costos por obras civiles, por equipamientos electromecánicos, mitigación ambiental y subestación, a los cuales se les ha adicionado un porcentaje por ingeniería y administración y un porcentaje por imprevistos (5%).

Cuadro 17. Presupuesto de obra del Proyecto La Unión

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (USD)	% EDT
2	LA UNIÓN	274 288 449,97	100,00%
2.1	OBRAS CIVILES	167 374 271,85	61,02%
2.1.1	CAMINOS DE ACCESO	1 440 634,41	0,53%
2.1.2	OBRAS DE CAPTACIÓN	5 883 426,04	2,14%
2.1.3	OBRAS DE CONDUCCIÓN	120 551 891,59	43,95%
2.1.4	CHIMENEA DE EQUILIBRIO	5 765 780,59	2,10%
2.1.5	OBRAS DE CAÍDA	11 138 389,32	4,06%
2.1.6	OBRAS DE LA CENTRAL	22 405 149,88	8,17%
2.1.7	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN	189 000,00	0,07%
2.2	EQUIPAMIENTO ELECTROMECÁNICO	75 280 623,36	27,45%
2.2.1	EQUIPOS HIDROMECÁNICOS	30 999 498,36	11,30%
2.2.2	EQUIPOS MECÁNICOS	18 414 375,00	6,71%
2.2.3	EQUIPOS ELÉCTRICOS	25 866 750,00	9,43%
2.3	TRANSMISIÓN	14 280 000,00	5,21%
2.4	MITIGACIÓN AMBIENTAL 1%	4 506 810,00	1,64%
2.5	INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN 5%	12 846 744,76	4,68%

En el Anexo 1 de este informe se presenta el Presupuesto Referencial detallado del proyecto La Unión.

Tomando en consideración la potencia instalada (94,1 MW) y el presupuesto del Proyecto, se determinan los siguientes valores por kW instalado.

Cuadro 18. Costo de kW instalado proyecto La Unión

COSTO	TOTAL (USD)	COSTO kW instalado (USD)
Generación	260 008 449,97	2 762
Generación + Transmisión	274 288 449,97	2 914

CAPÍTULO 11. PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN

Se ha considerado para cada una de las obras los tiempos de ejecución con una metodología de construcción aceptable.

Para la elaboración del cronograma de Obras del Proyecto Hidroeléctrico La Unión se detalló la siguiente estructura, el tiempo de ejecución es 36 meses (3 años).

- ❖ Realización previa vías de acceso a las obras principales
- ❖ Paso sobrelevado del río
- ❖ Ventanas de acceso al tunel de conduccion
- ❖ Tunel de conduccion
- ❖ Casa de maquinas superficial
- ❖ Chimenea de equilibrio y tubería de presión vertical
- ❖ Obras electricas principales
- ❖ Edificio de control en superficie
- ❖ Produccion equipo electromecanico principal
- ❖ Chequeo final de la planta
- ❖ Inspeccion de aceptacion de la planta
- ❖ Puesta en marcha de la planta

Los datos básicos considerados para la elaboración de los cronogramas son los siguientes:

- ❖ Semana laborable de 6 días
- ❖ 2 turnos de 10 horas cada día

TUNEL LA UNIÓN

- ❖ Excavación con tuneladora
- ❖ Avance promedio 20,0m/día, considerando una situación de excavación no desfavorable.
- ❖ Ejecución de 1 ventana para la entrada de la TBM en Pitahuiña.

En el Anexo 2 se presenta el Cronograma de Construcción del proyecto hidroeléctrico La Unión.

CAPÍTULO 12. EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA Y PRINCIPALES INDICADORES

El aprovechamiento hidroeléctrico La Unión que tiene una producción hidroenergética característica de 412,3 GW-h/año, con un costo por kW instalado de 2 762 USD (costos de generación) y en virtud del análisis realizado y los indicadores de rentabilidad TIR, VAN y RBC calculados a partir del flujo del proyecto con financiamiento muestran que el Proyecto es rentable.

El Proyecto La Unión registra una rentabilidad económica (social) muy atractiva para la sociedad en su conjunto ya que los beneficios económicos superan largamente a los costos económicos. El proyecto genera importantes ahorros a los compradores intermedios de energía (empresas de distribución). Así mismo las externalidades positivas que el proyecto genera por la sustitución de energía térmica por hidroeléctrica, superan a las externalidades negativas. Por último, el proyecto es un aporte importante a nivel local y nacional al evitar la emisión de un número importante de Toneladas de CO₂, y de esta manera aportar a frenar el fenómeno de cambio climático.

