

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO  
MÚLTIPLE DEL RÍO HUARHUALLÁ, PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**CÉSAR EDUARDO COSTA COSTA**

**cesarcosta69@hotmail.com**

**DIRECTOR: DR. ING. MARCO CASTRO DELGADO**

**marco.castro@epn.edu.ec**

**Quito, Julio de 2009**

## DECLARACIÓN

Yo, César Eduardo Costa Costa, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**César Eduardo Costa Costa**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por César Eduardo Costa Costa, bajo mi supervisión.

---

**Dr. Ing. Marco Castro Delgado**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

Mi más grande y profundo agradecimiento al apoyo sin condición de mis amados padres. Sus palabras y el valor que supieron transmitirme, me ayudaron a seguir adelante, sin dejarme retroceder en circunstancias en que mis propias fuerzas no fueron suficientes. Es a ellos, a quienes debo todo cuanto he conseguido en mi vida. Gracias por confiar en mí y darme la oportunidad de crecer.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional, por abrirme sus puertas y brindarme la posibilidad de acceder a la educación de calidad que en sus aulas se imparte. A todas las personas de Ingeniería Civil, que directa e indirectamente ayudaron a que mi proceso de formación culmine de la mejor manera; a todos mis profesores, que con su generosidad me permitieron acceder a un gran aprendizaje profesional y de la vida; a las secretarias y trabajadores, su lema de servicio cordial, su amistad y su amabilidad desinteresada, dieron fuerza al amor y al sentido de compromiso que tengo hacia mi Facultad.

Mis sinceros agradecimientos para el Dr. Marco Castro y la Ing. Ximena Hidalgo por permitirme desarrollar el presente proyecto de titulación, ayudándome continuamente a dar el último paso de mi carrera con el entusiasmo que les caracteriza.

Agradezco también a todos mis compañeros y amigos, con quienes tuve la oportunidad de compartir las aulas, las canchas de fútbol, las fiestas y todos los momentos agradables que quedarán en mi memoria como un gran recuerdo.

Gracias a Dios y a la Patria... El conocimiento y la cultura, nos hacen hombres libres, con un único destino hacia el progreso continuo, aferrado orgullosamente a nuestra gran identidad.

## DEDICATORIA

Al profuso e incondicional amor de mi padre. A mi querida hermana y amiga. A la comprensión de mis hermanos, parte entrañable de mi corazón. Y de manera especial, a la luz de mi vida... mi madre.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
LISTADO DE CUADROS.....	XII
LISTADO DE FIGURAS.....	XIV
LISTADO DE FOTOGRAFÍAS .....	XVI
SIGLAS .....	XVII
RESUMEN .....	XVIII
ABSTRACT .....	XIX
PRESENTACIÓN .....	XX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. DEFINICIONES.....	2
1.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO .....	5
1.3.1. ASPECTOS FÍSICOS DE LA ZONA DEL PROYECTO .....	5
1.3.2. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS DE LA ZONA DEL PROYECTO ...	6
1.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO LICTO .....	7
1.5. DESARROLLO DE LA ENERGIZACIÓN RURAL EN EL ECUADOR .....	8
1.6. OBJETIVOS DEL PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN .....	10
1.7. DESARROLLO Y BENEFICIOS DE LAS MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	11
1.8. OBJETIVOS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO HUARHUALLÁ .....	14
1.9. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	15
1.9.1. VIABILIDAD TÉCNICA .....	15
1.9.2. VIABILIDAD ECONÓMICA – FINANCIERA .....	15
1.9.3. VIABILIDAD AMBIENTAL .....	16
1.10. INFORMACIÓN DISPONIBLE .....	16
2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA .....	18
2.1. ANÁLISIS DEL MEDIO FÍSICO.....	18

2.1.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	18
2.1.2.	SISTEMA HIDROLÓGICO EN LA CUENCA.....	18
2.1.3.	PARÁMETROS DE LA CUENCA DE DRENAJE .....	20
2.1.4.	OROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA .....	20
2.1.5.	COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO .....	20
2.2.	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL CURSO NATURAL.....	21
2.3.	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS BÁSICOS .....	22
2.4.	CLIMATOLOGÍA .....	23
3.	ANÁLISIS DE LLUVIAS Y DE CAUDALES DE DISEÑO .....	26
3.1.	INTRODUCCIÓN .....	26
3.1.1.	ESTACIONES DISPONIBLES .....	26
3.2.	LLUVIA DE DISEÑO OBTENIDA DE LAS CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA.....	27
3.3.	TRANSFORMACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA .....	28
3.3.1.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN .....	28
3.3.2.	APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL.....	29
3.4.	DEFINICIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO.....	30
3.4.1.	CAUDALES MEDIOS Y MÍNIMOS.....	30
3.4.2.	CAUDALES MÁXIMOS .....	32
3.5.	CURVA DE DURACIÓN GENERAL.....	34
3.6.	DETERMINACIÓN DE VARIACIONES ESTACIONALES.....	35
4.	ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS .....	37
4.1.	ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA.....	37
4.2.	ANÁLISIS DEL TRANSPORTE EN SUSPENSIÓN EN EL CURSO NATURAL.....	38
4.3.	ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE FONDO EN EL CURSO NATURAL .....	39
5.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE..	40
5.1.	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DEL PROYECTO DE RIEGO LICTO .....	41
5.1.1.	OBRAS DE CAPTACIÓN .....	41
5.1.2.	OBRAS DE DESARENACIÓN .....	43
5.1.3.	OBRAS DE ADUCCIÓN.....	44
5.1.3.1.	Tramos de túnel.....	44
5.1.3.2.	Tramos de canal abierto y cubierto .....	46
5.1.3.3.	Sifones de cruce de quebradas .....	49

5.2. EVALUACIÓN DE LAS OBRAS EXISTENTES EN EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE .....	55
5.2.1. EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN .....	56
5.2.2. EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE DESARENACIÓN.....	56
5.2.3. EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE ADUCCIÓN .....	57
5.3. REQUERIMIENTO DE OBRAS EN EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE .....	58
5.4. POSICIONAMIENTO Y GEOREFERENCIACIÓN GPS.....	59
5.5. ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS BENEFICIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE .....	60
6. DISEÑO BÁSICO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL .....	62
6.1. OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA.....	62
6.1.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA REJILLA .....	63
6.1.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA GALERÍA DE CAPTACIÓN .....	64
6.1.3. DIMENSIONAMIENTO DEL PERFIL TIPO UMBRAL .....	66
6.1.4. DIMENSIONAMIENTO DEL CUENCO DISIPADOR.....	67
6.1.5. DIMENSIONAMIENTO DEL ENROCADO .....	68
6.1.6. DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL DE INGRESO AL DESARENADOR.....	68
6.2. OBRAS DE DESARENACIÓN .....	69
6.2.1. DIMENSIONAMIENTO DE LAS CÁMARAS DESARENADORAS .....	70
6.2.2. DIMENSIONAMIENTO DE LAS TRANSICIONES DE ENTRADA Y DE SALIDA.....	72
6.2.3. DIMENSIONAMIENTO DEL VERTEDERO TIPO LABERINTO .....	72
6.2.4. DIMENSIONAMIENTO DEL ORIFICIO DE LAVADO.....	73
6.3. OBRAS DE ADUCCIÓN.....	74
6.3.1. TRAMOS DE TÚNEL .....	76
6.3.2. TRAMOS DE CANAL ABIERTO Y CUBIERTO.....	77
6.3.3. SIFONES DE CRUCE DE QUEBRADAS.....	79
6.4. TANQUE DE PRESIÓN .....	81
6.4.1. TRANSICIÓN DE ENTRADA .....	83
6.4.2. TANQUE RESERVORIO.....	83
6.4.3. REJILLA DE ENTRADA A LA TUBERÍA DE PRESIÓN.....	85
6.4.4. COMPUERTA DE FONDO Y VERTEDERO DE EXCESOS.....	86
6.5. TUBERÍA A PRESIÓN .....	87
6.5.1. DIÁMETRO ÓPTIMO .....	87
6.5.2. COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA.....	89



6.5.3.	ANCLAJES.....	91
6.6.	CASA DE MÁQUINAS.....	94
6.7.	OBRAS DE ENTREGA AL CURSO NATURAL.....	95
7.	DISEÑO BÁSICO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO .....	96
7.1.	COMPONENTES MECÁNICOS.....	96
7.1.1.	SELECCIÓN BÁSICA DE LAS TURBINAS.....	96
7.1.2.	SELECCIÓN BÁSICA DEL EQUIPO DE REGULACIÓN .....	100
7.1.3.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS.....	101
7.1.3.1.	Turbinas seleccionadas.....	101
7.1.3.2.	Equipo de regulación.....	102
7.1.3.3.	Válvula de compuerta.....	103
7.2.	DISEÑO ELÉCTRICO BÁSICO.....	104
7.2.1.	CENTRAL DE GENERACIÓN.....	104
7.2.1.1.	Generadores eléctricos .....	104
7.2.2.	SUBESTACIÓN ELEVADORA.....	105
7.2.2.1.	Transformadores de fuerza .....	105
7.2.2.2.	Equipo eléctrico general .....	106
7.2.3.	GENERALIDADES SOBRE LA LÍNEA DE INTERCONEXIÓN .....	106
7.2.4.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO ELÉCTRICO .....	107
7.2.4.1.	Generadores eléctricos .....	107
7.2.4.2.	Transformadores de fuerza .....	107
7.2.4.3.	Equipo eléctrico principal.....	108
7.2.4.4.	Línea de interconexión .....	109
7.3.	ALTERNATIVAS EN GENERACIÓN .....	109
7.3.1.	ALTERNATIVA I.....	111
7.3.2.	ALTERNATIVA II.....	111
8.	EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES .....	112
8.1.	SELECCIÓN DE LA LÍNEA BASE AMBIENTAL .....	112
8.2.	LISTA DE CHEQUEO DE LOS POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES .....	112
8.2.1.	FACTORES DEL MEDIO AFECTADOS .....	113
8.2.1.1.	Medio Natural .....	113
8.2.1.2.	Medio Antrópico.....	114
8.3.	MATRIZ DE VALORACIÓN.....	114

8.4.	ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD AMBIENTAL.....	116
8.4.1.	ANÁLISIS DE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	116
8.4.2.	ANÁLISIS DE LA ETAPA DE OPERACIÓN.....	117
9.	EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA.....	118
9.1.	VOLÚMENES DE OBRA.....	118
9.2.	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS PRINCIPALES RUBROS.....	119
9.3.	PRESUPUESTO BÁSICO PRELIMINAR.....	120
9.4.	EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO.....	121
9.5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	123
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE.....	126
10.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE LLUVIAS Y DE CAUDALES DE DISEÑO.....	126
10.2.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	127
10.3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE.....	128
10.4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL DISEÑO BÁSICO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL.....	128
10.5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL DISEÑO BÁSICO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO.....	130
10.6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.....	131
10.7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA.....	133
10.8.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA VARIACIÓN DE LOS DIFERENTES ASPECTOS.....	134
10.9.	RECOMENDACIONES PARA LAS SIGUIENTES FASES ESTUDIO.....	138
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140
	ANEXOS.....	143
	ANEXO 1: CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN EL ECUADOR.....	143
	ANEXO 2: DISEÑO HIDRÁULICO.....	146
	ANEXO 2.1: DISEÑO DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN.....	147
	ANEXO 2.2: DISEÑO DE LAS OBRAS DE DESARENACIÓN.....	156
	ANEXO 2.3: DISEÑO DE LAS OBRAS DE ADUCCIÓN.....	161
	ANEXO 2.4: DISEÑO DEL TANQUE DE PRESIÓN.....	163
	ANEXO 2.5: DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.....	167

ANEXO 2.6: DISEÑO DE LAS OBRAS DE ENTREGA AL CURSO NATURAL..	171
ANEXO 3: DISEÑO DEL EQUIPO ELECTROMECAÍNICO .....	173
ANEXO 4: EVALUACIÓN AMBIENTAL .....	178
ANEXO 4.1: LÍNEA BASE AMBIENTAL.....	179
ANEXO 4.2: ACTIVIDADES IMPACTANTES.....	190
ANEXO 4.3: PARÁMETROS DE VALORACIÓN AMBIENTAL .....	202
ANEXO 4.4: MATRICES DE VALORACIÓN AMBIENTAL.....	205
ANEXO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA.....	208
ANEXO 5.1: PRESUPUESTO GENERAL.....	209
ANEXO 5.2: ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO .....	213
ANEXO 6: PLANOS .....	216

## LISTADO DE CUADROS

<b>CUADRO 3.1:</b> ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS .....	26
<b>CUADRO 3.2:</b> RELACIONES INTENSIDAD – DURACIÓN – PERÍODO DE RETORNO .....	28
<b>CUADRO 3.3:</b> CAUDALES MÁXIMOS SEGÚN EL MÉTODO RACIONAL .....	30
<b>CUADRO 3.4:</b> VARIACIÓN ESPACIAL DE CAUDALES MEDIOS ANUALES ....	31
<b>CUADRO 3.5:</b> CAUDALES MÁXIMOS PARA LAS ESTACIONES DE LA ZONA .....	32
<b>CUADRO 3.6:</b> CAUDALES MÁXIMOS ESPECÍFICOS .....	33
<b>CUADRO 3.7:</b> CAUDALES MÁXIMOS EN EL RÍO HUARHUALLÁ, CAPTACIÓN .....	34
<b>CUADRO 3.8:</b> CAUDALES NATURALES DEL RÍO HUARHUALLÁ, CAPTACIÓN .....	34
<b>CUADRO 3.9:</b> CAUDALES DE LAS CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL ...	36
<b>CUADRO 4.1:</b> AFOROS SÓLIDOS – ESTACIÓN HUARHUALLÁ AJ CEBADAS .....	37
<b>CUADRO 5.1:</b> RESUMEN DE LOS SIFONES DE CRUCE DE QUEBRADAS.....	50
<b>CUADRO 5.2:</b> REQUERIMIENTO DE OBRAS EN EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE .....	59
<b>CUADRO 5.3:</b> POSICIONAMIENTO Y GEOREFERENCIACIÓN GPS.....	60
<b>CUADRO 6.1:</b> RESUMEN DE LOS TRAMOS DE TÚNEL .....	77
<b>CUADRO 6.2:</b> RESUMEN DE LOS SIFONES DE CRUCE DE QUEBRADAS.....	80
<b>CUADRO 6.3:</b> DIMENSIONES DE LOS ANCLAJES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN .....	91
<b>CUADRO 7.1:</b> PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE DISEÑO .....	97
<b>CUADRO 7.2:</b> CARACTERÍSTICAS DE LAS TURBINAS SELECCIONADAS...	102
<b>CUADRO 7.3:</b> PARÁMETROS REFERENCIALES DEL EQUIPO DE REGULACIÓN.....	103
<b>CUADRO 7.4:</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA DE LA VÁLVULA DE COMPUERTA .....	103
<b>CUADRO 7.5:</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA DE LA VÁLVULA DE COMPUERTA .....	104
<b>CUADRO 7.6:</b> CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS GENERADORES .....	107
<b>CUADRO 7.7:</b> CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS TRANSFORMADORES DE FUERZA .....	108

<b>CUADRO 7.8:</b> CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS PRINCIPALES.....	108
<b>CUADRO 7.9:</b> CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS PRINCIPALES.....	109
<b>CUADRO 8.1:</b> CALIFICACIÓN AMBIENTAL DE LA MATRIZ DE VALORACIÓN.....	115
<b>CUADRO 9.1:</b> RESUMEN DE LOS VOLÚMENES DE OBRA.....	118
<b>CUADRO 9.2:</b> RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	120
<b>CUADRO 9.3:</b> OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL.....	121
<b>CUADRO 9.4:</b> COSTOS DE LA ENERGÍA GENERADA.....	122
<b>CUADRO 9.5:</b> PARÁMETROS DE EVALUACIÓN FINANCIERA.....	123
<b>CUADRO 9.6:</b> PARÁMETROS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	124
<b>CUADRO 9.7:</b> BENEFICIOS ANUALES POR LAS EMISIONES EVITADAS DE CO <sub>2</sub> .....	125
<b>CUADRO 10.1:</b> ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD TÉCNICA .....	135
<b>CUADRO 10.2:</b> ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL.....	136
<b>CUADRO 10.3:</b> ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD FINANCIERA .....	136
<b>CUADRO 10.4:</b> ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ECONÓMICA.....	137
<b>CUADRO 10.5:</b> ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD GLOBAL .....	138

## LISTADO DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1:</b> UBICACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO EN DEL TERRITORIO NACIONAL.....	5
<b>FIGURA 1.2:</b> POTENCIA EFECTIVA DE GENERACIÓN EN EL AÑO 2006.....	12
<b>FIGURA 2.1:</b> CUENCA DE DRENAJE DEL PROYECTO DE RIEGO LICTO.....	19
<b>FIGURA 2.2:</b> PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE DEL RÍO HUARHUALLÁ...	22
<b>FIGURA 2.3:</b> VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA PRECIPITACIÓN – LICTO.....	25
<b>FIGURA 3.1:</b> CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – PERÍODO DE RETORNO .....	28
<b>FIGURA 3.2:</b> RELACIÓN REGIONAL DE CAUDALES MEDIOS ANUALES.....	31
<b>FIGURA 3.3:</b> RELACIONES ENTRE CAUDALES MÁXIMOS ESPECÍFICOS CON EL ÁREA .....	33
<b>FIGURA 3.4:</b> CURVA DE DURACIÓN GENERAL - RÍO HUARHUALLÁ, CAPTACIÓN .....	35
<b>FIGURA 3.5:</b> CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL .....	36
<b>FIGURA 4.1:</b> CAUDAL LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL SÓLIDO .....	38
<b>FIGURA 5.1:</b> VISTA EN PLANTA DEL TANQUE DE CARGA TIPO PARA LOS SIFONES 2, 3, 4.....	51
<b>FIGURA 5.2:</b> VISTA EN PLANTA DEL TANQUE DE CARGA DEL SIFÓN № 5 ..	55
<b>FIGURA 6.1:</b> ESQUEMA DE UNA CAPTACIÓN DE REJILLA DE FONDO .....	63
<b>FIGURA 6.2:</b> CORTE DE GALERÍA CON DOBLE CÁMARA .....	65
<b>FIGURA 6.3:</b> DETALLE DE LAS COMPUERTAS DE LAVADO Y DE REGULACIÓN.....	65
<b>FIGURA 6.4:</b> PERFIL TIPO UMBRAL DEL AZUD DE CIERRE DE LA CAPTACIÓN .....	67
<b>FIGURA 6.5:</b> CORTE LONGITUDINAL DEL CUENCO DISIPADOR DE ENERGÍA .....	67
<b>FIGURA 6.6:</b> SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL DE INGRESO AL DESARENADOR.....	69
<b>FIGURA 6.7:</b> VISTA EN PLANTA Y CORTE LONGITUDINAL DEL DESARENADOR.....	71
<b>FIGURA 6.8:</b> ESQUEMA DEL VERTEDERO EN LABERINTO .....	73
<b>FIGURA 6.9:</b> CORTE TRANSVERSAL DEL DESARENADOR .....	74
<b>FIGURA 6.10:</b> CONFORMACIÓN DE LA CONDUCCIÓN PRINCIPAL.....	75
<b>FIGURA 6.11:</b> SECCIÓN DEL TÚNEL TIPO 1 .....	76

<b>FIGURA 6.12:</b> SECCIÓN DEL TÚNEL TIPO 2 .....	77
<b>FIGURA 6.13:</b> SECCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DEL CANAL ABIERTO .....	78
<b>FIGURA 6.14:</b> SECCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DEL CANAL CUBIERTO.....	79
<b>FIGURA 6.15:</b> VISTA EN PLANTA DEL TANQUE DE CARGA AMPLIADO EN SIFONES 2, 3, 4.....	80
<b>FIGURA 6.16:</b> VISTA EN PLANTA DEL TANQUE DE CARGA MODIFICADO DEL SIFÓN № 5.....	81
<b>FIGURA 6.17:</b> VISTA EN PLANTA Y CORTE LONGITUDINAL DEL TANQUE DE PRESIÓN .....	82
<b>FIGURA 6.18:</b> CORTE TRANSVERSAL DEL TANQUE DE PRESIÓN.....	84
<b>FIGURA 6.19:</b> IMPLANTACIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.....	87
<b>FIGURA 6.20:</b> ZANJA DE COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN .....	90
<b>FIGURA 6.21:</b> CORTE FRONTAL Y LONGITUDINAL DE LAS PANTALLAS DE SOPORTE.....	90
<b>FIGURA 6.22:</b> CORTE FRONTAL Y LONGITUDINAL DEL BLOQUE DE ANCLAJE .....	92
<b>FIGURA 6.23:</b> CORTE LONGITUDINAL DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.....	93
<b>FIGURA 6.24:</b> VISTA EN PLANTA Y CORTE TRANSVERSAL DE LA CASA DE MÁQUINAS .....	94
<b>FIGURA 6.25:</b> DETALLE DE LA RÁPIDA EN EL CANAL DE RESTITUCIÓN.....	95
<b>FIGURA 7.1:</b> DIAGRAMA DE SELECCIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS.....	97
<b>FIGURA 7.2:</b> CURVA DE RENDIMIENTO DE LA TURBINA PELTON.....	99
<b>FIGURA 7.3:</b> ESQUEMA DE LA TURBINA PELTON .....	99
<b>FIGURA 7.4:</b> CANGILÓN O CUCHARA DE LA TURBINA PELTON .....	101

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

<b>FOTOGRAFÍA 2.1:</b> VISTA PANORÁMICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL HUARHUALLÁ .....	21
<b>FOTOGRAFÍA 5.1:</b> CAPTACIÓN Y DESARENACIÓN EN EL PROYECTO DE RIEGO LICTO .....	41
<b>FOTOGRAFÍA 5.2:</b> VISTA DESDE AGUAS ABAJO DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN .....	43
<b>FOTOGRAFÍA 5.3:</b> DESARENADOR Y DETALLE DE LA TUBERÍA DE SALIDA .....	44
<b>FOTOGRAFÍA 5.4:</b> INICIO DEL PRIMER TRAMO DE TÚNEL EN LA CONDUCCIÓN.....	45
<b>FOTOGRAFÍA 5.5:</b> TRAMO DE CANAL ABIERTO EN LA CONDUCCIÓN PRINCIPAL .....	47
<b>FOTOGRAFÍA 5.6:</b> TRAMO DE CANAL CUBIERTO CON LOSA DE ARCO.....	48
<b>FOTOGRAFÍA 5.7:</b> TRAMO DE CANAL CUBIERTO CON LOSA PLANA .....	48
<b>FOTOGRAFÍA 5.8:</b> ACUEDUCTO EN LA CONDUCCIÓN PRINCIPAL .....	49
<b>FOTOGRAFÍA 5.9:</b> TANQUE DE CARGA DEL SIFÓN № 2 .....	51
<b>FOTOGRAFÍA 5.10:</b> RAMAL DESCENDENTE DEL SIFÓN № 2.....	52
<b>FOTOGRAFÍA 5.11:</b> RAMAL DESCENDENTE DEL SIFÓN № 3.....	52
<b>FOTOGRAFÍA 5.12:</b> RAMAL DESCENDENTE DEL SIFÓN № 4.....	53
<b>FOTOGRAFÍA 5.13:</b> TANQUE DE CARGA DEL SIFÓN № 5 .....	54



## SIGLAS

**CESA:** Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas,  
**CNRH:** Consejo Nacional de Recursos Hídricos,  
**CODERECH:** Corporación de Desarrollo Regional Chimborazo,  
**CONELEC:** Consejo Nacional de Electricidad,  
**COSUDE:** Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación,  
**EERSA:** Empresa Eléctrica de Riobamba,  
**FERUM:** Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal,  
**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología,  
**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos,  
**INECEL:** Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos,  
**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización,  
**INERHI:** Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos,  
**MEER:** Ministerio de Electrificación y Energías Renovables,  
**OLADE:** Organización Latinoamericana de Energía,  
**PME:** Plan Maestro de Electrificación,  
**SENPLADES:** Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

## RESUMEN

El Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá, ubicado en la Provincia de Chimborazo, fue identificado como un potencial aprovechamiento dentro del inventario de pequeñas y medianas centrales, realizado por el Ex – Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos, Ex – INECEL. Sin embargo a la fecha de esta identificación, no existía el Proyecto de Riego Licto, que fue planteado posteriormente, en la década de 1980 como un aprovechamiento de las aguas del río Huarhuallá en el mismo tramo previsto para la captación del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá. El aprovechamiento de riego Licto fue construido en la década de 1990 y actualmente se encuentra en operación con una concesión de 1300 litros por segundo para abastecer la demanda agrícola de un área aproximada de 1300 hectáreas.

Si bien el desarrollo hidroenergético, a nivel de perfil de proyecto, se encuentra en el Catálogo de Proyectos del Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC; a la fecha, la concesión existente de aguas del río Huarhuallá obliga al desarrollo del aprovechamiento múltiple, en beneficio de las comunidades del sector rural.

El Proyecto de Aprovechamiento Múltiple pretende aprovechar la ubicación, así como la infraestructura existente del Proyecto de Riego Licto, generando de esta forma, incentivos concretos y eficaces para lograr un uso racional del recurso hídrico en la zona.

El presente trabajo de titulación o tesis de grado pretende preparar la información técnica, económica, financiera y ambiental básica requerida para desarrollar, a nivel de prefactibilidad, el proyecto de aprovechamiento múltiple: para riego y para generación hidroeléctrica, en el sector de Licto, en el río Huarhuallá, en la Provincia de Chimborazo. De existir la viabilidad técnica, económica, financiera y ambiental, se podrá continuar con las siguientes fases de factibilidad y diseño definitivo.

## ABSTRACT

The Hydroelectric Project Huarhuallá, located in the County of Chimborazo, it was identified as a potential use inside the inventory of small and medium central, carried out by the Ex - INECEL. However to the date of this identification, the Project of Watering Licto didn't exist, that was outlined later on, in the decade of 1980 as an use of the waters of the river Huarhuallá in the same tract foreseen for the reception of the Hydroelectric Project Huarhuallá. The watering use Licto was built in the decade of 1990 and at the moment it is in operation with a concession of 1300 liters per second to supply the agricultural demand of an approximate area of 1300 hectares.

Although the development, at level of project profile, is in the Catalog of Projects of the CONELEC; to the date, the existent concession of waters of the river Huarhuallá forces to the development of the multiple use, in benefit of the communities of the rural sector.

The Project of Multiple Use seeks to take advantage of the location, as well as the existent infrastructure of the Project of Watering Licto, generating this way, concrete and effective incentives to achieve a rational use of the resource of water in the area.

The present grade thesis seek to prepare the basic technical, economic, financial and environmental information required to develop, at pre-feasibility level, the project of multiple use: for watering and for hydroelectric generation, in the sector of Licto, in the river Huarhuallá, in the County of Chimborazo. If the technical, economic, financial and environmental viability would exist, one will be able to continue with the following phases of feasibility and definitive design.

## **PRESENTACIÓN**

A continuación se presenta el desarrollo del proyecto de titulación: Estudio de Prefactibilidad del Aprovechamiento Múltiple del Río Huarhuallá, Provincia de Chimborazo. El estudio presenta inicialmente una introducción del proyecto de aprovechamiento múltiple, que contempla, tanto la situación actual del Proyecto de Riego Licto, así como las perspectivas de generación de energía renovable no convencional, a través del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá. Luego se presenta una descripción de la cuenca hidrográfica correspondiente al sitio del proyecto.

Para la determinación de la disponibilidad del recurso hídrico en el río Huarhuallá, que permita establecer el potencial energético del proyecto, se presenta un estudio hidrológico, en base a las estaciones meteorológicas e hidrométricas disponibles para el presente estudio. Se presenta también, un estudio de transporte de sedimentos. Luego se presenta una descripción de la conformación y el estado de las obras existentes del proyecto Licto, con el objetivo de definir las obras que pueden ser utilizadas en el proyecto de aprovechamiento múltiple. Más adelante se incluye en el presente estudio, el dimensionamiento a nivel de prefactibilidad de las obras hidráulicas necesarias para el desarrollo del proyecto Huarhuallá, así como la selección y el diseño básico del equipamiento electromecánico a ser instalado en la Central Hidroeléctrica Huarhuallá. Para la determinación de la viabilidad ambiental del proyecto, se presenta el estudio de impactos ambientales correspondiente a las etapas de construcción y operación del proyecto. Y, finalmente, se incluye la evaluación económica y financiera, que definirá la viabilidad del proyecto en estos aspectos.

En base al análisis técnico, económico, financiero y ambiental, se podrán realizar las conclusiones y recomendaciones del Estudio de Prefactibilidad del Proyecto de Aprovechamiento Múltiple del Río Huarhuallá, que se presentan en el capítulo final del presente trabajo de titulación.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

El Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá, ubicado en la Provincia de Chimborazo, fue identificado como un potencial aprovechamiento dentro del inventario de pequeñas y medianas centrales, realizado por el Ex – Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos, Ex – INECEL. Sin embargo a la fecha de esta identificación no existía el Proyecto de Riego Licto que se planteó posteriormente en la década de 1980 como un aprovechamiento de las aguas del río Huarhuallá en el mismo tramo que el Ex – INECEL previó para la captación del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá. El aprovechamiento de riego Licto fue construido en la década de 1990 y actualmente se encuentra en operación con una concesión de 1300 litros por segundo para abastecer la demanda agrícola de un área aproximada de 1300 hectáreas. El proyecto Huarhuallá consta actualmente en el Catálogo Resumen de Proyectos de Generación Eléctrica en el Ecuador, presentado en junio del 2005 por la Dirección de Planificación del Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC.

El desarrollo del Estudio de Prefactibilidad de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá se realiza como parte del Convenio suscrito entre la Escuela Politécnica Nacional y el Ministerio de Electrificación y Energías Renovables, MEER, para realizar los estudios de prefactibilidad de cinco centrales hidroeléctricas ubicadas en las provincias de Chimborazo, Cotopaxi y Pichincha.

El presente estudio se realiza considerando en primer lugar la posibilidad de mantener el aprovechamiento hidroeléctrico en el tramo previsto del río Huarhuallá, y en segundo lugar, la existencia del Proyecto de Riego Licto con su requerimiento y caudal adjudicado. En consecuencia el Estudio de Prefactibilidad del Aprovechamiento Múltiple del Río Huarhuallá plantea lograr la máxima

generación hidroeléctrica posible considerando las condiciones actuales en el tramo del curso natural, especialmente en lo que se refiere a disponibilidades reales de caudal y aprovechamiento óptimo de las condiciones topográficas, así como la presencia de las obras existentes del Proyecto de Riego Licto.

## **1.2. DEFINICIONES**

En esta parte se incluyen algunas definiciones importantes utilizadas en el desarrollo del presente estudio.

**Bocatoma:** Es una obra hidráulica que capta directamente el agua que viene por el río sin ningún almacenamiento o sea que no hay ninguna regulación y se aprovecha el caudal que hay en un momento dado.

**Central hidroeléctrica:** Conjunto de instalaciones necesarias para transformar la energía potencial de un curso de agua en energía eléctrica disponible.

**Concesión de aguas:** Acto administrativo, por el que se crea el derecho a usar privativamente un bien de dominio público, como es el agua.

**Compuerta:** Elemento de cierre y regulación que aísla algún órgano del aprovechamiento en caso de parada de la central o para realizar limpieza o reparaciones en las conducciones.

**Corriente eléctrica:** Es el flujo de electricidad que pasa por un material conductor. Su intensidad se mide en amperios.

**Cuenca hidrográfica:** Superficie de terreno, cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta.

**Desarenador:** Instalación de obra civil que elimina por sedimentación parte del caudal sólido que entra por la toma del canal.

**Energía eléctrica:** Energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos, al ponerlos en contacto por medio de un conductor eléctrico, y obtener trabajo.

**Energía cinética:** Energía que posee un cuerpo en movimiento.

**Energía mecánica:** Suma de las energías cinética y potencial gravitatoria.

**Energía potencial:** Energía que posee un cuerpo por su posición respecto a otra de referencia en el campo gravitatorio terrestre.

**Energía renovable:** Energía obtenida de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

**Estudio de prefactibilidad:** Consiste en un estudio rápido de costos de un rango de opciones o alternativas de diseño y generación, comparando con otras fuentes de generación de energía. La prefactibilidad compara también los resultados de los estudios de la demanda de energía con los resultados del estudio hidrológico.

**Factor de planta:** Es un factor que relaciona la energía usada y la energía disponible de una central de generación de energía en un periodo de tiempo dado.

**Impacto ambiental:** Alteración favorable o desfavorable en el medio natural producido por una acción o actividad.

**Generador:** Máquina basada en la inducción electromagnética que se encarga de transformar la energía mecánica de rotación, que proporciona la turbina, en energía eléctrica.

**Golpe de Ariete:** Es el aumento o disminución de presión que se observa en una tubería cuando en ésta cambia bruscamente la velocidad del líquido que circula por ella.

**Línea eléctrica:** Instalación cuya finalidad es la transmisión de energía eléctrica, la cual se realiza con elementos de conducción y elementos de soporte.

**Minicentral hidroeléctrica:** Central hidroeléctrica de potencia inferior a 10 MW en Ecuador.

**Potencia:** Es el trabajo o transferencia de energía realizada en la unidad de tiempo. Se mide en vatios. En el área hidroeléctrica se utilizarán los múltiplos de esta unidad de medida: kilovatios, megavatios o gigavatios.

**Subestación eléctrica:** Conjunto de equipos e instalaciones necesarios para la transformación de la tensión de la corriente eléctrica. Se ubica en las inmediaciones de la central para elevar la tensión a la salida del generador, realizando el transporte de energía eléctrica a voltajes elevados para reducir las pérdidas resistivas.

**Tensión:** Potencial eléctrico de un cuerpo. La diferencia de tensión entre dos puntos produce la circulación de corriente eléctrica cuando existe un conductor que los vincula. Se mide en voltios.

**Transformador de potencia:** Equipo que permite aumentar la tensión de trabajo del generador al nivel de la línea eléctrica existente sin excesivas pérdidas.

**Turbina de acción:** Elemento que aprovecha únicamente la velocidad del flujo de agua para producir un movimiento de rotación, el agua actúa por efecto de su energía cinética.

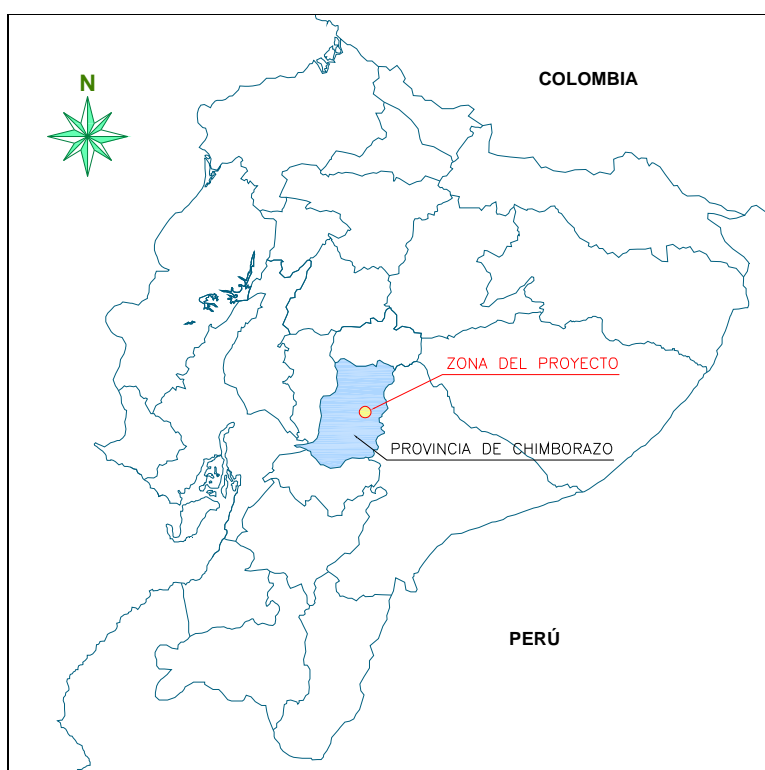


### 1.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra situado en la zona central del pasillo interandino, en la parroquia rural Licto del cantón Riobamba, en la provincia de Chimborazo, la ubicación de la zona del proyecto dentro del territorio nacional se puede apreciar en la Figura 1.1.

**FIGURA 1.1**

UBICACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO EN DEL TERRITORIO NACIONAL



ELABORACIÓN: César Costa Costa

#### 1.3.1. ASPECTOS FÍSICOS DE LA ZONA DEL PROYECTO

El sistema hidrográfico de la zona está representado por el río Chambo y sus principales afluentes que son los ríos Guamote, Cebadas y Huarhuallá. El río Chambo al unirse con el río Patate forma el río Pastaza que corre hacia el oriente ecuatoriano. La zona es accidentada o montañosa encontrándose cerros y lomas.

En Licto el clima es templado seco con variaciones hacia el frío en las noches, la temperatura media anual es de 13.4 °C, posee una precipitación promedio de 200 – 500 mm; el suelo se presenta semiárido y seco debido al déficit de precipitaciones.

### **1.3.2. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS DE LA ZONA DEL PROYECTO**

La provincia del Chimborazo constituye un claro ejemplo de una región pobre en los Andes. En esta región, situada en la sierra central ecuatoriana, el 61% corresponde a la población rural<sup>1</sup> y son en su mayoría indígenas muy pobres que viven en alturas cercanas a los 4000 metros de altitud sobre el nivel del mar. En el área rural de la provincia, el porcentaje de analfabetismo es del 24,6%.

Licto es una de las áreas campesinas más pobres del país. Las comunidades desarrollan una producción de autoconsumo en minifundios dispersos con suelos pobres en nutrientes. Las familias de la parroquia Licto disponen en promedio de sólo dos hectáreas para la producción agrícola que están frecuentemente divididas en más de una decena de parcelas. A este hecho hay que agregar la falta de agua que se ha visto acrecentada por el fenómeno meteorológico del Niño.

Como consecuencia de esa situación la producción agrícola está limitada a productos tradicionales como el maíz y la cebada que tienen rendimientos escasos. Los ingresos provenientes de la actividad agrícola son insuficientes para garantizar la supervivencia de las familias. Ante este problema los hombres abandonan los pueblos y viajan a lo largo de la costa para buscar trabajo, aunque sea temporal y las mujeres se quedan, constituyendo el 80 % de la población económicamente activa.

---

<sup>1</sup> INEC. VI Censo Nacional de Población y V de Vivienda. 2001.

#### **1.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO LICTO**

La histórica escasez del agua en la zona, generó la organización de las comunidades en torno al riego. Las demandas se canalizaron en una primera instancia al Ex – Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos, Ex-INNERHI, y luego a la organización Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas, CESA, que ha venido impulsando el Proyecto de Riego Licto desde 1984.

El Proyecto de Riego Licto ha sido ejecutado desde 1990 hasta finales del 2007 y abarca las parroquias de Licto, Punín y Flores, en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Está concebido para regar 1750 hectáreas y beneficiar a 2000 familias indígenas ubicadas en 16 comunidades<sup>2</sup>. Su finalidad esencial es contribuir a la reducción de la pobreza mediante el sistema de riego, servicios, formación de capacidades y apoyo a emprendimientos.

El principal ente de financiamiento ha sido la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, COSUDE, que ha aportado hasta ahora aproximadamente con las dos terceras partes del presupuesto y el resto ha sido financiado por instituciones del Estado ecuatoriano, y los campesinos lo han hecho con su trabajo y el pago de usuario.

El proyecto se encuentra limitado al norte con los caseríos de Punín, Chimbo y la loma Guamplate; al sur, el río Guamote en su desembocadura con el río Cebadas; al oeste por el río Chambo y al este las lomas de Guitarrapamba, Agua Santa, Mayaguicha, Cerro Tulabog y loma Cachinhuicu<sup>3</sup>. Consta de las obras de toma, las obras de la conducción principal y las obras de distribución de caudales, con los cuales se lleva el agua captada en el río Huarhuallá hacia la zona de riego.

---

<sup>2</sup> COSUDE. Riego y Desarrollo Agrícola en Licto, Chimborazo. 2007.

<sup>3</sup> INNERHI. Proyecto de Riego Licto - Estudio de Factibilidad. 1983.

En la actualidad el sistema de riego se encuentra operando con el caudal de concesión correspondiente a 1300 l/s y abastece la demanda agrícola de un área aproximada de 1300 hectáreas, es decir el caudal característico es de 1.00 l/s/ha. Tienen acceso al servicio de riego 1600 familias de campesinos que han visto aumentar sus ingresos. En las zonas irrigadas se produce ahora alfalfa, papa, pastos, tomate, arveja, ajo, brócoli, entre otros; destinados tanto al mercado interno como a la exportación. Estos resultados han permitido reducir drásticamente la emigración rural a las ciudades.

El acceso a la zona del sistema de riego Licto se realiza por medio de la carretera Riobamba – Licto, desde allí con una vía carrozable de tercer orden, con un recorrido aproximado de 8 Km, hasta la zona donde cruza el sifón mayor de la conducción principal con el río Chambo, y desde allí se continúa unos 12 km hasta el sitio de emplazamiento de la obra de captación existente en el río Huarhuallá.

## **1.5. DESARROLLO DE LA ENERGIZACIÓN RURAL EN EL ECUADOR**

Los programas de electrificación rural en el Ecuador han obtenido su financiamiento a través de un fondo específico creado por disposiciones legales y reglamentarias a través del Gobierno Nacional, ya sea bajo la denominación de Fondo de Electrificación Rural, FER, o Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal, FERUM, que ha permanecido vigente desde el año 1973.

Este fondo fue creado en concordancia con lo expuesto en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, con el propósito de promover proyectos de desarrollo en materia de electrificación en los sectores más desprotegidos de la sociedad ubicados generalmente en la periferia de las ciudades o en el campo, y que no reciben el adecuado abastecimiento de servicios básicos.

Según los resultados del VI Censo de Población y V de Vivienda realizado en noviembre del 2001, el 89% de la población del Ecuador disponía de electricidad,

correspondiendo a un 79% de cobertura en el sector rural y a un 91,5% en el sector urbano. Al año 2006 se incrementó la cobertura del servicio eléctrico en el área rural al 84%. La cobertura en el área urbano-marginal se considera similar a la registrada para el sector urbano, que para el año 2006 es del 93%. A pesar de lo cual, existen 12 provincias con índices de cobertura menores que estos dos promedios<sup>4</sup>.

La expansión y mejoras del servicio eléctrico en el área rural, se ha limitado por el incremento de costos, mayor longitud de las redes para atender a una población caracterizada por un alto grado de dispersión, bajo nivel de la demanda y limitada capacidad de pago de la población; se suma además, la escasa gestión de varias Empresas Eléctricas para obtener los recursos económicos necesarios para la ejecución de obras que permitan mejorar sustancialmente la cobertura del servicio en el sector rural dentro de sus áreas de servicio. Mientras que La expansión del servicio eléctrico en el área urbano-marginal, se ha visto afectada por la poca gestión de las distribuidoras que atienden con el servicio eléctrico a las diferentes provincias.

Otro factor que ha incidido negativamente en el incremento de la cobertura del servicio eléctrico en el área rural, es el escaso conocimiento y desarrollo tecnológico relacionado con el empleo de energías renovables, situación que impide la búsqueda de alternativas para implementar nuevas formas de provisión del servicio de energía eléctrica sustentable, dirigido exclusivamente a las comunidades que no tienen posibilidad de acceso a las redes.

Apenas el 1,97% de los recursos disponibles del FERUM correspondientes al período 1998-2007, han sido destinados al desarrollo e implementación de proyectos de generación renovable, a pesar de tener preferencia y prioridad según la ley de Régimen del Sector Eléctrico vigente.

---

<sup>4</sup> CONELEC. Plan Maestro de Electrificación 2007 – 2016. 2007.

La elaboración de un Plan de Energización Rural y Electrificación Urbano-Marginal consta en el Plan Maestro de Electrificación 2007 – 2016 elaborado por el Consejo Nacional de Electricidad como parte medular de las estrategias para la expansión y mejoramiento del servicio eléctrico en el área rural, buscando incrementar los índices de cobertura eléctrica hasta el 2012, en el área rural al 92% y en el área urbano-marginal al 95%, principalmente en aquellas provincias donde los índices de cobertura eléctrica son más bajos que los promedios nacionales registrados al año 2006.

La ampliación de la cobertura eléctrica nacional, que privilegie el desarrollo de los sectores rurales y urbano-marginales, se ha planificado mediante la utilización de tecnologías apropiadas y de mínimo costo en el diseño de proyectos, orientados no solo a la extensión de las redes eléctricas, sino también a la utilización intensiva de nuevas fuentes de energía renovables.

La normatividad vigente incentiva y financia con recursos del FERUM, los proyectos de generación que sean exclusivos para áreas urbano-marginales y rurales, en especial aquellos que aprovechen los recursos energéticos renovables.

## **1.6. OBJETIVOS DEL PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN**

El Plan Maestro de Electrificación 2007-2016 se basa en los principios del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010, por ello, sus objetivos se fundamentan también en las estrategias de cambio del mencionado Plan Nacional que se enfoca en el desarrollo interno, la inclusión, la competitividad y el empleo; la diversificación productiva, la integración territorial y el desarrollo rural; la sustentabilidad del patrimonio natural; y particularmente en un Estado con capacidades efectivas de planificación, regulación y gestión.

Estos grandes fines constituyen el marco al cual se incorporan los objetivos del Plan Maestro de Electrificación 2007-2016 que se indican a continuación:

1. Garantizar el abastecimiento mediante el desarrollo de la infraestructura en generación que resulte conveniente para los intereses nacionales.
2. Fortalecer la red de transmisión y adaptarla a las actuales y futuras condiciones de la oferta y la demanda de electricidad.
3. Desarrollar las energías renovables como única alternativa energética sostenible en el largo plazo.
4. Mejorar la situación administrativa, técnica y económica de las empresas de distribución.
5. Lograr la recuperación financiera del sector eléctrico.
6. Establecer las condiciones para un desarrollo de los proyectos de infraestructura, en armonía con el cuidado ambiental y el respeto a la comunidad.
7. Promover el uso racional de la energía a través de programas de ahorro y eficiencia energética.
8. Empezar un programa de energización rural, para el acceso a la energía por parte de los sectores rurales y urbano-marginales que carecen de este servicio básico.

Las energías renovables representan la alternativa para el suministro de energía eléctrica al país en condiciones de sustentabilidad, por lo que constituyen la base del Plan Maestro de Electrificación. Adicionalmente dadas las condiciones de cobertura y satisfacción de la demanda que se tienen en la actualidad, presentan un estrecho vínculo con la electrificación y energización rural.

### **1.7. DESARROLLO Y BENEFICIOS DE LAS MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

El actual sistema energético a nivel mundial está basado en la generación de energía a partir de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón mineral y el gas. La generación de energía a partir de estas materias está siendo ampliamente replanteada por varias razones: son recursos limitados que se encuentran en puntos concretos del planeta, su uso a gran escala está provocando graves

efectos sobre el medio ambiente y la salud de los seres humanos, y se están agotando las reservas naturales comprometiendo el futuro de las nuevas generaciones.

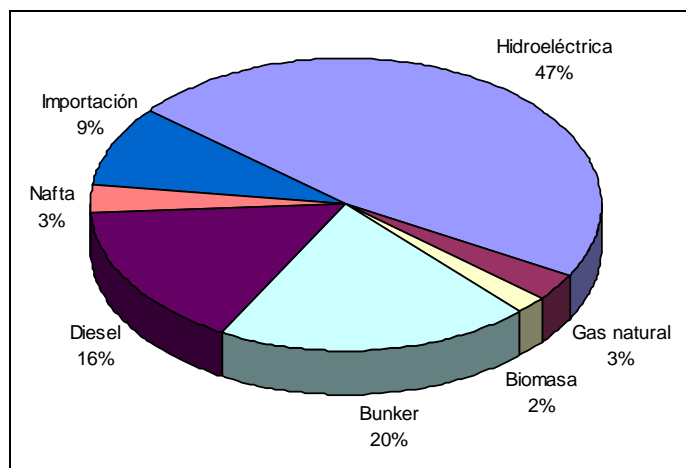
Los países desarrollados han asumido el compromiso de disminuir sus emisiones de gases efecto invernadero mediante la introducción de energías renovables y medidas de eficiencia energética, en sustitución del uso de combustibles fósiles.

Como principal aliado en la generación de energía limpia y autóctona, dentro de estas energías renovables, se encuentra la energía hidroeléctrica, cuya producción anual media a nivel mundial es de 2600 Teravatios-hora, lo que representa aproximadamente el 19% del total de la energía eléctrica producida. La potencia hidroeléctrica instalada en todo el mundo asciende a 700 Gigavatios<sup>5</sup>.

La producción de energía eléctrica en el Ecuador proviene en un 47% de plantas hidroeléctricas, un 44% de centrales termoeléctricas, y un 9% proveniente de la importación a Colombia. Si bien el calentamiento global debido al uso de combustibles fósiles es un tema de importancia mundial, en el Ecuador tiene un impacto mucho mayor por los subsidios del Estado.

### Figura 1.2

Potencia efectiva de generación en el año 2006



FUENTE: CONELEC, Plan Maestro de Electrificación 2007-2016, 2007.

<sup>5</sup> IDAE. Minicentrales Hidroeléctricas. 2006.



A gran escala la generación hidroeléctrica de energía tiene un campo de expansión limitado, ya que los grandes proyectos pueden chocar con obstáculos de carácter técnico, financiero, ambiental o social. A menor escala, sin embargo, la generación de energía con minicentrales hidroeléctricas sí ofrece posibilidades de crecimiento, debido a la diversidad de caudales que aún son susceptibles de ser aprovechados con las nuevas tecnologías; por lo que las minicentrales, a diferencia de las grandes centrales hidroeléctricas deben ser consideradas como una fuente de energía renovable no convencional. En la actualidad las energías renovables no convencionales han dejado de ser tecnologías caras y minoritarias para ser plenamente competitivas y eficaces de cara a cubrir las necesidades de la demanda.

Aunque no hay consenso a nivel mundial respecto a la potencia máxima instalada que puede tener una central para ser calificada como minicentral hidroeléctrica, en nuestro país se considera como tal a las que no sobrepasen los 10 MW, sin embargo, en otros países de América Latina, el límite llega a los 30 MW.

Actualmente en el Ecuador existen 36 centrales hidroeléctricas de potencia instalada menor a 10 MW, de acuerdo al inventario de centrales de generación hidroeléctrica que consta en el PME 2007 – 2016 presentado en el Anexo 1; su nivel de implementación puede considerarse aún bajo, no obstante el desarrollo de las minicentrales está muy en auge debido a que presentan, entre otros, los siguientes beneficios:

- Producción descentralizada,
- Seguridad energética con recursos locales,
- Desarrollo de capacidades locales con un importante aporte de productores nacionales,
- Cero o muy bajo consumo de combustibles fósiles,
- Períodos de implementación bajos lo cual implica beneficios más rápidos,
- Costos de operación y mantenimiento bajos,
- Impacto ambiental bajo,

- Impacto socio-económico positivo muy alto, y,
- Posibilidad de ingresar al mercado de desarrollo limpio.

## **1.8. OBJETIVOS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO HUARHUALLÁ**

El presente proyecto pretende aprovechar la ubicación, así como la infraestructura existente del Proyecto de Riego Licto, generando de esta forma incentivos concretos y eficaces para lograr un uso racional del recurso hídrico en la zona.

Como objetivo fundamental del proyecto se plantea aprovechar las condiciones topográficas de la zona y caudales disponibles en el río Huarhuallá en el tramo comprendido entre las cotas 3114.38 msnm y 2774.01 msnm para la generación de energía hidroeléctrica que alimentará al Sistema Nacional Interconectado, ayudando de esta forma a disminuir el déficit energético del país; y fomentar el desarrollo de las comunidades del sector rural.

Si bien el desarrollo hidroenergético, a nivel de perfil de proyecto, se encuentra en el Catálogo de Proyectos del CONELEC; a la fecha, la concesión existente de aguas del río Huarhuallá obliga al desarrollo del aprovechamiento múltiple, en beneficio de las comunidades del sector rural. De existir la viabilidad técnica, económica y financiera, se requerirá de un análisis amplio y exhaustivo para definir apropiada y oportunamente la viabilidad ambiental, que incluya los aspectos sociales para la operación y el mantenimiento de la central.

La central hidroeléctrica es pequeña en tamaño, sin embargo, llega a ser muy importante porque puede contribuir al desarrollo sustentable de la población rural y de la zona, mediante la disponibilidad de la energía requerida para implantar agroindustria local.

## **1.9. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

El presente trabajo de titulación o tesis de grado pretende preparar la información técnica, económica, financiera y ambiental básica requerida para desarrollar, a nivel de prefactibilidad, el proyecto de aprovechamiento múltiple: para riego y para generación hidroeléctrica, en el sector de Licto, en el río Huarhuallá, en la Provincia de Chimborazo. El aprovechamiento previsto debe considerarse como una ampliación al sistema de riego existente, que ha sido construido bajo control de la Corporación de Desarrollo Regional Chimborazo, CODERECH y que se encuentra administrado por una Junta de Regantes.

Para cumplir con el objetivo general del estudio de prefactibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá, se plantean los siguientes objetivos específicos: viabilidad técnica, viabilidad económica-financiera y viabilidad ambiental.

### **1.9.1. VIABILIDAD TÉCNICA**

Consiste en la formulación de un proyecto diseñado y dimensionado, a nivel de prefactibilidad, bajo parámetros de común aceptación, que garantice la buena provisión del servicio hidroeléctrico durante la vida útil del proyecto.

### **1.9.2. VIABILIDAD ECONÓMICA – FINANCIERA**

La viabilidad económica – financiera debe demostrar que los costos del proyecto con el dimensionamiento seleccionado son convenientes. La estimación de los presupuestos debe tener un grado de confiabilidad no menor al 70%, que corresponde a un nivel de prefactibilidad. Las centrales hidroeléctricas normalmente están en la base del sistema de generación dados sus menores costos de generación respecto de los costos de las centrales térmicas convencionales; ello permite asumir que la demanda será equivalente a la totalidad de la oferta de electricidad despachada en bornes de salida de las centrales menos las pérdidas técnicas registradas en el sistema de transmisión y distribución. Ello permite definir el flujo neto de fondos más conveniente para la

alternativa costo-efectiva, o de menor costo, y obtener así las Tasas Internas de Retorno, TIR, y Valor Actual Neto, VAN, respectivas para cada proyecto y para cada potencial inversor.

### **1.9.3. VIABILIDAD AMBIENTAL**

La viabilidad ambiental define los impactos negativos que podrían producirse y las medidas para su mitigación así como el adecuado manejo de la cuenca con sus respectivos costos, a nivel de prefactibilidad.

### **1.10. INFORMACIÓN DISPONIBLE**

La Central Hidroeléctrica Huarhuallá plantea utilizar la infraestructura existente del Sistema de Riego Licto, por esta razón se cuenta con información suficiente para desarrollar a nivel de prefactibilidad el proyecto de aprovechamiento múltiple. Se ha analizado varios informes técnicos de proyectos similares en la zona, así como la información contenida en documentos relacionados con el presente estudio, los mismos que se presentan a continuación.

- Dirección General de Geología y Minas, DGGM, 1978. Hoja Geológica Riobamba – Escala 1:100000.
- Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, INERHI, 1981. Esquemas Hidroagrícolas – Cuenca del río Chambo.
- Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, INERHI, 1983. Proyecto de Riego Licto – Estudio de Factibilidad.
- Servicio Geológico Británico – Corporación de Desarrollo e Investigación Geológica, BGS-CODIGEM, 1993. Mapa Geológico del Ecuador – Escala 1:1000000.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, 1999. Estudio de Lluvias Intensas.
- Empresa Eléctrica de Riobamba S.A., EER S.A., 1999. Rehabilitación de la Central Hidroeléctrica Cordovez – Informe Final.

- Escuela Politécnica Nacional, EPN, 2006. El Complejo Ofiolítico Peltetec y su Relación con las Unidades Metamórficas Jurásicas de la Cordillera Real.
- Escuela Politécnica Nacional, EPN, 2006. Mapa Geológico del Complejo Ofiolítico Peltetec – Escala 1:20000.
- Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, 2006. Inventario de Centrales Existentes y de Proyectos de Generación Hidroeléctrica.
- Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, 2007. Plan Maestro de Electrificación 2007 – 2016.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER, 2008. Central Hidroeléctrica Huarhuallá – Estudio de Prefactibilidad.

Para el estudio de prefactibilidad de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá desarrollado por la Escuela Politécnica Nacional<sup>6</sup>, se realizó una restitución aerofotogramétrica de la zona del proyecto a escala 1:10000 con curvas de nivel cada 10 m. Se cuenta con cartas topográficas de las zonas Riobamba y Guamote, ambas a escala 1:25000, realizadas por Instituto Geográfico Militar. Además se dispone de la información de los registros hidrológicos y meteorológicos correspondientes al periodo comprendido entre los años 1961 – 2005.

---

<sup>6</sup> MEER. Estudio de Prefactibilidad para la Central Hidroeléctrica Huarhuallá. 2008.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA**

#### **2.1. ANÁLISIS DEL MEDIO FÍSICO**

##### **2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El área de estudio, que comprende la cuenca hidrográfica del río Huarhuallá hasta el sitio de la captación, pertenece al sistema hidrográfico del Pastaza, en la vertiente del Amazonas; se encuentra en la provincia de Chimborazo, en el límite con la provincia de Morona Santiago; al oeste del Parque Nacional Sangay. La cuenca nace en las cumbres de la cordillera oriental y termina en la hoya del río Chambo.

La cuenca está ubicada entre las coordenadas 78° 27' 20" y 78° 33' 56" de longitud oeste, y entre las coordenadas 1° 53' 04" y 2° 02' 09" de latitud sur.

El sitio correspondiente a la captación de caudales del proyecto se ubica en las coordenadas geográficas 78° 32' 34" de longitud oeste y 1° 53' 51".

##### **2.1.2. SISTEMA HIDROLÓGICO EN LA CUENCA**

El área de estudio comprende la superficie de drenaje de las aguas lluvias que forman los caudales presentes en varias quebradas como la Yulumpala y Cuadromeza, los cuales al unirse con las aguas del río Carcebel y quebrada Calalanda forman el río Mishahuanchi, a este se suma el escurrimiento del río Tambillo y de las quebradas Shulala, Caumote y Yuracurimi, de esta manera se da lugar al río Yudumpala. Más adelante se recogen las aguas de las quebradas Timbo, Rumipamba, Tzelemaug, Sula y del Río Zanampara; así el río Yudumpala



### **2.1.3. PARÁMETROS DE LA CUENCA DE DRENAJE**

El área de la cuenca de drenaje del río Huarhuallá hasta el sitio de la captación es de 137.09 Km<sup>2</sup>, la cuenca tiene un perímetro de 56.03 Km cuyo coeficiente de compacidad corresponde a  $K_c = 1.3$ .

La mayor elevación de la cuenca está a 4500 msnm aproximadamente y su altura más baja está a unos 2600 msnm, la elevación media de la cuenca se estima en 3833.6 msnm y su pendiente media en 44.1%.

### **2.1.4. OROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA**

El área de estudio se encuentra junto al Parque Nacional Sangay en la parte occidental del mismo, en las estribaciones orientales del volcán El Altar y el volcán Sangay. Estos volcanes junto con las lagunas de Colta, Pintada, Verde y Condorazo, ubicadas dentro del parque, constituyen una gran reserva de agua que alimentan los sistemas hidrográficos circundantes.

El río Huarhuallá recorre una zona accidentada montañosa de la Cordillera Central de Los Andes con presencia de cerros y lomas y desemboca en el río Chambo el cual es afluente del Pastaza. El río Huarhuallá toma este nombre al pasar por la Población de Huarhuallá Grande, esto es aproximadamente 3 km aguas arriba del sitio de la captación del Proyecto de Riego Licto.

En las partes altas de la cuenca se nota la formación de pequeños lagos debido a precipitaciones e impermeabilización del suelo en estas regiones.

### **2.1.5. COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO**

La cuenca tiene dos zonas altitudinales: la zona alta o de páramo propiamente dicho, caracterizada por los abundantes afloramientos de agua, presencia de humedales y aguas ferrosas; y la zona baja o de uso agropecuario como se muestra en la Fotografía 2.1.

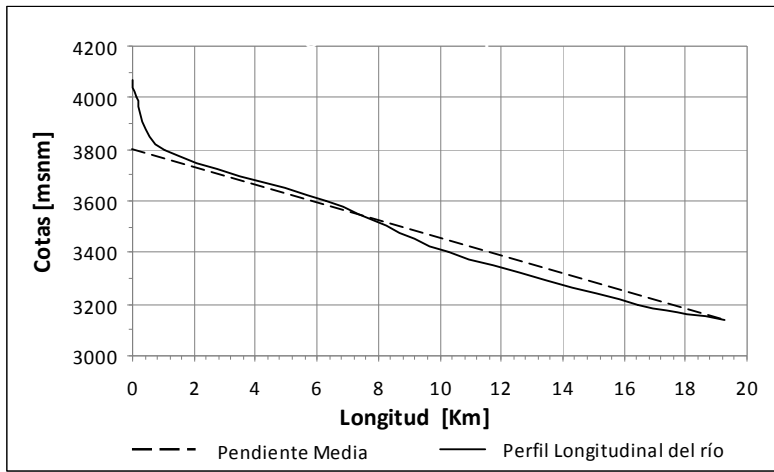


**FOTOGRAFÍA 2.1****VISTA PANORÁMICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL HUARHUALLÁ**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

**2.2. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL CURSO NATURAL**

La longitud del cauce principal alcanza 19.3 Km y la longitud total de los ríos es 184.3 Km, en consecuencia la densidad de drenaje es igual a 1.3; en tanto que la pendiente media del cauce principal es 3.35 %, como se aprecia en la Figura 2.2, que corresponde al perfil longitudinal del río Huarhuallá.

**FIGURA 2.2****PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE DEL RÍO HUARHUALLÁ**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

### 2.3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS BÁSICOS

En el área de estudio se aprecian relieves suaves y de pendientes medianas. En la parte alta de la cuenca el valle es estrecho en V, y aguas abajo se amplía, tomando una forma de U abierta.

El río Huarhuallá es poco accidentado en sus inicios, controlado por varios lineamientos identificados en la zona, ha permitido el desarrollo de pocas terrazas altas y muy poco depósito aluvial, en la cuenca alta, dando la impresión de encontrarse en una zona de transición de la cuenca, en la cual el río está erosionando. El río cruza desde el sureste hacia el noroeste, hasta encontrarse con el río Cebadas, desde este punto se forma el río Chambo.

El río Chambo constituye el primer orden de una red de drenaje en la cual sus aportes de segundo orden son los ríos Huarhuallá, Alao y Cebadas. La red conformada por estos ríos es integrada y de densidad mediana. La angularidad entre sus aportantes de segundo y tercer orden es subparalelo.

La cuenca del río Chambo, desde la unión del río Cebadas y Huarhuallá presenta un valle abierto en U, dentro del cual se pueden observar varios depósitos

aluviales de pendientes muy bajas, y se han desarrollado hasta cinco niveles de terrazas en las dos márgenes del río. Estas terrazas se han identificado en fotografía y fácilmente se las puede diferenciar en el terreno.

Las colinas y las líneas de cresta aparecen en dos direcciones, en el río Huarhuallá son este – oeste, con pequeñas crestas norte – sur, mientras que en río Chambo las principales son norte – noreste y las pequeñas en dirección norte – noroeste.

A lo largo de la cuenca del río Chambo se observan pendientes medianas, altas, y bajas. Las pendientes medianas corresponden a materiales de depositación en las partes altas de las laderas y líneas de cresta, que se han erosionado por acción eólica. Las pendientes altas corresponden a las zonas medias de las laderas, en las cuales aparecen las unidades litológicas más antiguas, o tienen poca cobertura. Las pendientes bajas corresponden a terrazas depositadas en varios niveles, y a las partes bajas de las laderas por depósitos finos de erosión a pie de talud.

## **2.4. CLIMATOLOGÍA**

En la zona el clima es bastante complejo debido a la influencia de diversos factores como la orografía, la presencia de masas de aire secas y húmedas, el continuo correr de los vientos, la variación en las precipitaciones, factores que determinan la formación de microclimas en distintas zonas, caracterizadas por una deficiencia de agua y una vegetación de tipo de estepas.

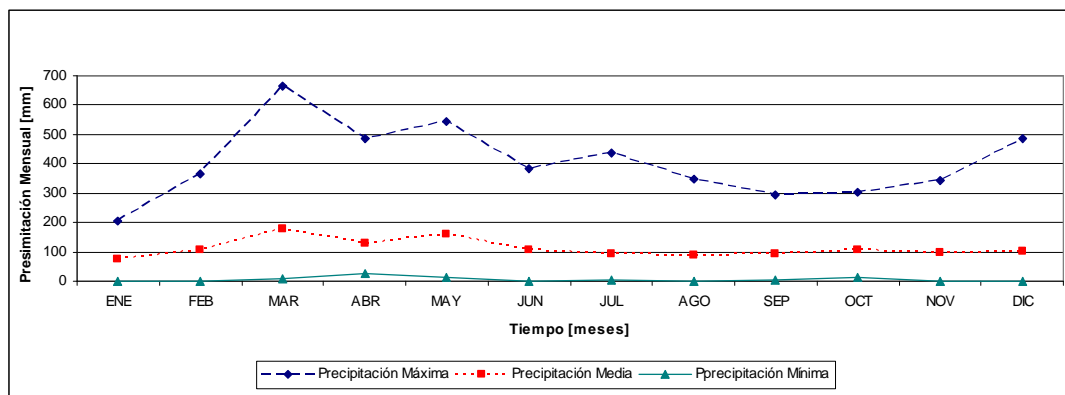
La temperatura media anual al interior de la cuenca hidrográfica varía lógicamente, de manera inversa con la altitud. Según datos de las estaciones Guamote, Tixán y Totorillas, que representan las condiciones climáticas de la captación, las máximas temperaturas fluctúan entre 9.7 °C y 15.6 °C, en tanto que las temperaturas mínimas están en el rango 6.4 °C y 10.9 °C. La temperatura media anual varía entre 7.9 °C y 13.2 °C. El análisis interanual de tendencia de la

temperatura media muestra cierta disminución del orden de 1.4 °C en el período considerado 1964 – 2006 en la estación Guamote.

La presencia de los vientos alisios que vienen desde el occidente y que se presentan en los meses de julio a septiembre y las masas de aire que vienen del oriente y se presentan en el resto del año, determinan relativamente periodos secos y húmedos de manera respectiva. Existe una uniformidad con respecto a la humedad media en la zona que corresponde al 73%. La mayor evaporación se produce en los meses de octubre a enero por sobre los 90 mm.

La agricultura se ve afectada en gran parte por la erosión debido a los fuertes vientos que corren por la zona. Los meses más ventosos son enero, agosto y septiembre, teniendo valores medios mensuales observados a las 13 horas de aproximadamente 5 m/s.

La variación interanual de las lluvias en la cuenca de análisis muestra cierta tendencia al incremento, más acentuada en el caso de la estaciones Licto y Cebadas, mientras que en la estación Alao se observa un decrecimiento. Es notable también la disminución de la precipitación anual media con la altitud, a razón de 75 mm por cada 100 m de incremento en altitud. Se destaca la variación estacional de las precipitaciones, con un período húmedo que se extiende desde diciembre hasta mayo, y un período seco que se prolonga entre junio y noviembre, como se observa en la Figura 2.3.

**FIGURA 2.3****VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA PRECIPITACIÓN – LICTO**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

## CAPÍTULO 3

### 3. ANÁLISIS DE LLUVIAS Y DE CAUDALES DE DISEÑO

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

##### 3.1.1. ESTACIONES DISPONIBLES

En el Cuadro 3.1 se detallan las estaciones meteorológicas e hidrométricas disponibles para el presente estudio, el Tipo corresponde a la denominación de estaciones establecida por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): CO – Climatológica Ordinaria; PV – Pluviométrica, PG – Pluviográfica; LM – Limnimétrica y LG – Linnigráfica.

#### CUADRO 3.1

##### ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS

Código	Tipo	Nombre de la Estación	Latitud				Longitud				Cota [m]
			[°]	[´]	[´´]		[°]	[´]	[´´]		
M-407	PV	LICTO	01	48	20	S	78	36	00	W	2840
M-133	CO	GUASLÁN	01	43	15	S	78	39	40	W	2850
M-395	PV	CEBADAS	01	54	28	S	78	38	27	W	2930
M-396	PV	ALAO	01	53	00	S	78	29	00	W	3200
M-134	CO	GUAMOTE	01	56	00	S	78	43	00	W	3020
M-135	CO	PACHAMAMA TIXAN	02	11	42	S	78	46	52	W	3680
Código	Tipo	Nombre de la Estación	Latitud				Longitud				Cota [m]
			[°]	[´]	[´´]		[°]	[´]	[´´]		
H-790	LM	CEBADAS A.J. GUAMOTE	01	53	47	S	78	38	18	W	2840
H-789	LM	HUARHUALLÁ AJ CEBADAS	01	52	03	S	78	36	08	W	2828
H-786	LM	GUAMOTE A.J. CEBADAS	01	52	38	S	78	38	06	W	2840
H-787	LG	ALAO EN HDA. ALAO	01	52	11	S	78	30	40	W	3200

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

Las estaciones hidrométricas Cebadas A. J. Guamote (H790) y Huarhuallá A. J. Cebadas (H789) disponen de caudales medios diarios desde el año 1965 hasta el 2006; la primera tiene vacíos entre abril y junio de 1991, de julio a agosto de 1992 y de julio a septiembre de 2004; la segunda no dispone de datos entre noviembre de 1986 y mayo de 1987, de agosto de 1987 a mayo de 1988, de octubre de 1991

a mayo de 1992, de julio de 2001 a octubre de 2002 y de enero de 2003 hasta diciembre de 2005.

### **3.2. LLUVIA DE DISEÑO OBTENIDA DE LAS CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA**

La determinación de las intensidades máximas se realizó en base al documento INAMHI<sup>7</sup>; el modelo establece relaciones funcionales entre la intensidad máxima, la duración, el período de retorno y la intensidad de precipitación máxima diaria. La cuenca hidrográfica del presente estudio se localiza en la Zona 33, definida por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, para el estudio de lluvias intensas, que establece las siguientes ecuaciones:

$$I_{TR} = 170,39 \cdot t^{-0,5052} \cdot Id_{TR}, \text{ si } 5 \text{ min} < t < 23 \text{ min} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

$$I_{TR} = 515,76 \cdot t^{-0,8594} \cdot Id_{TR}, \text{ si } 23 \text{ min} < t < 1440 \text{ min} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:

$I_{TR}$ : Intensidad máxima de precipitación para cualquier periodo de retorno en mm/h,

$Id_{TR}$ : Intensidad máxima diaria en mm/h para un periodo de retorno dado, y

t: Tiempo de duración de la lluvia en minutos.

Las intensidades máximas diarias  $Id_{TR}$ , se determinan de los mapas correspondientes, en función del período de retorno. En el Cuadro 3.2 se incluye los valores de intensidades de lluvia en función de la duración y del periodo de retorno, obtenidos de las ecuaciones correspondientes a la zona de la cuenca de estudio, mientras que en la Figura 3.1 se muestran las curvas de intensidad, duración y período de retorno para la cuenca de drenaje.

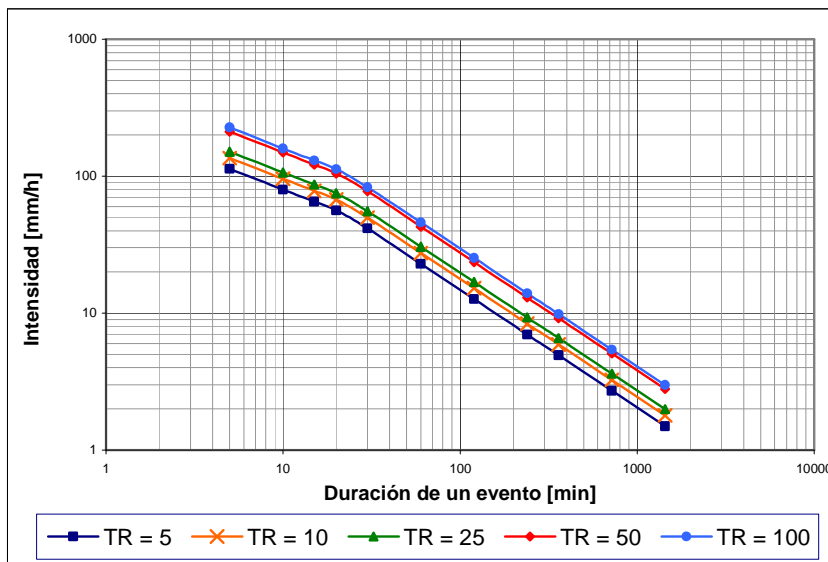
---

<sup>7</sup> INAMHI, 1999. Estudio de Lluvias Intensas.

**CUADRO 3.2****RELACIONES INTENSIDAD – DURACIÓN – PERÍODO DE RETORNO**

TR	Id <sub>TR</sub> mm/h	Duración de un evento [min]										
		5	10	15	20	30	60	120	240	360	720	1440
5	1,5	113.3	79.9	65.1	56.3	41.6	22.9	12.6	7.0	4.9	2.7	1.5
10	1,8	136.0	95.8	78.1	67.5	49.9	27.5	15.2	8.4	5.9	3.3	1.8
25	2,0	151.1	106.5	86.8	75.0	55.5	30.6	16.9	9.3	6.6	3.6	2.0
50	2,8	211.6	149.1	121.5	105.0	77.7	42.8	23.6	13.0	9.2	5.1	2.8
100	3,0	226.7	159.7	130.1	112.5	83.2	45.9	25.3	13.9	9.8	5.4	3.0

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

**FIGURA 3.1****CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – PERÍODO DE RETORNO**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

**3.3. TRANSFORMACIÓN LLUVIA – ESCORRENTÍA****3.3.1. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN**

El tiempo transcurrido entre el inicio de un evento de lluvia y el establecimiento del caudal de equilibrio se denomina tiempo de concentración, equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado de la cuenca al punto de interés, y se ha determinado con la fórmula de Kirpich<sup>8</sup>:

$$t_c = 3,989 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$



Donde:

- $t_c$ : Tiempo de concentración en minutos,
- L: Longitud del cauce principal en kilómetros, y
- S: Pendiente del cauce principal.

El tiempo de concentración determinado mediante la expresión de Kirpich corresponde a 144 minutos.

### 3.3.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL

El caudal máximo de escorrentía superficial se ha calculado aplicando la fórmula racional que viene dada en la siguiente expresión:

$$Q_P = 0,278 \cdot C \cdot I_{TR} \cdot A \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Donde:

- $Q_P$ : Caudal máximo de escorrentía superficial expresado en  $m^3/s$ ,
- C: Coeficiente de escorrentía,
- $I_{TR}$ : Intensidad de lluvia en mm/h, y
- A: Área de drenaje en  $Km^2$ .

La aplicación de la fórmula racional depende del conocimiento de los coeficientes de escorrentía, los mismos que fueron adoptados considerando el tipo de área de drenaje como suelo de cultivo con pendiente media<sup>8</sup>. En el Cuadro 3.3 se incluye los valores de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno y para varias relaciones de los tiempos de concentración.

---

<sup>8</sup> V. T. CHOW, D. R. MAIDMENT, L. W. MAYS, Hidrología Aplicada, USA, 1988.

**CUADRO 3.3****CAUDALES MÁXIMOS SEGÚN EL MÉTODO RACIONAL**

TR [años]	C	I <sub>TR</sub> [mm/h]			Q <sub>P</sub> [m <sup>3</sup> /s]		
		t = t <sub>c</sub>	t = 2·t <sub>c</sub>	t = 4·t <sub>c</sub>	t = t <sub>c</sub>	t = 2·t <sub>c</sub>	t = 4·t <sub>c</sub>
5	0,38	10,8	6,0	3,3	156,4	86,2	47,5
10	0,41	13,0	7,1	3,9	202,5	111,6	61,5
25	0,44	14,4	7,9	4,4	241,5	133,1	73,4
50	0,48	20,2	11,1	6,1	368,8	203,3	112,1
100	0,51	21,6	11,9	6,6	419,9	231,4	127,6

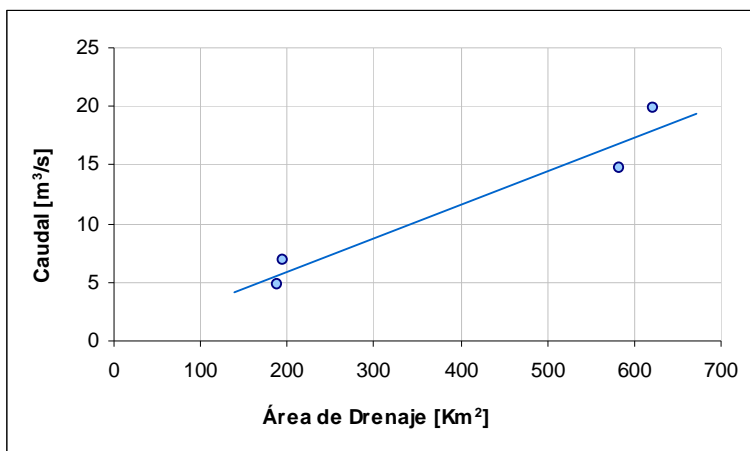
FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

**3.4. DEFINICIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO**

Para cumplir con el objetivo propuesto y en consideración de la información disponible, los caudales se evaluaron separadamente. Por una parte se determinaron los caudales medios y mínimos que limitan el aprovechamiento del agua para fines energéticos, y por otra, los caudales máximos, que son necesarios para diseñar las obras de protección de las captaciones.

**3.4.1. CAUDALES MEDIOS Y MÍNIMOS**

Los datos de caudales de las cuatro estaciones hidrométricas de la zona están fuertemente influenciados por las derivaciones y los usos del agua. El análisis de la variabilidad espacial de los caudales medios anuales de las cuencas con información de caudales muestra una tendencia clara, que se aprecia en la Figura 3.2, generada con datos del Cuadro 3.4.

**FIGURA 3.2****RELACIÓN REGIONAL DE CAUDALES MEDIOS ANUALES**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**CUADRO 3.4****VARIACIÓN ESPACIAL DE CAUDALES MEDIOS ANUALES**

ESTACIÓN	AREA	Qmed	qesp.
	[km²]	[m³/s]	[l/s/Km²]
Cebadas AJ Guamote	620,9	19,93	32,10
Huarhuallá AJ Cebadas	188,3	4,76	25,28
Guamote AJ Cebadas	583,0	14,79	25,37
Alao en Hda. Alao	195,0	6,85	49,96

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

Para la determinación de los caudales medios y mínimos se consideró como representativa a la estación hidrométrica Huarhuallá A. J. Cebadas, que dispone de información del período 1965 – 2001 y del año 2006, y que se localiza 9.8 km aguas abajo del sitio definido para la captación; es decir, la cuenca de estudio es parte de la cuenca de drenaje de la estación en referencia.

Se adoptó el modelo de transposición de caudales medios diarios, asumiendo un factor de proporcionalidad de áreas de drenaje de las cuencas consideradas, del siguiente tipo:

$$Q_{\text{ESTUDIO}} = \frac{A_{\text{ESTUDIO}}}{A_{\text{REFERENCIA}}} \cdot Q_{\text{REFERENCIA}} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

Donde:

$Q_{\text{ESTUDIO}}$ : Caudal medio diario de la cuenca de estudio en  $\text{m}^3/\text{s}$ ,

$Q_{\text{REFERENCIA}}$ : Caudal medio diario de la cuenca de referencia en  $\text{m}^3/\text{s}$ ,

$A_{\text{ESTUDIO}}$ : Área de drenaje de la cuenca de estudio en kilómetros, y

$A_{\text{REFERENCIA}}$ : Área de drenaje de la cuenca de referencia en kilómetros.

El factor de proporcionalidad de áreas para el presente modelo de transposición de caudales medios diarios es 0,728.

### 3.4.2. CAUDALES MÁXIMOS

Los caudales máximos se estimaron a partir de los datos de caudales máximos instantáneos anuales de las estaciones río Cebadas A.J. Guamote y río Alao en Hda. Alao; aplicando el método estadístico - probabilístico se determinaron los caudales con período de retorno asociados, que se incluyen en el Cuadro 3.5. En este análisis no se incluyó los registros de caudales máximos de la estación Huarhuallá A.J. Cebadas por ser de tipo limnimétrico.

#### CUADRO 3.5

##### CAUDALES MÁXIMOS PARA LAS ESTACIONES DE LA ZONA

TR	Cebadas AJ Guamote	Alao en Hda. Alao
[años]	$Q_{\text{max}} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{\text{max}} [\text{m}^3/\text{s}]$
5	246.17	99.36
10	295.00	130.00
25	340.00	160.00
50	380.00	195.00
100	421.58	226.08

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

A partir de estos datos se generó el Cuadro 3.6 de caudales específicos.

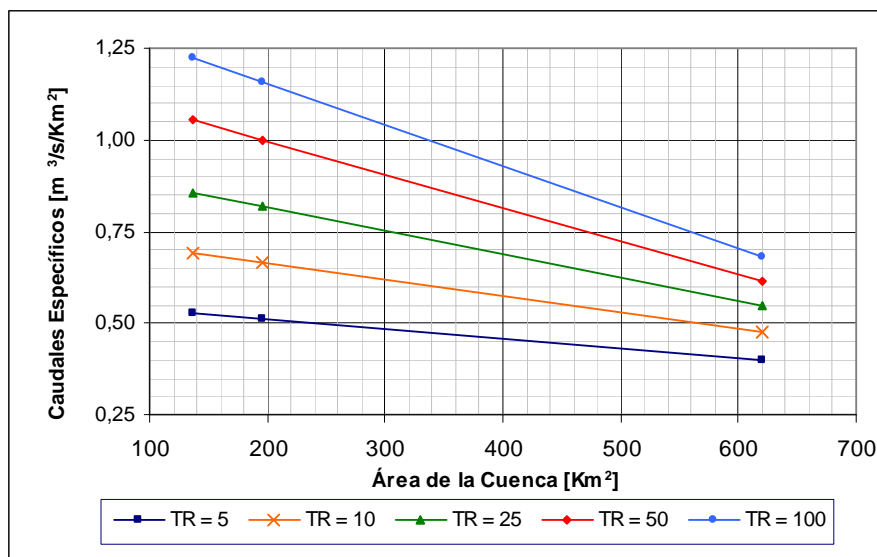
**CUADRO 3.6****CAUDALES MÁXIMOS ESPECÍFICOS**

TR	Cebadas AJ Guamote	Alao en Hda. Alao
[años]	A = 620,9 Km <sup>2</sup>	A = 195,0 Km <sup>2</sup>
5	0,40	0,51
10	0,48	0,67
25	0,55	0,82
50	0,61	1,00
100	0,68	1,16

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

Se obtuvieron curvas regionales de caudales específicos máximos, con períodos de retorno dados, a partir de las cuales se determinaron los caudales específicos máximos para el sitio de proyecto, en donde el área de la cuenca de drenaje es de 137.09 Km<sup>2</sup>. Las curvas regionales constan en la Figura 3.3.

**FIGURA 3.3****RELACIONES ENTRE CAUDALES MÁXIMOS ESPECÍFICOS CON EL ÁREA**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

Los caudales máximos determinados para el río Huarhuallá en la captación se incluyen en el Cuadro 3.7.

**CUADRO 3.7****CAUDALES MÁXIMOS EN EL RÍO HUARHUALLÁ, CAPTACIÓN**

Período de Retorno [años]	Caudales Máximos [m <sup>3</sup> /s]
	Medios
5	71,97
10	94,97
25	117,58
50	144,33
100	167,91

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**3.5. CURVA DE DURACIÓN GENERAL**

Con los datos de las series anuales de caudales medios diarios para el sitio de la captación del Proyecto de Riego Licto, obtenidos con el factor de proporcionalidad de áreas de drenaje que considera como representativa a la estación hidrométrica Huarhuallá A. J. Cebadas, se obtuvo la curva de duración general, cuyos caudales característicos constan en el Cuadro 3.8.

**CUADRO 3.8****CAUDALES NATURALES DEL RÍO HUARHUALLÁ, CAPTACIÓN**

Probabilidad [ % ]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
10	5,79
20	4,83
30	4,04
40	3,53
50	2,95
60	2,60
70	2,29
80	1,82
90	1,47
100	0,52
Qmedio	3,44

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

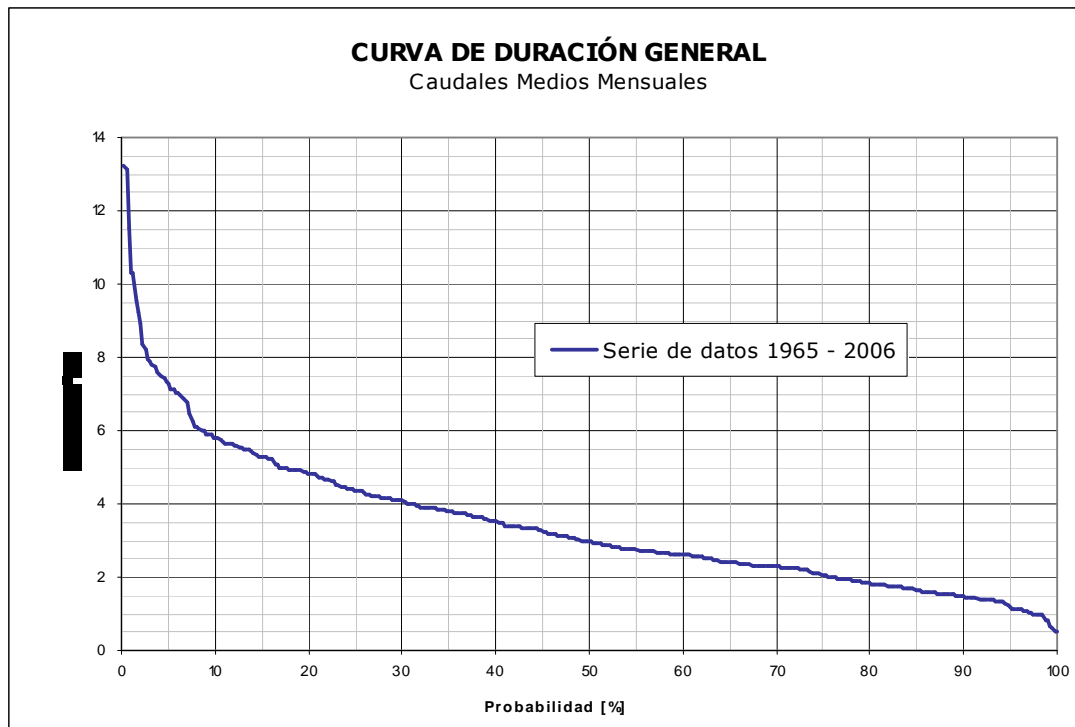
ELABORACIÓN: César Costa Costa

La Figura 3.4 corresponde a la curva de duración general para el río Huarhuallá en el sitio de la captación del Proyecto de Riego Licto, obtenida de la serie de

datos correspondiente al periodo 1965 – 2006 de caudales medios mensuales, con la presencia de ciertas intermitencias.

**Figura 3.4**

Curva de Duración General - Río Huarhuallá, Captación



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

### 3.6. DETERMINACIÓN DE VARIACIONES ESTACIONALES

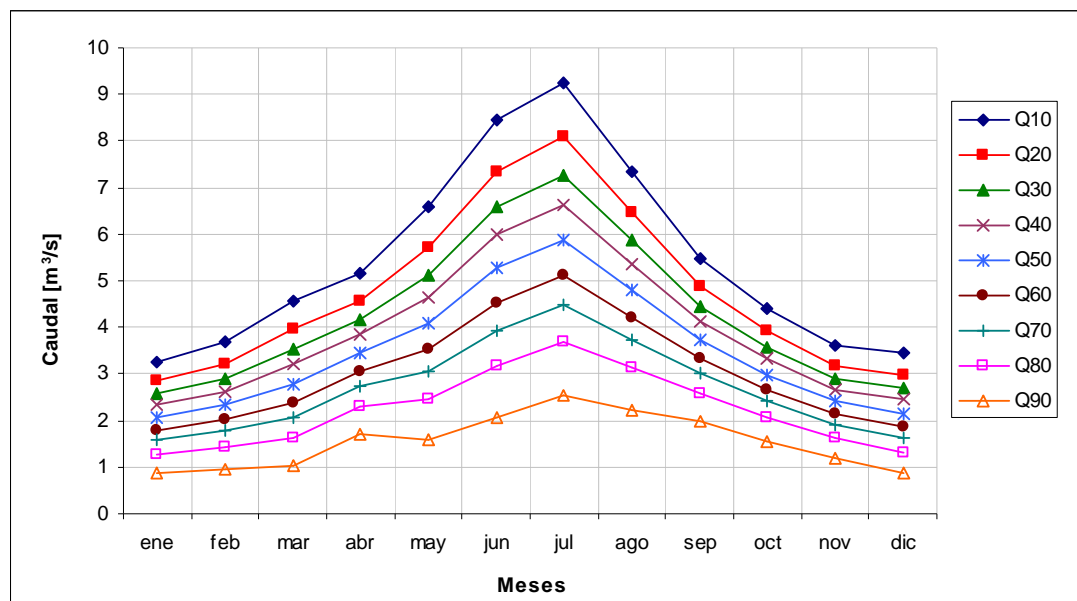
A continuación, en la Figura 3.5 se observan las curvas de la variación estacional de caudales medios mensuales, para distintas probabilidades de excedencia, para la serie de caudales medios diarios obtenidos con el modelo de proporcionalidad de áreas. Mientras que el Cuadro 3.9 muestra los valores de los caudales correspondientes a las curvas de variación estacional.

**CUADRO 3.9****CAUDALES DE LAS CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL**

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q <sub>10</sub>	3,27	3,69	4,57	5,17	6,58	8,45	9,23	7,36	5,46	4,42	3,59	3,43
Q <sub>20</sub>	2,86	3,22	3,96	4,57	5,72	7,35	8,08	6,48	4,87	3,93	3,18	2,99
Q <sub>30</sub>	2,57	2,89	3,53	4,16	5,11	6,58	7,27	5,86	4,45	3,58	2,89	2,68
Q <sub>40</sub>	2,34	2,64	3,19	3,83	4,65	5,98	6,64	5,38	4,12	3,31	2,67	2,44
Q <sub>50</sub>	2,07	2,33	2,79	3,44	4,08	5,26	5,88	4,80	3,73	2,99	2,40	2,15
Q <sub>60</sub>	1,80	2,02	2,39	3,05	3,52	4,54	5,12	4,22	3,34	2,67	2,13	1,86
Q <sub>70</sub>	1,57	1,77	2,06	2,73	3,05	3,94	4,49	3,74	3,01	2,40	1,91	1,62
Q <sub>80</sub>	1,28	1,44	1,62	2,31	2,44	3,17	3,68	3,12	2,59	2,06	1,62	1,31
Q <sub>90</sub>	0,87	0,97	1,01	1,72	1,59	2,07	2,53	2,23	2,00	1,57	1,21	0,87

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**FIGURA 3.5****CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa



## CAPÍTULO 4

### 4. ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El volumen total de sedimentos transportados por el río Huarhuallá, puede dividirse, de acuerdo al mecanismo de transporte en: carga de fondo, que es el material sólido arrastrado junto al fondo del cauce, y, carga de suspensión, que corresponde al volumen de material transportado por el flujo alejado del fondo.