El análisis presentado y los indicadores de rentabilidad TIR, VAN y RBC calculados a partir del flujo del proyecto con financiamiento muestran que el Proyecto Hidroeléctrico La Unión es atractivo ante el escenario en el que el precio de venta de la energía es igual a USD 0,0597 y en el que se comercializan certificados de reducción de emisiones:

- Relación Beneficio-Costo mayor a 1
- VAN mayor a 0
- TIR mayor a la tasa de descuento.

El análisis de sensibilidad muestra que las condiciones a las que se negocie el crédito, y el precio al que se pacte la venta de la energía producida será fundamental en la rentabilidad del proyecto. Mientras menor sea la tasa de interés y mayores los precios, mejor será la rentabilidad del proyecto.

Como todo proyecto hidroeléctrico, el Proyecto Hidroeléctrico La Unión es altamente sensible a variaciones en el monto de inversión por lo que la gerencia de costo será determinante durante su construcción.

Finalmente vale señalar la importancia de iniciar lo antes posible el trámite para consideración temprana del MDL ya que como se observa, la venta de CERs le significa un ingreso adicional importante al proyecto. Las condiciones bajo las que se negocien los CERs también serán determinantes para la rentabilidad del proyecto.

En el siguiente Cuadro se muestran los indicadores de rentabilidad del proyecto:

Cuadro 19. Indicadores de rentabilidad del proyecto La Unión

INDICADOR	SIN MDL	CON MDL	VARIACIÓN
Inversión Inicial (USD)	260.008.450	260.008.450	-
Tasa de Descuento	9,16%	9,16%	-
Tasa Interna de Retorno (TIR)	8,28%	9,38%	1,10%
Valor Actual Neto (VAN USD)	-13.387.402	3.207.953	16.595.355
Valor Presente Beneficios (VPB USD)	388.996.813	405.592.168	16.595.355
Valor Presente Costos (VPC USD)	402.384.216	402.384.216	0
Relación Beneficio Costo (RBC)	0,97	1,01	0,04
Período de Retorno (años)	Mayor a 50	Mayor a 50	-
Costo del Kilowatio Instalado (USD/KW)	2.763	2.763	-

CAPÍTULO 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Asociación Consultora AGA tratando de facilitar a Enerjubones S.A. el desarrollo de las actividades previas a la construcción de las obras, sugiere algunas recomendaciones que considera se debería tomar en cuenta para acelerar el proceso de ejecución de las dos centrales hidroeléctricas.

Varias de estas recomendaciones se refieren a actividades cuya ejecución no son de responsabilidad contractual directa de la Consultora pues son el resultado del análisis detallado en el diseño definitivo de todas las obras y que se presentan por el cambio del sistema constructivo del túnel de conducción del proyecto Minas - San Francisco. Cambio solicitado por Enerjubones después de la ejecución de los estudios de Factibilidad y que modifica radicalmente la orden y los términos contractuales originales, en donde se pidió explícitamente que se implemente un sistema constructivo convencional en dicho túnel de conducción.

Estas recomendaciones son:

1. En la zona de ingreso de la tuneladora en la nueva ventana en Sarayunga, se recomienda complementar las investigaciones geológicas- geotécnicas, los trabajos de campo y laboratorio en esta zona, de tal manera de lograr un análisis más detallado y alcanzar el nivel de diseño definitivo en la solución planteada en esta zona.
2. Para la zona mencionada y para aquella que está ubicada al sur de la carretera, se debe complementar el estudio sobre el traslado, la descarga y la disposición de materiales de excavación del túnel así como la presencia de campamentos e instalaciones de construcción. Se debe analizar así mismo el acceso a esta área, tomando en cuenta la presencia de la carretera Cuenca- Machala, y las implicaciones del tráfico y movimiento de personal y equipo en las zonas.
3. Para esta nueva ventana y en el área de Sarayunga, en función del cambio en el sistema constructivo del túnel de conducción, se deben estudiar las condiciones hidráulicas, estructurales y ambientales para eventuales descargas de la limpieza o vaciado controlados en las fases de operación y mantenimiento del túnel.
4. Respecto de la gestión del sedimento en el embalse, se recomienda la contratación en forma inmediata de la modelación numérica y de los modelos físicos, cuyos términos de referencia podrán ser preparados por AGA.