#### 4.1. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA

Al interior de la cuenca hidrográfica de este río, las actividades agroproductivas son importantes por lo que se entiende que la producción de sedimentos es significativa. Además, el relieve de la cuenca es abrupto, con pendientes pronunciadas, sin embargo, los deslizamientos son poco frecuentes.

En el Cuadro 4.1 constan los datos de aforos sólidos para la estación Huarhuallá A.J. Cebadas, mientras que en la Figura 4.1 se representa los valores de los caudales sólidos en función del caudal líquido.

#### CUADRO 4.1

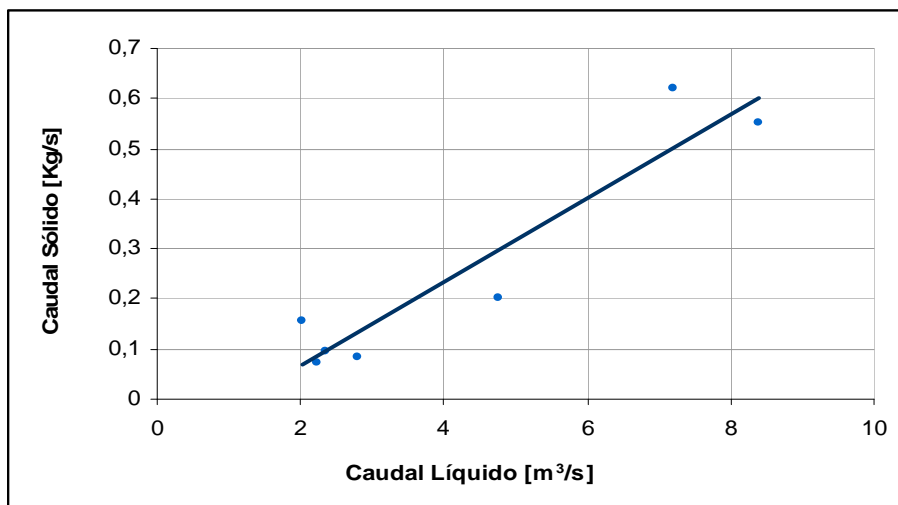
##### AFOROS SÓLIDOS – ESTACIÓN HUARHUALLÁ AJ CEBADAS

Año	Fecha	Caudal	Concentración	Gasto Sólido
		[m <sup>3</sup> /s]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[Kg/seg]
1970	12-Ago	8.400	0.066	0.551
1978	16-Feb	2.366	0.041	0.096
1978	02-Ago	7.190	0.087	0.622
1979	28-Mar	2.030	0.078	0.157
1980	18-Ene	2.233	0.033	0.074
1980	25-Jun	4.755	0.042	0.201
1981	20-Abr	2.802	0.030	0.085

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

**FIGURA 4.1**

CAUDAL LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL SÓLIDO



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

Con los datos del Cuadro 4.1 se generó la ecuación:

$$Q_s = 0.0836 \cdot Q_l - 0.1006 \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Es una relación de tipo lineal donde  $Q_s$  es caudal sólido y  $Q_l$  es caudal líquido. Mediante dicha relación se determinó que la concentración media anual de sólidos en suspensión en la estación Huarhuallá AJ Cebadas asciende a 9282.48 Ton/año.

## 4.2. ANÁLISIS DEL TRANSPORTE EN SUSPENSIÓN EN EL CURSO NATURAL

La carga total de sedimentos en suspensión para el río Huarhuallá en el sitio de la captación se estimó por proporcionalidad de áreas de las cuencas de drenaje correspondientes dando un valor de 6757.64 Ton/año.

### **4.3. ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE FONDO EN EL CURSO NATURAL**

Para valorar el transporte de sedimentos de fondo se consideró una carga adicional de 50 % de la carga de sólidos en suspensión, dando un valor de 3378.82 Ton/año.

## CAPÍTULO 5

### 5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE

Para desarrollar el aprovechamiento múltiple, el Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá plantea utilizar la infraestructura existente del Proyecto de Riego Licto, el caudal de concesión de este último es captado en el río Huarhuallá y corresponde a  $1.30 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En el tramo de conducción principal del Proyecto de Riego Licto desde la captación hasta el sifón de cruce con el río Chambo, no existen derivaciones, por lo que el caudal concesionado para el uso agrícola se mantiene constante en este tramo cuya longitud aproximada es de 12 km, es decir que las áreas de riego se ubican aguas abajo del cruce con el río Chambo.

El Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá ubicará el tanque de presión en la zona próxima al tanque de carga del sifón de cruce con el río Chambo, por lo tanto, la infraestructura que será común para los dos proyectos corresponde a las siguientes componentes:

- Obras de captación,
- Obras de desarenación, y
- Obras de aducción.

Naturalmente las obras de aducción que serán comunes a los dos proyectos corresponden a la conducción principal en el tramo que va desde la captación hasta el tanque de carga del sifón de cruce con el río Chambo.

## 5.1. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DEL PROYECTO DE RIEGO LICTO

En esta parte se presenta una descripción del estado actual de las obras existentes del Proyecto de Riego Licto que serán comunes para los dos proyectos en el aprovechamiento múltiple, esta descripción se basa en la visita de campo y el estudio geotécnico de la zona y tiene la finalidad de evaluar la capacidad hidráulica máxima, el estado y las características de operación de las obras mencionadas.

En la Fotografía 5.1 se observa la implantación de las obra captación y desarenación sobre la margen derecha del río Huarhuallá y el inicio de la conducción con el primer tramo de túnel.

### FOTOGRAFÍA 5.1

#### CAPTACIÓN Y DESARENACIÓN EN EL PROYECTO DE RIEGO LICTO



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

#### 5.1.1. OBRAS DE CAPTACIÓN

La captación está ubicada adecuadamente en la margen derecha del río Huarhuallá, sobre depósitos aluviales, y está protegida con muros. En el talud de esta margen aparece una secuencia de sedimentos aluviales, de épocas anteriores, en los cuales se pueden diferenciar arenas, y gravas de poco

transporte. Estos depósitos se encuentran en contacto discordante con rocas de la base.

La base de la ladera y del río está formada por roca proveniente de sedimentos muy antiguos, que han sufrido metamorfismo, deformándolos y llegando a producirse una roca muy fisible, poco compacta, masiva y fracturada. Sobre el sustrato rocoso se ha depositado cangahua, con espesores no mayores a diez metros.

La captación corresponde a una toma de rejilla lateral, conformada por un azud fijo de cierre que se desarrolla en todo el ancho de la sección transversal del río, con una longitud de 13 m. Para el tránsito de las crecidas el azud presenta un cimacio con perfil hidrodinámico que termina en el cuenco de disipación. Esta obra está construida en hormigón armado y su estado actual es bueno. La captación lateral cuenta con una rejilla de longitud igual a 6.7 m. Al momento de la visita de campo se observó que ésta se encuentra en buen estado por lo que opera sin dificultad. El desripiador ubicado tras la rejilla lateral cuenta con un vertedero y un canal de excesos controlado por una compuerta. Estas obras de captación han sido diseñadas para un caudal de  $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , que corresponde a la concesión para riego del proyecto Licto.

Luego del desripiador se inicia un canal enterrado que lleva el agua hacia el desarenador. La Fotografía 5.2 presenta las características físicas y de operación de la bocatoma mediante una vista desde aguas debajo de la obra de cierre, compuertas de limpieza en la zona cercana a la rejilla lateral y su descarga en el cauce del río Huarhuallá.

## FOTOGRAFÍA 5.2

### VISTA DESDE AGUAS ABAJO DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

#### 5.1.2. OBRAS DE DESARENACIÓN

Esta obra se encuentra ubicada sobre la margen derecha del río Huarhuallá y naturalmente presenta las mismas condiciones geológicas descritas para la captación.

El desarenador que ha sido diseñado para un caudal de  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  corresponde a una obra con una sola cámara de  $11.10 \text{ m}$  de largo y  $3.7 \text{ m}$  de ancho. Esta obra posee un canal de lavado el mismo que descarga en el río, aguas abajo de la obra de captación. La margen derecha está protegida por gaviones y pequeños muros de hormigón que se encuentran en buen estado.

La única cámara del desarenador finaliza con un vertedero que permite la salida del caudal hacia el túnel de conducción mediante una tubería de acero de  $760 \text{ mm}$  de diámetro que funciona parcialmente llena y se ubica bajo el nivel del suelo. El inicio de esta tubería se observa en el detalle de la Fotografía 5.3.

### FOTOGRAFÍA 5.3

#### DESARENADOR Y DETALLE DE LA TUBERÍA DE SALIDA



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

La tubería que conduce el agua desde el desarenador hasta el túnel de conducción descarga en forma perpendicular a la dirección de flujo de este último.

### 5.1.3. OBRAS DE ADUCCIÓN

La conducción principal, en el tramo comprendido desde la salida del desarenador hasta el sifón de cruce con el río Chambo, tiene una longitud aproximada de 12 km y está conformado por tramos de túnel, tramos de canal abierto y cubierto y tres sifones de cruce de quebradas.

#### 5.1.3.1. Tramos de túnel

La conducción principal del Proyecto de Riego Licto presenta tres tramos de túnel. El primer tramo de 655 m de longitud se inicia aguas abajo del desarenador, tiene una pendiente del 0.50 % y una sección transversal irregular de 2.10×2.25 m. Todo el perímetro interno del túnel en este primer tramo cuenta con un recubrimiento de hormigón que se encuentra en buen estado como se muestra en la Fotografía 5.4.



**FOTOGRAFÍA 5.4****INICIO DEL PRIMER TRAMO DE TÚNEL EN LA CONDUCCIÓN**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

Los dos tramos siguientes de túnel presentan una sección transversal irregular de  $1.80 \times 1.80$  m, las longitudes de estos tramos corresponden a 127 m y 783 m, y sus pendientes son de 0.50% y 0.67% respectivamente.

Los tres tramos de túnel, conectados entre sí mediante tramos de canal abierto, han sido sobredimensionados debido a condiciones constructivas. A la salida del tercer tramo de túnel se observa que el caudal de diseño es transportado con un calado de 0.45 m, dejando un bordo libre de 1.35 m, por lo que su capacidad hidráulica es superior al caudal de diseño.

En los primeros tres kilómetros desde la captación, la litología es muy variada y se encuentran contactos fallados, por lo cual se deben haber tomado las medidas constructivas necesarias dentro de los túneles.

El primer tramo de túnel atraviesa pocos metros de depósitos aluviales y luego debe atravesar directamente por la roca fisible de las turbiditas que son sedimentos metamorfisados y compactados de color gris oscuro. A continuación

el túnel atraviesa una gran variedad de rocas de diferentes litologías y orígenes que ocurren en forma de escamas, producto del metamorfismo y sistema compresivo que ha sufrido el estrato rocoso.

#### **5.1.3.2. Tramos de canal abierto y cubierto**

En la conformación de la conducción principal del Proyecto de Riego Licto existen tramos de canal abierto y cubierto, que corresponden aproximadamente al 82% de la longitud total de las obras de aducción.

A continuación del túnel se desarrolla un canal abierto de sección transversal trapezoidal cuyas dimensiones son: 0.90 m de ancho en el fondo, 1.00 m de altura y una inclinación de los taludes laterales de  $v:h = 2:1$  como se puede ver en el detalle de la Fotografía 5.5. El trazado del canal sigue junto al camino que conduce a la captación. La pendiente longitudinal es relativamente suave y varía entre 0.10% y 0.50%, por lo que el flujo es subcrítico.

El canal es de hormigón en toda su longitud. Su estado es bueno. El bordo libre previsto para transportar el caudal de diseño del proyecto de riego Licto es de 20 cm. Se cuenta con regletas ubicadas en secciones definidas para determinar el caudal de circulación en la conducción.

**FOTOGRAFÍA 5.5:****TRAMO DE CANAL ABIERTO EN LA CONDUCCIÓN PRINCIPAL**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

El canal de conducción atraviesa en su totalidad por cangahua. El corte del talud que se ha hecho para la construcción del canal varía en profundidad a lo largo de la conducción, pero no llega a ser mayor a los 20 metros. Este corte ha generado escarpes en los que aflora roca del sustrato, y que por ser bastante fracturada, ha producido inestabilidad en la cangahua.

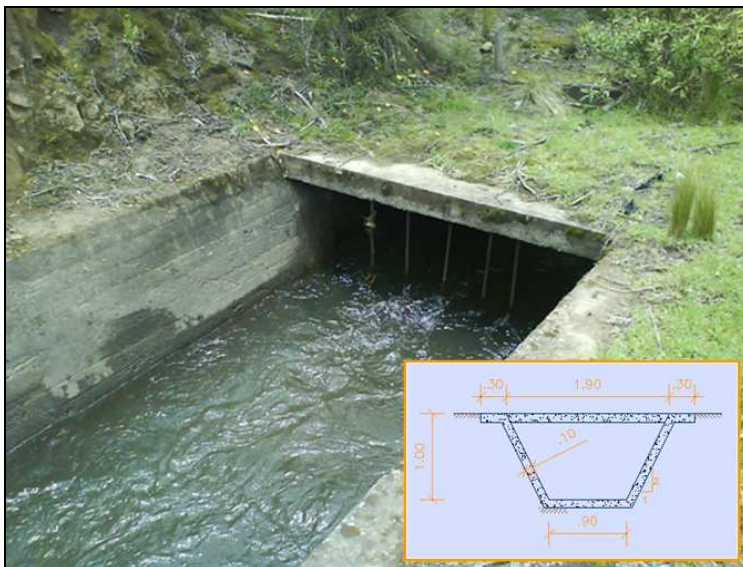
Para proteger la conducción contra deslizamientos frecuentes en la zona debido a la inclinación de los taludes de la ladera y al material de la misma, el Proyecto de Riego Licto presenta tramos cubiertos

En unos tramos se ha protegido el canal mediante una losa en forma de arco de 15 cm de espesor como se muestra en la Fotografía 5.6. Al momento de la visita se observó que para un caudal de circulación de  $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ , el nivel de agua en la parte del canal abierto es de 55 cm, y el flanco libre hasta la clave de la cubierta tipo arco es de 83 cm.

**FOTOGRAFÍA 5.6****TRAMO DE CANAL CUBIERTO CON LOSA DE ARCO**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

En otros tramos el canal ha sido cubierto para su protección mediante una losa plana del mismo espesor que la primera, en algunos casos esta losa forma parte de la calzada de circulación de vehículos. La sección de este tramo de canal se muestra en el detalle de la Fotografía 5.7.

**FOTOGRAFÍA 5.7****TRAMO DE CANAL CUBIERTO CON LOSA PLANA**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

Como una obra especial en la conducción se tiene un acueducto cuya longitud aproximada es de 40 m. La sección transversal del acueducto es rectangular de 1.90 m de base y 1.00 m de altura. Esta estructura permite el paso de la conducción sobre una depresión, está construido en hormigón armado al igual que las pilas sobre las que se apoya separadas entre si cada 5.00 m.

### **FOTOGRAFÍA 5.8**

#### **ACUEDUCTO EN LA CONDUCCIÓN PRINCIPAL**



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

#### **5.1.3.3. Sifones de cruce de quebradas**

Para cruzar tres quebradas en la conducción principal del Proyecto de Riego Licto en el tramo comprendido entre la captación y el tanque de carga del sifón de cruce con el río Chambo, se han ubicado tres sifones menores.

Cada sifón se inicia con un tanque de carga en el cual la tubería se ubica de tal forma que el flujo ingresa con superficie libre hacia la misma para todo el rango de caudales menores al de diseño, que para estos cruces es de  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Los tres sifones y sus tanques de carga presentan prácticamente las mismas características que se describen a continuación:

- En general, las estructuras componentes en el tanque de carga del sifón están en buen estado y operan adecuadamente para el rango de caudales inferiores al de diseño.
- La tubería de los sifones es de acero, con un diámetro interno de 820 mm.
- Los sifones tienen un desnivel total de 1.0 m entre la superficie libre en la cámara de ingreso del tanque de carga y la superficie libre del tanque de salida.
- Para la salida de aire existen válvulas tipo IEOS en la parte inicial del ramal descendente.
- La conformación del tanque de carga de los sifones corresponde a un ensanchamiento relativamente pequeño del canal de conducción.
- El tanque de carga de los sifones finaliza con un vertedero que descarga el flujo en la cámara de inicio del ramal descendente del sifón.
- Cada tanque cuenta con un vertedero de excesos y la respectiva obra de descarga de estos caudales de excesos.

En el Cuadro 5.1 se presenta un resumen con la información de los tres sifones menores de cruce de quebradas.

### **CUADRO 5.1**

#### **RESUMEN DE LOS SIFONES DE CRUCE DE QUEBRADAS**

<b>Denominación</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Longitud [m]</b>	<b>Cota aproximada [msnm]</b>
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>		
Sifón № 2	767608	9792188	227	3099
Sifón № 3	767544	9793641	282	3093
Sifón № 4	767421	9794454	197	3092

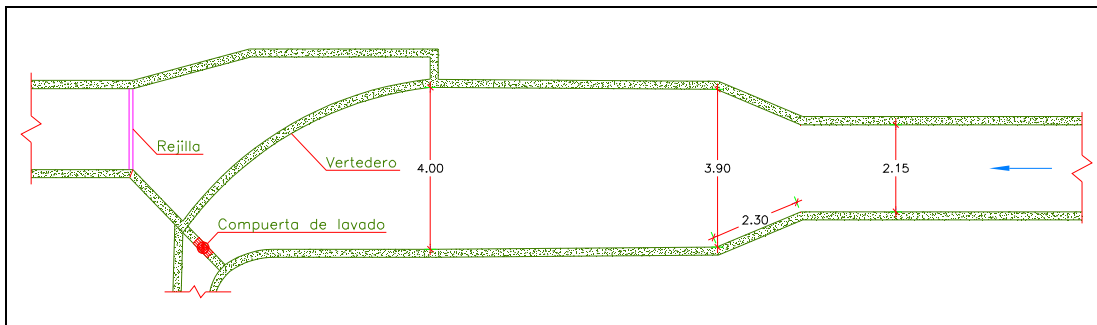
FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

El dimensionamiento del tanque de carga tipo para los sifones de cruce de quebradas en la conducción principal del Proyecto de Riego Licto se presenta en la Figura 5.1 que se muestra a continuación.

**FIGURA 5.1**

VISTA EN PLANTA DEL TANQUE DE CARGA TIPO PARA LOS SIFONES 2, 3, 4



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
 ELABORACIÓN: César Costa Costa

La Fotografía 5.9 muestra la conformación del tanque de carga del sifón № 2. En el detalle se observa el ingreso del flujo a la tubería a través de la rejilla. El inicio del ramal descendente se ubica sobre suelo estable y se encuentra parcialmente enterrado.

**FOTOGRAFÍA 5.9**

TANQUE DE CARGA DEL SIFÓN № 2



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

El sifón № 2 cruza sobre roca, cerca de un movimiento de masa que ha ocurrido aguas arriba de la quebrada. Sin embargo no hay riesgo de inestabilidad en el sitio actual como se observa en la Fotografía 5.10.

**FOTOGRAFÍA 5.10****RAMAL DESCENDENTE DEL SIFÓN Nº 2**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

El ramal descendente de la tubería del sifón Nº 3 es aéreo y se ubica elevado sobre el nivel del suelo apoyándose sobre pilares de hormigón armado, los cuales se encuentran en mal estado, con grietas grandes e inestables en un tramo de unos 100 m aproximadamente como se aprecia en la Fotografía 5.11.

**FOTOGRAFÍA 5.11****RAMAL DESCENDENTE DEL SIFÓN Nº 3**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.



En la zona del sifón № 4 se observan varios deslizamientos que han producido el colapso total del canal de descarga de excesos y comprometen la estabilidad de la vía de mantenimiento del Proyecto Licto. Además la tubería de este sifón se encuentra en grave peligro debido al deslizamiento del talud de apoyo, existiendo un tramo en que la tubería se encuentra en el aire apoyada de manera inestable sobre dos pilas de hormigón armado. Las características de este tramo se observan en la Fotografía 5.12.

### **FOTOGRAFÍA 5.12**

#### **RAMAL DESCENDENTE DEL SIFÓN № 4**



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

Finalmente, en las coordenadas E7664928, N9795370 se encuentra el sifón mayor de cruce con el río Chambo, denominado también sifón № 5; el mismo que tiene la máxima altura que alcanza algo más de los 320 m y cruza el río mediante un paso elevado.

La geometría del tanque de carga del sifón № 5 es algo diferente a la de los anteriores, sin embargo el sistema de ingreso de flujo hacia la tubería es esencialmente el mismo como se observa en la Fotografía 5.13. El vertedero es

lateral con una altura de 1.50 m, la cámara de ingreso posee una rejilla que evita la entrada de basura o escombros hacia el sifón.

La tubería que conforma el sifón se inicia perpendicular a la dirección de la conducción y al igual que en los sifones anteriores, la tubería es también de acero y 820 mm de diámetro interno.

### **FOTOGRAFÍA 5.13**

#### **TANQUE DE CARGA DEL SIFÓN Nº 5**

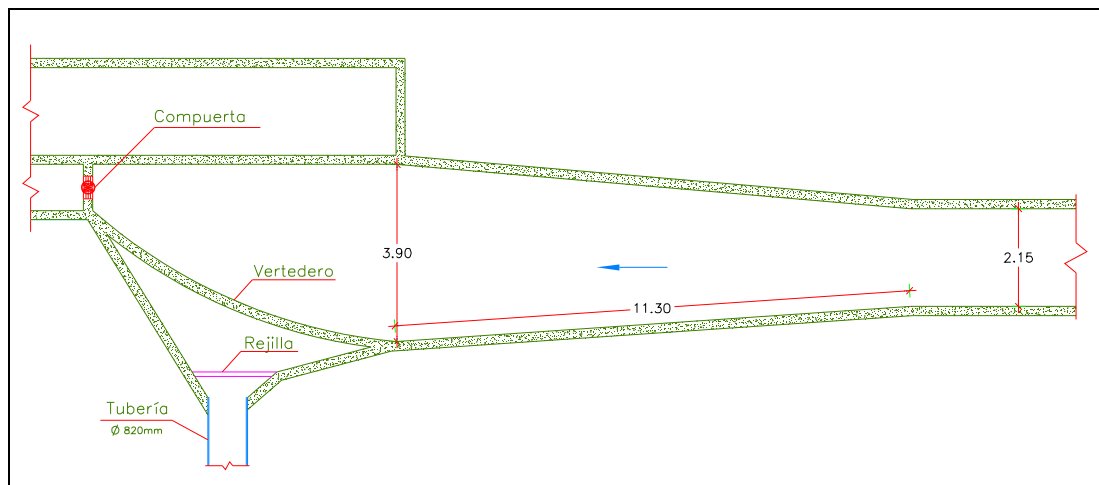


FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

El dimensionamiento del tanque de carga del sifón de cruce con el río Chambo en la conducción principal del Proyecto de Riego Licto se presenta en la Figura 5.2 que se muestra a continuación.

**FIGURA 5.2**

VISTA EN PLANTA DEL TANQUE DE CARGA DEL SIFÓN Nº 5



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
 ELABORACIÓN: César Costa Costa

## 5.2. EVALUACIÓN DE LAS OBRAS EXISTENTES EN EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE

En base a la información existente del proyecto de Riego Licto, los resultados del análisis sobre la disponibilidad del recurso hídrico, y las restricciones y disponibilidades de las características topográficas, orográficas y de calidad del suelo y subsuelo, se pudo concluir en los capítulos anteriores, que el desarrollo de la central Hidroeléctrica Huarhuallá es técnicamente viable para un caudal de diseño de  $2.00 \text{ m}^3/\text{s}$  y un desnivel de 310 m.

El caudal de diseño para el aprovechamiento de riego e hidroeléctrico, corresponde a  $3.30 \text{ m}^3/\text{s}$ . Naturalmente, como se vio en el punto anterior, las obras existentes en el Proyecto de Riego Licto fueron construidas para un caudal de diseño menor al contemplado en el aprovechamiento múltiple. Por esta razón los componentes existentes que serán comunes a los dos proyectos, deben ser evaluados con la finalidad de determinar la posibilidad de su readecuación para el desarrollo del aprovechamiento múltiple.

### **5.2.1. EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN**

La bocatoma actual del Proyecto de Riego Licto ha sido diseñada para captar un caudal de  $1.30 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para garantizar la captación del caudal conjunto para los dos proyectos, que corresponde a  $3.30 \text{ m}^3/\text{s}$ , y poder utilizar la conducción en el tramo comprendido entre la captación y el tanque de carga del sifón de cruce con el río Chambo, se requiere que la galería de captación en la bocatoma existente sea elevada una altura mínima de 1.5 m sobre el nivel actual. Para lograr este objetivo técnico se evaluaron dos posibilidades que se indican a continuación:

- a) Construir una nueva obra de toma en una sección ubicada aguas arriba de la actual, hasta lograr el incremento requerido en la cota de captación. Esto exigiría que la obra de toma sea ubicada unos 150 m aguas arriba de la sección actual, incrementando también la longitud de la conducción desde la toma hasta el desarenador en la margen derecha del río, cuyo talud es bastante empinado y generaría cortes relativamente importantes.
- b) Construir una nueva obra de toma en el mismo sitio de la actual, incrementando la cota de captación y de salida del caudal. Esto elimina la necesidad de construir conducciones adicionales, pero exige el cambio del tipo de estructura de captación para poder elevar la cota de salida del agua.

El análisis técnico nos permite seleccionar a la segunda posibilidad como la más apropiada para cumplir con el objetivo planteado en la readecuación de las obras existentes para el aprovechamiento múltiple.

### **5.2.2. EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE DESARENACIÓN**

La obra existente fue diseñada para un caudal de  $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , corresponde a un desarenador de una sola cámara, sin canal de paso, por lo que sus operaciones de lavado exigen la suspensión del servicio en el sistema de riego.

La exigencia en la desarenación para un proyecto hidroeléctrico necesariamente es mucho mayor que en un proyecto de riego, y no es admisible suspender el servicio para operaciones de limpieza, pues esto representa importantes pérdidas económicas y posibles conflictos en el funcionamiento hidráulico del sistema.

El actual desarenador no podrá ser utilizado en el proyecto de aprovechamiento múltiple. Se requiere la construcción de una nueva obra que permita garantizar la retención de sólidos con tamaños no mayores a 0.20 mm según lo recomendado por la literatura técnica y que esté conformado por más de una cámara para garantizar operaciones de lavado sin la suspensión del servicio.

La conducción existente entre la captación y el actual desarenador, y la conducción que conecta el desarenador con la entrada del primer tramo de túnel, no podrán ser utilizadas en el proyecto de aprovechamiento múltiple, en su lugar se debe construir nuevas conducciones en la misma zona que las existentes.

### **5.2.3. EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DE ADUCCIÓN**

Como se vio anteriormente la conducción principal, en el tramo comprendido desde la salida del desarenador hasta el sifón de cruce con el río Chambo, tiene una longitud aproximada de 12 km y está conformado por tramos de túnel, tramos de canal abierto y cubierto y tres sifones de cruce de quebradas.

Los tres tramos de túnel en la conducción principal han sido sobredimensionados debido a condiciones constructivas, los túneles construidos son hidráulicamente capaces de transportar los 3.30 m<sup>3</sup>/s a superficie libre, por lo que en estos tramos no se requieren adecuaciones para el proyecto de aprovechamiento múltiple.

La capacidad hidráulica en los tramos de canal abierto y cubierto no es suficiente para transportar el caudal contemplado en el aprovechamiento múltiple. En consecuencia, la sección transversal del canal requiere ser ampliada para conducir el nuevo caudal de diseño.

Los tres sifones de cruce de quebradas que conforman la conducción principal del Proyecto de Riego Licto fueron dimensionados para transportar un caudal de 1.00 m<sup>3</sup>/s. Estas estructuras no pueden ser sobrecargadas por lo que para el proyecto de aprovechamiento múltiple se prevé la construcción de nuevos sifones para conducir en similares condiciones el caudal de 2.00 m<sup>3</sup>/s, que corresponde exclusivamente al caudal del proyecto hidroeléctrico.

### **5.3. REQUERIMIENTO DE OBRAS EN EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE**

Para desarrollar la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, a más de las obras existentes en el Proyecto de Riego Licto que podrían ser readecuadas para el proyecto de aprovechamiento múltiple, es decir las obras de captación, las obras de desarenación y las obras de aducción, requiere de las obras que se indican a continuación:

- Tanque de presión,
- Tubería de presión,
- Casa de máquinas, y
- Canal de restitución.

El Cuadro 5.2 presenta un resumen de las obras necesarias para desarrollar conjuntamente los proyectos hidroeléctrico y de riego de acuerdo a la disponibilidad de las obras existentes y al requerimiento de nuevas estructuras.

## CUADRO 5.2

### REQUERIMIENTO DE OBRAS EN EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE

Obras civiles	Q <sub>diseño</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Requerimiento
Obras de captación	3.30	Construcción nueva
Conducción captación-desarenador	3.30	Construcción nueva
Obras de desarenación	3.30	Construcción nueva
Conducción desarenador-túnel	3.30	Construcción nueva
Obras de aducción: túneles	3.30	Ninguno
Obras de aducción: canal abierto	3.30	Ampliación se la sección transversal
Obras de aducción: canal cubierto	3.30	Ampliación se la sección transversal
Obras de aducción: sifones	1.30 + 2.00	Colocación de una tubería paralela
Tanque de presión	2.00	Construcción nueva
Tubería de presión	2.00	Construcción nueva
Casa de máquinas	2.00	Construcción nueva
Obras de restitución	2.00	Construcción nueva

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

## 5.4. POSICIONAMIENTO Y GEOREFERENCIACIÓN GPS

Considerando que el presente estudio es a nivel de prefactibilidad y luego de la inspección de campo de los sitios de interés de la central se determinó la necesidad de colocar estratégicamente 3 puntos GPS: en el sitio de inicio de la conducción, en el sitio del tanque de carga, y en el sitio donde se ubicará la casa de máquinas.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el informe de posicionamiento y georeferenciación GPS, realizado por la Escuela Politécnica Nacional para la Central Hidroeléctrica Huarhuallá.

Los vértices se encuentran georeferenciados tanto en coordenadas como en cota con respecto a dos sistemas:

- Al Sistema Internacional **PSAD56**, Proyección cartográfica UTM Ecuador Zona 17 W 84°...W 78°y a nivel medio del mar.
- Al Sistema Internacional **WGS84**, Proyección cartográfica UTM Ecuador Zona 17 W 84°...W 78°y a nivel medio del mar.

**CUADRO 5.3****POSICIONAMIENTO Y GEOREFERENCIACIÓN GPS**

Sector	Código	Coordenadas UTM Sistema PSAD56		Coordenadas UTM Sistema WGS84		Cota [msnm]	Ubicación
		Este	Norte	Este	Norte		
Riobamba	RIOBAMBA VI-2007	760674.389	9815748.571	760424.755	9815382.855	2798.805	Hito Base, ubicado en el Hospital del IESS de Riobamba
Inicio de la Conducción	CAP H_1	773401.878	9790072.037	773152.094	9789706.511	3114.377	Junto al inicio del túnel en la conducción del proyecto de riego Licto
Tanque de Carga	TQ_2	766938.022	9795366.699	766688.301	9795001.145	3087.955	Junto al tanque de carga del sifón No. 5 del proyecto de riego Licto
Casa de Máquinas	C MAQ_3	766753.760	9795930.476	766504.030	9795564.900	2774.014	Junto al Río Chambo, en una terraza a unos 100 m aguas abajo del cruce del sifón N° 5

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

La diferencia de nivel entre el tanque de carga del sifón y el sector destinado para la casa de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá es de 313.94 metros.

### **5.5. ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS BENEFICIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE**

La central hidroeléctrica Huarhuallá utilizará la infraestructura del proyecto existente Licto en el tramo comprendido entre la captación y el tanque de carga del sifón de cruce con el río Chambo, con un desarrollo de aproximadamente 12 km; por lo tanto estos componentes deberán ser readecuados para garantizar su funcionamiento con el caudal conjunto para el aprovechamiento de riego e hidroeléctrico, que alcanza un caudal de diseño total de 3.30 m<sup>3</sup>/s.

La decisión de aprovechar los caudales disponibles en el río Huarhuallá para la generación hidroeléctrica permitirá lograr la optimización en el manejo del recurso, generando una motivación concreta y eficaz para lograr la minimización de pérdidas en el sistema de riego buscando alcanzar los niveles máximos de generación. Estos



dos proyectos se potencian mutuamente dando como resultado el esfuerzo necesario para alcanzar el uso racional del recurso en una zona donde se siente ya la falta del mismo, especialmente durante las épocas de verano.

De igual modo, como medida de adaptación al cambio climático, el desarrollo de este tipo de proyectos elimina la necesidad del incremento del parque termoeléctrico o de producción no limpia de energía.

## **CAPÍTULO 6**

### **6. DISEÑO BÁSICO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL**

En este capítulo se presenta el dimensionamiento a nivel de prefactibilidad de las obras civiles requeridas en el Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá. El proceso de diseño de las obras hidráulicas se encuentra en el Anexo 2, mientras que en el Anexo 6, se presentan los planos del diseño hidráulico básico.

#### **6.1. OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA**

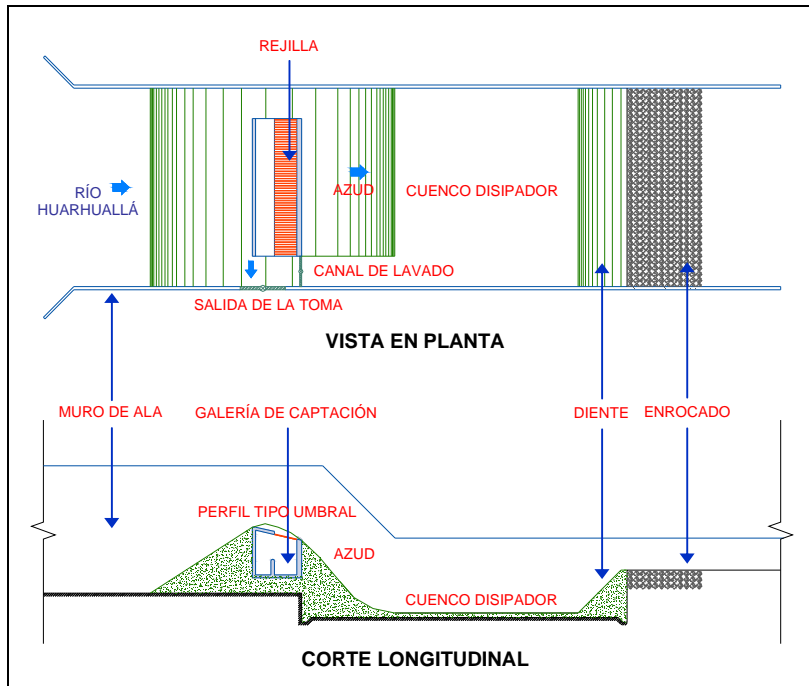
Considerando las características morfológicas del Río Huarhuallá en el tramo de captación se ha diseñado una toma con rejilla de fondo, apropiada para ríos con pendientes relativamente fuertes, en donde se presentan crecidas súbitas durante las que se arrastra gran cantidad de material grueso.

La obra de rejilla de fondo consiste en un azud que cubre el ancho de la sección transversal del río y está conformado por la sección de cierre en que se dispone la rejilla de fondo y un cuenco disipador de energía.

En el presente estudio se realizará el diseño de los elementos que se detallan a continuación:

- Rejilla de captación,
- Galería de captación,
- Perfil tipo umbral,
- Cuenco disipador, y
- Enrocado, y
- Canal de ingreso al desarenador

En la Figura 6.1 se representan de manera general los componentes principales de la obra de toma con rejilla de fondo.

**FIGURA 6.1****ESQUEMA DE UNA CAPTACIÓN DE REJILLA DE FONDO**

ELABORACIÓN: César Costa Costa

En el Anexo 2.1 se presenta el procedimiento de cálculo de cada uno de los elementos antes mencionados.

### 6.1.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA REJILLA

En el diseño de la rejilla de captación, las dimensiones han sido adoptadas según la metodología de cálculo que se presenta en el documento Taller de Microcentrales Hidroeléctricas Montevideo-Uruguay<sup>9</sup>.

La rejilla de fondo se dispondrá en un tramo de 9 m en la parte central del azud el cuál tiene una longitud central de 13 m de acuerdo al sitio escogido para la implantación de la obra de toma.

<sup>9</sup> Taller de Microcentrales Hidroeléctricas Montevideo-Uruguay. 1990.

A 3.50 m sobre el cauce del río, se ha dispuesto una rejilla conformada por barrotes TEE 30x3 mm colocados en forma paralela y separados 5 cm entre sí, los barrotes tienen una longitud de 1.50 m y una pendiente horizontal del 20% en el sentido de flujo.

La rejilla ingresará el agua hacia la galería de captación y permitirá que el material grueso circule sobre la captación.

### **6.1.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA GALERÍA DE CAPTACIÓN**

La galería de captación está conformada por una doble cámara: la primera o cámara de ingreso está ubicada directamente bajo la rejilla y permite el ingreso de agua y sólidos de tamaño menor al de separación entre los barrotes de la rejilla, esta cámara es utilizada como desripador; la segunda cámara o cámara de conducción se dispondrá de forma contigua aguas arriba de la primera, separadas entre sí por un vertedero semicircular, lo que permitirá conducir el agua con partículas más finas hasta la salida de la captación. La Figura 6.2 muestra un corte de la galería con doble cámara que se ubica al interior del azud de cierre de la obra de captación.

La metodología aplicada para el cálculo de la primera cámara ha sido adoptada en base al Diseño Hidráulico de Sviatoslav Krochin<sup>10</sup> y el Manual el Taller de Microcentrales Hidroeléctricas, considerando los criterios de diseño de canal de gasto variable que se fundamenta en establecer una ley de variación de la velocidad a lo largo del canal de manera que pueda definirse la pendiente del canal y su correspondiente calado.

La pendiente del fondo de la cámara desripadora es del 7%, lo que garantiza que el material sólido depositado pueda ser arrastrado por el flujo durante las operaciones de limpieza. Este material será expulsado periódicamente hacia

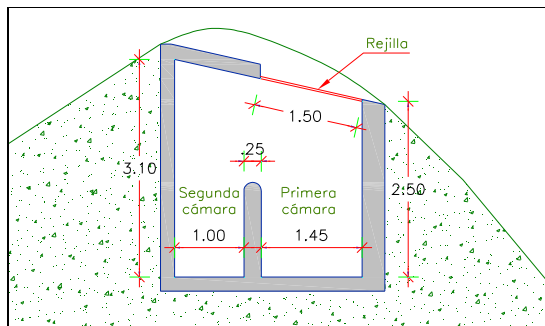
---

<sup>10</sup> SVIATOSLAV KROCHIN. Diseño Hidráulico. 1978.

aguas abajo de la cámara mediante una compuerta de lavado, y saldrá hacia el zampeado donde será arrastrado por el flujo del río.

**FIGURA 6.2**

**CORTE DE GALERÍA CON DOBLE CÁMARA**



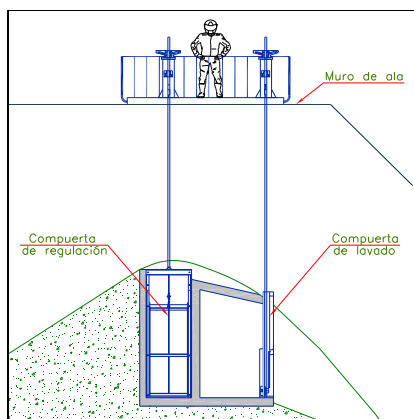
FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

Se ha dispuesto además una compuerta plana ubicada en la sección transversal final de la segunda cámara o de conducción para regular el caudal captado. Durante el tiempo de operación normal la compuerta de regulación mantendrá una apertura fija; únicamente para las operaciones de limpieza de la cámara de conducción, esta compuerta deberá ser abierta totalmente para permitir que el material sólido depositado sea arrastrado hacia el inicio del canal abierto donde será evacuado mecánicamente. En la Figura 6.3 se muestra un detalle de las compuertas de lavado y de regulación.

**FIGURA 6.3**

**DETALLE DE LAS COMPUERTAS DE LAVADO Y DE REGULACIÓN**



ELABORACIÓN: César Costa Costa

### 6.1.3. DIMENSIONAMIENTO DEL PERFIL TIPO UMBRAL

El perfil tipo umbral constituye la forma ideal para obtener óptimas descargas, su forma se aproxima a la de la superficie inferior de la lámina que sale por un vertedor en pared delgada. La metodología aplicada para el cálculo del perfil ha sido adoptada en base al Diseño de Presas Pequeñas de la Bureau of Reclamation<sup>11</sup>. El perfil tipo umbral está definido por la ecuación:

$$\frac{y}{H_o} = -k \left( \frac{x}{H_o} \right)^n \quad (\text{Ecuación 6.1})$$

Donde:

- x: Valor de la abscisa del perfil tipo umbral en metros,
- y: Valor de la ordenada del perfil tipo umbral en metros,
- k, n: Constantes cuyos valores dependen de la inclinación de aguas arriba y de la velocidad de llegada,
- H<sub>o</sub>: Carga total sobre la cresta, incluyendo la carga correspondiente a la velocidad de llegada;

Para el diseño del perfil tipo umbral del presente proyecto se ha considerado el caudal correspondiente a los dos tercios del caudal de máxima crecida con periodo de retorno de 25 años, equivalente a 117.58 m<sup>3</sup>/s.

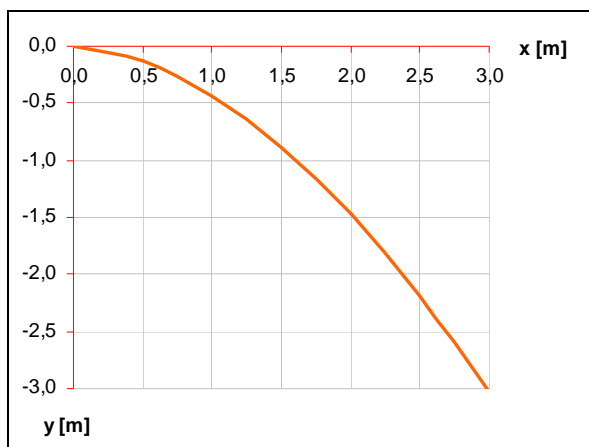
En la Figura 6.4 se muestra el perfil de la cresta que corresponde a los valores obtenidos utilizando el método mencionado.

---

<sup>11</sup> BUREAU OF RECLAMATION. Diseño de Presas Pequeñas. 1982

**FIGURA 6.4**

PERFIL TIPO UMBRAL DEL AZUD DE CIERRE DE LA CAPTACIÓN



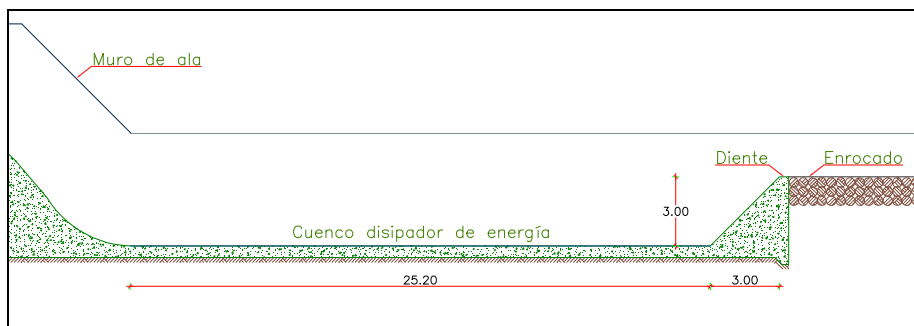
ELABORACIÓN: César Costa Costa

#### 6.1.4. DIMENSIONAMIENTO DEL CUENCO DISIPADOR

Con el objetivo de proteger el cauce del río, aguas abajo del azud se ha dispuesto un cuenco de disipación de energía que permite la formación de resalto hidráulico antes de la entrega del flujo al cauce natural. La longitud de esta cubeta de disipación es de 25.20 m y una profundidad de 3.00 m. El caudal de diseño para el dissipador de energía corresponde también a la crecida con periodo de retorno de 25 años. La Figura 6.5 muestra un corte longitudinal del cuenco dissipador de energía con las dimensiones establecidas de acuerdo al diseño del mismo.

**FIGURA 6.5**

CORTE LONGITUDINAL DEL CUENCO DISIPADOR DE ENERGÍA



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

### **6.1.5. DIMENSIONAMIENTO DEL ENROCADO**

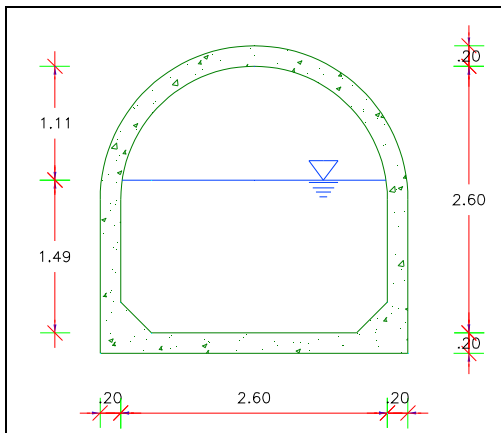
Para garantizar la protección del lecho aluvial aguas abajo de la bocatoma, se ha previsto a continuación del zampeado, un enrocado de 10 m de longitud en el sentido de flujo y 0.75 m de espesor bajo el nivel del cauce natural. El diámetro medio del material que forma el enrocado es de 0.25 m. El enrocado protegerá el cauce natural del efecto erosivo de la corriente, garantizando la estabilidad de la bocatoma.

### **6.1.6. DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL DE INGRESO AL DESARENADOR**

La nueva conducción entre la obra de captación y el desarenador se desarrolla sobre la margen derecha del río Huarhuallá, en la misma zona que la existente, con una longitud de 38 m, desde la compuerta de regulación hasta el inicio de la transición de entrada al desarenador.

Este tramo de conducción está conformado por un canal embaulado de hormigón, cuya sección transversal se muestra en la Figura 6.6 correspondiente a una geometría tipo baúl de 2.6×2.6 m. La pendiente longitudinal es de 0.0002 m/m y la velocidad de flujo en este tramo será de 0.85 m/s; con lo que se garantiza que no ocurra depósito de material sólido ni desgaste en las paredes o fondo del canal, cuyo calado para el caudal de captación de 3.3 m<sup>3</sup>/s es de 1.49 m.



**FIGURA 6.6****SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL DE INGRESO AL DESARENADOR**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

## 6.2. OBRAS DE DESARENACIÓN

El desarenador tiene como objetivo separar y remover el material sólido captado junto al caudal líquido y que es derivado desde la bocatoma. Según la normativa común del dimensionamiento hidráulico de centrales hidroeléctricas, el desarenador debe retener sólidos con tamaños iguales o mayores a 0.20 mm, con el objetivo de garantizar la vida útil prevista para la tubería de presión y las turbinas. El material sólido de menor tamaño, si no es abrasivo, puede transitar a lo largo de todo el sistema.

Para el presente proyecto se ha previsto una estructura de lavado intermitente, de triple cámara, con lo que se garantiza que las operaciones de limpieza no interfieran en la operación de la central. Para cumplir con estas funciones el desarenador se compone de los elementos que se detallan a continuación:

- Cámaras desarenadoras
- Transiciones de entrada y de salida
- Vertedero tipo laberinto
- Orificio de lavado

La metodología aplicada para las dimensiones del cálculo del desarenador ha sido tomada del libro Diseño Hidráulico de Stavioslav Krochin y los criterios de diseño para el vertedero en laberinto han sido tomados del Proyecto de Titulación “Vertederos en Laberinto” del Ing. Francisco Pazmiño Gavilanes.

En el Anexo 2.2 se presenta el procedimiento de cálculo de cada uno de los elementos del desarenador antes mencionados.

### **6.2.1. DIMENSIONAMIENTO DE LAS CÁMARAS DESARENADORAS**

Las cámaras de sedimentación son aquellas en las cuales las partículas sólidas caen al fondo debido a la disminución de velocidad producida por el aumento de sección. El desarenador contemplado para el presente proyecto tiene tres cámaras idénticas que funcionarán con el caudal de diseño repartido entre ellas y serán dimensionadas para la mitad de dicho caudal, debido a que mientras se realizan las operaciones de lavado en una de las cámaras, las otras dos continuarán en sus funciones de sedimentación.

Como se mencionó anteriormente, en cada una de las cámaras se debe garantizar las condiciones de flujo que permitan que las partículas sólidas de tamaño igual o mayor a 0.20 mm caigan al fondo de cada cámara. La sección transversal de cada cámara desarenadora tiene un ancho de 2.90 m y una altura útil de 2.84 m. La longitud efectiva adoptada para cada una de las cámaras desarenadoras es de 31.50 m. La velocidad de flujo se reduce a 0.20 m/s, para garantizar los requerimientos de sedimentación antes mencionados para el proyecto. La Figura 6.7 muestra un corte y la vista en planta del desarenador previsto para el presente proyecto en el río Huarhuallá.



### **6.2.2. DIMENSIONAMIENTO DE LAS TRANSICIONES DE ENTRADA Y DE SALIDA**

Con el objetivo de asegurar una distribución uniforme de velocidades en distintas secciones del desarenador que garantice la eficiencia en la sedimentación, la transición de entrada debe tener un ángulo de divergencia suave, no mayor de  $12^{\circ} 30'$  según lo recomendado por la literatura técnica.

Adicionalmente para asegurar una buena distribución de velocidades en el ancho total del desarenador se ha previsto la colocación de una pantalla uniformizadora conformada por una reja de elementos rectangulares de  $10 \times 10$  cm, separados entre sí 20 cm y contruidos en hormigón. La función de esta pantalla es eliminar posibles zonas de separación del flujo o zonas de flujos secundarios, evitando así la formación de cortocircuitos hidráulicos en el desarenador, lo que garantiza el aprovechamiento de todo el fondo previsto en el diseño.

El ancho del canal de ingreso al desarenador es de 2.60 m, por lo que la longitud total requerida para la transición de entrada es de 15 m. Para la transición de salida se han adoptado los mismos criterios, para empatar el desarenador con el canal de salida que conduce al inicio del túnel de la conducción principal. En la Figura 6.7 se pueden observar las transiciones de entrada y salida del desarenador.

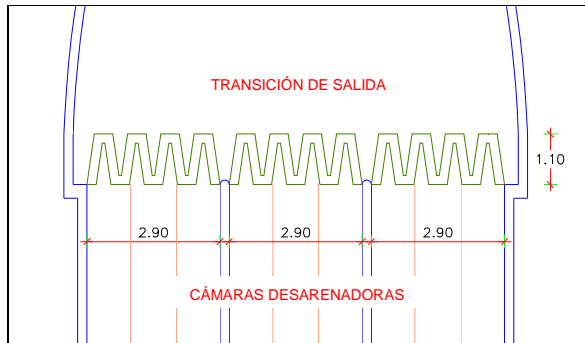
### **6.2.3. DIMENSIONAMIENTO DEL VERTEDERO TIPO LABERINTO**

La salida del caudal desarenado se realizará sobre un vertedero en laberinto con cresta rectangular que se ubicará en la sección transversal final de las cámaras desarenadora. La longitud efectiva de vertido para cada cámara es de 8.30 m. Se ha adoptado un coeficiente adimensional de descarga de 0.50, la carga máxima sobre la cresta del vertedero de salida será de 0.20 m para evitar que el material depositado en la zona próxima al vertedero de salida sea nuevamente removido y

conducido hacia fuera del desarenador. En la Figura 6.8 se presenta un esquema del vertedero tipo laberinto adoptado para el presente proyecto.

### FIGURA 6.8

#### ESQUEMA DEL VERTEDERO EN LABERINTO



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

#### 6.2.4. DIMENSIONAMIENTO DEL ORIFICIO DE LAVADO

Luego de la transición de entrada, el fondo del desarenador presenta una doble pendiente longitudinal para mejorar el arrastre del flujo en las operaciones de limpieza, sin incrementar considerablemente la profundización de las tolvas para acumulación de material sólido. El primer tramo de 21.00 m corresponde a los dos tercios de la longitud efectiva de la cámara y tiene una pendiente longitudinal en el sentido del flujo de 5%. El segundo tramo correspondiente al tercio final de la cámara desarenadora tiene una longitud de 10.50 m y una pendiente longitudinal de 11% en el sentido contrario al flujo.

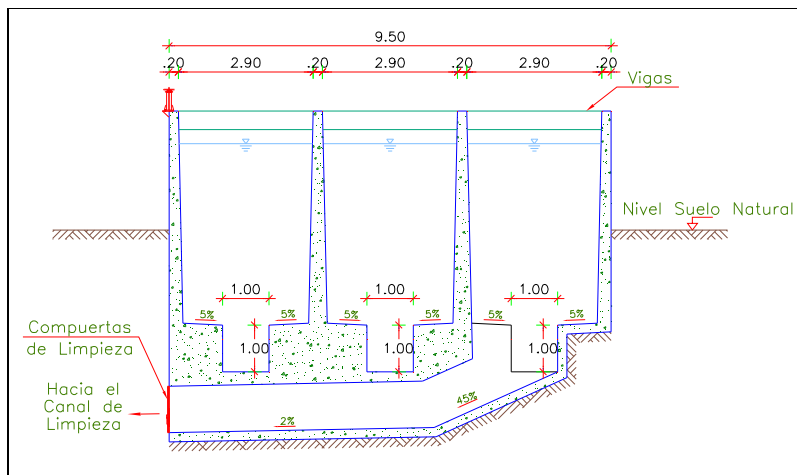
Cada una de las cámaras desarenadoras tendrá una canaleta de lavado independiente de 1.00×1.00 m, la misma que desemboca en el canal de limpieza del desarenador. En la sección final de esta canaleta se ubica una compuerta de fondo para iniciar y suspender las labores de limpieza, como se indica en la Figura 6.9, cada una de las compuertas será totalmente abierta durante el tiempo que dure la operación de limpieza. El canal de limpieza tiene una sección transversal de 3.40 m de ancho y 1.00 m de altura. Este canal recibe la descarga

de las tres canaletas individuales y tiene una pendiente longitudinal del 20% durante una longitud de 16.00 m para garantizar el arrastre del material sólido.

El volumen muerto disponible en cada una de las cámaras desarenadoras es de 47.96 m<sup>3</sup>. Para la concentración de sólidos estimada en las aguas del río Huarhuallá se recomienda realizar una operación de limpieza por semana para una cámara o cada vez que se observe la colmatación del volumen muerto disponible.

**FIGURA 6.9**

**CORTE TRANSVERSAL DEL DESARENADOR**



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

### 6.3. OBRAS DE ADUCCIÓN

El Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá aprovechará las obras de la conducción principal del Proyecto de Riego Licto desde el inicio del primer tramo de túnel hasta el tanque de entrada del sifón de cruce con el río Chambo; para este efecto, como se mencionó en el capítulo anterior, se deberán realizar las adecuaciones necesarias para conducir el caudal previsto en el aprovechamiento múltiple conformado por los siguientes tramos:

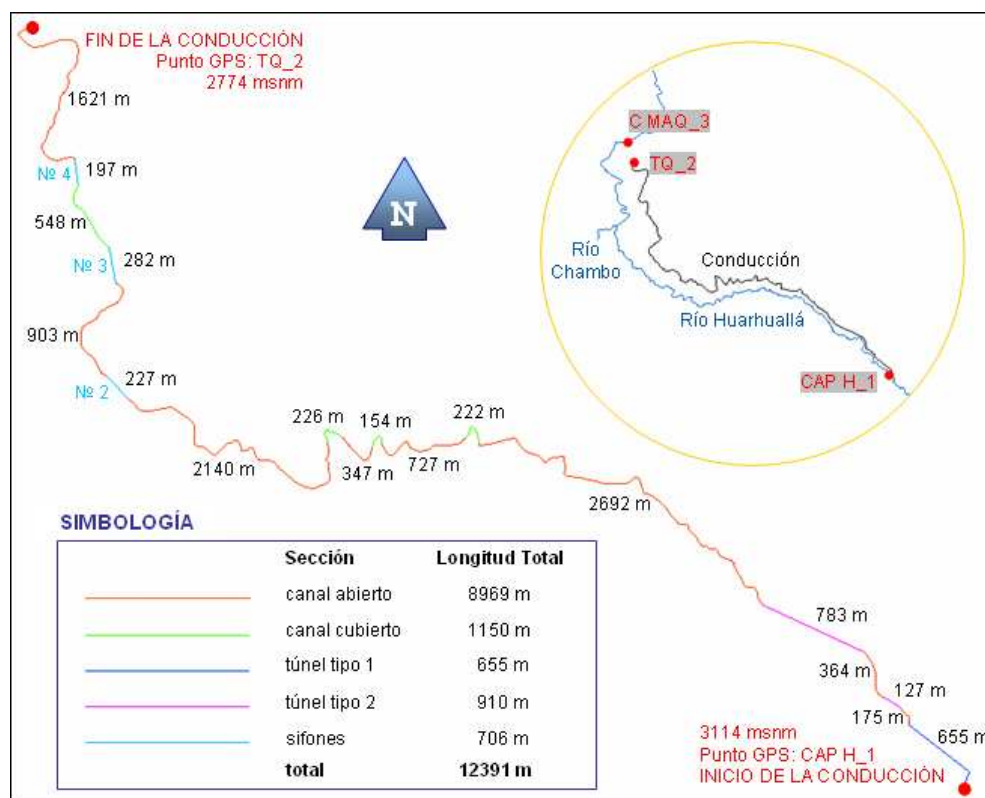
- Tramos de túnel,
- Tramos de canal abierto y cubierto, y

- Sifones de cruce de quebradas.

La Figura 6.10 muestra un esquema de la conducción principal conformada por tramos de canal abierto y cubierto, tramos de túnel y los tres sifones de cruce de quebradas. El detalle y dimensionamiento de los estos tramos se verá a continuación.

**FIGURA 6.10**

**CONFORMACIÓN DE LA CONDUCCIÓN PRINCIPAL**



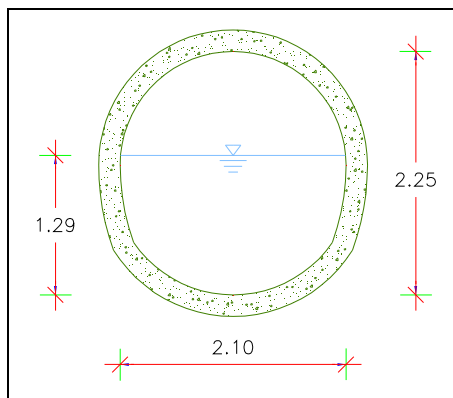
FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

El procedimiento de cálculo realizado para la readecuación de las obras de conducción del proyecto de riego Licto para el aprovechamiento conjunto con el proyecto hidroeléctrico Huarhuallá se presenta en el Anexo 2.3.

### 6.3.1. TRAMOS DE TÚNEL

La conducción principal del Proyecto de Riego Licto presenta tres tramos de túnel. El primer tramo de 655 m tiene una pendiente del 0.50 % y una sección transversal irregular de 2.10×2.25 m que se muestra en la Figura 6.11 denominada en el presente estudio sección Tipo 1; la evaluación de la capacidad hidráulica de este tramo permite garantizar que transportará los 3.3 m<sup>3</sup>/s con flujo a superficie libre, por lo que no se requieren adecuaciones. Se ha determinado que el calado normal para el caudal de diseño del aprovechamiento múltiple es de 1.29 m.

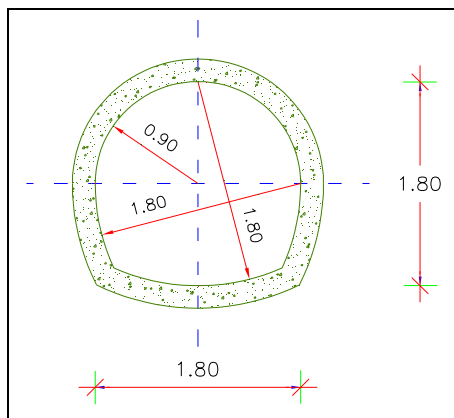
**FIGURA 6.11**  
SECCIÓN DEL TÚNEL TIPO 1



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

Los dos tramos siguientes de túnel presentan una sección transversal irregular de 1.80×1.80 m denominada sección Tipo 2 y mostrada en la Figura 6.12, las longitudes de estos tramos corresponden a 127 m y 783 m, y sus pendientes son de 0.50% y 0.67% respectivamente.



**FIGURA 6.12****SECCIÓN DEL TÚNEL TIPO 2**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

Al igual que el túnel de la sección Tipo 1, los dos tramos siguientes cuya sección transversal corresponde al Tipo 2, han sido sobredimensionados debido a condiciones constructivas, por lo que luego de evaluar su capacidad hidráulica se garantiza que podrán transportar el caudal correspondiente al aprovechamiento múltiple. En el Cuadro 6.1 se presenta un resumen de los tramos de túnel que conforman la conducción principal del proyecto.

**CUADRO 6.1****RESUMEN DE LOS TRAMOS DE TÚNEL**

Tramo	Longitud [m]	Pendiente	Sección
Primer tramo	655	0.50%	Tipo 1
Segundo tramo	127	0.50%	Tipo 2
Tercer tramo	783	0.67%	Tipo 2

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

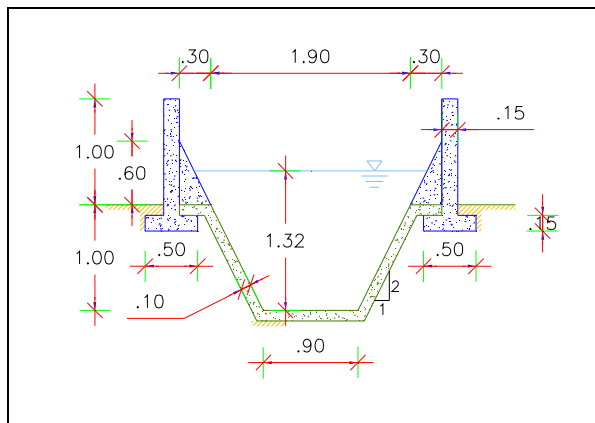
**6.3.2. TRAMOS DE CANAL ABIERTO Y CUBIERTO**

Como se vio en el Capítulo 5, para transportar el caudal de  $1.30 \text{ m}^3/\text{s}$  correspondiente al caudal de concesión del actual proyecto de riego Licto, la conducción principal está conformada por tramos de canal abierto y cubierto, que corresponden aproximadamente al 82% de la longitud total de las obras de aducción. La pendiente longitudinal en estos tramos varía entre 0.10% y 0.50%.

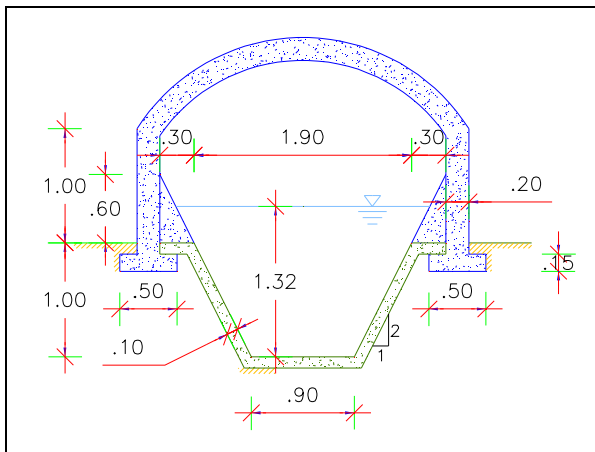
La capacidad hidráulica de estos canales no es suficiente para transportar el caudal de  $3.30 \text{ m}^3/\text{s}$ , en consecuencia la sección transversal para estos tramos de canal abierto y cubierto requiere ser ampliada para conducir el caudal de diseño del aprovechamiento múltiple. Se realizará un incremento de  $1.00 \text{ m}$  en la altura útil del mismo, cambiando a la sección transversal que se presenta en la Figura 6.13 para el caso del canal abierto y a la sección transversal de la Figura 6.14 en los tramos de canal cubierto. La evaluación hidráulica del canal con la sección transversal ampliada garantiza el transporte del caudal de diseño con un calado de  $1.32 \text{ m}$  para el caso en el que la pendiente longitudinal es de  $0.10\%$ .

**FIGURA 6.13**

**SECCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DEL CANAL ABIERTO**



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

**FIGURA 6.14****SECCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DEL CANAL CUBIERTO**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

La longitud total de los tramos de canal abierto es de nueve kilómetros aproximadamente, mientras que la longitud total de los tramos de canal cubierto se determinó mediante el estudio geológico y corresponde a unos 1150 m. Los tramos de canal cubierto deben incrementar su altura y reponer la losa de cubierta, pues el ancho será algo mayor al actual.

### 6.3.3. SIFONES DE CRUCE DE QUEBRADAS

Los tres sifones de cruce de quebradas con los que cuenta la conducción principal existente fueron dimensionados para transportar un caudal de diseño de  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  mediante una tubería de acero de 820 mm de diámetro, poseen un desnivel total entre las cotas de inicio del ramal descendente y fin del ramal ascendente de 1.0 m. Como se mencionó en el capítulo anterior, las características de estas tres estructuras son prácticamente idénticas.

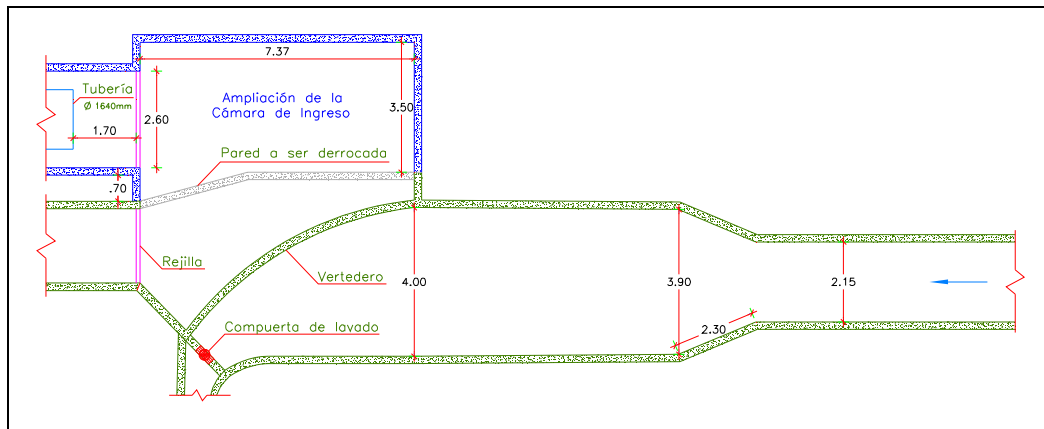
Las estructuras existentes no pueden ser sobrecargadas por lo que en el proyecto se prevé la construcción de nuevos sifones paralelos a los existentes para conducir en similares condiciones el caudal de  $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , que corresponde exclusivamente al caudal del proyecto hidroeléctrico. Los dos sifones utilizarán el

mismo tanque de carga, por lo que en el diseño de este nuevo sifón se mantendrá la misma concepción de la estructura existente debido a que el desnivel es fijo.

La cámara de ingreso deberá ser ampliada conforme se presenta en la Figura 6.15. La tubería se colocará en forma paralela a la existente y será de acero, con diámetro igual al doble del existente, es decir 1640 mm. El Cuadro 6.2 muestra un resumen con las características de los tres sifones de cruce de quebradas.

### FIGURA 6.15

#### VISTA EN PLANTA DEL TANQUE DE CARGA AMPLIADO EN SIFONES 2, 3, 4



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

### CUADRO 6.2

#### RESUMEN DE LOS SIFONES DE CRUCE DE QUEBRADAS

Denominación	Cota aproximada [msnm]	Desnivel [m]	Tubería actual Ø [mm]	Tubería nueva Ø [mm]
Sifón № 2	3099	1.00	820	1640
Sifón № 3	3093	1.00	820	1640
Sifón № 4	3092	1.00	820	1640

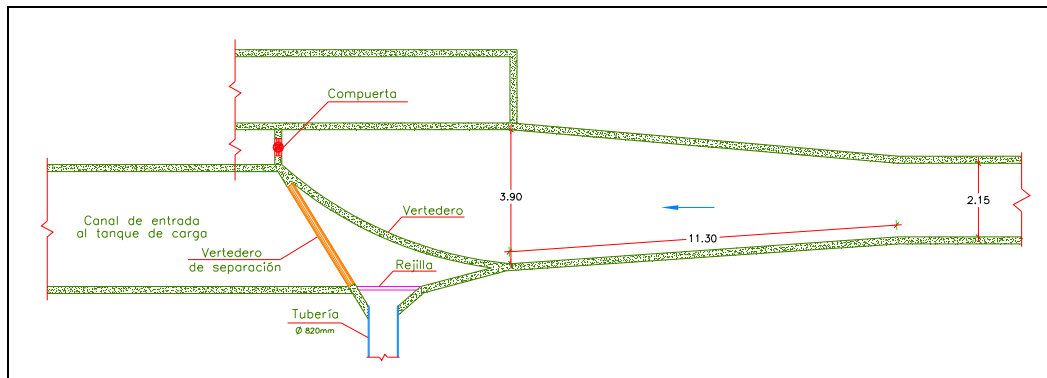
FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

La separación de caudales del presente proyecto de aprovechamiento múltiple se producirá en el tanque de carga del sifón de cruce del río Chambo. El caudal del sistema de riego Licto, igual a  $1.30 \text{ m}^3/\text{s}$ , continuará normalmente hacia el ramal descendente del sifón en mención; todo caudal excedente al de riego continuará descargándose sobre el vertedero de separación hacia una prolongación del

canal de conducción para ingresar al tanque de presión del proyecto hidroeléctrico Huarhuallá. La Figura 6.16 muestra una vista en planta del tanque de carga modificado para la separación de caudales.

**FIGURA 6.16**

VISTA EN PLANTA DEL TANQUE DE CARGA MODIFICADO DEL SIFÓN Nº 5



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

## 6.4. TANQUE DE PRESIÓN

El tanque de presión es una estructura hidráulica que tiene la finalidad de crear un volumen de reserva de agua que permite satisfacer las necesidades de las turbinas durante los aumentos bruscos de demanda, se construye entre el final del canal o túnel de conducción y la iniciación de la tubería de presión.

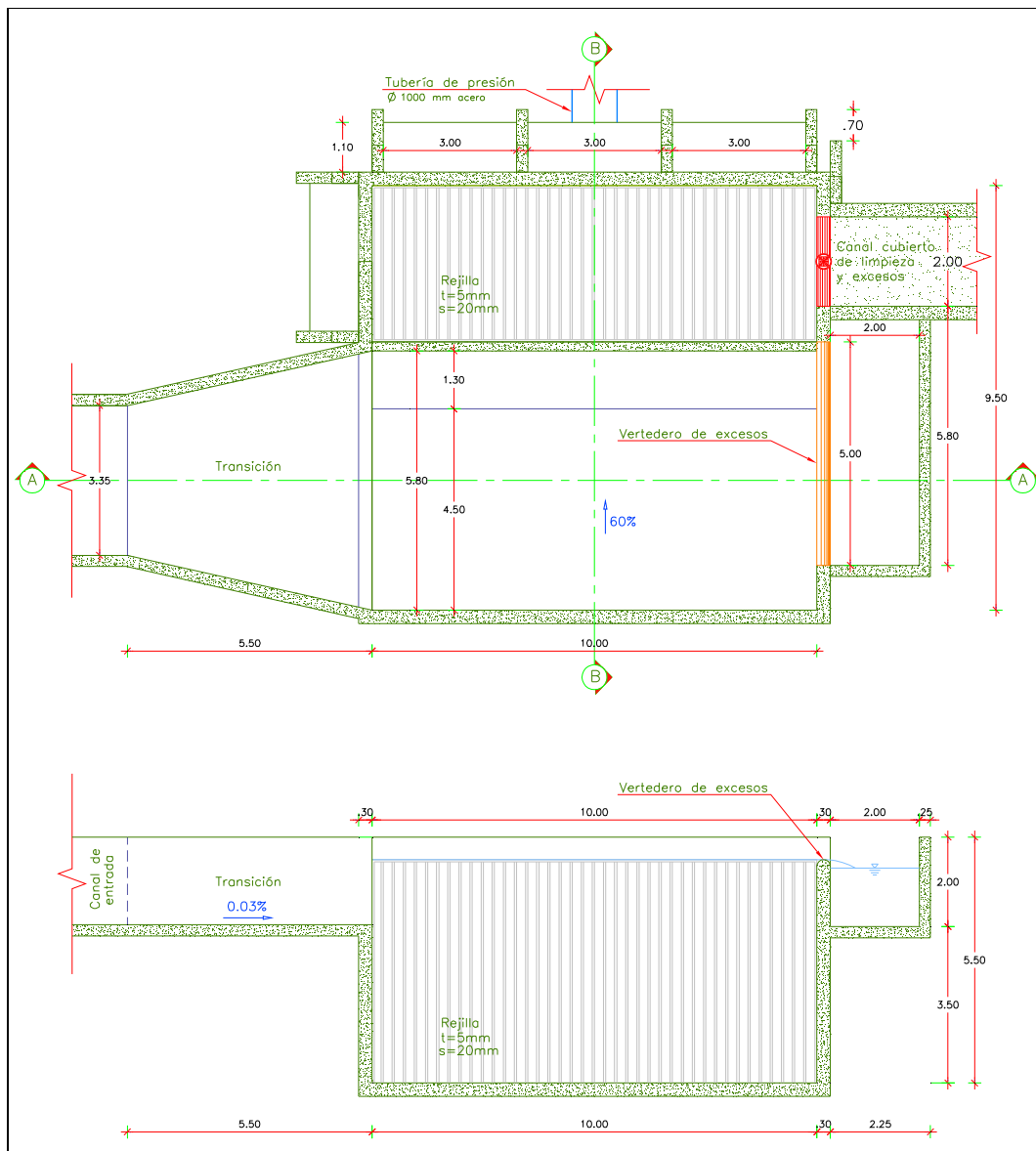
Esta estructura tiene además la función de impedir la entrada de aire en la tubería de presión, debe también desalojar el exceso de agua en las horas en que el caudal consumido por las turbinas es inferior al caudal de diseño. Para cumplir con estos objetivos el tanque de presión cuenta con los elementos que detallaremos a continuación.

- Transición de entrada,
- Tanque reservorio,
- Compuerta de fondo y vertedero de excesos, y
- Rejilla de entrada a la tubería de presión

El procedimiento de diseño del tanque de presión se presenta en el Anexo 2.4 y se basa en el método expuesto en el Diseño Hidráulico de Sviatoslav Krochin, mientras que en la Figura 6.17 se muestra la vista en planta y un corte longitudinal de la estructura.

**FIGURA 6.17**

VISTA EN PLANTA Y CORTE LONGITUDINAL DEL TANQUE DE PRESIÓN



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

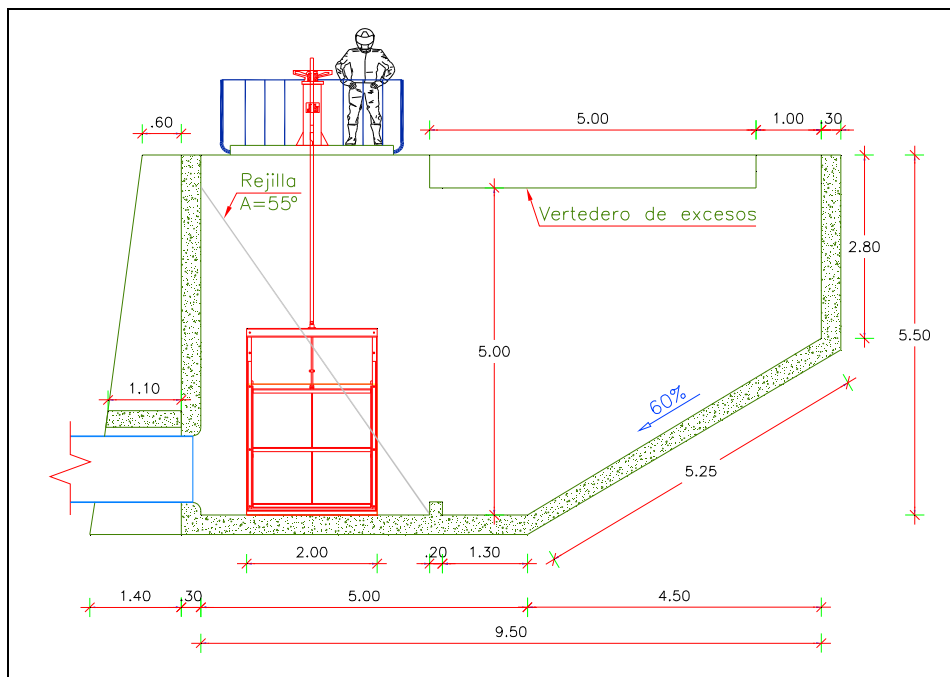
#### **6.4.1. TRANSICIÓN DE ENTRADA**

El caudal que ha sido separado en el tanque de entrada del sifón de cruce con el río Chambo es conducido hacia el tanque de presión a través de un canal de ancho igual a 3.35 m. Para conectar el canal con el tanque se prevé una transición de entrada que garantice una distribución uniforme de velocidades sin generar flujos secundarios.

Para cumplir dichos objetivos la transición conformada por paredes rectas tendrá un ángulo de divergencia de  $12^{\circ}30'$  de acuerdo a las recomendaciones de la literatura técnica. Se ha previsto que el ancho en el tanque que se empatará con el ancho del canal sea de 5.80 m, con lo que la longitud de la transición corresponde a 5.50 m como se observa en la Figura 6.17. La pendiente longitudinal de la transición hacia el tanque de carga es de 0.03%.

#### **6.4.2. TANQUE RESERVORIO**

El reservorio está compuesto por una cámara de 10.00 m de largo por 9.50 m de ancho. La pendiente transversal del tanque en los primeros 4.50 m es de 60.00% para facilitar la limpieza del mismo, en los 5.00 m restantes, la pendiente de fondo es de 0.01% hasta el ingreso hacia la tubería de presión, como se muestra en la Figura 6.18. La profundidad del tanque varía entre 2.80 m y 5.50 m.

**FIGURA 6.18****CORTE TRANSVERSAL DEL TANQUE DE PRESIÓN**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

Para garantizar que el aire no sea succionado desde el tanque hacia la tubería de presión, se define un nivel mínimo de operación; si este nivel baja se forman remolinos por cuyo embudo se succiona el aire perjudicando el funcionamiento de las turbinas. Por esta razón se considera en el diseño una altura mínima de sumergencia sobre la tubería para un descenso máximo del nivel de agua en el tanque de presión. Existen algunos criterios que definen esta altura basados en el diámetro y la velocidad a la entrada de la tubería de presión. El valor seleccionado es el mayor de ellos y corresponde a 1.00 m sobre la clave de la tubería según las recomendaciones de la literatura técnica.

Para el caso en que el caudal en el canal de conducción sea menor que el caudal turbinado por la central, la diferencia de caudales deberá ser cubierta a expensas del vaciado del tanque de presión. El volumen necesario que esta estructura debe tener por encima del nivel mínimo aceptable de agua se lo define de acuerdo a la siguiente expresión:



$$\Delta M = \frac{0,693 \cdot A \cdot V_0^2}{i \cdot g} \quad (\text{Ecuación 6.2})$$

Donde:

$\Delta M$ : Volumen de retención requerido en el tanque de presión en  $m^3$ ,

$i$ : Pendiente del canal de aproximación,

$A$ : Área de flujo del canal de aproximación en metros, y

$V_0$ : Velocidad media del agua en el canal de aproximación en m/s.

El volumen máximo requerido en el proyecto de acuerdo a esta expresión es de  $78.93 m^3$ . No obstante el diseño prevé un volumen de  $400 m^3$ , valor que corresponde a un tiempo de retención de 200 segundos, siendo este tiempo el disponible para detener la turbina ante una suspensión total del caudal.

#### 6.4.3. REJILLA DE ENTRADA A LA TUBERÍA DE PRESIÓN

Con el objeto de impedir la entrada de materiales flotantes hacia la tubería de presión y eliminar toda verticidad que pudiera formarse en la aproximación hacia el inicio de la tubería, se ha dispuesto una rejilla fina de 10.00 m de longitud y 6.10 m de ancho, conformada por pletinas de hierro de 5 mm de grosor y separadas 20 mm a lo largo de la longitud de la rejilla, separación apropiada para una turbina pelton. La limpieza de la rejilla se realizará manualmente, para facilitar esta labor se le ha dado a la misma una inclinación de  $55^\circ$  de acuerdo a las recomendaciones técnicas.

La pérdida producida en la rejilla se ha calculado mediante la expresión planteada por Kirschmer válida para un flujo de aproximación perpendicular a la rejilla.

$$h_f = B \cdot \left(\frac{t}{s}\right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \text{sen}(A) \quad (\text{Ecuación 6.3})$$

Donde:

$h_f$ : Pérdida de carga producida en la rejilla en metros,

- t: Grosor de los barrotes en milímetros,
- s: Separación entre barrotes en milímetros,
- V: Velocidad de aproximación a la rejilla en m/s,
- A: Ángulo de inclinación de la rejilla, y
- B: Coeficiente que varía según la forma de la sección transversal del barrote.

El valor calculado como pérdida en la rejilla, obtenido mediante esta expresión corresponde a 4 milímetros.

#### **6.4.4. COMPUERTA DE FONDO Y VERTEDERO DE EXCESOS**

En el extremo final del tanque de presión se ha colocado una compuerta de fondo que permitirá el vaciado del mismo así como la expulsión de los sólidos que puedan haberse depositado. La descarga de esta compuerta de fondo se realiza hacia el canal de limpieza y excesos.

Para evacuar los excesos del tanque de presión se ha previsto un vertedero de 5.00 m de longitud en la pared posterior del mismo. El nivel determinado para la cresta del vertedero de excesos corresponde al nivel máximo de operación del tanque de presión, por lo que la altura de vertido será de 5.00 m. Su localización permite que el caudal de exceso sea descargado sobre una cámara 2.00 m de ancho y 5.80 m de longitud, luego de la cual se presenta un descenso de 3.50 m para llegar hasta el canal de limpieza y excesos como se puede observar en la Figura 6.17.

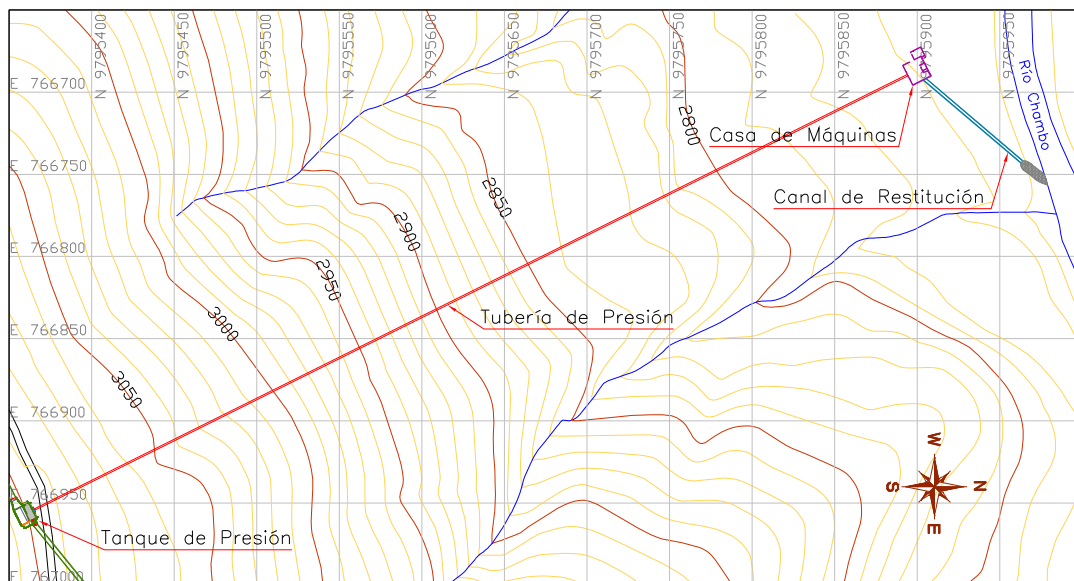
El canal de limpieza y excesos está conformado por una sección rectangular inicialmente cubierta de 2.00×1.70 m, aguas abajo el canal es abierto, tiene una pendiente de 0.50% y una longitud aproximada de 345 m. El canal descarga a una quebrada que desemboca en el río Chambo, en el sitio de la descarga se ha previsto la colocación de un enrocado de protección en las márgenes y el fondo de la quebrada para evitar desestabilización de los taludes laterales o profundizamientos del cauce.

## 6.5. TUBERÍA A PRESIÓN

La tubería de presión es el elemento que permite la conducción del agua desde el tanque de presión hasta la casa de máquinas. Para el presente proyecto se ha definido que la longitud total de la tubería es de 644 m, la misma que deberá conducir el caudal de diseño correspondiente a  $2.00 \text{ m}^3/\text{s}$  desde el tanque de presión hasta el ingreso a la casa de máquinas, alcanzando una altura bruta de caída de 300 m. La implantación de la tubería de presión se puede apreciar en la Figura 6.19 y el procedimiento de diseño se presenta en el Anexo 2.5 y se basa en el método expuesto en el Diseño Hidráulico de Sviatoslav Krochin.

**FIGURA 6.19**

### IMPLANTACIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

### 6.5.1. DIÁMETRO ÓPTIMO

Debido a que el costo de la tubería representa una parte importante del presupuesto de la minicentral hidroeléctrica, es prioritario optimizar su diseño para reducir los costos de la inversión inicial y mantenimiento, por lo que la selección del diámetro en la tubería de presión se determina en base a un análisis técnico-

económico. Mientras mayor es el diámetro menores son las pérdidas hidráulicas en la tubería y mayor es la potencia que se puede obtener del salto y que se calcula de acuerdo a la expresión que se muestra a continuación.

$$N = \frac{Q \cdot (H - h_f) \cdot e \cdot W_{\text{Agua}}}{102} \quad (\text{Ecuación 6.4})$$

Donde:

- N: Potencia obtenida del salto en kilovatios,
- H: Altura bruta de la caída en metros,
- $h_f$ : Pérdida hidráulica en metros,
- W: Peso específico del agua en T/m<sup>3</sup>, y
- e: Eficiencia del sistema turbina-generador.

Por otro lado, mientras menor es el diámetro, menor será el costo de la tubería y menores serán las anualidades de amortización que se debe pagar por la misma. Por lo tanto es necesario realizar el cálculo con varios diámetros dentro de un margen admisible de velocidades, estableciendo los costos de la tubería y de la energía perdida por concepto de resistencias hidráulicas. La suma de estos dos valores nos da una curva cuyo mínimo corresponde al diámetro económicamente más conveniente para el proyecto. Las anualidades de amortización se calculan con la siguiente fórmula:

$$a = \frac{C \cdot r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (\text{Ecuación 6.5})$$

Donde:

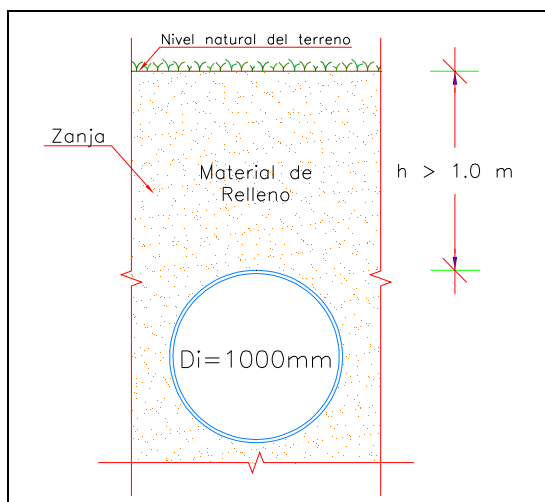
- a: Valor anual de amortización en dólares,
- C: Costo inicial de la tubería en dólares,
- r: Tasa del interés, y
- n: Número de años en que se pagará la deuda.

Es importante mencionar que la determinación del costo de la tubería depende del diámetro seleccionado y de su espesor. Si la presión aumenta, es necesario incrementar el espesor o disminuir el diámetro, encontrándose que la solución más conveniente es la segunda.

Se ha realizado un análisis comparativo para una serie de diámetros internos desde 700 hasta 1300 mm, que corresponden a valores comerciales disponibles en el mercado en tubería de acero o hierro dúctil. El resultado de este análisis indica que el diámetro interno óptimo para la tubería de presión corresponde al valor de 1000 mm y un espesor de 20 mm.

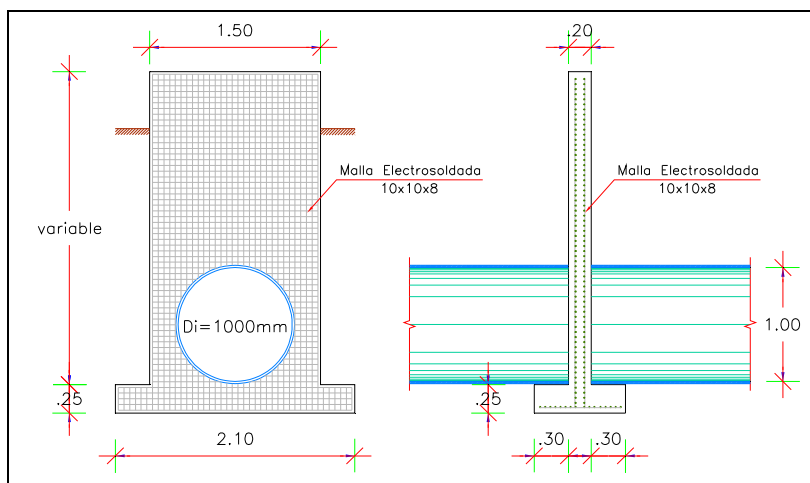
#### **6.5.2. COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA**

Con el objetivo de disminuir los costos en la construcción de la tubería de presión, en el presente proyecto se ha previsto la colocación de la misma bajo tierra, debido a que si la tubería yace directamente sobre el terreno no necesita de apoyos intermedios, únicamente necesita anclajes en los puntos en los que cambia de dirección. Además al enterrar una tubería, las variaciones de temperatura son generalmente tan pequeñas que se puede prescindir de las juntas de dilatación. La tubería será colocada en una zanja somera, generalmente de profundidad mayor a 2.0 m, para garantizar un recubrimiento de material de relleno por encima de la tubería de 1.0 m, como se muestra en la Figura 6.20.

**FIGURA 6.20****ZANJA DE COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

Se ha previsto además la colocación de pantallas de hormigón cada 20 m cuya finalidad fundamental es evitar que el material de relleno sea arrastrado por efecto de las lluvias, especialmente durante el periodo que toma el reestablecimiento de la vegetación típica. La Figura 6.21 muestra un corte frontal y longitudinal de las pantallas en mención.

**FIGURA 6.21****CORTE FRONTAL Y LONGITUDINAL DE LAS PANTALLAS DE SOPORTE**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

### 6.5.3. ANCLAJES

Los anclajes son bloques de concreto que envuelven la tubería de presión con el propósito de fijarla al terreno y evitar los movimientos laterales, por lo tanto deben resistir cualquier fuerza que la tubería ejerza sobre ellos. Son ubicados generalmente donde hay cambios de dirección o de pendiente, o donde existen cambios de sección.

Dependiendo de los cambios de pendiente en la tubería, hay dos tipos de anclajes: hacia afuera y hacia adentro. Los anclajes hacia adentro influyen favorablemente en su estabilidad, ya que los esfuerzos debidos a la desviación del movimiento del agua actúan contra el terreno. En cambio, en los anclajes hacia afuera, estos esfuerzos actúan en el otro sentido en la dirección del aire o espacio; por esto, es importante conocer la magnitud de los ángulos y el tipo de suelo donde se ubican.