El objetivo principal del *modelo numérico* será el de preparar un plan de lavado del embalse, que tome en cuenta las restricciones existentes en el tramo intermedio del río Jubones y las potenciales afectaciones en la cuenca baja, donde la acumulación descontrolada de sedimento puede conducir a tener condiciones graves respecto de las inundaciones de zonas urbanas y de centros poblados.

El objetivo principal de la modelación física, en cambio, será el de ratificar o modificar la operación de los desagües de fondo como estructuras (i) excluidores del sedimento en la zona próxima a la bocatoma y (ii) de limpieza del sedimento desde el embalse.

De igual modo, con la modelación física se puede tener información respecto del manejo del embalse y su afectación sobre el equipo de generación, en base al análisis sedimentológico de detalle que permita confirmar las hipótesis de diseño con referencia a caudales de material sólido y tipo de sedimentos derivados en la bocatoma y que conducirían a realizar mantenimientos adicionales de los equipos mayores a los recomendados por el fabricante.

5. De acuerdo con los términos contractuales, la Asociación Consultora AGA debe presentar diseños definitivos del acceso a las obras del proyecto. En el presente informe se incluyen dichos diseños tanto de las vías provisionales para la construcción como de aquellas definitivas para operación y mantenimiento de las obras.

Se recomienda no obstante que aquellas vías provisionales queden bajo responsabilidad y costo del contratista para evitar reclamos posteriores en cuanto a la facilidad y a la operación de su uso; tal es el caso de la vía de paso hacia la margen izquierda, incluido el puente provisional sobre río Jubones en la zona de la presa San Francisco.

Así mismo para las vías definitivas se recomienda que la capa de rodadura asfáltica se coloque después de la construcción de las obras para evitar su deterioro y consecuentes gastos de reparaciones.

6. En cuanto a las alternativas para la variante de la carretera Cumbe – Pasaje, es necesario que Enerjubones S. A. defina y consiga la autorización correspondiente del MTOP para poder completar los trabajos de campo y las investigaciones necesarias para la vía y para el puente sobre el río San Francisco. El estudio de estas alternativas se está presentando a pesar de que no es una vía de acceso a las obras, y por lo tanto no estaría incluida en los términos del contrato de consultoría vigente.
7. En consideración de que en el cronograma de construcción se establece que la ruta crítica del proyecto es la construcción del bloque correspondiente a: chimenea de equilibrio, tubería de presión y casa de máquinas en el proyecto Minas – San Francisco; se recomienda la licitación prioritaria e inmediata de la construcción de los túneles de descarga y del acceso a la Casa de Máquinas San Francisco, dado que estas obras permitirían la construcción del bloque de la ruta crítica en los plazos previstos.

Por otro lado, se evidencia que la realización del túnel largo para la conducción, con la implementación del sistema constructivo propuesto en este informe, no necesitaría de ulteriores optimizaciones dado que está fuera de la ruta crítica del proyecto. Sin embargo es posible prever una ventana adicional en el sector de Tendales para facilitar la evacuación de los escombros a través de la tuneladora, utilizando el área cercana de Santa Martha para botadero definitivo. Posibilidad que se dejará al Contratista durante la fase de construcción, para eventualmente mejorar los aspectos logísticos y de manejo del sistema constructivo.

8. La casa de máquinas fue diseñada estructuralmente bajo un sistema tradicional de vigas y columnas, además de juntas de construcción cuya concepción está debidamente sustentada. No obstante el constructor de la obra estará facultado, si lo encuentra viable a presentar un diseño alternativo para las losas de la CM, el

cual deberá disponer del procedimiento estructural detallado y con el respectivo respaldo.

9. Enerjubones para cumplir con los plazos, debería tomar las precauciones necesarias para que el Contratista del túnel disponga de la tuneladora con el tiempo necesario que le permita cumplir los plazos previstos en el diseño.
10. Por último se recomienda gestionar en el ciclo del mecanismo de desarrollo limpio (MDL), para los Proyectos Hidroeléctricos Minas. San Francisco y La Unión, la obtención del registro como proyectos MDL ante la Junta Ejecutiva de la Naciones Unidas, para obtener réditos económicos por la venta de bonos de carbono, AGA podría preparar los términos de referencias correspondientes.