Como la tubería de presión se apoyará directamente sobre el suelo, las fuerzas que actúan sobre los anclajes en los cambios de dirección se reducen notablemente. En el Cuadro 6.3 se presenta un resumen con las dimensiones de los bloques de anclaje al final de cada tramo de tubería, mientras que la Figura 6.22 muestra el corte frontal y longitudinal del bloque de anclaje al final del sexto tramo de la tubería de presión.

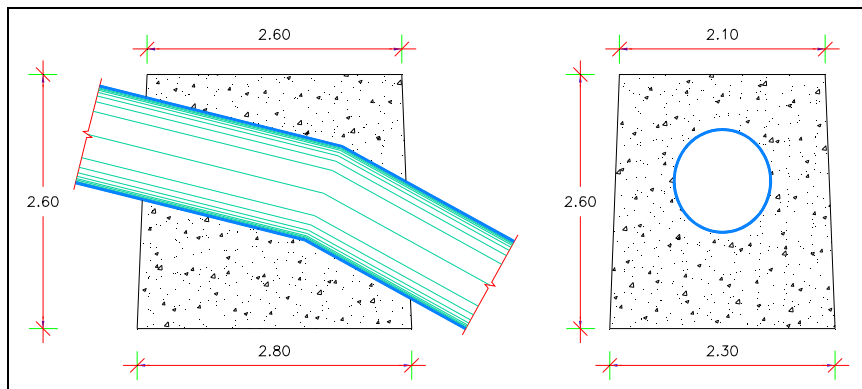
#### CUADRO 6.3

##### DIMENSIONES DE LOS ANCLAJES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN

Tramo	Longitud [ m ]	Inclinación [ grados ]	Tipo de Anclaje	Dimensiones del Anclaje		
				L [ m ]	b [ m ]	y [ m ]
T - 1	168,95	32				
T - 2	139,68	42	hacia afuera	2,50	2,60	2,50
T - 3	86,9	40	hacia adentro	2,50	1,70	2,50
T - 4	34,53	21	hacia adentro	2,50	1,70	2,50
T - 5	44,16	14	hacia adentro	2,50	1,70	2,50
T - 6	33,25	29	hacia afuera	2,60	2,10	2,60
T - 7	29,5	22	hacia adentro	2,50	1,70	2,50
T - 8	43,43	13	hacia adentro	2,50	1,70	2,50
T - 9	63,77	9	hacia adentro	2,50	1,70	2,20

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**FIGURA 6.22****CORTE FRONTAL Y LONGITUDINAL DEL BLOQUE DE ANCLAJE**

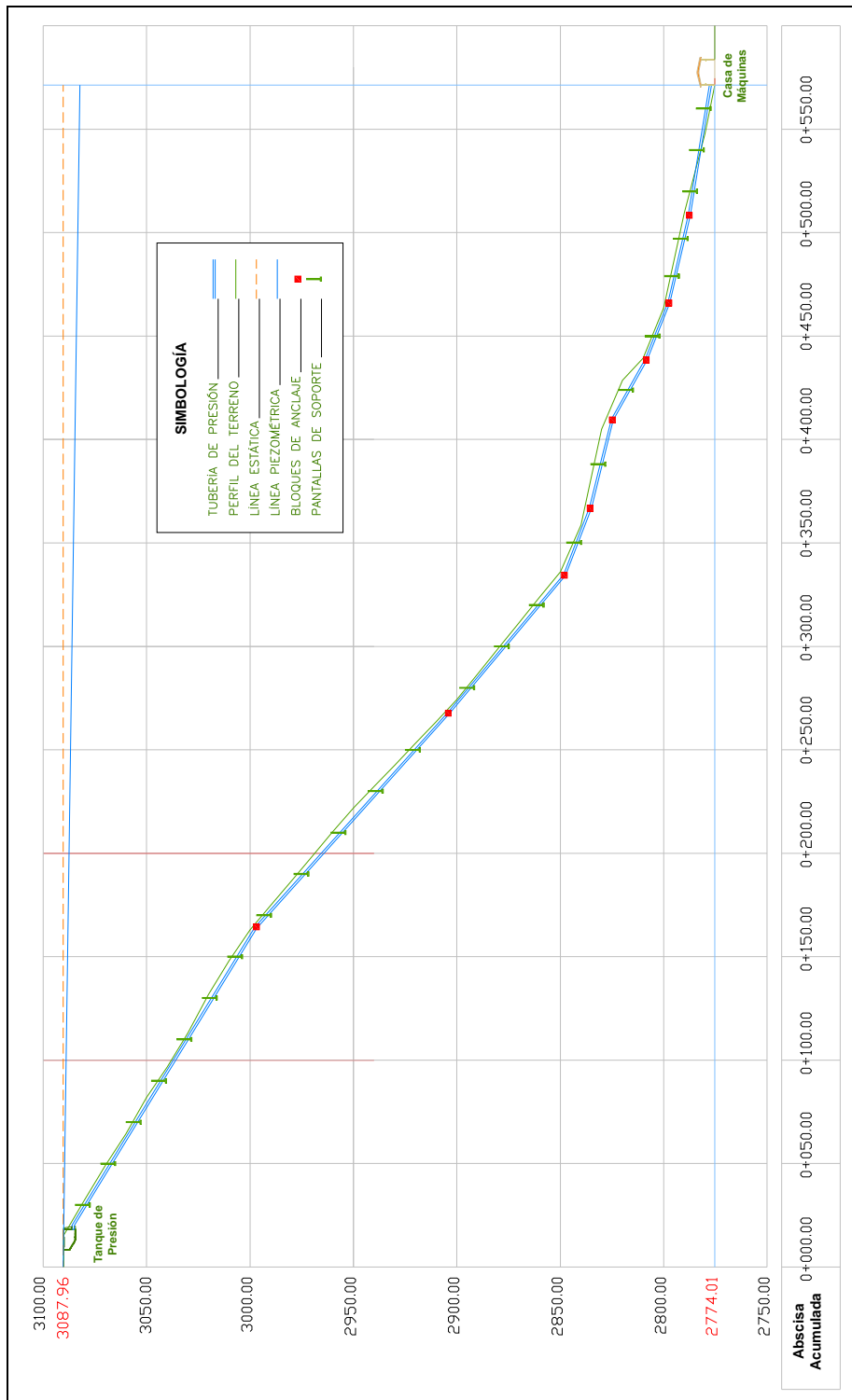
ELABORACIÓN: César Costa Costa

En el tramo final de la tubería, antes de su ingreso a la casa de máquinas, esta será colocada sobre bloques de apoyo a 0.50 m del suelo natural, luego de este tramo se desarrolla la bifurcación para conformar las dos tuberías de presión para los dos grupos turbina-generador contemplados en el proyecto. La Figura 6.23 muestra un corte longitudinal de la tubería de presión del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá.



**FIGURA 6.23**

**CORTE LONGITUDINAL DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN**



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
 ELABORACIÓN: César Costa Costa

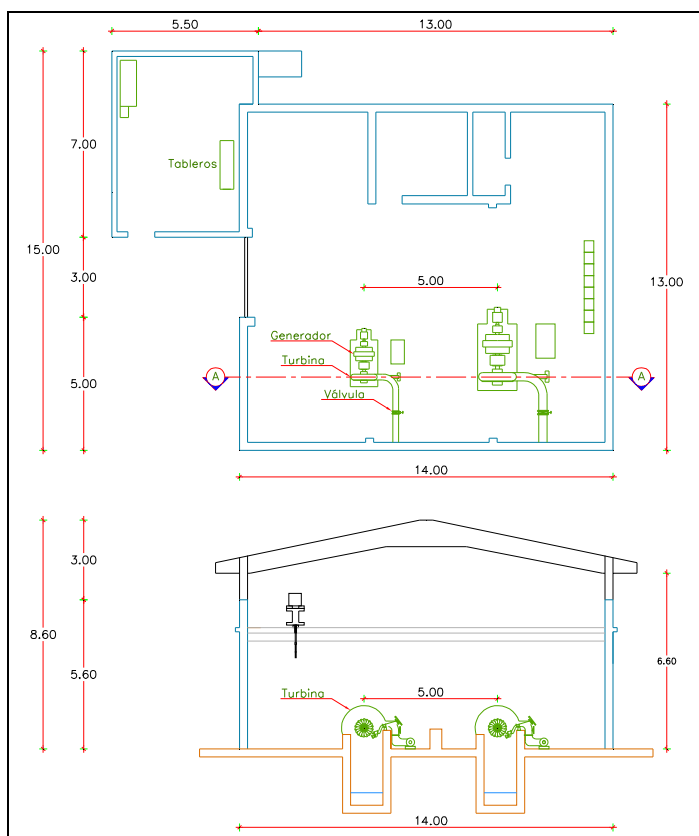
## 6.6. CASA DE MÁQUINAS

Es el emplazamiento en donde se sitúa el equipamiento electromecánico de la minicentral, como son turbinas, generadores, transformadores, tableros de control y eléctricos, entre otros.

El diseño arquitectónico de esta estructura debe garantizar el espacio para la instalación de los equipos electromecánicos así como la ventilación requerida para su operación normal. La ubicación y el diseño estructural de la casa de máquinas se deben analizar considerando factores topográficos, geológicos, geotécnicos y de accesibilidad a la misma. La Figura 6.24 muestra un esquema de la casa de máquinas prevista para el presente proyecto.

**FIGURA 6.24**

VISTA EN PLANTA Y CORTE TRANSVERSAL DE LA CASA DE MÁQUINAS



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

## 6.7. OBRAS DE ENTREGA AL CURSO NATURAL

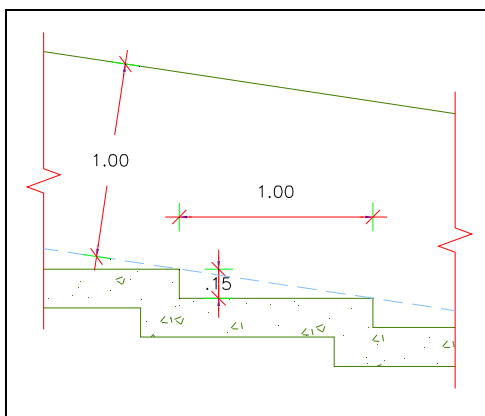
Los canales de recolección que se inician bajo cada turbina confluyen en una sola conducción a superficie libre que constituye el canal de restitución de las aguas turbinadas hacia el cauce natural del río Chambo. El procedimiento de diseño hidráulico de esta estructura se presenta en el Anexo 2.6.

El canal de restitución tendrá una longitud de 77.2 m y descarga en el río Chambo formando un ángulo de treinta grados con la margen izquierda del mismo, presenta una sección transversal rectangular de 1.50 m de ancho y 1.00 m de altura. El canal está conformado básicamente por dos tramos de diferente pendiente.

El primer tramo de longitud igual a 63.8 m tiene una pendiente del 15% y fondo escalonado, es decir, constituye una rápida en forma de escalera simple como se muestra en la Figura 6.25.

**FIGURA 6.25**

DETALLE DE LA RÁPIDA EN EL CANAL DE RESTITUCIÓN



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

El segundo tramo tendrá una longitud de 13.4 m y una pendiente de 0.50%, el calado en este tramo del canal de restitución es de 0.53 m y la velocidad del agua es de 2.50 m/s.

## **CAPÍTULO 7**

### **7. DISEÑO BÁSICO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO**

Considerando las particulares características de disponibilidad del caudal líquido para la generación hidroeléctrica a lo largo del año, debido a la demanda de riego en el aprovechamiento múltiple, se ha determinado la necesidad de utilizar varias unidades de generación que funcionen en paralelo, conforme a la alimentación de caudales.

Luego de los análisis correspondientes se decide que lo más conveniente es la utilización de dos turbinas, la primera para un caudal de  $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$ , y la segunda para un caudal de  $1.50 \text{ m}^3/\text{s}$ , con lo que se aprovechará adecuadamente los caudales disponibles en el año, considerando los rangos de variación de caudal y de eficiencia en el funcionamiento de los grupos turbina-generator.

En el Anexo 3 se presenta el proceso de selección de las turbinas recomendadas para el presente estudio, así como las características básicas del tipo de turbinas escogido para la Central Hidroeléctrica Huarhuallá.

#### **7.1. COMPONENTES MECÁNICOS**

##### **7.1.1. SELECCIÓN BÁSICA DE LAS TURBINAS**

En el Cuadro 7.1 se presentan los parámetros fundamentales de diseño de las dos unidades de generación en la Central Hidroeléctrica huarhuallá para la selección de las turbinas.

## CUADRO 7.1

### PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE DISEÑO

Características	Grupo № 1	Grupo № 2
Caída neta [m]	300	300
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	0.50	1.50
Eficiencia promedio del sistema	80%	80%
Potencia hidráulica [kw]	1177	3531

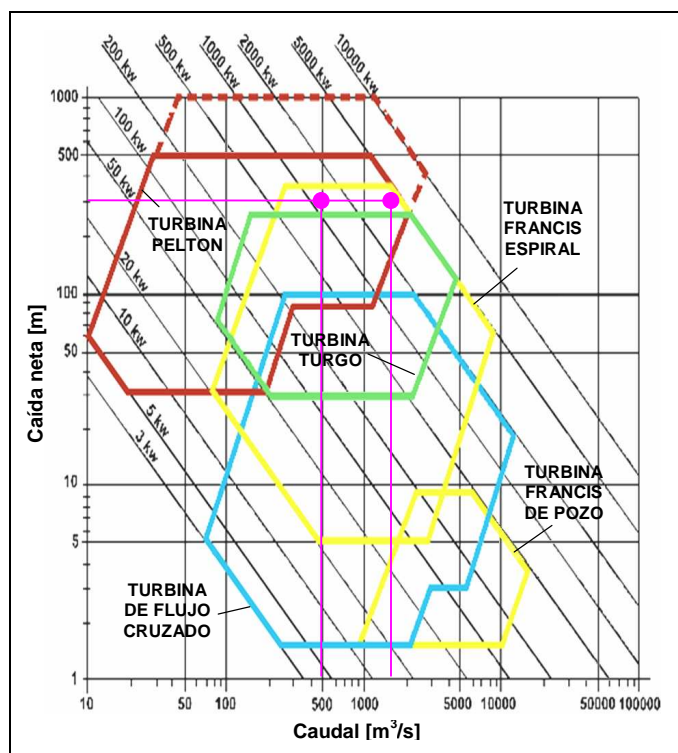
FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

Se puede realizar una selección rápida de la turbina para una minicentral hidroeléctrica, utilizando el diagrama que se muestra en la Figura 7.1, en el que aparecen las diversas turbinas que se usan en la actualidad ubicadas por zonas de aplicación referidas al salto neto, caudal, potencia y una eficiencia promedio. Se observa que para una altura de caída neta de 300 metros, la turbina tipo Pelton resulta ser adecuada para las dos unidades de generación.

## FIGURA 7.1

### DIAGRAMA DE SELECCIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

Es posible además seleccionar el tipo de turbina adecuada para el proyecto mediante la determinación de los números específicos de revoluciones, que relacionan la velocidad de rotación de la turbina, el salto neto y el caudal que circula por la turbina según el sistema americano, o la potencia al eje de la turbina según el sistema europeo. Ambos números pueden usarse indistintamente, pero para el caso de las turbinas hidráulicas aún se prefiere continuar usando el número específico europeo, a pesar de que presenta el inconveniente de que depende de la eficiencia de la turbina.

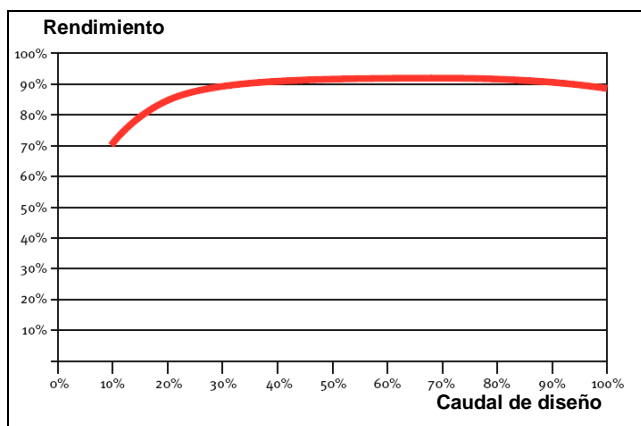
En el proceso de selección de las turbinas presentado en el Anexo 3 se muestra la determinación de los números específicos de revoluciones, en base a lo cual se define finalmente que el tipo de turbina recomendado para el caso de la unidad de  $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$  es una turbina Pelton de un inyector, y el tipo de turbina recomendado para el caso de la unidad de  $1.50 \text{ m}^3/\text{s}$  es una turbina Pelton de dos inyectores. Se utilizó como referencia las recomendaciones presentadas en el Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas del ITDG<sup>12</sup>.

Las turbinas Pelton operan eficientemente en condiciones de saltos elevados que tienen poco caudal, como es el caso de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá. Puede definirse como una turbina de acción, es decir, que aprovecha únicamente la velocidad del flujo de agua para poder girar, debido a que la presión estática permanece constante entre la entrada y la salida del rodete.

Las turbinas Pelton se emplean en pequeñas y grandes centrales debido a que tienen una alta disponibilidad y bajo costo de mantenimiento; además de que su rendimiento es bastante alto, superior al 90% en condiciones de diseño, presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior al 80% para un caudal del 20% del nominal, como se observa en la Figura 7.2.

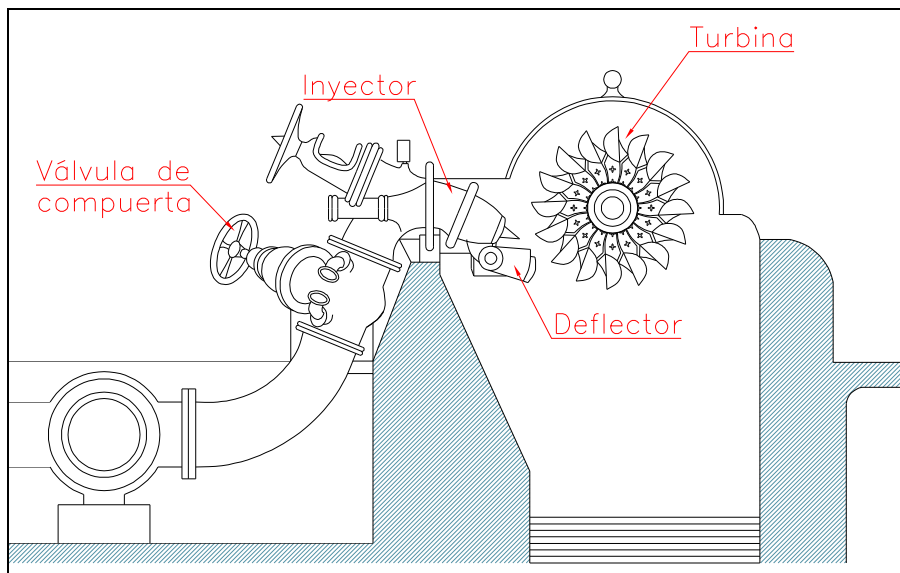
---

<sup>12</sup> ITDG – Perú. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. 1995.

**FIGURA 7.2****CURVA DE RENDIMIENTO DE LA TURBINA PELTON**

FUENTE: IDAE, Minicentrales Hidroeléctricas, 2006.

En la Figura 7.3 se presenta un esquema de la turbina Pelton con sus principales componentes.

**FIGURA 7.3****ESQUEMA DE LA TURBINA PELTON**

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

### **7.1.2. SELECCIÓN BÁSICA DEL EQUIPO DE REGULACIÓN**

Las minicentrales hidroeléctricas son sistemas que suministran electricidad en corriente alterna, requieren de una operación a velocidad constante para no dañar el generador eléctrico ni los equipos y máquinas que utilicen esta energía. La frecuencia de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la velocidad de giro del generador, por lo tanto, una variación en la velocidad de giro se traduce en una variación en la frecuencia del sistema eléctrico, que debe tener en el Ecuador, un valor de 60 hertz.

Una variación en la demanda de energía, inmediatamente produciría un cambio en la velocidad de giro de la turbina, por lo tanto el generador empezará a girar a una velocidad diferente de la velocidad de sincronismo, con la consecuente variación en la frecuencia y en el voltaje de la línea, por ello es necesario instalar un sistema de compensación que mantenga constante la velocidad de la turbina, bien sea un sistema de regulación del caudal de agua en la turbina, o un sistema de regulación de la carga.

En la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, se contempla controlar la velocidad del grupo generador a través de la regulación del caudal en la turbina, para lo cual es necesario que en todo momento la potencia disponible al ingreso del grupo generador, sea igual a la potencia eléctrica a la salida de este, más las pérdidas internas del grupo. Este equilibrio se logra regulando la cantidad de agua que ingresa a la turbina, de tal manera que si se produce un aumento en la demanda, se abrirá una válvula que permite el mayor ingreso de agua a la turbina ocasionando que la potencia generada se iguale a la demanda. Esta operación se puede realizar en forma manual o automática.

La regulación automática de la velocidad por regulación del caudal, prevista para el presente proyecto, proporciona un sistema con frecuencia y voltajes estables; es un sistema empleado cuando se prevé la existencia de grandes fluctuaciones instantáneas en la demanda. Este tipo de regulación utiliza los llamados reguladores de velocidad oleomecánicos, cuyos elementos principales son un



péndulo de contrapesos, una bomba de aceite, una válvula de distribución de aceite, y un servomotor.

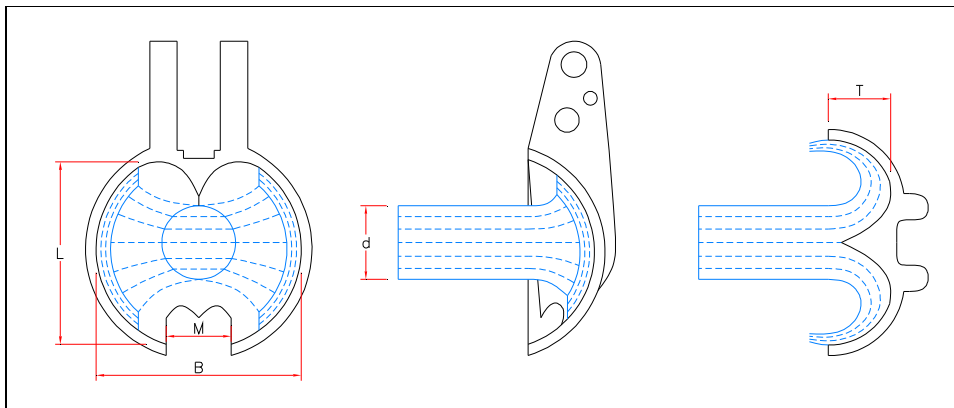
### 7.1.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS

#### 7.1.3.1. Turbinas seleccionadas

La turbina Pelton está formada por un rodete móvil con cangilones o cucharas de doble cuenco como se puede ver en la Figura 7.4. El chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los cangilones y provocando el movimiento de giro de la turbina. Las cucharas pueden estar empernadas al disco del rodete, unidas por soldadura o fundidas en una sola pieza con el disco.

**FIGURA 7.4**

CANGILÓN O CUCHARA DE LA TURBINA PELTON



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

Las posibilidades que ofrece este tipo de máquina hacen que sea muy apropiada para operar con carga parcial, además de permitir una amplia variación de caudales en su funcionamiento. Se puede instalar con el eje horizontal con uno o dos inyectores y con el eje vertical con tres a seis inyectores.

En el Cuadro 7.2 se presenta un resumen con las características principales de las dos unidades de generación.

## CUADRO 7.2

### CARACTERÍSTICAS DE LAS TURBINAS SELECCIONADAS

Características	Grupo № 1	Grupo № 2
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	0.50	1.50
Tipo de turbina	Pelton	Pelton
Número de inyectores	1	2
Diámetro del chorro, d [cm]	9.34	11.44
Velocidad del chorro [m/s]	72.90	72.90
Diámetro exterior del rodete [m]	0.76	0.98
Número de cangilones	18	18
Tipo de unión de los cangilones con el disco	Con pernos	Con pernos
Longitud del cangilón, L [cm]	19.62	24.03
Ancho del cangilón, B [cm]	2.36	28.61
Profundidad del cangilón, T [cm]	7.94	9.73
Mella del cangilón, M [cm]	10.28	12.59
Diámetro total aproximado de la turbina [m]	1.06	1.37
Ancho total aproximado de la turbina [m]	0.42	0.52
Altura de montaje mínima [m]	1.08	1.29
Eje de la turbina	Horizontal	Horizontal

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

#### 7.1.3.2. Equipo de regulación

La potencia se regula a través de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua. Un inyector consta por lo general de una tobera de sección circular provista de una aguja de regulación que se mueve axialmente, variando así la sección de flujo. En las paradas de emergencia se emplea un deflector que dirige el chorro directamente al desagüe, esto permite un cierre lento de los inyectores, reduciendo así los efectos del golpe de ariete en la tubería de presión.

En el Cuadro 7.3 se presentan los parámetros referenciales considerados en la regulación de las turbinas de los dos grupos de generación.

### CUADRO 7.3

#### PARÁMETROS REFERENCIALES DEL EQUIPO DE REGULACIÓN

Características	Recomendaciones
Tipo de regulación de la turbina	Accionamiento oleohidráulico de la aguja del inyector
Sensores de velocidad	Encoders de mínimo 720 pulsos por revolución
Actuadores	Oleohidráulicos
Carrera de los actuadores	De 100 a 120 mm
Capacidad o torque de revolución	500 kg-m

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

#### 7.1.3.3. Válvula de compuerta

Para cada una de las turbinas se incluirá una válvula manual de compuerta, para las operaciones de mantenimiento, serán instaladas en la entrada de la turbina. Su apertura se efectuará manualmente, debiendo tener cada válvula un indicador de posición y un by pass que posibilite el equilibrio de presiones.

En el Cuadro 7.4 se presentan las dimensiones y parámetros fundamentales de las válvulas de compuerta.

### CUADRO 7.4

#### PARÁMETROS DE REFERENCIA DE LA VÁLVULA DE COMPUERTA

Características	Grupo № 1	Grupo № 2
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	0.50	1.50
Diámetro de la válvula [mm]	400	800
Tipo de la válvula de compuerta	Manual, con indicador de posición	
Material de sujeciones de la válvula	Acero inoxidable	
Material del asiento de la válvula	Acero inoxidable	

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

#### 7.1.3.4. Puente grúa

En el Cuadro 7.5 se presentan las dimensiones del puente grúa a ser instalado en la casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá.

## CUADRO 7.5

### PARÁMETROS DE REFERENCIA DE LA VÁLVULA DE COMPUERTA

Características	Grupo № 1	Grupo № 2
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	0.50	1.50
Peso aproximado de la unidad de generación [ T ]	6.95	15.67
Capacidad del puente grúa [ T ]	10	20

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

El puente grúa es único para las dos unidades de generación, por lo tanto se escoge el de mayor capacidad, es decir que en la casa de máquinas se instalará un puente grúa con capacidad de 20 toneladas.

## 7.2. DISEÑO ELÉCTRICO BÁSICO

### 7.2.1. CENTRAL DE GENERACIÓN

#### 7.2.1.1. Generadores eléctricos

Son máquinas que transforman la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. El generador basa su funcionamiento en la inducción electromagnética. El principio de su funcionamiento se basa en la ley de Faraday, mediante la cual, cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético se produce una corriente eléctrica a través de él. El generador está compuesto de dos partes fundamentales, el rotor o inductor móvil, cuya función es generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina, y el estator o inducido fijo, sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable. El generador puede ser de dos tipos, síncrono o asíncrono.

En el generador síncrono la conversión de energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo, que es la velocidad de giro que viene dada por la turbina y origina en la corriente alterna la frecuencia síncrona normalizada. Las bobinas arrolladas crean el campo magnético en los polos del rotor, para que esto ocurra por las bobinas debe circular corriente continua, de ahí que también se denomina alternador. Para

producir esta corriente continua pueden emplearse diferentes sistemas de excitación. En el sistema de autoexcitación estática, la corriente proviene de la propia energía eléctrica generada, previamente transformada de alterna en continua.

El generador trifásico tiene tres fases distanciadas 120 grados entre sí. Es el más difundido, debido a que el peso del transporte de energía eléctrica en este sistema representa el 87% del peso del equivalente monofásico, y las pérdidas en la conducción son menores, siendo por lo menos un 2% más eficiente que el sistema monofásico equivalente, es decir, es el método más simple y económico de producción y consumo de energía. La forma de interconectar las fases da lugar a dos principales tipos de conexión, la conexión estrella, y la conexión en triángulo.

## **7.2.2. SUBESTACIÓN ELEVADORA**

El equipamiento eléctrico es necesario en la central hidroeléctrica, ya que es el encargado de la transformación de la tensión, de la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica, de la conexión a la línea de salida y de la distribución de la energía.

### **7.2.2.1. Transformadores de fuerza**

El transformador de tensión o fuerza es uno de los elementos fundamentales de este equipamiento. El objetivo es elevar la tensión al nivel de la línea existente, es decir la línea de transmisión que une la central Alao con la subestación Guamote de 69 kV, para permitir el transporte de la energía eléctrica con las mínimas pérdidas posibles.

El transformador debe contar con un sistema de refrigeración, atendiendo a sus características constructivas existen varios tipos. En el presente proyecto se ha contemplado la utilización de transformadores de fuerza sumergidos en aceite.

Los transformadores en aceite requieren la construcción de un cubeto para prever la recogida de aceite ante una fuga o derrame. Al estar sumergido en aceite y disponer de sistemas de radiadores para la evacuación del calor de pérdidas pueden alcanzar mayores potencias nominales que los secos.

#### **7.2.2.2. Equipo eléctrico general**

Los equipos eléctricos necesarios se disponen en cuadros eléctricos situados en el interior de la casa de máquinas, y básicamente son: disyuntores y seccionadores, que se emplean para la conexión y desconexión a la red; transformadores de medida, tanto de tensión como de intensidad, que facilitan los valores instantáneos de estas magnitudes en diversas partes de la instalación; transformadores de equipos auxiliares, que suministran la tensión adecuada para el correcto funcionamiento de los equipos; y pararrayos o autoválvulas, que actúan como descargadores a tierra de las sobreintensidades que se producen.

#### **7.2.3. GENERALIDADES SOBRE LA LÍNEA DE INTERCONEXIÓN**

La línea eléctrica necesaria para transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución es otro de los puntos importantes en el presupuesto del proyecto. El costo de esta línea puede encarecer notablemente el proyecto, dependiendo de su longitud y de la orografía del terreno.

Las características de la red que hay que conocer son frecuencia y tensión. Los valores normalizados de la tensión varían dependiendo de las condiciones del punto de conexión. La tensión nominal de la red existente tiene gran importancia ya que implica una transformación al mismo nivel, supone un costo elevado al estar condicionado a conectar a una línea de alta tensión.

La energía producida por la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, que corresponde a una potencia de 4708 kw, será transmitida y entregada por una línea de transmisión de 69 kV, al sistema de la Empresa Eléctrica de Riobamba, EERSA,

mediante una línea de aproximadamente 5 km, medidos desde el sitio de la subestación Huarhuallá ubicada junto a la casa de máquinas, hasta la línea de transmisión que une la central Alao con la subestación Guamote de 69 kV.

#### **7.2.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO ELÉCTRICO**

##### **7.2.4.1. Generadores eléctricos**

Las características básicas de los generadores que se utilizarán en los dos grupos de generación se presentan en el Cuadro 7.6.

#### **CUADRO 7.6**

##### **CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS GENERADORES**

<b>Características</b>	<b>Grupo № 1</b>	<b>Grupo № 2</b>
Potencia nominal [kw]	1177	3531
Factor de potencia en atraso	0.90	0.90
Voltaje nominal [V]	3300	3300
Frecuencia nominal [Hz]	60	60
Velocidad de sincronismo nominal [RPM]	720	720
Tipo del generador	Síncrono trifásico de eje horizontal	
Conexión del estator	Conexión estrella	
Sistema de excitación	Autoexcitación estática sin escobillas	
Regulación de voltaje del generador	Automático de alta velocidad, electrónico digital	

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

##### **7.2.4.2. Transformadores de fuerza**

Las principales características de los transformadores de fuerza para los dos grupos de generación se presentan en el Cuadro 7.7.

**CUADRO 7.7****CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS TRANSFORMADORES DE FUERZA**

<b>Características</b>	<b>Grupo № 1</b>	<b>Grupo № 2</b>
Potencia generada por cada grupo [kw]	1177	3531
Capacidad nominal del transformador [kw]	1300	4000
Voltaje nominal de servicio [kV]	3.30	3.30
Voltaje de la línea existente [kV]	69.00	69.00
Relación de transformación	3300/69000	3300/69000
Frecuencia [Hz]	60	60
Tipo del transformador	Transformador trifásico, conexión Dy1	
Sistema de refrigeración	Sumergido en aceite, autorefrigerado	
Accesorios	Indicador de aceite, válvula de drenaje, conmutador de taps, placa de características, y dispositivos de elevación	

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**7.2.4.3. Equipo eléctrico principal**

En el Cuadro 7.8 se presentan las características de los equipos eléctricos principales de la subestación.

**CUADRO 7.8****CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS PRINCIPALES**

<b>Disyuntores para mantenimiento y apertura por falla</b>	<b>Grupo № 1</b>	<b>Grupo № 2</b>
Voltaje nominal de servicio [kV]	3.30	3.30
Capacidad nominal [kw]	1300	4000
Número de polos	3	3
Frecuencia [Hz]	60	60
Tipo	Interior	Interior
<b>Disyuntores y seccionadores para el lado de alta</b>	<b>Grupo № 1</b>	<b>Grupo № 2</b>
Voltaje nominal de servicio [kV]	69.00	69.00
Capacidad nominal [kw]	1300	4000
Número de polos	3	3
Frecuencia [Hz]	60	60
Tipo	Exterior	Exterior
<b>Disyuntores y seccionadores para la línea de salida</b>		
Voltaje nominal de servicio [kV]	69.00	
Capacidad nominal [kw]	5300	
Número de polos	3	
Frecuencia [Hz]	60	
Tipo	Exterior	
<b>Pararrayos contra sobrevoltaje de maniobra y descargas atmosféricas</b>		
Tipo	Óxido de zinc	
Conexión	Línea a tierra	
Voltaje nominal de servicio [kV]	69.00	
Voltaje máximo de operación fase-fase [kV]	72.50	
Voltaje nominal fase-tierra [kV]	60.00	
Voltaje de descarga, onda completa [kV]	136.00	



**CUADRO 7.8**

## CONTINUACIÓN

<b>Transformadores de potencial para los sistemas de medida</b>	
Voltaje nominal primario [kV]	69.00
Voltaje nominal secundario [V]	115.00
Clase	1.2 Y
<b>Transformadores de corriente para los sistemas de medida</b>	
Voltaje nominal primario [kV]	69.00
Relación de transformación A/A	50/5
Clase	0.2

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**7.2.4.4. Línea de interconexión**

La consideración más importante en la selección de los conductores de la línea de transmisión es la caída de tensión, la pérdida de potencia es sólo referencial.

En el Cuadro 7.9 se presentan las características de los equipos eléctricos principales de la subestación.

**CUADRO 7.9**

## CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS PRINCIPALES

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Potencia entregada [kw]	4708
Longitud de la línea [km]	5
Voltaje de la línea [V]	69
Factor de potencia	0,9
Corriente de la línea [A]	43,8
Número de fases	3
Número de conductores	3
Número de ternas	1
Calibre del conductor [AWG]	2
Resistencia eléctrica del conductor [ $\Omega$ ]	5,25
Reactancia inductiva del conductor [ $\Omega$ ]	2,89
Módulo de impedancia [ $\Omega$ ]	6,00
Regulación de la línea	0,66%

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**7.3. ALTERNATIVAS EN GENERACIÓN**

Para la evaluación de los beneficios producidos por el proyecto Huarhuallá se plantean dos alternativas que se fundamentan en los siguientes aspectos:

- a) Las obras civiles definidas para el aprovechamiento hidroeléctrico son las mismas para las dos alternativas
- b) Se mantiene el área de aprovechamiento agrícola del Sistema Licto
- c) Los usuarios del proyecto de riego Licto deben tener interés en incrementar al máximo la generación hidroeléctrica, sin que esto perjudique a la cobertura de las demandas agrícolas. Esto es posible si los regantes del Sistema Licto son al mismo tiempo socios del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá, de tal manera que combinen los objetivos de ambos aprovechamientos potenciándose mutuamente. La generación hidroeléctrica generará recursos frescos que podrán sustentar las mejoras del Sistema de Riego Licto.
- d) Se optimiza el manejo del recurso hídrico en el sistema de riego Licto, pues al tener los dos aprovechamientos un mismo dueño, se buscará un equilibrio racional para cubrir las demandas de riego y generar hidroelectricidad.

El primer grupo operará la mayor parte del tiempo y tendrá una capacidad instalada de 1.18 MW, con lo que permite la generación para el rango bajo de caudales, desde  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$  hasta  $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ . El segundo grupo tendrá una capacidad instalada de 3.53 MW y operará con un rango de caudales entre  $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$  hasta  $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este grupo entrará en operación tan pronto el caudal disponible supere el valor de  $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La instalación de estos dos grupos de diferente capacidad permite generar la energía máxima, de acuerdo a la disponibilidad. A base de la generación producida por año en cada una de las alternativas y de su relación con la capacidad instalada de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, se definen los factores de planta para cada alternativa.

La determinación de los factores de planta, así como la energía media anual generada, para cada una de las alternativas de generación se presenta en el Anexo 3.

### **7.3.1. ALTERNATIVA I**

La Alternativa I plantea mantener la demanda del sistema de riego en el caudal concesionado, es decir  $1.30 \text{ m}^3/\text{s}$ , para abastecer las 1300 Ha en producción, es decir mantener un caudal específico de  $1.0 \text{ l/s/ha}$  en el aprovechamiento agrícola.

La energía media anual generada en esta alternativa es de 25.6 Gigavatios-hora y el factor de planta es 0.68.

### **7.3.2. ALTERNATIVA II**

La Alternativa II plantea optimizar el uso de agua para riego en el sistema Licto, con lo que los caudales específicos de aprovechamiento agrícola pueden ser reducidos en un 30 % de los actuales. Esta optimización no debe representar un esfuerzo demasiado grande para los regantes, pues en la zona de la Sierra ecuatoriana se manejan normalmente caudales específicos en el orden de  $0.6 \text{ l/s/ha}$  a  $0.7 \text{ l/s/ha}$ . La optimización en el manejo del recurso hídrico en riego, representará un incremento en los caudales disponibles y por lo tanto en los beneficios del proyecto hidroeléctrico.

La energía media anual generada en esta alternativa es de 27.9 Gigavatios-hora y el factor de planta es 0.74.

## **CAPÍTULO 8**

### **8. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES**

#### **8.1. SELECCIÓN DE LA LÍNEA BASE AMBIENTAL**

La línea base ambiental que se presenta en el Anexo 4.1, incluye un conjunto parámetros representativos que describen la calidad del ambiente en el área de influencia directa e indirecta de la ruta seleccionada y que pueden estar afectados por las actividades de construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá.

#### **8.2. LISTA DE CHEQUEO DE LOS POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES**

Para la evaluación de los posibles impactos ambientales se han definido dos etapas en el desarrollo de las actividades del proyecto, la etapa de construcción, y la etapa de operación. En cada una de estas etapas se identifican las actividades impactantes que se detallan a continuación.

En la etapa de construcción:

- A.1. Expropiaciones de terrenos,
- A.2. Vías de acceso al sitio del proyecto,
- A.3. Montaje y funcionamiento del campamento y depósito de materiales,
- A.4. Limpieza del sitio y del cauce,
- A.5. Transporte de insumos, materiales y equipos,
- A.6. Construcción de las obras de captación y desarenación,
- A.7. Readecuación del canal y construcción del tanque y tubería de presión,
- A.8. Construcción de la casa de máquinas y obras de restitución de aguas,
- A.9. Obras de control de erosión,

- A.10. Construcción de la línea de transmisión de energía, y
- A.11. Desmantelamiento del campamento.

En la etapa de operación:

- B.1. Llenado del reservorio,
- B.2. Operación del disipador,
- B.3. Socavación del cauce,
- B.4. Control de erosión,
- B.5. Control del flujo,
- B.6. Gestión de la cuenca,
- B.7. Regulación del flujo,
- B.8. Operación de descarga,
- B.9. Transporte,
- B.10. Generación de energía y transporte, y
- B.11. Generación de desechos.

Las acciones impactantes correspondientes a cada una de las actividades consideradas en las dos etapas del desarrollo del proyecto se presentan en el Anexo 4.2.

### **8.2.1. FACTORES DEL MEDIO AFECTADOS**

Las actividades del proyecto presentan afectaciones tanto sobre el medio natural como sobre el medio antrópico. Los efectos sobre distintos factores del medio son aquellos que luego se valorizan, para estimar las consecuencias de las acciones previstas.

#### **8.2.1.1. Medio Natural**

Se prevé que las actividades y acciones de las etapas de construcción y operación de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá y su línea de transmisión, producirán afectaciones sobre diversos componentes del medio natural. Los

factores del medio que sufrirán los efectos de las actividades son: la calidad del aire, la calidad del suelo, la calidad del agua, la flora y la fauna.

#### **8.2.1.2. Medio Antrópico**

Los factores del medio antrópico que pueden ser afectados son: el paisaje y su estética natural; los reasentamientos y las costumbres generadas por ellos; los restos arqueológicos; el desarrollo económico local inducido debido a la generación de empleo, las posibles industrias agropecuarias, el comercio y los servicios; el sistema vial de transporte liviano y pesado; la salud, el sistema sanitario y la educación; la generación de expectativas respecto al estilo de vida; las condiciones higiénico sanitarias en aspectos como la salud de la población, la infraestructura sanitaria y la proliferación de vectores; la seguridad de operarios y las personas involucradas en el proyecto.

### **8.3. MATRIZ DE VALORACIÓN**

Una vez establecidas las etapas, actividades y acciones impactantes y los factores del medio impactados, se califican los impactos, positivos o negativos, utilizando la valoración de los impactos ambientales.

La valoración se realiza a través de las matrices de doble entrada, cuyas filas indican las actividades por etapas, mientras que las columnas indican los factores del medio impactado. En la matriz se incluyen los resultados de la valoración de los impactos ambientales, que se fundamenta en los siguientes parámetros: el carácter, la intensidad, el riesgo de ocurrencia, la extensión, la duración, el desarrollo y la reversibilidad. La descripción de estos parámetros se presenta en el Anexo 4.3.

Para obtener la calificación de cada impacto ambiental identificado y que va a formar la matriz de valoración, se utiliza la fórmula polinómica que se presenta a continuación.

$$CA = Ca \times \frac{(In + Ex + Du + De + Re) \times Ro}{5} \quad (\text{Ecuación 8.1})$$

Donde:

CA: Valor de la calificación ambiental,

Ca: Carácter, In es la intensidad,

Ex: Extensión,

Du: Duración,

De: Desarrollo,

Re: Reversibilidad, y

Ro: Riesgo de ocurrencia.

La división por cinco permite ponderar los parámetros en forma uniforme y analizar luego las calificaciones por rango bajo, medio o alto. Las calificaciones de cada impacto se han incluido en las matrices de valoración o matrices de evaluación de impacto ambiental generadas.

Las matrices de valoración ambiental correspondientes a las etapas de construcción y operación, en el desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá, se presentan en el Anexo 4.4.

Los resultados numéricos presentados en las matrices de evaluación de impacto ambiental, son calificados de acuerdo a el Cuadro 8.1 que se presenta a continuación.

### **CUADRO 8.1**

#### **CALIFICACIÓN AMBIENTAL DE LA MATRIZ DE VALORACIÓN**

Calificación	Bajo	Medio	Alto
Rango de valores	0 < 4	4 ≤ 7	7 ≤ 10

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## **8.4. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD AMBIENTAL**

El análisis de viabilidad ambiental se presenta de acuerdo a cada etapa del desarrollo del proyecto.

### **8.4.1. ANÁLISIS DE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

La visualización de la matriz de valoración en la etapa de construcción de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá permite observar que las actividades de mayor impacto ambiental negativo son las siguientes: la expropiación de terrenos, el montaje y funcionamiento del campamento, la limpieza del sitio y del cauce, la construcción de las nuevas obras de captación y desarenación, y naturalmente, la actividad más impactante que es la readecuación del canal de conducción y la construcción del tanque de presión y la tubería de presión. Al realizar el análisis de los componentes ambientales más afectados negativamente por las actividades de construcción, se definen los siguientes: la calidad del aire, el uso actual del suelo, el paisaje estético, y la seguridad de los trabajadores y operarios; mientras la economía local se beneficiará con la generación de empleo, componente que lógicamente tiene una calificación positiva.

Si las gestiones que se realicen para la expropiación de terrenos no son adecuadas pueden presentarse conflictos sociales y ambientales, que impedirían la ejecución de los estudios de factibilidad, diseño definitivo y en último caso, la ejecución del proyecto.

El control de flujo del río Huarhuallá, tiene implicaciones con el proceso constructivo, las previsiones para el desvío del río, y la construcción de la obra de toma, que en caso de ser negligente, puede ocasionar pérdidas materiales e incluso vidas humanas.



#### **8.4.2. ANÁLISIS DE LA ETAPA DE OPERACIÓN**

La visualización de la matriz de valoración en la etapa de operación de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá permite observar que las actividades de mayor impacto ambiental son las siguientes: el llenado del reservorio, el control de la erosión, la generación de energía, y la generación de desechos. La gestión de la cuenca tiene a su vez un impacto ambiental positivo. Al realizar el análisis de los componentes ambientales más afectados por las actividades de construcción, se definen los siguientes: el control de inundaciones, la fauna, el paisaje estético, y la seguridad de los trabajadores.

La gestión integral de la cuenca hidrográfica de las que son parte los ríos Huarhuallá y Chambo, permitiría a mediano plazo tener impactos positivos en la zona de influencia del proyecto, por el mejor uso de los recursos agua y suelo. Pero ese tipo de planificación territorial, relacionada con la gestión ambiental, no es inherente exclusivamente al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER, sino que involucra a varios organismos del Estado Central como el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, CNRH, y la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, SENPLADES. Involucra al Consejo Provincial de Chimborazo, al Municipio de Riobamba, a organizaciones de protección y conservación del ambiente de la zona y a empresas privadas que tienen permisos para realizar obras similares.

## CAPÍTULO 9

### 9. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

#### 9.1. VOLÚMENES DE OBRA

**CUADRO 9.1**

**RESUMEN DE LOS VOLÚMENES DE OBRA**

Rubro	Resumen	Observaciones
Obras generales	Replanteo de todas las obras, longitudinales y de áreas, expropiaciones, campamentos	El área de expropiación es de 0.5 ha, que incluye la faja de la conducción superficial.
Vías de acceso	Adecuación de 2 km de vías existentes, construcción de vía nueva: 170 m	Vía para mantenimiento de la conducción y captación
Obra de captación	Toma de rejilla de fondo, ancho de cierre: 9 m, altura de galería: 3.3 m	Estructura de doble galería que garantice una cota de salida del caudal captado de 1.5 m por encima de la actual
Canal toma-desarenador	Canal embaulado de hormigón, sección transversal tipo baúl de 2.6x2.6 m, L= 38 m, Pendiente longitudinal = 0.02%	Obra nueva que reemplaza a la existente
Desarenador	Tres cámaras de sección transversal rectangular de 2.9 m de ancho y 2.84 m de altura efectiva, longitud total del desarenador: 64.1 m	Obra nueva que reemplaza a la existente. Incluye la transición de entrada y de salida del desarenador
Canal toma-desarenador	Canal embaulado de hormigón, sección transversal tipo baúl de 2.6x2.6 m, L= 38 m, Pendiente longitudinal = 0.001%	Obra nueva que reemplaza a la existente
Adecuación canal de conducción principal	Incremento de 1.0 m en la altura de canal existente. Reemplazo de la cobertura existente	Incluye tramos cubiertos 1150 m y tramos a superficie libre 8969 m
Ampliación sifones en la conducción	Ampliación de los tanques de ingreso hacia los sifones. Tubería de acero nueva Ø =1000 mm para sifones paralelos	Incluye obra de estabilización en el ramal descendente del sifón existente № 3
Tanque de presión	Dimensiones de la planta: 10.0x9.5 m, profundidad máxima: 5.5 m Incluye órganos de regulación y limpieza, transición de entrada y canal de excedencias	Incluye canal rectangular: 2.0x1.7 m para lavado y excedencias del tanque, descargará a la quebrada con enrocado de protección
Tubería de presión	L =664.48 m, Ø = 1000 mm, incluye 10 bloques de anclaje y 24 pantallas de soporte	La tubería de presión se instalará enterrada en toda su longitud
Casa de máquinas	A = 215 m <sup>2</sup> , área requerida para ubicar los grupos turbina-generator, tableros de control y demás equipamiento electromecánico	Incluye casa de guardia y obras complementarias
Equipo electromecánico	Dos grupos Turbina – Generador tipo Pelton. Incluye sistema de control, medida y protección y puente grúa	Incluye la línea de transmisión, L = 8.5 km
Obras de restitución de caudales	Canal rectangular de 1.5x1.0 m de sección transversal. Longitud:77.2 m	Se incluye enrocado de protección en la margen derecha y parte del cauce del río Chambo
Costos ambientales	Programas de medidas de mitigación, manejo de efluentes, prevención de emergencias, plan de seguridad, control y monitoreo ambiental y comunicaciones a la comunidad	Se considera que en el primer año se requerirá una inversión de 20.000 dólares para la realización de auditorías ambientales, que permitan evaluar el cumplimiento de la aplicación de las medidas de mitigación
Operación y mantenimiento	Mantenimiento preventivo y correctivo anual. Este rubro no forma parte de los costos de inversión	Incluye una reposición de equipo electromecánico en el período de diseño

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

A base del dimensionamiento realizado para cada uno de los componentes que conforman la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, como parte del aprovechamiento múltiple, se han definido los volúmenes de obra. El Cuadro 9.1 presenta un resumen de los volúmenes de obra en donde se incluyen los rubros principales que intervienen en la evaluación.

## **9.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS PRINCIPALES RUBROS**

Para el desarrollo del análisis de precios unitarios se han tomado como base fundamental los precios de los materiales de construcción investigados en las fuentes de aprovisionamiento para el Proyecto Huarhuallá, Riobamba y Licto.

Estos precios se encuentran actualizados hasta la fecha de entrega del Estudio de Prefactibilidad para la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, realizado por la Escuela Politécnica Nacional para el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, es decir al mes de marzo del año 2008.

Se han tomado en consideración las recomendaciones de las organizaciones y organismos locales de la provincia de Chimborazo respecto de las fuentes de agregados y de los proveedores de materiales y equipos. Además se ha utilizado la base de datos que se dispone a nivel provincial en la Cámaras de la Construcción de Riobamba. De igual modo, en forma referencial y para comparación, se ha utilizado la información de otras instituciones importantes, de nivel local y regional, como son los Consejos Provinciales, los Gobiernos Municipales, las Corporaciones de Desarrollo Provincial, las Corporaciones del Consejo Nacional de Recursos Hídricos, y similares.

Para establecer los valores de precios unitarios se han considerado la descomposición de los precios en mano de obra calificada y no calificada, los precios de materiales, equipos y herramientas nacionales y extranjeras, y el transporte de los mismos, los costos de energía, entre otros; para que puedan ser analizados, en la evaluación económica del proyecto, a precios de eficiencia.

### 9.3. PRESUPUESTO BÁSICO PRELIMINAR

Con los resultados del análisis de precios unitarios y con la información sobre volúmenes de obra, resultado del estudio a nivel de prefactibilidad se ha procedido a la preparación del presupuesto del proyecto, desglosado para los principales componentes y rubros, el mismo que se presenta en el Anexo 5.1.

El presupuesto toma en cuenta las recomendaciones respecto a los materiales, las mismas que se encuentran contenidas fundamentalmente en los códigos de construcción existentes en el país, como los del INEN, y en las normas internacionales, ACI, ASTM, DIN, entre otros.

Se ha realizado también una investigación de los costos de materiales, de transporte, de alquiler de equipos, de mano de obra y de otros insumos requeridos en el proyecto, a nivel local o en las ciudades importantes más cercanas.

En el Cuadro 9.2 se presenta un resumen del presupuesto para el Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá.

#### CUADRO 9.2

##### RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Nº	Rubro	Costo [US \$]	Porcentaje
1	Obras generales	231.243,05	2,6%
2	Vías de acceso	366.630,09	4,1%
3	Obra de captación	309.713,58	3,5%
4	Canal captación-desarenador	33.873,77	0,4%
5	Desarenador	104.041,78	1,2%
6	Canal desarenador-tunel	33.012,54	0,4%
7	Ampliación canal de conducción	2.668.397,34	30,1%
8	Ampliación de sifones en conducción	1.477.000,79	16,7%
9	Tanque de presión	322.651,80	3,6%
10	Tubería de presión	925.843,85	10,5%
11	Casa de máquinas	118.440,00	1,3%
12	Equipo electromecánico	2.155.375,00	24,4%
13	Obras de restitución de caudales	42.523,24	0,5%
14	Costos ambientales	62.550,00	0,7%
<b>Total</b>		<b>8.851.296,83</b>	<b>100,00%</b>

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

En los resúmenes presentados se observa que el mayor porcentaje corresponde al rubro de ampliación de la conducción principal, equivalente al 30.1%. En segundo lugar están los elementos electromecánicos con un porcentaje correspondiente al 24.4%. Otro rubro importante, equivalente al 16.7%, es la ampliación y rehabilitación de los sifones en la conducción principal. Todos los otros componentes representan porcentajes inferiores al 10%.

El costo total de inversión para el Proyecto Huarhuallá es de \$8`851.297, con una carga neta de 300 m. La potencia instalada es de 4707.6 Kw. Consecuentemente el costo del kilovatio instalado será de 1.880 US \$/kw.

En cuanto a los costos de operación y mantenimiento que se detallan en el Cuadro 9.3, estos representan, a valor actual, cerca del 28% de los costos totales. Cabe mencionar que no se contemplan los costos de gerencia y administración del proyecto.

### CUADRO 9.3

#### OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL

Nº	Rubro	Total [US \$]	Porcentaje	Observaciones
1	Vías de acceso	8.400,00	4,3%	Equipo pesado y cuadrilla
2	Obras de captación y desarenación	11.700,00	6,0%	Guardián 1 y herramientas
3	Obras de conducción	54.600,00	28,0%	Cuadrilla y herramientas
4	Tanque de presión	7.200,00	3,7%	Guardián 2 y herramientas
5	Tubería de presión, equipo electromecánico y línea eléctrica	86.400,00	44,2%	Guardián 3 y herramientas
6	Obras de restitución de caudales	3.600,00	1,8%	Guardián 4 y herramientas
7	Medidas de protección ambiental	23.400,00	12,0%	Varios
<b>Total</b>		195.300,00	100,0%	

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

## 9.4. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

La determinación de los parámetros de evaluación financiera se presenta en el Anexo 5.2, para lo cual se ha considerado que el proyecto tendrá un periodo vida útil de 25 años.

Los precios energéticos empleados en la evaluación financiera del proyecto se encuentran actualizados hasta la fecha de entrega del Estudio de Prefactibilidad para la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, realizado por la Escuela Politécnica Nacional para el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, es decir al mes de marzo del año 2008.

En los costos ambientales, además de los costos de inversión del año cero, por conceptos de mitigación y compensación de los impactos ambientales, y los costos anuales de protección; se ha incluido en el primer año un valor determinado para la realización de auditorías ambientales, que permitan evaluar el cumplimiento de la aplicación de las medidas de mitigación.

En cuanto a los costos de operación y mantenimiento, además de los costos anuales, se incluyen costos recurrentes cada cinco años, equivalentes al 22% del costo de la tubería de presión y de los equipos electromecánicos, con la finalidad de cubrir los requerimientos de mantenimiento correctivo y preventivo por concepto de desgaste y daños a dichos componentes, con lo que se asegura el eficiente funcionamiento del sistema, reduciéndose los riesgos de interrupciones en la generación.

Los costos de generación por kilovatio-hora son diferentes para las dos alternativas, en virtud de que la optimización en el uso del agua permite incrementar la generación en alrededor del 8.6%, pasando de 25.600 megavatios-hora anuales en la Alternativa I a 27.800 megavatios-hora en la Alternativa II, como se muestra en el Cuadro 9.4, lo que permite reducir el costo por kilovatio-hora generado.

#### **CUADRO 9.4**

##### **COSTOS DE LA ENERGÍA GENERADA**

<b>Alternativa</b>	<b>Costo de energía [US\$/kwh]</b>
Alternativa I	0.043
Alternativa II	0.039

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

Para las dos alternativas los costos de generación del cuadro anterior se cubren plenamente por el precio reconocido por el CONELEC, que es de 0.058 US\$/kwh para generadoras hidroeléctricas con capacidad instalada entre 5 y 10 megavatios<sup>13</sup>.

En cuanto a la tasa de descuento utilizada para el cálculo del valor actual, se escogió el promedio entre la tasa activa referencial y la tasa pasiva referencial del Banco Central, que resulta ser de 7,5%. En el Cuadro 9.5 se muestran tanto las tasas internas de retorno, TIR, como los valores actuales netos, VAN, de las dos alternativas.

### **CUADRO 9.5**

#### **PARÁMETROS DE EVALUACIÓN FINANCIERA**

<b>Alternativa</b>	<b>TIR [%]</b>	<b>VAN [US\$]</b>
Alternativa I	12.7%	4'314.337
Alternativa II	14.3%	5'736.688

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## **9.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO**

En vista de la importancia que tiene la generación hidráulica para sustituir energía generada con fuentes térmicas, el análisis no puede restringirse a los resultados puramente financieros, como base para la toma de decisiones, sino que se tiene que evaluar los resultados desde el punto de vista económico, incluyendo como beneficios, los costos evitados por concepto de pagos por combustible, al sustituir generación térmica.

Los precios energéticos empleados en la evaluación económica del proyecto se encuentran actualizados hasta la fecha de entrega del Estudio de Prefactibilidad para la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, realizado por la Escuela Politécnica

---

<sup>13</sup> CONELEC. Precios de la Energía Producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales. 2008.

Nacional para el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, es decir al mes de marzo del año 2008.

Para efectuar el análisis económico, se tomó como base el valor promedio de consumo de diesel por megavatio-hora en una generadora térmica para calcular el volumen de diesel que se estaría ahorrando por la generación hidráulica en el Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá. Este valor corresponde a 4.17 barriles de diesel por megavatio-hora según la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE.

El ahorro en diesel en la Alternativa I sería de 106.8 mil barriles anuales, que a un precio de cien dólares por barril, equivale a un valor de aproximadamente US\$10.7 millones anuales, lo que resulta en un costo evitado total actualizado de US\$119 millones para todo el período del proyecto.

Para la Alternativa II, al ser mayor la generación, se ahorrarían 116.0 mil barriles anuales, equivalentes a US\$11.6 millones anuales, que a valor presente para todo el periodo de vida del proyecto representan US\$129 millones.

Estos costos evitados constituyen los beneficios económicos del proyecto, lo que determina una alta rentabilidad económica, con los valores actuales netos económicos, VANE, y las tasas internas de retorno económicos para las dos alternativas, TIRE, que se muestran en el Cuadro 9.6.

### **CUADRO 9.6**

#### **PARÁMETROS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA**

<b>Alternativa</b>	<b>TIRE [%]</b>	<b>VANE [US\$]</b>
Alternativa I	118.1%	106'820.346
Alternativa II	128.5%	117'051.806

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

A los costos evitados del proyecto por la compra de combustible, al reemplazarse la generación térmica por la hidráulica, se añaden los beneficios por la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Tomando como referencia que una tonelada quemada de



diesel emite 3.12 toneladas de CO<sub>2</sub> se estiman los valores anuales presentados en el Cuadro 9.7, en la que se incluyen los ingresos anuales para las dos alternativas a un precio de diez dólares la tonelada de CO<sub>2</sub> evitada.

### **CUADRO 9.7**

#### **BENEFICIOS ANUALES POR LAS EMISIONES EVITADAS DE CO<sub>2</sub>**

<b>Alternativa</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado anualmente [ Toneladas ]</b>	<b>Ingresos anuales [US\$]</b>
Alternativa I	52.905	529.048
Alternativa II	57.451	574.513

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

## **CAPÍTULO 10**

### **10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE**

#### **10.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE LLUVIAS Y DE CAUDALES DE DISEÑO**

Desde el punto de vista hidrológico, la determinación de los caudales firmes constituye una base fundamental para definir la viabilidad técnica de los proyectos hidroenergéticos. Estos aprovechamientos están ligados a secciones específicas de ríos, las mismas que tienen a su vez cuencas de drenaje o de aportación, cuyas propiedades y características climáticas y físico-geográficas inciden directamente en la formación del escurrimiento y del caudal. Este análisis se complementa con el estudio de concesiones existentes que permiten evaluar la verdadera disponibilidad de caudales para la generación hidroeléctrica.

La estación hidrométrica Huarhuallá A.J. Cebadas se consideró adecuada para la evaluación de las características hidrológicas de las fuentes de agua del presente proyecto. La disponibilidad de registros corresponde al período 1965 – 2006, con intermitencias.

Los caudales medios para el sitio de captación se traspusieron asumiendo un modelo de proporcionalidad de áreas de drenaje de las respectivas cuencas. Mientras que los caudales máximos se estimaron a partir de relaciones regionales entre los caudales específicos máximos de crecidas con período de retorno y las correspondientes áreas de las cuencas. Se determinaron los caudales máximos para 5, 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno.

La notable variabilidad climática, en particular, en términos de precipitaciones estacionales e interanuales, genera una fuerte fluctuación de los caudales en el

tramo de captación del río Huarhuallá, los mismos que han sido analizados para determinar los valores esperados de crecidas o avenidas como respuesta a la ocurrencia de lluvias intensas.

La curva de variación estacional muestra una clara tendencia de incremento del caudal en el río Huarhuallá en los meses de mayo a septiembre, teniendo como máximo para todas las probabilidades de excedencia de caudal, el mes de julio.

Si se define que el proyecto puede entrar a la siguiente fase de estudio se recomienda realizar aforos de caudales líquidos en las inmediaciones de la captación del río Huarhuallá y en la estación Huarhuallá A.J. Cebadas para ajustar los modelos de transposición de caudales.

## **10.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

La evaluación de los sedimentos en suspensión se realizó en base a mediciones en la estación Huarhuallá AJ Cebadas; los sólidos totales para el río Huarhuallá en la captación se determinaron asumiendo el concepto de proporcionalidad de áreas de drenaje. La carga total de sedimentos transportados por el río Huarhuallá en el sitio de la captación corresponde a 10136,46 Ton/año.

De definirse que el proyecto puede entrar a la siguiente fase de estudio se recomienda realizar aforos sólidos en las inmediaciones de la captación del río Huarhuallá y en la estación Huarhuallá A.J. Cebadas para ajustar los modelos de transposición de caudales.

Además es necesario evaluar con mayor detalle la producción de sedimentos de la cuenca, en base a datos de operación de las obras de captación en el río Huarhuallá, considerando los volúmenes de sedimentos acumulados.

### **10.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE**

La evaluación hidráulica de las obras que serán comunes para los dos proyectos nos permite concluir que para llevar a cabo los proyectos hidroeléctrico y de riego de manera conjunta, se requiere la construcción de estructuras nuevas para la mayoría de los elementos que conformarán el proyecto de aprovechamiento múltiple.

No obstante, la conducción principal del Sistema de Riego Licto en el tramo comprendido entre la captación y el tanque de carga del sifón de cruce con el río Chambo, será el elemento que mayores beneficios aporte para el desarrollo de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá. Esto debido a que las readecuaciones que serán necesarias en este tramo conducción son técnicamente viables con un nivel de complejidad relativamente bajo.

Se recomienda trabajar en las coordenadas del sistema de UTM ECUADOR PSAD56, debido a que la información original, así como también la restitución aerofotogramétrica realizada para la zona del proyecto, se encuentra en este sistema. La diferencia de nivel entre el tanque de carga del sifón y el sector destinado para la casa de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá es de 313.94 metros.

### **10.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL DISEÑO BÁSICO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL**

Los criterios técnicos aplicados en la concepción del proyecto así como en el diseño de todos sus componentes a nivel de prefactibilidad garantizan la viabilidad técnica del mismo.

Considerando las características morfológicas del Río Huarhuallá en el tramo de captación se ha diseñado una toma con rejilla de fondo, apropiada para ríos con pendientes relativamente fuertes, en donde se presentan crecidas súbitas durante las que se arrastra gran cantidad de material grueso.

Para el presente proyecto se ha previsto una estructura de lavado intermitente, de triple cámara, con lo que se garantiza que las operaciones de limpieza no interfieran en la operación de la central.

El Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá aprovechará las obras de la conducción principal del Proyecto de Riego Licto desde el inicio del primer tramo de túnel hasta el tanque de entrada del sifón de cruce con el río Chambo; para este efecto, como se mencionó en el Capítulo 5, se deberán realizar las adecuaciones necesarias para conducir el caudal previsto en el aprovechamiento múltiple conformado por los siguientes tramos de túnel, de canal abierto y cubierto, y sifones de cruce de quebradas. La evaluación de la capacidad hidráulica de los tramos de túnel permite garantizar se puede transportar los  $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$  con flujo a superficie libre, por lo que no se requieren adecuaciones. La capacidad hidráulica de los tramos de canal en la conducción principal no es suficiente para transportar el caudal de  $3.30 \text{ m}^3/\text{s}$ , en consecuencia la sección transversal para estos tramos de canal abierto y cubierto requiere ser ampliada para conducir el caudal de diseño del aprovechamiento múltiple, se realizará un incremento de 1.00 m en la altura útil del mismo. Las estructuras de los tres sifones existentes no pueden ser sobrecargadas por lo que en el proyecto se prevé la construcción de nuevos sifones, para conducir en similares condiciones el caudal de  $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , que corresponde exclusivamente al caudal del proyecto hidroeléctrico; la cámaras de ingreso de cada sifón deberán ser ampliadas y las tuberías se colocarán en forma paralela a las existentes, serán de acero, con diámetro igual al doble del existente, es decir 1640 mm.

La separación de caudales del presente proyecto de aprovechamiento múltiple se producirá en el tanque de carga del sifón de cruce del río Chambo.

El diseño del tanque de presión prevé un volumen de  $400 \text{ m}^3$ , valor que corresponde a un tiempo de retención de 200 segundos, siendo este tiempo el disponible para detener la turbina ante una suspensión total del caudal.

Para el presente proyecto se ha definido que la longitud total de la tubería es de 644 m, la misma que deberá conducir el caudal de diseño correspondiente a  $2.00 \text{ m}^3/\text{s}$  desde el tanque de presión hasta el ingreso a la casa de máquinas, alcanzando una altura bruta de caída de 300 m. El resultado del análisis realizado en el Capítulo 6 indica que el diámetro interno óptimo para la tubería de presión corresponde al valor de 1000 mm y un espesor de 20 mm. La tubería será colocada en una zanja somera, generalmente de profundidad mayor a 2.0 m. Como la tubería de presión se apoyará directamente sobre el suelo, las fuerzas que actúan sobre los anclajes en los cambios de dirección se reducen notablemente. Se ha previsto además la colocación de pantallas de hormigón cada 20 m cuya finalidad fundamental es evitar que el material de relleno sea arrastrado por efecto de las lluvias.

## **10.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL DISEÑO BÁSICO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO**

En el Capítulo 7 se presentan los estudios técnicos electromecánicos básicos correspondientes a la central Hidroeléctrica Huarhuallá. De definirse como un proyecto viable, su ejecución debe garantizar una buena provisión del servicio hidroeléctrico durante su vida útil.

Los valores presentados en el Capítulo 7, resultado de los cálculos realizados para el dimensionamiento de las turbinas Pelton seleccionadas, servirán como referencia para la turbina que se instale en la Central Hidroeléctrica Huarhuallá. Sin embargo los valores definitivos serán establecidos por el fabricante, sin que dichos valores tengan una diferencia significativa con los cálculos, en caso de ocurrir diferencias muy altas, el fabricante deberá explicar esta variación.

Considerando las particulares características de disponibilidad del caudal líquido para la generación en la Central Huarhuallá a lo largo del año, así como la posibilidad que ofrecen los grupos turbina-generator tipo Pelton Normal para trabajar con caudales diferentes a los de diseño, en rangos que varían desde el 60% hasta el 120% del mismo, manteniendo aun coeficientes de eficiencia razonablemente aceptables, se plantea la instalación de dos grupos turbina-generator de diferentes capacidades.

El diseño electromecánico propuesto permite el aprovechamiento óptimo de los caudales disponibles en el río Huarhuallá mediante la implementación de dos grupos de generación, los mismos que operarán en rangos adecuados de caudales y eficiencias; y, al mismo tiempo utilizarán el máximo el recurso hídrico disponible tanto en época seca, el primer grupo, como el excedente más probable, en época húmeda, el segundo grupo. El costo de inversión de este planteamiento se justifica plenamente al considerar el incremento de los beneficios anuales en la central y compararlos con los correspondientes a lo que se obtendrían implementando un solo grupo turbina generator.

## **10.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES**

En el desarrollo del estudio de viabilidad ambiental, se utilizó la metodología evaluativa de identificación y cuantificación de los impactos ambientales, mediante el uso de matrices de valoración, para cada uno de los componentes de las alternativas planteadas para el proyecto y en las distintas fases de ejecución del mismo que son construcción y operación y mantenimiento. Para la evaluación cuantitativa de los impactos ambientales identificados, se utiliza el método del valor de impacto ambiental.

A continuación, se propone el Plan de Manejo Ambiental del aprovechamiento hidroeléctrico tendiente a minimizar o controlar aquellos efectos negativos, juzgados significativos, así como para potenciar los impactos positivos.

La tenencia del suelo, generalizada en minifundios, afecta a determinadas familias con las expropiaciones y cambia la estructura de tenencia del suelo, pudiendo generarse conflictos sociales y ambientales.

El Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá en su fase constructiva será fuente de empleo, en una zona deprimida económicamente y con gran oferta de mano de obra no calificada.

Los impactos ambientales negativos del Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá son mínimos, debido a su concepción, donde la mayor parte de la infraestructura del Proyecto de Riego Licto será utilizada, pues únicamente se aprovecharán los doce kilómetros aproximados de la conducción principal. Sin embargo, debe considerarse que la gestión para la utilización de la infraestructura existente, demandará acercamientos y firmas de convenios por parte del MEER con el CNRH y la Junta de Regantes del Proyecto de Riego Licto. La gestión social y entre organismos del Estado, será fundamental para que prosigan con éxito los estudios de factibilidad y diseños definitivos.

Es una buena oportunidad para que en la ejecución de este proyecto se utilicen herramientas de gestión moderna del agua, donde mediante consensos, el uso del recurso sirva a un espectro más amplio de interesados y se dejen de lado prácticas de planificación que datan de hace tres décadas, donde necesariamente el riego tenía que ser la prioridad. La energía siempre se requiere en un país como el Ecuador, con tasas incrementales elevadas en el consumo de ese servicio. El riego también es necesario, pero no es el único factor que desterrará la pobreza de importantes grupos poblacionales de la Provincia del Chimborazo y del país. Se debe compartir infraestructura del Estado como mecanismo de disminuir costos y hacer eficientes las inversiones del escaso capital propio que se dispone.



## **10.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA**

En las dos alternativas, las rentabilidades son mayores que el costo de oportunidad del capital considerado para este proyecto. El VAN, al ser positivo, se recomienda que el proyecto siga con la siguiente fase de estudio de factibilidad.

El costo por kilovatio-hora generado la Alternativa I es de US\$ 0,043 y en la Alternativa II es de US\$ 0,039. En ambos casos es menor al máximo permitido por la ley vigente para centrales hidroeléctricas entre 5 y 10 megavatios. La energía generada se debería vender a niveles iguales o mayores a esos precios para cubrir los costos, por lo que claramente, la Alternativa II es la más conveniente.

El VAN del proyecto para las dos alternativas es positivo y la TIR es superior en ambos casos a la tasa de descuento adoptada. Sin embargo los mejores valores de estos parámetros los presenta la Alternativa II con un VAN de 5'736.688, para una TIR de 14.3%.

Por otro lado, la administración del proyecto puede vender la energía en el mercado mayorista, donde existe la negociación del precio, ya que éste, de todas maneras, resulta inferior al que se paga por la energía eléctrica generada de fuentes térmicas.

A futuro, el proyecto sigue siendo viable, porque si bien ahora se importa combustible, lo que determina que el costo de oportunidad es el precio de importación, la prevista instalación en el país de una nueva refinería, permitirá que el diesel producido en ella se destine al mercado externo en lugar de ser consumido con subsidio para la generación térmica. Por un lado, el Estado se liberaría del subsidio y, por otra se obtendrían divisas por conceptos de exportación cuando esté en funcionamiento la nueva refinería. De igual modo, en la evaluación económica de esta central hidroeléctrica, es válido añadir, la cuantificación de beneficios por la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por otra parte, hay que tomar en cuenta que este tipo de proyectos pequeños no solo son convenientes sino necesarios para descentralizar el sistema de generación y, en consecuencia contribuyen a la reducción de riesgo de desabastecimiento. Bajo las dos alternativas el proyecto es conveniente, si bien es cierto que para que sea viable la Alternativa II se precisa de una coordinación con otros entes gubernamentales encargados del manejo del agua y de trabajo con la comunidad.

Los resultados del análisis económico, así como lo relativo a la descentralización y el ambiente, ratifican lo manifestado anteriormente sobre la conveniencia de avanzar hacia la etapa de factibilidad del presente proyecto.

#### **10.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA VARIACIÓN DE LOS DIFERENTES ASPECTOS**

Con la ayuda de los Cuadros 10.1, 10.2, 10.3 y 10.4, se muestra el resultado de la evaluación de los aspectos técnicos, ambientales, financieros y económicos que permiten seleccionar a la alternativa óptima para el Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá.

**CUADRO 10.1****ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD TÉCNICA**

EVALUACIÓN	CRITERIOS PRINCIPALES	VALORACIÓN CUANTITATIVA	
		Alternativa I	Alternativa II
TÉCNICA	<u>Hidrológico</u> : concesiones de agua, calidad y disponibilidad de recurso hídrico, usos del agua, necesidad de regulación, conflicto en el uso del recurso	20/25	20/25
	<u>Topográfico</u> : desnivel y orografía	20/25	20/25
	<u>Geológico – geotécnico</u> : calidad del suelo, zonas inestables, disponibilidad de materiales de construcción	15/10	15/10
	<u>Obras Hidráulicas</u> : complejidad, obras complementarias y mano de obra	10/10	10/10
	<u>Equipamiento electromecánico</u> : disponibilidad y mantenimiento	5/5	5/5
	<u>Línea de transmisión</u> : accesibilidad y facilidad de interconexión	5/5	5/5
	<u>Materiales de construcción</u> : accesibilidad al proyecto (vías) y tamaño.	8/10	8/10
	<u>Operación y mantenimiento</u> : cercanía a centros poblados y experiencia	8/10	8/10
	<b>Valoración parcial =</b>	<b>22.75/25</b>	<b>22.75/25</b>

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
 ELABORACIÓN: César Costa Costa

Como para las dos alternativas se mantiene el mismo esquema de obras civiles y equipamiento electromecánico, el resultado del análisis de sensibilidad nos da valoraciones cuantitativas iguales para ambas alternativas.

**CUADRO 10.2****ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL**

EVALUACIÓN	CRITERIOS PRINCIPALES	VALORACIÓN CUANTITATIVA	
		Alternativa I	Alternativa II
<b>AMBIENTAL</b>	Fase de construcción:	20/30	20/30
	Fase de operación y mantenimiento:	25/30	25/30
	Plan de Manejo Ambiental:	35/40	35/40
	<b>Valoración parcial =</b>	<b>20/25</b>	<b>20/25</b>

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

Luego del acuerdo sobre la participación de los usuarios del sistema de riego en la construcción, operación y mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá se logrará entender la importancia del manejo de la cuenca para lograr buenos resultados. La ejecución de este proyecto puede ser un ejemplo concreto y positivo de gestión del recurso hídrico en una zona en donde actualmente se siente el déficit del mismo.

Los impactos negativos sobre la naturaleza y sobre la comunidad pueden ser minimizados al enfocar como objetivo principal del proyecto el logro del manejo adecuado de la cuenca y del recurso hídrico.

**CUADRO 10.3****ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD FINANCIERA**

EVALUACIÓN	INDICADORES PRINCIPALES	VALORACIÓN CUANTITATIVA	
		Alternativa I	Alternativa II
<b>FINANCIERA</b>	Costo directo a nivel de prefactibilidad	US\$ 8'851.297	US\$ 8'851.297
	Costo promedio por kilovatio instalado	US\$ 1.880,21	US\$ 1.880,21
	Costo promedio de kilovatio-hora generado	US\$ 0,043	US\$ 0,039
	Costo anual equivalente	1'097.758	1'097.758
	Valor actual neto, VAN	US\$ 4'314.337	US\$ 5'736.688
	Tasa interna de retorno, TIR	12.7%	14.3%
	<b>Valoración parcial =</b>	<b>20/25</b>	<b>25/25</b>

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

Tomando en cuenta la normativa vigente referente al reconocimiento del CONELEC para generadoras hidroeléctricas con capacidad instalada entre 5 y 10 megavatios, que es de US\$ 0.058 por kilovatio-hora, los valores actuales netos, VAN, son positivos para las dos alternativas del proyecto, siendo mayor en la Alternativa II. Las tasas internas de retorno, TIR, de las dos alternativas superan la adoptada como tasa de descuento; el mayor valor ofrece la Alternativa II, con 14.3%.

#### CUADRO 10.4

##### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ECONÓMICA

EVALUACIÓN	INDICADORES PRINCIPALES	VALORACIÓN CUANTITATIVA	
		Alternativa I	Alternativa II
ECONÓMICA	Tasa interna de retorno económico, TIRE	118.1%	128.5%
	Valor actual neto económico, VANE	US\$ 106'820.346	US\$ 117'051.806
	Costos evitados anualmente por importaciones de Diesel	US\$ 10'680.683	US\$ 11'598.554
	Ingresos anuales por evitar emisiones de CO <sub>2</sub>	US\$ 529.048	US\$ 574.513
	<b>Valoración parcial =</b>	<b>22/25</b>	<b>25/25</b>

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

Los resultados obtenidos para la Alternativa II son mejores que los obtenidos para la Alternativa I. El proyecto presenta una rentabilidad que es atractiva en el sector público. El aprovechamiento tiene carácter de apoyo al desarrollo de la electrificación rural del país; cumple con tres de las funciones del Estado, como son: promover el uso racional de los recursos naturales, velar por el desarrollo sustentable del sector rural a través de energía limpia, y ejecutar las medidas de adaptación al cambio climático.

En el Cuadro 10.5 se presenta un resumen de los resultados del análisis de sensibilidad de los aspectos técnicos, ambientales, financieros y económicos.

**CUADRO 10.5****ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD GLOBAL**

EVALUACIÓN	VALORACIÓN CUANTITATIVA	
	Alternativa I	Alternativa II
TÉCNICA	22.75/25	22.75/25
AMBIENTAL	20/25	20/25
FINANCIERA	20/25	25/25
ECONÓMICA	22/25	25/25
<b>VALORACIÓN GLOBAL:</b>	84.75/100	92.75/100

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

La valoración global realizada sobre 100 puntos, considera los criterios de viabilidad técnica, ambiental, financiera y económica. Cada uno de ellos ha sido valorado sobre un puntaje parcial de 25 puntos. Se considera que la alternativa es viable si alcanza una calificación igual o superior a 75/100.

Los resultados del análisis global en las dos alternativas superan el valor mínimo adoptado para calificarlas como viables. La Alternativa II es la que alcanza la mayor calificación técnica, económica, financiera y ambiental, por lo que se la recomienda como la seleccionada.

## **10.9. RECOMENDACIONES PARA LAS SIGUIENTES FASES ESTUDIO**

El estudio de Prefactibilidad desarrollado para la Central hidroeléctrica Huarhuallá plantea dos alternativas de generación manteniendo los mismos componentes estructurales, por lo que los costos de inversión así como los de operación y mantenimientos son únicos. Las dos alternativas planteadas fueron diseñadas y evaluadas comparativamente. La Alternativa II ha sido seleccionada a nivel de prefactibilidad, como la óptima. Las características de esta concepción cumplen satisfactoriamente con los requisitos impuestos en los análisis de viabilidad técnica, económica, financiera y ambiental. En consecuencia, se recomienda que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable continúe con los estudios de la

Central Hidroeléctrica Huarhuallá en las siguientes fases de factibilidad y diseño definitivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bureau of Reclamation. (1982). Diseño de Presas Pequeñas. Washington DC.
- Chow Ven T., Maidment David R. y Larry W. Mays. (1988). Hidrología Aplicada, Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2007). Plan Maestro de Electrificación 2007 – 2016.
- CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2008). Regulación: Precios de la Energía Producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales. Artículo 9.
- COSUDE, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (2007). Riego y Desarrollo Agrícola en Licto, Chimborazo.  
<http://www.cosude.org.ec>
- IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2006). Minicentrales Hidroeléctricas. Madrid.
- INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (1999). Estudio de Lluvias Intensas. Quito.
- INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2001). VI Censo Nacional de Población y V de Vivienda.
- INERHI, Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos. (1983). Proyecto de Riego Licto - Estudio de Factibilidad. Quito.



- ITDG, Intermediate Technology Development Group – Perú. (1995). Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Lima: ITDG-Perú.
- MEER, Ministerio de Electrificación y Energías Renovables. (2008). Estudio de Prefactibilidad para la Central Hidroeléctrica Huarhuallá. Quito.
- Sviatoslav Krochin. (1978). Diseño Hidráulico. Quito: Editorial de la Escuela Politécnica Nacional.
- Taller de Microcentrales Hidroeléctricas Montevideo-Uruguay. (1990). Taller de Microcentrales Hidroeléctricas. Montevideo.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN EL ECUADOR**

## CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN EL ECUADOR A JUNIO DE 2007

Generación Incorporada al Sistema Nacional Interconectado					
Tipo de Empresa	Empresa	Central	Potencia Nominal [MW]	Potencia Efectiva [MW]	
Generadora	Ecoluz	Loreto	2,3	2,1	
	Total Ecoluz		2,3	2,1	
	Elecaastro	Saucay		24,0	24,0
		Saymirín		14,6	14,6
	Total Elecaastro		38,6	38,6	
	EMAAP-Q	El Carmen	8,4	8,2	
	Total EMAAP-Q		8,4	8,2	
	Hidroagoyán	Agoyán		160,0	156,0
		Pucará		73,0	68,0
	Total Hidroagoyán		233,0	224,0	
	Hidronación	Marcel Laniado		213,0	213,0
	Total Hidronación		213,0	213,0	
	Hidropaute	Paute		1075,0	1075,0
	Total Hidropaute		1075,0	1075,0	
	Hidrosibimbe	Sibimbe		16,0	14,6
	Total Hidrosibimbe		16,0	14,6	
	Hidropastaza	San Francisco		230,0	230,0
	Total Hidropastaza		230,0	230,0	
	<b>Total Generadora</b>			<b>1816,3</b>	<b>1805,5</b>
Distribuidora	Ambato	Península	3,0	2,9	
	Total Ambato		3,0	2,9	
	Bolívar	Chimbo	1,9	1,6	
	Total Bolívar		1,9	1,6	
	Cotopaxi	Illuchi Ne 1		4,2	4,0
		Illuchi Ne 2		5,2	5,2
	Total Bolívar		9,4	9,2	
	Norte	Ambi		8,0	8,0
		La Playa		1,2	1,2
		San Gabriel		0,2	0,2
		San Miguel		3,0	3,0
	Total Norte		12,4	12,4	
	Quito	Chillos		1,8	1,8
		Cumbayá		40,0	40,0
		Guangopolo		20,9	20,9
		Nayón		29,8	29,8
		Pasocha		4,6	4,6
	Total Quito		97,1	97,1	
	Riobamba	Alao		10,4	10,0
		Río Blanco		3,1	3,0
	Total Riobamba		13,5	13,0	
	Sur	Carlos Mora		2,4	2,4
	Total Norte		2,4	2,4	
<b>Total Distribuidora</b>			<b>139,7</b>	<b>138,6</b>	
Autoprodutora	Agua y Gas de Sillunchi	Sillunchi I	0,1	0,1	
		Sillunchi II	0,3	0,3	
	Total Agua y Gas de Sillunchi		0,4	0,4	
	Ecoluz	Papallacta	6,6	6,2	
	Total Ecoluz		6,6	6,2	
	Electroandina	Espejo		0,5	0,4
		Otavalo 2		0,4	0,4
	Total Electroandina		0,9	0,8	
	EMAAP-Q	Noroccidente		0,1	0,1
		Recuperadora		14,7	14,5
	Total EMAAP-Q		14,8	14,6	
	Enermax	Calope		15,0	15,0
	Total Enermax		15,0	15,0	
	Hidroabanico	Hidroabanico		15,0	14,8
	Total Hidroabanico		15,0	14,8	
	Hidroimbabura	Atuntaqui		0,4	0,4
		Cotacachi		0,4	0,4
	Total Hidroimbabura		0,8	0,8	
	I. M. Mejía	La Calera		2,8	2,8
	Total I. M. Mejía		2,8	2,8	
	La Internacional	Vindobona		3,0	2,8
	Total La Internacional		3,0	2,8	
	Managéneración	La Esperanza		6,4	6,0
Total Managéneración		6,4	6,0		
Molinos La Unión	La Unión		1,7	1,7	
Total Molinos La Unión		1,7	1,7		
<b>Total Autoprodutora</b>			<b>67,4</b>	<b>65,9</b>	
<b>Total Generación Incorporada al SIN</b>			<b>2023,4</b>	<b>2010,0</b>	

## CONTINUACIÓN

Generación no Incorporada al Sistema Nacional Interconectado					
Tipo de Empresa	Empresa	Central	Potencia Nominal [MW]	Potencia Efectiva [MW]	
Distribuidora	Cotopaxi	Angamarca	0,30	0,26	
		Catazación	0,80	0,76	
		El Estado	1,70	1,66	
	Total Cotopaxi			2,80	2,68
	Norte	Buenos Aires	0,08	0,08	
		La Plata	0,17	0,17	
	Total Norte			0,25	0,25
	Quito	Oyacachi	0,10	0,07	
	Total Quito			0,10	0,07
	Riobamba	Nizag	0,31	0,30	
	Total Riobamba			0,31	0,30
	Sucumbios	Lumbaqui	0,40	0,20	
	Total Sucumbios			0,40	0,20
Total Distribuidora			3,86	3,50	
Autoprodutora	Perlábí	Perlábí	2,70	2,50	
	Total Perlábí			2,70	2,50
Total Autoprodutora			2,70	2,50	
Total Generación no Incorporada al SIN			6,56	6,00	

FUENTE: CONELEC, Plan Maestro de Electrificación 2007 – 2016, 2007.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**ANEXO 2**  
**DISEÑO HIDRÁULICO**

**ANEXO 2.1**  
**DISEÑO DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN**

## CÁLCULO DE LA REJILLA

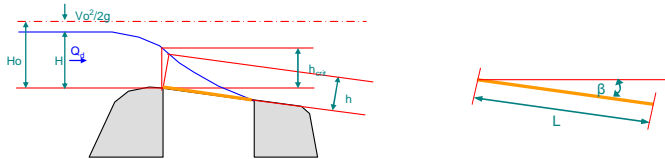
**DATOS:**

**Características del río:**

- Br** = 13 m → Ancho del río en el lugar de captación
- I** = 0,02 m/m → Pendiente del río en el sitio de la toma
- n** = 0,025 s/m<sup>1/3</sup> → Coeficiente de manning para la sección del río

**Caudales de diseño:**

- Q<sub>cap</sub>** = 3,3 m<sup>3</sup>/s → Caudal de captación
- Q<sub>dis</sub>** = 3,80 m<sup>3</sup>/s → Para el diseño se utiliza el caudal de captación + 15%

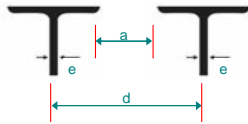


$$Q_d = \frac{1}{n} \cdot R_{\mu}^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot Br \cdot H \rightarrow \text{Caudal según Manning}$$

$$Q_d = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{Br \cdot H}{Br + 2 \cdot H} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot Br \cdot H$$

**CÁLCULO:**

- H** = 0,17 m → Calado aguas arriba de la toma, calculado con Manning
- Q(H)** = 3,80 m<sup>3</sup>/s → El valor H es aceptable
- V** = 1,71 m/s → Velocidad del río en el sitio de la captación
- H<sub>0</sub>** = 0,32 m → Nivel mínimo de aguas en época de estiaje + carga de velocidad
- μ** = 0,62 → Coeficiente de contracción de la rejilla según el tipo
- a** = 0,05 m → Espaciamiento de las barras de la rejilla
- d** = 0,08 m → Distancia entre ejes de las barras
- e** = 3 mm → Espesor del perfil



- β** = 12 ° → Ángulo de inclinación de las rejillas
- x** = 0,896 → Coeficiente en función del ángulo

<b>β</b> =	0	2	4	6	8	10	12
<b>x</b> =	1	0,980	0,961	0,944	0,927	0,910	0,896

<b>β</b> =	14	16	18	20	22	24	26
<b>x</b> =	0,879	0,865	0,851	0,837	0,825	0,812	0,800

- h** = 0,19 m → Altura de agua al inicio de la rejilla,  $h = 2/3 \cdot x \cdot H_0$
- C** = 0,36 → Coeficiente en función de a, d y β según Frank;  $C = 0,6 \cdot a/d \cdot \cos^{3/2} \beta$

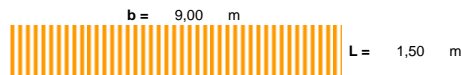
$$Q_{dis} = \frac{2}{3} \cdot C \cdot \mu \cdot b \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \rightarrow \text{Caudal de descarga en función de las dimensiones b y L de la rejilla}$$

$$b \cdot L = \frac{Q_{dis}}{\frac{2}{3} \cdot C \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$$

$$b \cdot L = 13,07 \text{ m}^2$$

<b>b [m]</b>	<b>L [m]</b>
5	2,61
6	2,18
7	1,87
8	1,63
9	1,45
10	1,31
11	1,19
12	1,09
13	1,01

**Dimensiones Constructivas**

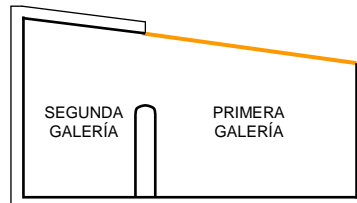
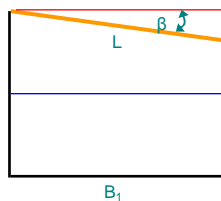




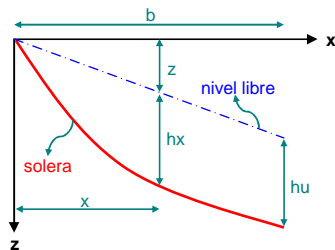
## CÁLCULO DE LA PRIMERA GALERÍA

### DATOS:

$Q_{\text{cap}} =$	3,3	$\text{m}^3/\text{s}$	→	Caudal de captación
$Q_{\text{dis}} =$	3,80	$\text{m}^3/\text{s}$	→	Para el diseño se utiliza el caudal de captación + 15%
$b =$	9,00	m	→	Largo de la rejilla
$L =$	1,50	m	→	Ancho de la rejilla
$\beta =$	12	°	→	Ángulo de inclinación de la rejilla
$B_1 =$	1,47	m	→	Base de la galería, $B = L \cdot \cos\beta$
$B_1 =$	1,45	m	→	Base de la galería adoptada constructivamente



### CÁLCULOS:

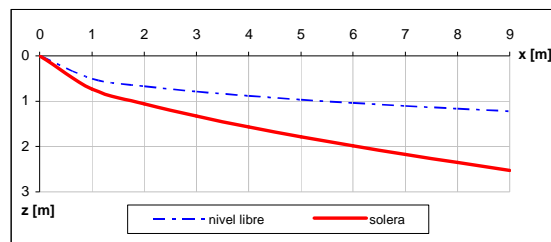


$V_d =$	2,0	m/s	→	Velocidad requerida en la galería
$m =$	0,20		→	Exponente que define la velocidad en el canal
$\Omega u =$	1,90	$\text{m}^2$	→	Área última al final del canal de gasto variable, $\Omega u = Q_d/V_d$
$h_u =$	1,31	m	→	Calado al final del canal de gasto variable, $h_u = \Omega u/B$
$a =$	1,29		→	Coefficiente de variación de la velocidad en el canal, $V = a \cdot x^m \rightarrow a = V_u/b^m$

$$z = \frac{m+1}{m} \cdot \frac{a^2}{2g} \cdot x^{2m} \quad \rightarrow \quad \text{Ecuación que define la profundidad del nivel libre}$$

$$hx = h_u \cdot \left(\frac{x}{b}\right)^{1-m} \quad \rightarrow \quad \text{Profundidad de la solera desde el nivel libre}$$

x	z	hx	z + hx
0	0,00	0,00	0,00
1	0,51	0,23	0,73
2	0,67	0,39	1,06
3	0,79	0,54	1,33
4	0,88	0,68	1,57
5	0,97	0,82	1,78
6	1,04	0,95	1,99
7	1,11	1,07	2,18
8	1,17	1,19	2,36
9	1,22	1,31	2,53

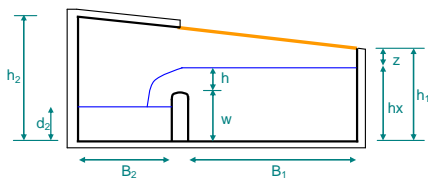


## CÁLCULO DE LA SEGUNDA GALERÍA

### DATOS:

$Q_{cap} = 3,3$	$m^3/s$	→	Caudal de captación
$Q_{dis} = 3,80$	$m^3/s$	→	Para el diseño se utiliza el caudal de captación + 15%
$b = 9,00$	$m$	→	Longitud de la reja
$I_2 = 0,08$	$m/m$	→	Pendiente de la segunda galería
$n = 0,013$	$s/m^{1/3}$	→	Coefficiente de rugosidad de Manning para el concreto
$hx = 1,31$	$m$	→	Calado de la solera desde el nivel libre
$z = 1,22$	$m$	→	Profundidad del nivel libre
$h_1 = 2,53$	$m$	→	Altura de la pared de la primera galería, $h_1 = z + hx$
$h_1 = 2,50$	$m$	→	Altura de pared de la primera galería adoptada constructivamente

### CÁLCULOS:



#### Dimensionamiento del vertedero

$$Q_{dis} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot b \cdot \mu \cdot h^{3/2} \rightarrow \text{Caudal en vertedero rectangular con velocidad de llegada despreciable}$$

$$\mu = 1,02 \cdot \frac{1,015}{\frac{h}{r} + 2,08} + \left[ 0,04 \cdot \left( \frac{h}{r} + 0,19 \right)^2 + 0,0223 \right] \cdot \frac{r}{w}$$

$$h = 0,31 \text{ m} \rightarrow \text{Carga sobre el vertedero}$$

$$w = 1,00 \text{ m} \rightarrow \text{Altura del vertedero, } w = hx - h$$

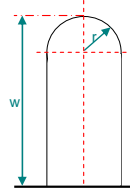
$$w = 1,00 \text{ m} \rightarrow \text{Altura constructiva del vertedero}$$

$$r = 0,125 \text{ m} \rightarrow \text{Radio de curvatura de la cresta}$$

$$\mu = 0,83 \rightarrow \text{Coeficiente de corrección para cresta circular y talud vertical según Kramer}$$

$$Q(h) = 3,80 \text{ m}^3/s \rightarrow \text{El valor } h \text{ es aceptable}$$

$$h/r = 2,47 \rightarrow \text{Ok} \quad h/r \leq 4,2$$



#### Dimensionamiento de la segunda galería

$$Q_{dis} = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot A$$

$$Q_{dis} = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{B_2 \cdot d_2}{B_2 + 2 \cdot d_2} \right)^{2/3} \cdot I_2^{1/2} \cdot B_2 \cdot d_2$$

$$B_2 = 1,00 \text{ m} \rightarrow \text{Ancho impuesto de la segunda galería}$$

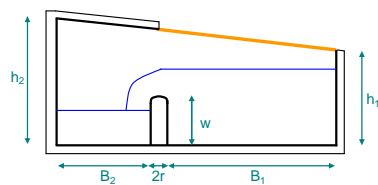
$$d_2 = 0,45 \text{ m} \rightarrow \text{Calado de la segunda galería; Ok, } d_2 < w \rightarrow \text{para evitar ahogamiento}$$

$$Q(d_2) = 3,80 \text{ m}^3/s \rightarrow \text{El valor } d_2 \text{ es aceptable}$$

$$h_2 = 3,07 \text{ m} \rightarrow \text{Altura de la pared de la segunda galería}$$

$$h_2 = 3,10 \text{ m} \rightarrow \text{Altura de pared de la segunda galería adoptada constructivamente}$$

#### Dimensiones constructivas de la galería de captación

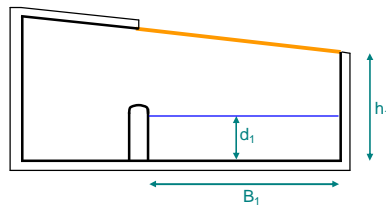


$B_1 = 1,45$	$m$
$B_2 = 1,00$	$m$
$h_1 = 2,50$	$m$
$h_2 = 3,10$	$m$
$2 \cdot r = 0,25$	$m$
$w = 1,00$	$m$

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## CÁLCULO DE LIMPIEZA DEL DESRIPIADOR

### DATOS:



$Q_{cap} =$	3,3	m <sup>3</sup> /s	→	Caudal de captación
$Q_{dis} =$	3,80	m <sup>3</sup> /s	→	Para el diseño se utiliza el caudal de captación + 15%
$B_1 =$	1,45	m	→	Ancho del canal desripador
$I_1 =$	0,07	m/m	→	Pendiente del canal desripador
$n =$	0,013	s/m <sup>1/3</sup>	→	Coefficiente de rugosidad de Manning para el concreto
$\varnothing =$	50	mm	→	Diámetro del material que pasa por la rejilla

### CÁLCULOS:

$$Q_{dis} = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{B_1 \cdot d_1}{B_1 + 2 \cdot d_1} \right)^{2/3} \cdot I_1^{1/2} \cdot B_1 \cdot d_1$$

$d_1 =$	0,34	m	→	Calado presente en el canal desripador
$Q(d_1) =$	3,80	m <sup>3</sup> /s	→	El valor de d1 es aceptable
$V =$	7,68	m/s	→	Velocidad en el canal
$Rh =$	0,23	m	→	Radio hidráulico, $Rh = \left( \frac{B \cdot d_1}{B + 2 \cdot d_1} \right)$
$C =$	60,29	m <sup>1/2</sup> /s	→	Coefficiente de Chezy, $C = Rh^{1/6}/n$
$V^* =$	0,40	m/s	→	Velocidad de corte, $V^* = V \cdot g^{1/2}/C$
$\varnothing^* =$	100	mm	→	Diámetro de las partículas removidas por $V^*$ según Curva de Shields Ok. Condiciones suficientes para arrastre de sólidos

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## CÁLCULO DEL PERFIL TIPO UMBRAL

**DATOS:**

**Características del río:**

Br =	13	m	→	Ancho del río en el lugar de captación
l =	0,02	m/m	→	Pendiente del río en el sitio de la toma
n =	0,025		→	Coefficiente de manning para la sección del río

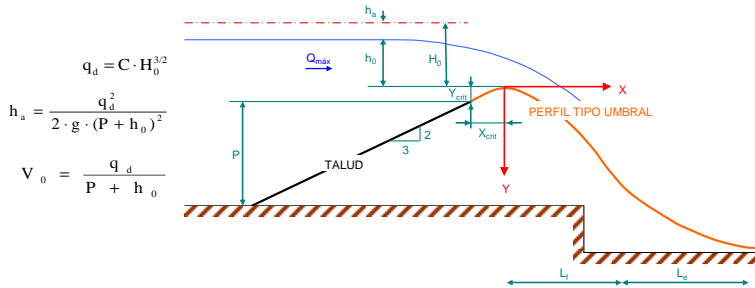
**Caudales de diseño:**

Q <sub>máx</sub> =	117,58	m <sup>3</sup> /s	→	Para un periodo de retorno de 25 años
Q <sub>dis</sub> =	78,39	m <sup>3</sup> /s	→	Para el diseño se consideró Q <sub>dis</sub> = 2/3 · Q <sub>máx</sub>
q <sub>dis</sub> =	6,03	m <sup>3</sup> /s/m	→	Caudal específico de diseño, q <sub>dis</sub> = Q <sub>dis</sub> /Br

**Características del talud aguas arriba**

h <sub>2</sub> =	3,10	m	→	Altura de la pared de la segunda galería
s =	1,00	m	→	Altura de seguridad de hormigón bajo la galería
P =	4,10	m	→	Altura del paramento aguas arriba, P = h <sub>2</sub> + s
L <sub>p</sub> =	6,20	m	→	Longitud horizontal del paramento
r =	2/3	m/m	→	Relación de la vertical del talud aguas arriba

**CÁLCULOS:**



$$q_d = C \cdot H_0^{3/2}$$

$$h_a = \frac{q_d^2}{2 \cdot g \cdot (P + h_0)^2}$$

$$V_0 = \frac{q_d}{P + h_0}$$

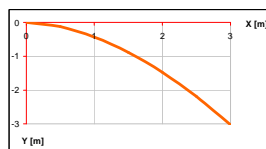
**CÁLCULO:**

H <sub>0</sub> =	1,31	m	→	Nivel mínimo de aguas en época de estiaje + carga de velocidad	
P/H <sub>0</sub> =	3,12		→	Relación entre la altura del paramento y H <sub>0</sub>	
C =	4,00		→	Coefficiente de descarga	
q(H <sub>0</sub> ) =	6,03	m <sup>3</sup> /s	→	El valor H <sub>0</sub> es aceptable	$q_d = C \cdot H_0^{3/2}$
h <sub>a</sub> =	0,06	m	→	Carga de velocidad	
q(h <sub>a</sub> ) =	6,03	m <sup>3</sup> /s/m	→	El valor h <sub>a</sub> es aceptable	
h <sub>0</sub> =	1,25	m	→	Calado aguas arriba de la toma, calculado con Manning	
V =	1,13	m/s	→	Velocidad del río en el sitio de la captación	
h <sub>2</sub> /H <sub>0</sub> =	0,05				
K =	0,533		}	BUREAU OF RECLAMATION, Diseño de Presas Pequeñas Ábaco de la Fig. 187, pag. 304 Factores para la determinación de secciones con la forma de la lámina vertedora	
n =	1,773				
X <sub>c</sub> /H <sub>0</sub> =	0,212				
Y <sub>c</sub> /H <sub>0</sub> =	0,062				
R <sub>1</sub> /H <sub>0</sub> =	0,491				
R <sub>2</sub> /H <sub>0</sub> =	0,270				
X <sub>c</sub> =	0,26	m	→	Abscisado crítico	
Y <sub>c</sub> =	0,08	m	→	Calado crítico	
R <sub>1</sub> =	0,61	m	→	Radio mayor de la curva simple aguas arriba del origen	
R <sub>2</sub> =	0,34	m	→	Radio menor de la curva simple aguas arriba del origen	

$$\frac{Y}{H_0} = -k \left( \frac{X}{H_0} \right)^n$$

→ Ecuación que define la curva aguas arriba del origen

X [m]	Y [m]
0,0	0,00
0,5	-0,13
1,0	-0,43
1,5	-0,89
2,0	-1,47
2,5	-2,19
3,0	-3,03



## CÁLCULO DEL CUENCO DISIPADOR

### DATOS:

#### Características del río:

$B_r =$	13	m	→	Ancho del río en el lugar de captación
$I =$	0,02	m/m	→	Pendiente del río en el sitio de la toma
$n =$	0,025		→	Coefficiente de Manning para la sección del río

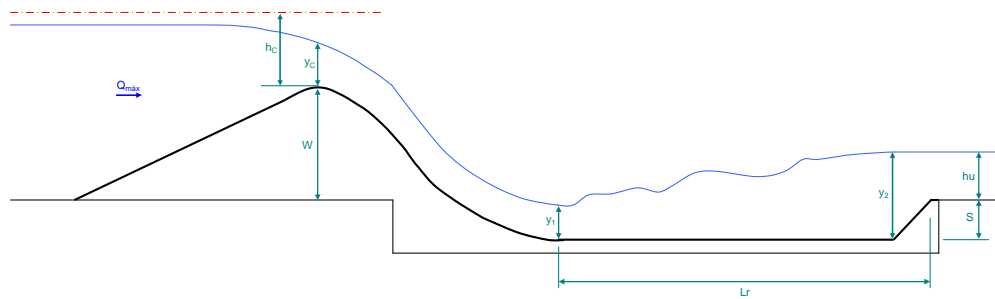
#### Caudales de diseño:

$Q_{\text{máx}} =$	117,58	m <sup>3</sup> /s	→	Para un periodo de retorno de 25 años
--------------------	--------	-------------------	---	---------------------------------------

#### Datos Generales

$P =$	4,10	m	→	Altura del paramento aguas arriba
$Y_c =$	0,08	m	→	Altura del calado crítico en el perfil tipo umbral
$m =$	1,00	m/m	→	Horizontal en la pendiente del diente que forma el cuenco disipador

### CÁLCULOS:



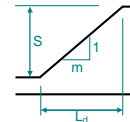
#### Cálculo de Calados

$W =$	4,18	m	→	Altura total del vertedero, $W = P + Y_c$
$y_c =$	2,03	m	→	Calado sobre vertederos, calado crítico: $y_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{máx}}^2}{g \cdot B_r^2}}$
$h_c =$	3,04	m	→	Calado crítico + Carga de Velocidad Crítica, $h_c = 1,5 \cdot y_c$
$E =$	7,22	m	→	Energía total disponible sobre el lecho del río original, $E = W + h_c$
$y_1 =$	0,85	m	→	Calado contraído, $E = y_1 + 1,1 \cdot \frac{Q_{\text{máx}}^2}{2 \cdot g \cdot y_1^2 \cdot B_r^2}$ , pérdidas: 10%
$E(y_1) =$	7,22	m	→	El valor de $y_1$ es aceptable
$y_2 =$	4,03	m	→	Calado conjugado, $y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2 \cdot Q_{\text{máx}}^2}{g \cdot B_r^2 \cdot y_1}}$
$h_u =$	1,44	m	→	Calado sobre el nivel del lecho del río aguas abajo del cuenco
$Q_{\text{máx}}(h_u) =$	117,58	m <sup>3</sup> /s	→	El valor de $h_u$ es aceptable $Q_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{B_r \cdot h_u}{B_r + 2 \cdot h_u} \right)^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot B_r \cdot h_u$

#### Análisis del resalto hidráulico

Tipo de resalto hidráulico: rechazado →  $y_2 > h_u$

$L_r =$	15,91	m	→	Longitud del resalto hidráulico, $L_r = K \cdot (y_2 - y_1)$ ; $4,5 < K < 5,5$
$S =$	3,00	m	→	Profundización del cuenco, $S = \sigma \cdot y_2 - h_u$ ; $1,1 < \sigma < 1,25$
$L_d =$	3,00	m	→	Longitud del diente que forma el cuenco disipador



#### Iteración del procedimiento anterior

$E_n =$	10,22	m	→	Energía total disponible sobre el fondo del cuenco disipador
$y_{1n} =$	0,69	m	→	Tirante nuevo de agua antes del resalto hidráulico
$E_n(y_{1n}) =$	10,22	m	→	El valor de $y_{1n}$ es aceptable
$y_{2n} =$	4,57	m	→	Tirante nuevo de agua después del resalto hidráulico
$h_{un} =$	4,43	m	→	Calado nuevo sobre el nivel del lecho del río aguas abajo del cuenco, $h_{un} = h_u + S$
$L_{r\text{final}} =$	25,20	m	→	Longitud del resalto requerida final, $L_{r\text{final}} = 5 \cdot h_{un} + S$

ELABORACIÓN: César Costa Costa

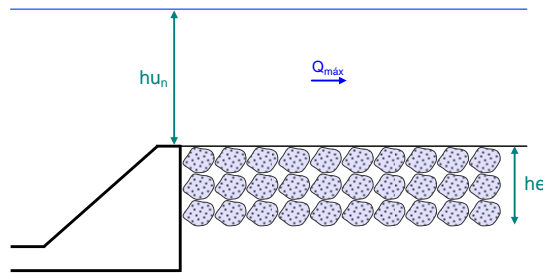
## CÁLCULO DEL ENROCADO

### DATOS:

#### Características del río:

$Q_{\text{máx}} =$	117,58	m <sup>3</sup> /s	→	Para un periodo de retorno de 25 años
$Br =$	13	m	→	Ancho del río en el lugar de captación
$hu_n =$	4,43	m	→	Nuevo calado del río aguas abajo del cuenco de disipación

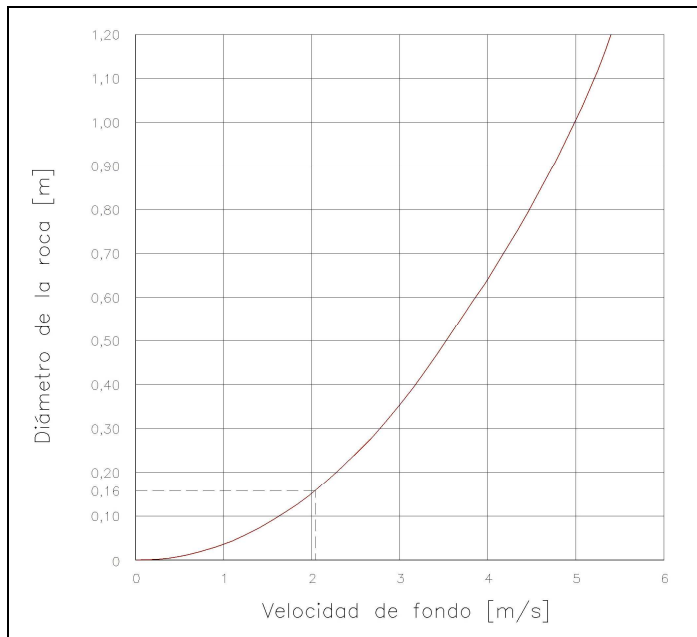
### CÁLCULOS:



$Ve =$	2,04	m/s	→	Velocidad del agua sobre el enrocado, $Ve = \frac{Q_{\text{máx}}}{Br \cdot hu_n}$
$\emptyset =$	0,16	m	→	Diámetro mayor de las rocas que pueden ser movidas por $Ve$ ANDREW L. SIMON, Practical Hydraulics
$\emptyset_e =$	0,25	m	→	Diámetro escogido para el enrocado
$he =$	0,75	m	→	Altura del enrocado

ELABORACIÓN: César Costa Costa

### Diámetro de las rocas que se mueven en función de la velocidad de fondo



FUENTE: ANDREW L. SIMON, Practical Hydraulics.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## CÁLCULO DEL CANAL DE INGRESO AL DESARENADOR

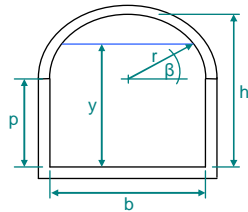
### DATOS:

#### Caudales de diseño:

$$Q_{\text{cap}} = 3,3 \text{ m} \rightarrow \text{Caudal a conducir en el canal}$$

#### Características del canal

$I =$	0,0002	m/m	$\rightarrow$	Pendiente en el canal
$n =$	0,013	s/m <sup>1/3</sup>	$\rightarrow$	Coefficiente de rugosidad de Manning para el concreto
$b =$	2,60	m	$\rightarrow$	Ancho del canal
$h =$	2,60	m	$\rightarrow$	Altura del canal
$r =$	1,30	m	$\rightarrow$	Radio del baúl
$p =$	1,30	m	$\rightarrow$	Altura del canal sin la bóveda del baúl



$$Q_{\text{cap}} = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot A$$

### CÁLCULOS:

$y =$	1,49	m	$\rightarrow$	Calado del canal
$\beta =$	0,15	rad	$\rightarrow$	Ángulo: $0 < \beta < \pi/2$
$A_m =$	3,87	m <sup>2</sup>	$\rightarrow$	Área de flujo, $\begin{cases} A_m = b \cdot y \rightarrow y \leq p \\ A_m = b \cdot p + r^2 \cdot \beta + r^2 \cdot \text{sen}\beta \cdot \text{cos}\beta \rightarrow y > p \end{cases}$
$P_m =$	5,58	m	$\rightarrow$	Perímetro mojado, $\begin{cases} P_m = b + 2 \cdot y \rightarrow y \leq p \\ P_m = b + 2 \cdot p + 2 \cdot r \cdot \beta \rightarrow y > p \end{cases}$
$Rh =$	0,69	m	$\rightarrow$	Radio hidráulico, $Rh = A_m/P_m$
$Q(y) =$	3,30	m <sup>3</sup> /s	$\rightarrow$	El valor y es aceptable
$V =$	0,85	m/s	$\rightarrow$	Velocidad en el canal
$C =$	72,37	m <sup>1/2</sup> /s	$\rightarrow$	Coefficiente de Chezy, $C = Rh^{1/6}/n$
$V^* =$	0,04	m/s	$\rightarrow$	Velocidad de corte, $V^* = V \cdot g^{1/2}/C$
$Fr =$	0,22		$\rightarrow$	Número de Froude, $Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}}$

Tipo de flujo: Flujo Subcrítico

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**ANEXO 2.2**  
**DISEÑO DE LAS OBRAS DE DESARENACIÓN**



## CÁLCULO DE LAS CÁMARAS DESARENADORAS

### DATOS:

#### Datos Generales

$N = 3$	$u$	→	Número de cámaras desarenadoras
$r = 1,00$		→	Relación calado/ancho del desarenador
$b_i = 0,20$	m	→	Ancho de las paredes internas
$b_e = 0,30$	m	→	Ancho de las paredes externas

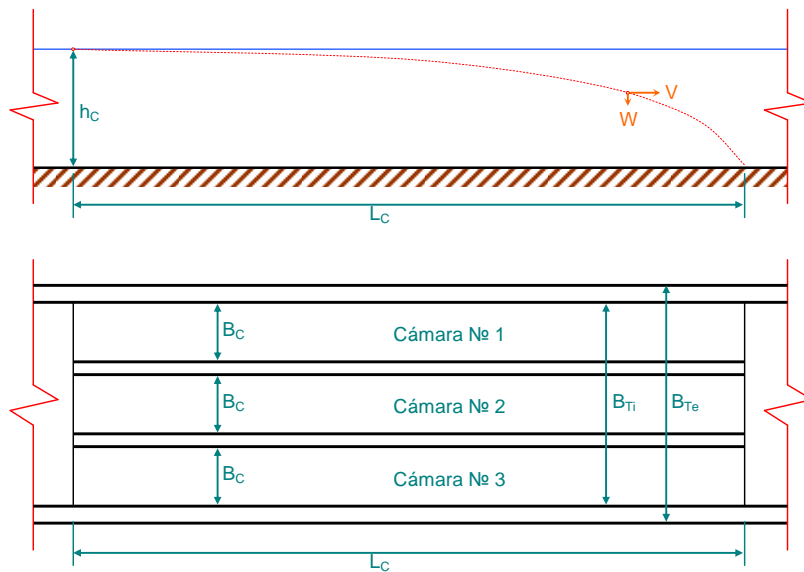
#### Caudales de Diseño:

$Q_{cap} = 3,3$	$m^3/s$	→	Caudal de captación
$Q_{dis} = 1,65$	$m^3/s$	→	Caudal de diseño, $Q_{dis} = Q_{cap}/(N - 1)$

#### Datos Sedimentológicos

$V = 0,20$	m/s	→	Velocidad horizontal de la partícula
$\varnothing = 0,20$	mm	→	Diámetro máximo de partícula
$W = 0,0216$	m/s	→	Velocidad de caída de la partícula según Arkhangelski
$u = 0,0033$	m/s	→	Componente normal de la turbulencia. Según Socolov: $u = 0,152 \cdot W$

### CÁLCULOS:



$A = 8,25$	$m^2$	→	Área de la cámara desarenadora, $A = Q_{dis}/V$
$B_c = 2,87$	m	→	Ancho de la cámara desarenadora, $B_c = \sqrt{\frac{A}{r}}$
$B_c = 2,90$	m	→	Ancho constructivo de la cámara desarenadora
$h_c = 2,84$	m	→	Calado de la cámara desarenadora, $h_c = A/B_c$
$L_c = 31,06$	m	→	Longitud de la cámara desarenadora, $L_c = \frac{h_c \cdot V}{W - u}$
$L_c = 31,50$	m	→	Longitud constructiva de la cámara desarenadora
$B_{Ti} = 9,10$	m	→	Ancho interno total del desarenador, $B_{Ti} = B_c \cdot N + b_i \cdot (N - 1)$
$B_{Te} = 9,70$	m	→	Ancho externo total del desarenador, $B_{Te} = B_{Ti} + 2 \cdot b_e$

ELABORACIÓN: César Costa Costa

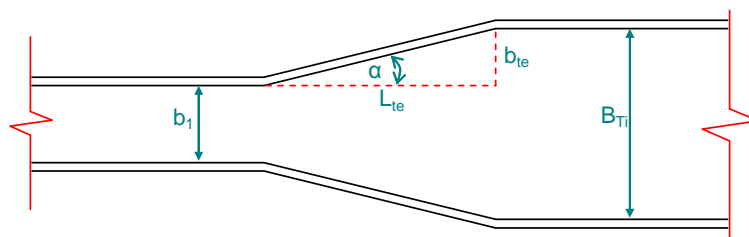
## CÁLCULO DE LA TRANSICIÓN

### DATOS:

$b_1 =$	2,60	m	→	Ancho del canal de llegada
$b_2 =$	2,60	m	→	Ancho del canal de salida
$B_{Ti} =$	9,10	m	→	Ancho interno total del desarenador
$B_{Te} =$	9,70	m	→	Ancho externo total del desarenador
$\alpha =$	12,5	°	→	Ángulo de divergencia

### CÁLCULOS:

#### Transición de Entrada



$$b_{te} = 3,25 \text{ m} \rightarrow \text{Ancho de la transición, } b_{te} = (B_{Ti} - b_1)/2$$

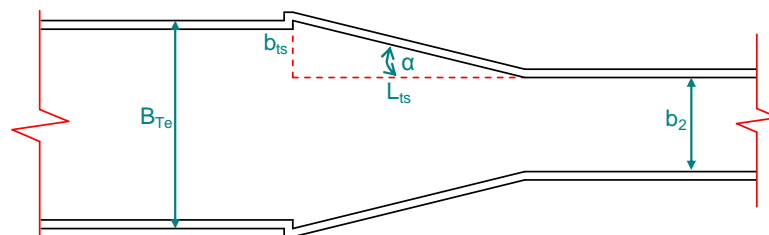
$$L_{te} = 14,66 \text{ m} \rightarrow \text{Longitud de la transición de entrada, } L_{te} = \frac{b_{te}}{\tan \alpha}$$

$$L_{te} = 15,00 \text{ m} \rightarrow \text{Longitud ajustada de la transición}$$

Verificación del ángulo de divergencia

$$\alpha_c = 12,23 \text{ °} \rightarrow \text{Ok, el ángulo de divergencia es correcto}$$

#### Transición de Salida



$$b_{ts} = 3,55 \text{ m} \rightarrow \text{Ancho de la transición, } b_{ts} = (B_{Te} - b_2)/2$$

$$L_{ts} = 16,01 \text{ m} \rightarrow \text{Longitud de la transición de salida, } L_{ts} = \frac{b_{ts}}{\tan \alpha}$$

$$L_{ts} = 16,50 \text{ m} \rightarrow \text{Longitud ajustada de la transición}$$

Verificación del ángulo de divergencia

$$\alpha_c = 12,14 \text{ °} \rightarrow \text{Ok, el ángulo de divergencia es correcto}$$

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## CÁLCULO DEL VERTEDERO TIPO LABERINTO

### DATOS:

#### Datos Generales

<b>N</b> =	3	u	→	Número de cámaras desarenadoras
<b>n</b> =	4	u	→	Número de dientes del laberinto
<b>B<sub>C</sub></b> =	2,90	m	→	Ancho constructivo de la cámara desarenadora
<b>b<sub>i</sub></b> =	0,20	m	→	Ancho de las paredes internas

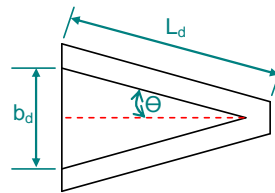
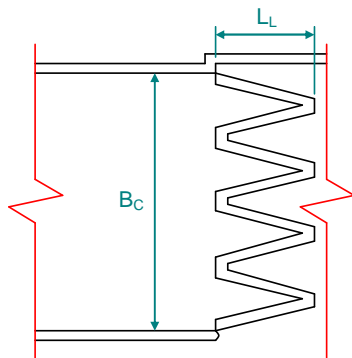
#### Caudales de Diseño:

<b>Q<sub>cap</sub></b> =	3,3	m <sup>3</sup> /s	→	Caudal de captación
<b>Q<sub>dis</sub></b> =	1,65	m <sup>3</sup> /s	→	Caudal de diseño, $Q_{dis} = Q_{cap}/(N - 1)$

#### Datos Hidráulicos

<b>H</b> =	0,20	m	→	Carga de agua sobre el vertedero
<b>Cd<sub>v</sub></b> =	0,50		→	Coefficiente de descarga del vertedero laberinto

### CÁLCULOS:



<b>L<sub>V</sub></b> =	8,33	m	→	Longitud del vertedero, $L_V = \frac{Q_d}{C_d \cdot H^{3/2} \cdot \sqrt{2g}}$
<b>B<sub>ef</sub></b> =	1,30	m	→	Ancho efectivo para vertedero, $B_{ef} = B_C - 2 \cdot b_i \cdot n$
<b>L<sub>d</sub></b> =	1,04	m	→	Longitud del lado del diente, $L_d = L_V / (2 \cdot n)$
<b>L<sub>d</sub></b> =	1,10	m	→	Longitud constructiva del lado del diente
<b>b<sub>d</sub></b> =	0,16	m	→	Ancho del diente, $b_d = B_{ef} / (2 \cdot n)$
<b>θ</b> =	8,50	°	→	Ángulo de la cresta del laberinto, $\text{sen}(\theta) = \frac{b_d}{L_d}$
<b>L<sub>L</sub></b> =	1,09	m	→	Longitud de laberinto, $L_L = L_d \cdot \cos(\theta)$
<b>L<sub>L</sub></b> =	1,10	m	→	Longitud constructiva de laberinto

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## CÁLCULO DEL ORIFICIO DE LIMPIEZA

### DATOS:

#### Datos de las Cámaras Desarenadoras

$N =$	3	u	→	Número de cámaras desarenadoras
$B_C =$	2,90	m	→	Ancho de la cámara desarenadora
$L_C =$	31,50	m	→	Longitud de la cámara desarenadora
$h_C =$	2,84	m	→	Calado de la cámara desarenadora

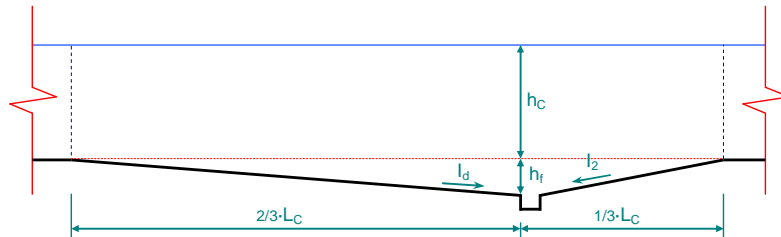
#### Caudales de Diseño:

$Q_{cap} =$	3,30	$m^3/s$	→	Caudal de captación
$Q_{dis} =$	1,65	$m^3/s$	→	Caudal de diseño, $Q_{dis} = Q_{cap}/(N - 1)$

#### Datos Hidráulicos

$I_d =$	0,05	m/m	→	Pendiente del fondo del desarenador
$C_d =$	0,60		→	Coefficiente de descarga del orificio
$v =$	3,00	m/s	→	Velocidad del agua recomendada en el orificio para la limpieza

### CÁLCULOS:



$h_f =$	1,05	m	→	Altura del fondo del desarenador, $h_f = 2/3 \cdot I_d \cdot L_C$
$h_T =$	3,89	m	→	Profundidad total del desarenador, $h_T = h_f + h_C$
$V_S =$	47,96	$m^3$	→	Volumen muerto o de depósito de sólidos, $V_S = B_C \cdot \frac{L_C \cdot h_f}{2}$
$V_C =$	259,88	$m^3$	→	Volumen de la cámara desarenadora, $V_C = B_C \cdot L_C \cdot h_C$
$V_T =$	307,83	$m^3$	→	Volumen total de la cámara desarenadora, $V_T = V_S + V_C$
$b_o =$	1,00	m	→	Longitud del lado del orificio cuadrado de limpieza
$A_o =$	1,00	$m^2$	→	Área del orificio cuadrado de limpieza, $A_o = b_o^2$
$I_2 =$	0,11	m/m	→	Contrapendiente del fondo del desarenador, $I_2 = \frac{h_f}{L_C/3 - b_o}$
$Q_L =$	3,00	$m^3/s$	→	Caudal de lavado, $Q_L = v \cdot A_o$
$t =$	102,61	seg	→	Tiempo total de vaciado, $t = V_T / Q_L$
$T =$	1,71	min	→	Tiempo total de vaciado, $T = t/60$
$Q_C =$	4,65	$m^3/s$	→	Caudal de compuerta, $Q_C = Q_{dis} + Q_L$
$Q_O =$	5,57	$m^3/s$	→	Caudal de orificio, $Q_O = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_T + b_o/2)}$ Ok, $Q_o > Q_C$

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**ANEXO 2.3**  
**DISEÑO DE LAS OBRAS DE ADUCCIÓN**

## CÁLCULO DE LA AMPLIACIÓN DEL CANAL PRINCIPAL

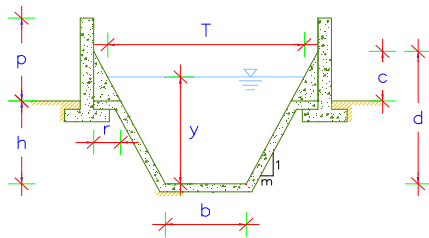
### DATOS:

#### Caudales de diseño:

$$Q_{\text{cap}} = 3,30 \text{ m}^3/\text{s} \quad \rightarrow \quad \text{Caudal a conducir en el canal}$$

#### Características del canal

$l =$	0,001	m/m	$\rightarrow$	Pendiente en el canal
$n =$	0,013	$\text{s}/\text{m}^{1/3}$	$\rightarrow$	Coefficiente de rugosidad de Manning para el concreto
$b =$	0,90	m	$\rightarrow$	Ancho del canal o solera
$h =$	1,00	m	$\rightarrow$	Altura del canal
$p =$	1,00	m	$\rightarrow$	Altura de las paredes a construirse
$r =$	0,30	m	$\rightarrow$	Separación de las paredes del borde del canal existente
$m =$	0,50	m/m	$\rightarrow$	Valor de la horizontal en la pendiente de las paredes del canal



$$Q_{\text{cap}} = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot l^{1/2} \cdot A$$

### CÁLCULOS:

$c =$	0,60	m	$\rightarrow$	Altura de la prolongación de las paredes inclinadas del canal
$d =$	1,60	m	$\rightarrow$	Altura final de las paredes inclinadas del canal, $d = h + c$
$y =$	1,32	m	$\rightarrow$	Calado del canal
$T =$	2,22	m	$\rightarrow$	Espejo de agua, $\begin{cases} T = b + 2 \cdot m \cdot y & \text{si: } y < d \\ T = b + 2 \cdot m \cdot d & \text{si: } y \geq d \end{cases}$
$A_m =$	2,06	$\text{m}^2$	$\rightarrow$	Área de flujo, $\begin{cases} A_m = (b + m \cdot y)y & \text{si: } y < d \\ A_m = (b + m \cdot d)d + (y - d)T & \text{si: } y \geq d \end{cases}$
$P_m =$	3,85	m	$\rightarrow$	Perímetro mojado, $\begin{cases} P_m = b + 2 \cdot y \sqrt{1 + m^2} & \text{si: } y < d \\ P_m = b + 2 \cdot d \sqrt{1 + m^2} + 2(y - d) & \text{si: } y \geq d \end{cases}$
$Rh =$	0,53	m	$\rightarrow$	Radio hidráulico, $Rh = A_m/P_m$
$Q(y) =$	3,30	$\text{m}^3/\text{s}$	$\rightarrow$	El valor $y$ es aceptable
$V =$	1,60	m/s	$\rightarrow$	Velocidad en el canal
$C =$	69,30	$\text{m}^{1/2}/\text{s}$	$\rightarrow$	Coefficiente de Chezy, $C = Rh^{1/6}/n$
$V^* =$	0,07	m/s	$\rightarrow$	Velocidad de corte, $V^* = V \cdot g^{1/2}/C$
$Fr =$	0,45		$\rightarrow$	Número de Froude, $Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}}$

Tipo de flujo: Flujo Subcrítico

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**ANEXO 2.4**  
**DISEÑO DEL TANQUE DE PRESIÓN**

## CÁLCULO DEL CANAL DE APROXIMACIÓN

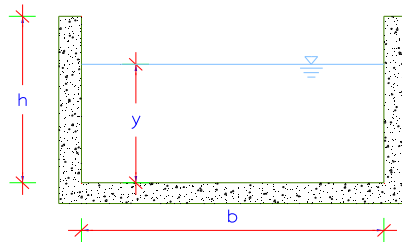
### DATOS:

#### Caudal de diseño

$$Q_{\text{cap}} = 2,00 \text{ m}^3/\text{s} \quad \rightarrow \quad \text{Caudal a conducir en el canal}$$

#### Características del canal

$h =$	2,00	m	$\rightarrow$	Altura del canal
$b =$	3,35	m	$\rightarrow$	Ancho del canal o solera
$l =$	0,001	m/m	$\rightarrow$	Pendiente en el canal
$n =$	0,013	s/m <sup>1/3</sup>	$\rightarrow$	Coefficiente de rugosidad de Manning para el concreto



$$Q_{\text{cap}} = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot l^{1/2} \cdot A$$

### CÁLCULOS:

$$y = 0,48 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \text{Calado del canal}$$

$$A_m = 1,59 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Área de flujo, } A_m = b \cdot y$$

$$P_m = 4,30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \text{Perímetro mojado, } P_m = b + 2 \cdot y$$

$$Rh = 0,37 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \text{Radio hidráulico, } Rh = A_m/P_m$$

$$Q(y) = 2,00 \text{ m}^3/\text{s} \quad \rightarrow \quad \text{El valor } y \text{ es aceptable}$$

$$V = 1,25 \text{ m/s} \quad \rightarrow \quad \text{Velocidad en el canal}$$

$$C = 65,19 \text{ m}^{1/2}/\text{s} \quad \rightarrow \quad \text{Coeficiente de Chezy, } C = Rh^{1/6}/n$$

$$V^* = 0,06 \text{ m/s} \quad \rightarrow \quad \text{Velocidad de corte, } V^* = V \cdot g^{1/2}/C$$

$$Fr = 0,58 \quad \rightarrow \quad \text{Número de Froude, } Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}}$$

Tipo de flujo: Flujo Subcrítico

ELABORACIÓN: César Costa Costa



## CÁLCULO DEL TANQUE DE PRESIÓN

### DATOS:

#### Datos de la tubería de presión

$Q_{dis} =$	2,00	m <sup>3</sup> /s	→	Caudal de diseño
$D =$	1000	mm	→	Diámetro de la tubería de presión

#### Datos del canal de aducción

$b =$	3,35	m	→	Ancho del canal de aducción
$A =$	1,59	m <sup>2</sup>	→	Área de flujo en el canal de aducción
$V_0 =$	1,25	m/s	→	Velocidad media del flujo en el canal de aducción
$i =$	0,001	m/m	→	Pendiente longitudinal del canal de aducción
$\alpha =$	12,50	°	→	Ángulo de divergencia entre el canal y el tanque de presión

### CÁLCULOS:

#### Altura Mínima sobre la Tubería de Presión

$A_t =$	0,79	m <sup>2</sup>	→	Área de la tubería de presión, $A_t = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$
$V =$	2,55	m/s	→	Velocidad en la tubería de presión, $V = Q/A_t$

Se tienen tres criterios:

$h =$	1,00	m	→	Se recomienda que h no baje de 1,00 m
$h =$	0,99	m	→	Evitar la entrada de aire, $h = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$ , K varía entre 2 y 3
$h =$	0,69	m	→	$h > 0,5 \cdot D \cdot \left( \frac{V}{\sqrt{2 \cdot D}} \right)^{0,55}$ , según Polikovski y Perelman

Y se escoge el mayor de los tres valores:

$h =$	1,00	m	→	Altura mínima sobre la tubería que evita entrada de aire
-------	------	---	---	--

#### Volumen del Tanque de Presión

$\Delta M =$	177,29	m <sup>3</sup>	→	Volumen necesario por encima del nivel h, $\Delta M = \frac{0,693 \cdot A \cdot V_0^2}{i \cdot g}$
$T_{calc} =$	89	s	→	Tiempo de retención calculado, $T = \Delta M/Q$
$T_{recom} =$	200	s	→	Tiempo de retención recomendado, $T = \Delta M/Q$
$M =$	400,00	m <sup>3</sup>	→	Volumen definido para el tanque de presión, $M = Q \cdot T$

#### Transición

$B =$	5,80	m	→	Ancho asumido para realizar la transición
$b_t =$	1,23	m	→	Ancho de la transición, $b_t = (B - b)/2$
$L_t =$	5,53	m	→	Longitud de la transición de entrada, $L_t = \frac{b_t}{\tan(\alpha)}$

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LA REJILLA

### DATOS:

#### Recomendaciones:

Separación entre barrotes	50 - 200 mm → 32 - 100 mm → 20 - 65 mm →	Turbinas de hélice Turbinas Francis Turbinas Pelton
Ángulo de inclinación con la horizontal	50 - 55 ° → 70 - 76 ° →	Para limpieza a mano Para limpieza mecánica
Coefficiente según la forma del barrote	2,42 → 1,83 →	Pletinas de sección rectangular Pletinas con esquinas redondeadas
Velocidad de aproximación	0,5 - 1,2 m/s → 1,2 - 2,5 m/s →	Valor asumido generalmente Valor admitido en obras grandes

#### Datos Generales

<b>Turbina:</b> Pelton	→	Tipo de turbina
<b>Limpieza:</b> A mano	→	Tipo de limpieza de la rejilla

#### Datos de los barrotes

<b>Forma =</b> Rectangular	→	Forma de la sección transversal del barrote
<b>t =</b> 5 mm	→	Grueso del barrote

### CÁLCULOS:

<b>s =</b> 20 mm	→	Separación entre barrotes recomendada para cada tipo de turbina
<b>A =</b> 55 °	→	Ángulo de inclinación de la rejilla con la horizontal
<b>B =</b> 2,42	→	Coefficiente según la forma de la sección transversal del barrote
<b>V =</b> 0,50 m/s	→	Velocidad de aproximación recomendada según el proyecto
<b>h<sub>t</sub> =</b> 4 mm	→	Pérdida en la rejilla según Kirschmer, $h_t = B \cdot \left(\frac{t}{s}\right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \text{sen}(A)$

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**ANEXO 2.5**  
**DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN**

## CÁLCULO DEL DIÁMETRO ÓPTIMO

### DATOS:

#### Datos Generales

$Q_{dis} =$	2,00	$m^3/s$	→	Caudal de diseño
$H =$	300	m	→	Altura bruta

#### Datos de operación de la planta

$e =$	80,00%		→	Eficiencia del sistema turbina-generador
$T =$	8760	h/año	→	Tiempo de operación de la planta por año
$F =$	0,65		→	Factor de carga

#### Datos de la Tubería

$L =$	644	m	→	Longitud de la tubería
$n_a =$	0,012	$s/m^{1/3}$	→	Coefficiente de rugosidad para el acero
$S =$	12000	$T/m^2$	→	Esfuerzo de trabajo del acero
$W_{Agua} =$	1	$T/m^3$	→	Peso específico del agua
$W_{Acero} =$	8	$T/m^3$	→	Peso específico del acero

#### Datos Financieros

$P_{Energía} =$	0,058	\$/kw-h	→	Precio de la energía por kilowatio-hora
$P_{Tubería} =$	1750,00	\$/T	→	Precio de la tubería por tonelada
$n =$	10	años	→	Período en el que se paga la deuda
$r =$	6,00%		→	Interés anual

### CÁLCULOS:

$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} ; \quad v = \frac{Q}{A}$	→	Área y velocidad del agua en la tubería
$h_f = 6,35 \cdot \frac{L \cdot n_a^2 \cdot v^2}{D^{4/3}}$	→	Pérdida de carga por fricción según Manning
$N = \frac{Q \cdot (H - h_f) \cdot e \cdot W_{Agua}}{102}$	→	Potencia producida por la carga neta
$N_{Pérdidas} = \frac{Q \cdot h_f \cdot e \cdot W_{Agua}}{102}$	→	Potencia perdida debido a resistencias hidráulicas
$t = 1,25 \cdot \frac{W \cdot H \cdot D}{2 \cdot S} + t_0 ; \quad V = \pi \cdot D \cdot t \cdot L$	→	Espesor y volumen de acero de la tubería
$C_{Tubería} = P_{Tubería} \cdot W_{Acero} \cdot V$	→	Costo inicial de la tubería
$Producción\ Anual = T \cdot F \cdot N \cdot P_{Energía}$	→	Producción neta anual de energía
$Pérdida\ Anual = T \cdot F \cdot N_{Pérdidas} \cdot P_{Energía}$	→	Pérdida de energía anual
$Amortización = \frac{C_{Tubería} \cdot r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$	→	Valor anual de amortización

D [mm]	1300	1200	1100	1000	900	800	700
A [m <sup>2</sup> ]	1,327	1,131	0,950	0,785	0,636	0,503	0,385
v [m/s]	1,51	1,77	2,10	2,55	3,14	3,98	5,20
$h_f$ [m]	0,94	1,44	2,30	3,82	6,70	12,55	25,59
N [Kw]	4691,10	4683,23	4669,85	4645,98	4600,82	4508,97	4304,49
$N_{Pérdidas}$ [Kw]	14,78	22,65	36,03	59,90	105,07	196,91	401,39
$t_0$ [m]	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
t [m]	0,024	0,023	0,021	0,019	0,017	0,016	0,014
V [m <sup>3</sup> ]	63,95	55,23	47,15	37,68	31,07	25,09	19,74
$C_{Tubería}$ [\$]	895234	773262	660140	527546	434960	351225	276342
Producción [\$ /año]	1549245	1546646	1542228	1534345	1519429	1489096	1421567
Pérdida [\$ /año]	4882	7481	11899	19782	34698	65031	132560
Amortización [\$ /año]	121634	105061	89692	71677	59097	47720	37546
<b>TOTAL [\$ /año]</b>	<b>126515</b>	<b>112543</b>	<b>101591</b>	<b>91458</b>	<b>93795</b>	<b>112751</b>	<b>170106</b>

TOTAL MÍNIMO

Diámetro Óptimo: 1000 mm

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## CÁLCULO DE LOS ANCLAJES

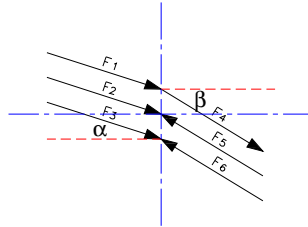
### DATOS:

$Q_{dis}$	=	2,00	$m^3/s$	→	Caudal de diseño
$D_i$	=	1000	mm	→	Diámetro interno de la tubería
$t$	=	20	mm	→	Espesor de la tubería
$n_a$	=	0,012	$s/m^{1/3}$	→	Coefficiente de rugosidad para el acero
$W_{Hormigón}$	=	2,2	$T/m^3$	→	Peso específico del hormigón
$S$	=	30,0	$T/m^2$	→	Capacidad portante del suelo
$f$	=	0,30		→	Coefficiente de fricción entre el anclaje y el suelo
$r$	=	0,30	m	→	Recubrimiento de la tubería en el anclaje

### CÁLCULOS:

$D_o$	=	1040	mm	→	Diámetro externo de la tubería, $D_o = D_i + 2 \cdot t$
$A_i$	=	0,79	$m^2$	→	Área del diámetro interno de la tubería, $A_i = \pi \cdot D_i^2/4$
$A_o$	=	0,85	$m^2$	→	Área del diámetro externo de la tubería, $A_o = \pi \cdot D_o^2/4$
$v$	=	2,55	m/s	→	Velocidad del agua en la tubería, $v = Q/A$

### Cálculo de las Fuerzas

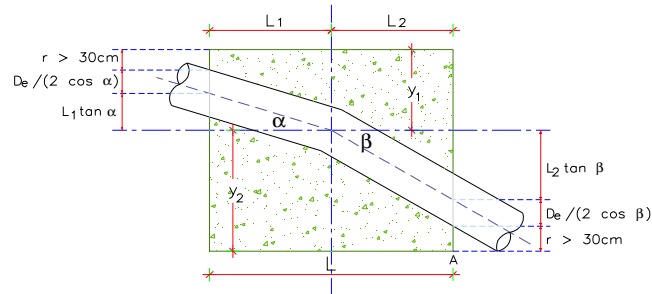


$h_f = 10,34 \cdot L \cdot n_a^2 \cdot Q^2 / D_i^{16/3}$	→	Pérdida de carga por fricción en el tramo considerado
$F_1 = A_i \cdot h_f$	→	Fuerza de arrastre del agua en dirección al movimiento de la misma
$F_2 = 1,25 \cdot A_i \cdot H$	→	Fuerza debida a la presión del agua en dirección del eje
$F_3 = Q \cdot v / g$	→	Fuerza centrífuga producida por el cambio de dirección en el codo
$F_H = \cos(\alpha) \cdot (F_1 + F_2 + F_3) + \cos(\beta) \cdot (F_4 - F_5 - F_6)$	→	Fuerza resultante horizontal
$F_V = -\sin(\alpha) \cdot (F_1 + F_2 + F_3) - \sin(\beta) \cdot (F_4 - F_5 - F_6)$	→	Fuerza resultante vertical
$F_H < f \cdot (G + F_V)$	→	Primera condición de estabilidad
$V_H = 1,2 \cdot G / W_{Hormigón}$	→	Volumen de hormigón necesario para el bloque

Tramo	L [m]	$\alpha$ [grados]	H [m]	$F_H$ [ T ]	$F_V$ [ T ]	Tipo de Anclaje	G [ T ]	$V_H$ [m <sup>3</sup> ]
T - 1	168,95	32						
anclaje 1			92,63	10,75	11,88	hacia afuera	23,96	13,07
T - 2	139,68	42						
anclaje 2			185,97	-3,40	-5,52	hacia adentro	0,00	0,00
T - 3	86,90	40						
anclaje 3			241,90	-39,41	-68,01	hacia adentro	0,00	0,00
T - 4	34,53	21						
anclaje 4			254,32	-8,83	-29,24	hacia adentro	0,00	0,00
T - 5	44,16	14						
anclaje 5			264,93	25,27	63,17	hacia afuera	21,06	11,49
T - 6	33,25	29						
anclaje 6			281,26	-14,28	-30,61	hacia adentro	0,00	0,00
T - 7	29,50	22						
anclaje 7			292,19	-13,23	-43,10	hacia adentro	0,00	0,00
T - 8	43,43	13						
anclaje 8			302,07	-3,46	-20,45	hacia adentro	8,90	4,85
T - 9	63,77	9						

## CONTINUACIÓN

### Comprobación y Diseño del Bloque de Anclaje



$$V_T = A_e \cdot \left( \frac{L_1}{\cos \alpha} + \frac{L_2}{\cos \beta} \right) \quad \rightarrow \quad \text{Espacio ocupado por la tubería}$$

$$V_B = V_H + V_T \quad \rightarrow \quad \text{Volumen total del bloque con la tubería}$$

$$y_1 = r + \frac{D_e}{2 \cdot \cos \alpha} + L_1 \cdot \tan \alpha \quad \rightarrow \quad \text{Altura del bloque para el tramo superior}$$

$$y_2 = r + \frac{D_e}{2 \cdot \cos \beta} + L_2 \cdot \tan \beta \quad \rightarrow \quad \text{Altura del bloque para el tramo inferior}$$

$$y = y_1 + y_2 \quad \rightarrow \quad \text{Altura total del bloque}$$

$$b = V_B / (y \cdot L) ; b \geq D_e + 2 \cdot r \quad \rightarrow \quad \text{Ancho del bloque}$$

$$F_P = (L \cdot y \cdot b - V_T) \cdot W_{\text{Hormigón}} \quad \rightarrow \quad \text{Peso del bloque}$$

$$M_A = (F_P + F_V) \cdot L_2 - F_H \cdot y_2 \quad \rightarrow \quad \text{Momento respecto a A}$$

$$\frac{F_P + F_V}{b \cdot L} < S \quad \rightarrow \quad \text{Segunda condición de estabilidad}$$

$$\frac{L}{3} < \frac{M_A}{F_P + F_V} < \frac{2L}{3} \quad \rightarrow \quad \text{Tercera condición de estabilidad}$$

Tramo	$V_T$ [m <sup>3</sup> ]	L [m]	y [m]	b [m]	$F_P$ [T]	$M_A$ [T·m]	2 <sup>da</sup> condición	3 <sup>ra</sup> condición
<b>T - 1</b>								
anclaje 1	2,72	2,50	2,50	2,60	29,77	37,21	si cumple	si cumple
<b>T - 2</b>								
anclaje 2	2,82	2,50	2,50	1,70	17,18	35,27	si cumple	si cumple
<b>T - 3</b>								
anclaje 3	2,57	2,50	2,50	1,70	17,71	134,63	si cumple	si cumple
<b>T - 4</b>								
anclaje 4	2,23	2,50	2,50	1,70	18,47	69,77	si cumple	si cumple
<b>T - 5</b>								
anclaje 5	2,35	2,60	2,60	2,10	26,05	-63,51	si cumple	si cumple
<b>T - 6</b>								
anclaje 6	2,36	2,50	2,50	1,70	18,18	80,50	si cumple	si cumple
<b>T - 7</b>								
anclaje 7	2,24	2,50	2,50	1,70	18,46	91,81	si cumple	si cumple
<b>T - 8</b>								
anclaje 8	2,16	2,50	2,20	1,70	15,81	48,87	si cumple	si cumple
<b>T - 9</b>								

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**ANEXO 2.6**  
**DISEÑO DE LAS OBRAS DE ENTREGA AL CURSO**  
**NATURAL**

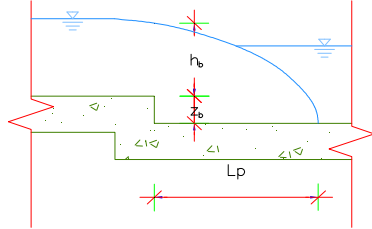
## CÁLCULO DEL CANAL DE RESTITUCIÓN

### DATOS:

$Q_{dis} =$	2,00	m <sup>3</sup> /s	→	Caudal a conducir en el canal
$h =$	1,00	m	→	Altura del canal
$b =$	1,50	m	→	Ancho del canal
$n =$	0,013	s/m <sup>1/3</sup>	→	Coefficiente de rugosidad de Manning para el concreto
$J =$	0,15	m/m	→	Pendiente de la rápida
$l =$	0,005	m/m	→	Pendiente en el canal

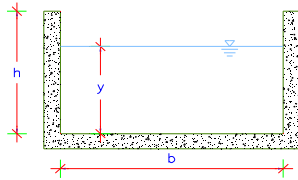
### CÁLCULOS:

#### Cálculo de la grada en el primer tramo



$q_{dis} =$	1,33	m <sup>3</sup> /s/m	→	Caudal específico de diseño, $q_{dis} = Q_{dis}/b$
$y_c =$	0,57	m	→	Calado crítico, $y_c = \sqrt[3]{\frac{q_{dis}^2}{g}}$
$h_b =$	0,40	m	→	Carga sobre el final de la grada según H. Rouse, $h_b = 0,715 \cdot y_c$
$z_b =$	0,15	m	→	Altura asumida para la grada
$L_g =$	1,00	m	→	Longitud de la grada, $L_g = z_b/J$
$y =$	0,35	m	→	$y = z_b + h_b/2$
$v =$	3,30	m/s	→	Velocidad sobre la grada, $v = q_{dis}/h_b$
$L_p =$	0,88	m	→	Longitud de la parábola que sigue el chorro al caer, $L_p = v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot y}{g}}$ Ok, $L_p < L_g$

#### Cálculo del canal en el segundo tramo



$$Q_{cap} = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot l^{1/2} \cdot A$$

$y =$	0,53	m	→	Calado del canal
$A_m =$	0,80	m <sup>2</sup>	→	Área de flujo, $A_m = b \cdot y$
$P_m =$	2,57	m	→	Perímetro mojado, $P_m = b + 2 \cdot y$
$Rh =$	0,31	m	→	Radio hidráulico, $Rh = A_m/P_m$
$Q(y) =$	2,00	m <sup>3</sup> /s	→	El valor y es aceptable
$V =$	2,50	m/s	→	Velocidad en el canal
$C =$	63,34	m <sup>1/2</sup> /s	→	Coefficiente de Chezy, $C = Rh^{1/6}/n$
$V^* =$	0,12	m/s	→	Velocidad de corte, $V^* = V \cdot g^{1/2}/C$
$Fr =$	1,09		→	Número de Froude, $Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}}$

Tipo de flujo: Flujo Supercrítico

ELABORACIÓN: César Costa Costa



**ANEXO 3**  
**DISEÑO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO**

## SELECCIÓN DEL TIPO DE TURBINAS

### DATOS:

H =	300	m	→	Caída neta
Q <sub>1</sub> =	0,50	m <sup>3</sup> /s	→	Caudal del grupo 1
Q <sub>2</sub> =	1,50	m <sup>3</sup> /s	→	Caudal del grupo 2
ρ =	1	T/m <sup>3</sup>	→	Densidad del agua
N =	720	rpm	→	Velocidad de rotación de la turbina

### CÁLCULOS Y SELECCIÓN:

η <sub>t</sub> =	86%	→	Eficiencia promedio de la turbina
η <sub>g</sub> =	93%	→	Eficiencia promedio del generador
η =	80%	→	Eficiencia promedio del grupo turbina-generador

#### Grupo 1:

P <sub>1</sub> =	1177	kw	→	Potencia generada por el grupo 1, P <sub>1</sub> = η·ρ·Q <sub>1</sub> ·g·H
P <sub>1</sub> =	1600	CV		
n <sub>s</sub> =	23	rpm	→	Número específico de revoluciones según Camerer, en el sistema europeo $n_s = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{H^{5/4}}$
n <sub>q</sub> =	7	rpm	→	Número específico de revoluciones según Brauer, en el sistema americano $n_q = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$

#### Grupo 2:

P <sub>2</sub> =	3531	kw	→	Potencia generada por el grupo 2, P <sub>2</sub> = η·ρ·Q <sub>2</sub> ·g·H
P <sub>2</sub> =	4800	CV		
n <sub>s</sub> =	40	rpm	→	Número específico de revoluciones según Camerer, en el sistema europeo $n_s = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{H^{5/4}}$
n <sub>q</sub> =	12	rpm	→	Número específico de revoluciones según Brauer, en el sistema americano $n_q = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$

### Características principales de turbinas hidráulicas

Turbina	n <sub>s</sub> [rpm]	Q [m <sup>3</sup> /s]	H [m]	P [kw]	η <sub>máx</sub> [%]
Pelton de un inyector	5 – 30	0,05 – 50	30 – 1800	2 – 300000	91
Pelton de 2 a 4 inyectores	30 – 50	0,05 – 50	30 – 1800	2 – 300000	91
Pelton 5 o 6 inyectores	50 – 70	0,05 – 50	30 – 1800	2 – 300000	91
Bomba rotodinámica	30 – 170	0,05 – 0,25	10 – 250	5 – 500	80
Michell-Banki	40 – 160	0,025 – 5	1 – 50	1 – 750	82
Turgo	60 – 260	0,025 – 10	15 – 300	5 – 8000	85
Deriaz	60 – 400	500	30 – 130	100000	92
Francis Lenta	60 – 150	1 – 500	2 – 750	2 – 750000	92
Francis Normal	150 – 250	1 – 500	2 – 750	2 – 750000	92
Francis Rápida	250 – 400	1 – 500	2 – 750	2 – 750000	92
Axial	300 – 800	600	5 – 30	100000	93
Kaplan y de hélice	300 – 800	1000	5 – 80	2 – 200000	93

Fuente: ITDG - Perú, Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas, Lima, 1995

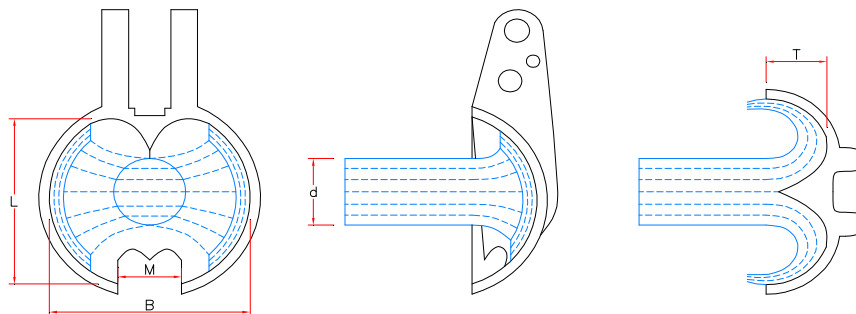
### Selección de las turbinas en base a n<sub>s</sub>

<b>Grupo 1:</b>	Turbina Pelton de un inyector
<b>Grupo 2:</b>	Turbina Pelton de dos inyectores

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

## DISEÑO DE LAS TURBINAS PELTON

Disemensionamiento referencial de la turbina				
Notación	Grupo 1	Grupo 2	Unidades	Expresiones de Cálculo
H =	300	300	m	Caída neta
Q =	0,50	1,50	m <sup>3</sup> /s	Caudal de cada grupo
N =	720	720	rpm	Velocidad de rotación de la turbina
P =	1177	3531	kw	Potencia generada por cada grupo, $P = \eta \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot H$
n <sub>s</sub> =	23	40	rpm	Número específico de revoluciones, sistema europeo
n <sub>q</sub> =	7	12	rpm	Número específico de revoluciones, sistema americano
n =	1	2	u	Número de inyectoros
Q <sub>j</sub> =	0,5	0,75	m <sup>3</sup> /s	Caudal por inyector
d =	0,093	0,114	m	Diámetro del chorro, $d = \frac{Q^{1/2} \cdot 0,55}{H^{1/4} \cdot n^{1/2}}$
A =	0,007	0,010	m <sup>2</sup>	Área del chorro, $A = \pi \cdot d^2/4$
v =	72,90	72,90	m/s	Velocidad del chorro, $v = Q_j/A$
D =	0,566	0,694	m	Diámetro primitivo del rodete, $D = 0,35 \cdot d \cdot H^{1/2}$
Φ =	0,278	0,341		Coefficiente de velocidad tangencial, $\Phi = \frac{N \cdot D}{84,6 \cdot H^{1/2}}$
n <sub>sj</sub> =	23	28	rpm	Número específico de revoluciones por chorro, $n_{sj} = n_s/n^{1/2}$
D <sub>e</sub> =	0,761	0,982	m	Diámetro exterior del rodete, $D_e = D \cdot (1,028 + 0,0137 \cdot n_{sj})$
N <sub>can</sub> =	18	18	u	Número de cangilones, $N_{can} = 15 + D/(2 \cdot d)$
L =	0,196	0,240	m	Longitud del cangilón, $L = 2,1 \cdot d$
B =	0,234	0,286	m	Ancho del cangilón, $B = 2,5 \cdot d$
T =	0,079	0,097	m	Profundidad del cangilón, $T = 0,85 \cdot d$
M =	0,103	0,126	m	Mella del cangilón, $M = 1,1 \cdot d$
t =	0,187	0,229	m	Paso del cangilón, $M = 2 \cdot d$
D <sub>t</sub> =	1,07	1,37	m	Diámetro total aproximado de la turbina, $D_t = 1,4 \cdot D_e$
B <sub>t</sub> =	0,42	0,52	m	Ancho total aproximado de la turbina, $B_t = 1,8 \cdot B$
H <sub>m</sub> =	1,08	1,29	m	Altura de montaje mínima, $H_m = 10 \cdot d + H/2000$
P <sub>g</sub> =	6,95	15,67	T	Peso de la unidad de generación, $P_g = 65 \cdot \left( \frac{P}{900 \cdot N^{0,5}} \right)^{0,74}$



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

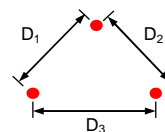
## DISEÑO DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

### DATOS:

<b>P</b> =	4708	kw	→	Potencia entregada
<b>V</b> =	69	kV	→	Voltaje de la línea
<b>L</b> =	5	km	→	Longitud de la línea
<b>f<sub>p</sub></b> =	0,9		→	Factor de potencia

### CÁLCULOS:

<b>I</b> =	43,8	A	→	Corriente, $I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot f_p}$
<b>C</b> =	2		→	*Calibre del conductor
<b>r/milla</b> =	1,690	Ω/milla	→	*Resistencia eléctrica del conductor por milla
<b>r/km</b> =	1,050	Ω/km	→	Resistencia eléctrica del conductor por kilómetro
<b>r</b> =	5,25	Ω	→	Resistencia eléctrica del conductor
<b>x<sub>p</sub>/milla</b> =	0,665	Ω/milla	→	*Reactancia inductiva propia del conductor por milla
<b>x<sub>p</sub>/km</b> =	0,413	Ω/km	→	Reactancia inductiva propia del conductor por kilómetro
<b>x<sub>p</sub></b> =	2,07	Ω	→	Reactancia inductiva propia del conductor
<b>D<sub>1</sub></b> =	3,14	m	}	→ *Separación entre los conductores
<b>D<sub>2</sub></b> =	3,14	m		
<b>D<sub>3</sub></b> =	2	m		
<b>DGM</b> =	2,70	m	→	Distancia media geométrica de los conductores, $DGM = \sqrt{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3}$
<b>DGM</b> =	9	pies	→	Distancia media geométrica de los conductores
<b>x<sub>g</sub>/milla</b> =	0,267	Ω/milla	→	*Reactancia producida por la separación de los conductores
<b>x<sub>g</sub>/km</b> =	0,166	Ω/km	→	Reactancia producida por la separación de los conductores
<b>x<sub>s</sub></b> =	0,83	Ω	→	Reactancia producida por la separación de los conductores
<b>x</b> =	2,89	Ω	→	Reactancia total de los conductores, $x = x_p + x_s$
<b>z</b> =	6,00	Ω	→	Módulo de impedancia, $z = \sqrt{r^2 + x^2}$
<b>R</b> =	0,66	%	→	Regulación de la línea, $R = \frac{P \cdot z}{10 \cdot f_p \cdot V^2}$



\* Valores tomados del libro Transmission and Distribution Reference Book de la Westinghouse y del texto Análisis de Sistemas de Potencia de William Stevenson

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

## DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE PLANTA

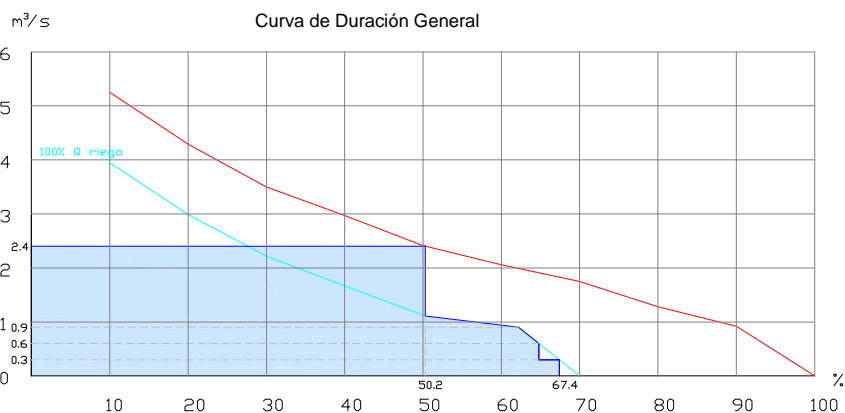
### DATOS:

$H = 300$ m	→	Caída neta
$\eta = 80,0\%$	→	Eficiencia promedio del grupo turbina-generador
$\eta_{tr} = 91,2\%$	→	Eficiencia promedio en la transmisión
$Q_1 = 0,50$ m <sup>3</sup> /s	→	Caudal de diseño del grupo 1
$Q_2 = 1,50$ m <sup>3</sup> /s	→	Caudal de diseño del grupo 2
$Q = 2,00$ m <sup>3</sup> /s	→	Caudal total de diseño
$P = 4708$ Kw	→	Potencia total instalada
$EAD = 37,6$ Gwh	→	Energía anual disponible

### CÁLCULOS:

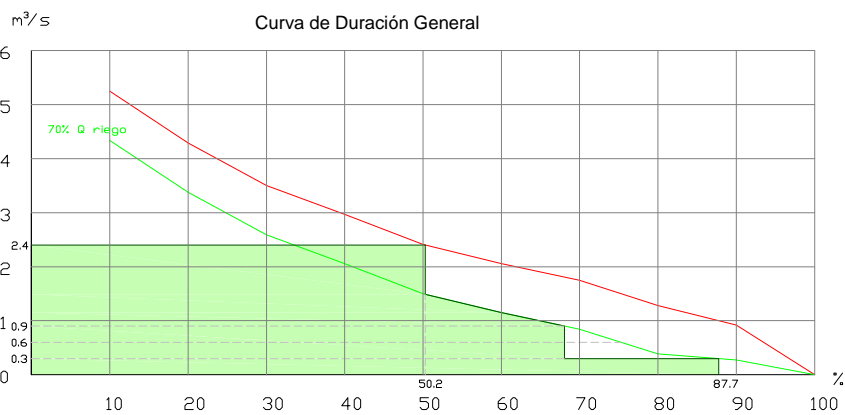
#### Alternativa I:

$A_{CDG} = 1,35$ m <sup>3</sup> /s	→	Área definida en la Curva de Duración General
$FP = 0,68$	→	Factor de planta, $FP = \frac{A_{CDG}}{Q}$
$EAMG = 25,6$ Gwh	→	Energía anual media generada, $EAMG = FP \times EAD$



#### Alternativa II:

$A_{CDG} = 1,48$ m <sup>3</sup> /s	→	Área definida en la Curva de Duración General
$FP = 0,74$	→	Factor de planta, $FP = \frac{A_{CDG}}{Q}$
$EAMG = 27,8$ Gwh	→	Energía anual media generada, $EAMG = FP \times EAD$



FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.  
ELABORACIÓN: César Costa Costa

**ANEXO 4**  
**EVALUACIÓN AMBIENTAL**

**ANEXO 4.1**  
**LÍNEA BASE AMBIENTAL**

## **PROYECTO HIDROELÉCTRICO HUARHUALLÁ LÍNEA BASE AMBIENTAL**

### **11. Medio físico**

#### **11.1. Recursos Hídricos**

El área del Proyecto se encuentra en el gran sistema fluvial "Pastaza – Marañón – Amazonas", que tiene su nacimiento en los andes ecuatorianos. Los ríos Chambo y Patate constituyen la Cuenca Alta del Río Pastaza, y tiene un régimen predominantemente torrencial; la densidad de drenaje es 0.5 km/km<sup>2</sup> y 0.1 km/km<sup>2</sup> para las subcuencas de los ríos Patate y Chambo, respectivamente.

#### **11.2. Recursos Atmosféricos**

La temperatura media anual en la zona de influencia del proyecto es de 13.3 °C, la precipitación media es 414.10 mm/año, la evaporación es de 787 mm total anual, el valor de la media anual de la velocidad del viento es 7.59 Km/h y la humedad es del 80%.

La época lluviosa comprende los meses de enero a junio y octubre a diciembre. La época seca corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre. Sin embargo, los límites de la época seca y lluviosa, no están bien marcados y no existe uniformidad en la distribución e intensidad de lluvias.

La calidad del aire no ha sido afectada por actividades humanas, salvo agricultura o ganadería que no tienen incidencia sobre ello.



### **11.3. Recursos Tierra**

#### **11.3.1. Geología**

El área de estudio se ubica en el sector comprendido entre la ciudad de Riobamba y la población de Licto, al sureste de la ciudad. El principal rasgo morfológico presente en la zona, son terrazas de origen fluvial, que se encuentran a los dos lados del río Chambo. En la confluencia del río Chibunga, la topografía es relativamente plana, sin embargo es más irregular con presencia de montículos entre Riobamba y Licto. Estas terrazas se ubican a una altura entre 2700 msnm y 2750 msnm, cortadas por el cauce del río Chambo y sus afluentes, formando escarpes de hasta 150 m de altura.

Los escarpes formados por las terrazas junto al río Chambo y sus zonas de influencia, son potencial de deslizamientos.

Hacia el este del río Chambo, la topografía se vuelve más empinada, llegando en pocos kilómetros a los 4000 msnm. Hacia el oeste, las alturas ascienden de igual manera, pero se mantienen en niveles menores a los 4000 msnm.

Las instalaciones de la Central Hidroeléctrica Huarhuallá, estarán ubicadas en las estribaciones occidentales de la Cordillera Real, la que está formada por rocas metamórficas de edad mesozoica. Sobre estas rocas se encuentran depósitos volcánicos, cuya base está conformada por piroclastos, brechas, tobas, y algunas lavas. Existen nombres locales para estos depósitos, así por ejemplo los Volcánicos Sicalpa.

#### **11.3.2. Riesgos Volcánicos**

Conos Tulabug: dado el carácter monogénico de estos conos, y su edad mayor a los 10000 años, se puede descartar que este pequeño volcán, tenga una erupción futura, así como la probabilidad de formación de otro pequeño cono, es escasa.

Volcán Altar: se encuentra relativamente cercano a la zona de estudio, sin embargo, por tratarse de un volcán sin actividad reportada en los últimos 10000 años, se descarta su erupción.

Volcán Sangay: está ubicado aproximadamente a 50 kilómetros al sureste de la zona del proyecto, por lo que no se esperan depósitos primarios relacionados con este volcán, como son: flujos de lava o flujos piroclásticos. Es de actividad permanente, y en el pasado afectó a importantes zonas de la Cordillera Real, con caída de ceniza, por lo que se debe considerar esa posibilidad.

### **11.3.3. Sismotectónica**

La zona del proyecto está ubicada cerca de una de las principales estructuras tectónicas que atraviesa al país, como es la falla Pallatanga, cuya trayectoria sigue el curso del río Pangor, ubicado a 30 km al oeste del sitio de la central. Esta falla forma parte del sistema mayor de fallas dextrales, que al sur de la cordillera de los Llanganates, se divide en varios ramales, siendo la falla de Pallatanga el ramal principal. Esta falla presenta desplazamientos máximos de 3 a 5 mm/año, y podría generar un sismo máximo de 7.4 Ms con un periodo de retorno de 600 años.

## **12. Medio biótico**

### **12.1. Flora**

En el área de influencia directa, la mayor parte no son plantas pioneras, sino secundarias. En los sectores más bajos, aquellos poblados, se encuentran áreas de cultivo especialmente de papa, habas y hortalizas, utilizando los pastizales para el ganado del sector.

En estas áreas los Pajonales, *Calamagrostis* spp, del ambiente de subpáramo, que crece en suelos de pendiente moderada, son continuamente sometidos a quemas para ampliar la frontera agrícola y huertos familiares. En el área de

influencia directa, la mayor parte no son plantas pioneras, sino secundarias. En los sectores más bajos, aquellos poblados, se encuentran áreas de cultivo especialmente de papa, habas y hortalizas, utilizando los pastizales para el ganado del sector.

El Bosque Andino empieza a unos 2600 m y se extiende formando una faja hasta los 3200 m donde se da una transición con el páramo. La temperatura media de este piso varía entre los 6°C y los 15°C. Las especies arbóreas y arbustivas representativas de vegetación natural son Yagual, *Polylepis* spp – Rosaceae; Sasar, *Weinmannia* sp; Amarguero, *Ageratina tinifolia*; Mortiño, *Vaccinium* sp – Ericaceae; Chilcas, *Baccharis* spp – Asteraceae; bosquetes de turberas con Romero de páramo, *Diplostephium revolutum*; Puma maqui, *Oreopanax heterophyllum* Macbr.

El ecosistema de pajonal asociado con *hypericum* sp. y *Baccharis* sp y en algunos casos con *Polylepis* sp, se caracteriza por presentar vegetación achaparrada, con hojas coriáceas que evitan los efectos de las bajas temperaturas, constituyéndose en el hábitat de estas especies.

## 12.2. Fauna

Entre los animales silvestres se encuentran entre otros, los siguientes, venado, lobo, cóndor, guarro, curiquingue, tuli, ligli, ratón ciego, dantas, cuchuchos, guantas y puma.

Se encuentran algunos mamíferos como la Raposa, *Didelphys albiventris*; el zorrillo, *Conepatus semistriatus*; el chucuri, *Mustela frenata*); el conejo silvestre, *Sylvilagus brasiliensis*; el ratón común, *Sigodontomys* sp; y la ardilla, *Sciurus granatensis*.

En los diferentes tipos de cobertura vegetal, entre las especies más frecuentes de aves, se tiene el Gallinazo, *Coragyps atratus*, por ser una ave carroñera se la encuentra en las quebradas; el Quilico *Falco sparverius*, es común verla en

varias partes de las quebradas; el Quinde herrero, Colibri coruscans; el Mirlo, Turdus fuscater, es muy común encontrarlo incluso en alturas superiores a los 3000 msnm; la Tórtola es la paloma más común; la Golondrina, Notiochelidon cyanoleuca, que es la más común y conocida de todas las golondrinas.

Las especies de fauna han emigrado buscando lugares mas seguros debido a la presencia humana que ha provocado la pérdida de su hábitat, muchas especies están en peligro de extinción como el venado, el lobo, el conejo, el gavilán, la trucha, la garza, entre otros.

### **13. Medio humano**

#### **13.1. Aspecto Socio-Demográfico**

Este proyecto va a ser ejecutado en la Sierra Central del Ecuador, en la provincia de Chimborazo, cantón de Riobamba, parroquias de Licto, Pungalá, Punín, y Cebadas. La población con la que cuenta el Cantón de Riobamba es de 193.315 habitantes de la cual 15.309 aproximadamente conforman las cuatro poblaciones antes mencionadas. La Población Económicamente Activa, PEA, del cantón es 76.113 habitantes. Esta población esta encaminada especialmente a la agricultura de maíz, cebada, hortalizas para abastecer el consumo local y al ganado vacuno y lanar; además las mujeres se dedican a los tejidos de comercialización especialmente nacional.

El desempleo en la zona es de 64%, un nivel bastante alto, lo que ha ocasionado el aumento en la tasa de migración, convirtiéndose este sector en uno de los lugares con mayores migraciones a nivel nacional. La población indígena es predominante en la zona, lo que provoca que en ciertos sectores la educación sea baja, debido a que existe la visión cultural de que el tiempo empleado en la educación es tiempo desperdiciado en el trabajo. Sin embargo la educación es impartida de forma semipresencial y se ha incrementado la educación secundaria con especializaciones prácticas como mecánica, artesanía, carpintería, entre otros, es decir ha crecido en los últimos años alrededor de un 10%.

El clima en la zona es templado, durante el invierno las lluvias son continuas y las temperaturas son bajas. Mientras que en el verano la producción es mucho más rica.

Naturalmente, como antecedentes al Proyecto Hidroeléctrico Huarhuallá, se tiene el Proyecto de Riego Licto, cuya construcción de la infraestructura física para captar y conducir las aguas del río Huarhuallá, se llevó a cabo entre los años 1990 y 2003. La organización de los usuarios y usuarias del riego se ha estructurado, obteniendo personería jurídica y se encuentran administrando y operando el sistema. Se ha logrado realizar una serie de acciones de conservación de los recursos naturales y de protección biofísica de la infraestructura de riego. Para fomentar el empoderamiento de la población se ha realizado una importante labor de capacitación en riego y la producción bajo este sistema, además se han emprendido procesos de alfabetización, y se han utilizado metodologías de trabajo que fomentan la participación de los beneficiarios y beneficiarias y sus organizaciones en las instancias de planificación, ejecución y monitoreo de las acciones del proyecto. Es un sistema de riego que abastece a 1670 hectáreas pertenecientes a 1300 familias campesinas mayoritariamente indígenas

### **13.2. Servicios e infraestructura**

Las poblaciones indígenas, han sido descuidadas por varios años, y la mayoría de los pobladores de esta zona cuentan con las necesidades básicas escasas, como lo es el caso de la energía eléctrica, el alcantarillado está presente en la parroquia de Licto sin embargo la mayoría de poblados no poseen este servicio al igual que no poseen el servicio de agua potable simplemente tienen agua de pozos o entubada.

Cada poblado cuenta con una pequeña escuela y un centro de salud, y aunque el deporte no es muy difundido, el voleibol es practicado en el tiempo libre, pese a no contar con la infraestructura necesaria en la zona.

Existen vías de comunicación y acceso a los poblados, el proyecto está a tres horas de dichas poblaciones, con caminos poco apropiados para el transporte de materiales, maquinarias y personal para el mantenimiento. Convirtiéndose en una necesidad la construcción de un camino apropiado para tales fines. No se cuenta con carreteras de primer orden y las condiciones de las vías actuales es mala.

### **13.3. Aspecto Económico**

Las zonas altas están dedicadas al pastoreo. En el resto de zonas se ocupan de la agricultura y ganadería. En las zonas secas la producción está dirigida al autoconsumo a través de monocultivos de maíz, cebada, papas, quinua, habas, fréjol, melloco, oca, lenteja, arveja, cebolla, chochos, hortalizas y frutas de la sierra. En el piso ecológico subtropical, frutas tropicales para comercialización, cacao y café en menor escala.

Otra de las actividades productivas constituyen las manualidades como bordados y tejidos destinados al mercado nacional y en muy poca cantidad al mercado internacional. Existen también algunas pequeñas microempresas de diversa índole. El denominado trueque es una forma de intercambio económico directo.

En zonas de escasa productividad de las tierras y ausencia de comercio y artesanías, la población migra a las ciudades en busca de fuentes de trabajo temporal o permanente como estibadores, comerciantes informales, albañiles o empleadas domésticas. En menor grado trabajan como taxistas, choferes de camionetas y artesanos como sastres o zapateros; en pocos casos los emigrantes han conseguido trabajos estables como profesionales. Una gran cantidad ha migrado hacia el exterior con destino a Europa o Estados Unidos.

### **13.4. Aspectos socioculturales**

En la provincia hay alrededor de 780 comunidades organizadas. La unidad familiar es monogámica, los hijos dejan los hogares a temprana edad en busca de

trabajo o apoyan en las diversas actividades económicas de sus padres. Las familias se agrupan en comunidades, generalmente legalizadas como comunas, que conforman las organizaciones de segundo grado y éstas las organizaciones provinciales.

La Asamblea General es la máxima autoridad, en ella se elige al Cabildo que constituye la directiva de la comunidad. El trabajo comunitario se organiza jerárquicamente: Asamblea General, Cabildo y bases. Las comunidades conforman, por lo general, uniones parroquiales, las que a su vez se agrupan en federaciones. La mayoría de las comunidades de la provincia pertenecen al Movimiento Indígena del Chimborazo, MICH, filial del ECUARUNARI y de la CONAIE. Otras comunidades se encuentran en la Unión de Organizaciones Populares Inca Atahualpa.

Las organizaciones más representativas de la región son la Corporación de Organizaciones Campesinas de Licto, la Unión de Organizaciones Campesinas Indígenas de Punín. Todo este sector se encuentra afiliado a la FENOCIN. En las últimas décadas, el sector indígena ha mantenido su relación con el Estado a través de la Ley de Comunas y la Ley de Aguas.

La población se caracteriza por una organización política sólida en especial desde los noventa con el primer levantamiento indígena y la creación de diversos movimiento sociopolíticos. Pero un problema que siempre ha estado presente es la pobreza; las causas son varias, falta de oportunidades, mala distribución de la riqueza, la no atención por parte del gobierno central, entre otras, ocasionando migraciones, desempleo y otros problemas sociales. El deterioro de los recursos naturales también constituye un problema de las comunidades a pesar de que la extracción de recursos es mínima.

Las costumbres de los pobladores en cuanto a la identidad se mantiene a través de las fiestas tradicionales como son el Carnaval, Jaguay, Toros de Pueblo, Saguari, que son fiestas populares. Para estos poblados existen dos formas de transmisión del conocimiento: la ancestral a través de la enseñanza oral de

generación en generación, y mediante el mantenimiento de la actividad medicinal a cargo de los yachag, y a través de la enseñanza formal que se la imparte mediante los sistemas de educación bilingüe e hispana.

Esta zona se encuentra repartida en su mayoría por pequeños minifundios y pequeños lotes, que son trabajados por sus propios dueños.

Las áreas protegidas en estas zonas son parte del Parque Nacional Sangay y se encuentran en áreas territoriales del pueblo Puruhá. Algunas comunidades se encuentran al interior del Parque y otras en su zona de influencia.

Esta zona es ocupada por cultivos asociados sin mayor diferenciación, en algunos casos estos son de baja producción, los páramos y los pastos comparten el resto de la superficie de la zona. La zona se encuentra erosionada en su mayor parte, pero mantiene algunos cultivos, en ciertas partes del cauce del río Chambo donde se puede cultivar todavía la asociación maíz-fréjol, este cultivo cubre grandes áreas de la zona; los cereales como cebada y algo de trigo se asocian a las papas, habas, lenteja y barbecho. En las cercanías de Cebadas la asociación maíz-habas-fréjol predomina, al igual que los pastos naturales y el páramo.

La zona constituye un corredor ecológico económico, con muchos problemas de pobreza y deterioro de los recursos naturales, densamente poblado; los sistemas de producción se relacionan con los Marginales y Asociativos, donde el intercambio con el mercado de consumo es mínimo, representando un aspecto más bien de trueque diferido.

La principal actividad económica de las comunidades beneficiarias, se basa en la comercialización de la producción agropecuaria, con sus principales productos, patatas, cebolla de diferente variedad, hortalizas y legumbres, habas, cereales, esta actividad se desarrolla frecuentemente en los altiplanos y valles disminuyendo en los suelos donde la pendiente es fuerte. La actividad agropecuaria tiende a disminuir en áreas donde la erosión ha deteriorado los suelos agrícolas, debido a la mala práctica agrícola que ha producido su lavado.



En la parte alta de los paramos se presenta el pastoreo de animales menores como la oveja y en menor escala el ganado vacuno, que ha ocasionado un sobre - pastoreo que deteriora los suelos que son muy frágiles.

**ANEXO 4.2**  
**ACTIVIDADES IMPACTANTES**

## **IDENTIFICACIÓN DE LAS ACCIONES IMPACTANTES DE CADA ACTIVIDAD**

A continuación se identifican las acciones impactantes correspondientes a las actividades desarrolladas en las etapas.

### **ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

#### **A.12. Expropiaciones de terrenos e inmuebles**

En la etapa constructiva y el tiempo previo al inicio de las tareas, se realizarán todas las gestiones de los permisos ante los entes del Gobierno Local y de las Organizaciones Comunitarias. Luego se materializarán las expropiaciones de terrenos involucrados, que serán parcialmente afectados por la realización del proyecto. La actividad considerada en esta etapa se denomina “Gestión de Permisos y Expropiaciones”.

#### **A.13. Vía de acceso al sitio del proyecto**

Esta actividad se ejecuta a través de acciones, entre las que se evalúan las siguientes, teniendo en cuenta sus efectos sobre el medio ambiente, a pesar que es un tramo de 160 metros el que será construido:

- Remoción de suelo, cobertura vegetal y árboles
- Realización de excavaciones y movimiento de suelos
- Uso de explosivos para perforación y voladura (en caso de ser necesario)
- Remoción y desplazamiento de infraestructura de servicios (líneas eléctricas, infraestructura de riego, etc.)
- Nivelación y compactación del terreno
- Toma y utilización de agua del río
- Montaje de paquete estructural y carpeta de rodamiento
- Realización de obras complementarias (defensas, alambrados, tranqueras, señalizaciones, etc.)
- Uso de equipos y maquinaria pesada

- Movimiento de vehículos y personal
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Generación de residuos peligrosos
- Generación de emisiones gaseosas
- Forestación y revegetación
- Contratación de mano de obra local

#### **A.14. Montaje y funcionamiento del campamento y depósito de materiales**

En la etapa constructiva o preparatoria de la actividad se ha previsto que el montaje y funcionamiento del campamento y el depósito de materiales excedentes de excavaciones y acopio para la construcción, producirá acciones impactantes sobre el medio ambiente, en aquel predio donde se ubique. Las acciones tienen que ver con la instalación de los mismos y con las actividades que se desarrollan en ellos, donde siempre está involucrado el movimiento de personal, materiales, equipos y vehículos.

- Ocupación temporal de varias hectáreas de terrenos particulares
- Realización de excavaciones, remoción de suelo y cobertura vegetal
- Nivelación y compactación del terreno
- Implantación de la infraestructura civil y sanitaria
- Uso de equipos y maquinaria pesada
- Movimiento de vehículos y personal
- Acopio y utilización de materiales e insumos
- Acopio de los materiales excedentes de excavaciones
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Generación de residuos peligrosos
- Generación de emisiones gaseosas

- Generación de efluentes líquidos
- Contratación de mano de obra local

#### **A.15. Limpieza del sitio y del cauce**

Las acciones evaluadas en esta actividad son las siguientes:

- Realización de excavaciones, remoción de suelo y cobertura vegetal
- Nivelación y compactación del terreno
- Uso de equipos y maquinaria pesada
- Movimiento de vehículos y personal
- Acopio de los materiales excedentes de excavaciones
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Generación de emisiones gaseosas
- Contratación de mano de obra local

#### **A.16. Transporte de insumos, materiales y equipos**

Las acciones evaluadas en esta actividad son las siguientes:

- Movimiento de camiones, vehículos y personal
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de emisiones gaseosas
- Derrame de hidrocarburos
- Contratación de mano de obra local

### **A.17. Construcción de las obras de captación y desarenación**

Esta actividad se ejecuta a través de acciones, entre las que se evalúan las siguientes, teniendo en cuenta sus efectos sobre el medio ambiente:

- Remoción de suelo, cobertura vegetal y árboles
- Realización de excavaciones y movimiento de suelos en cauce y márgenes del río Huarhuallá
- Nivelación y compactación del terreno
- Construcción de ataguía para desvío del río
- Fundición del azud, vertedero de excesos y captación, en hormigón
- Instalación de reja en la captación y construcción de muros de ala
- Realización de obras complementarias (defensas, alambrados, señalizaciones, etc.)
- Uso de equipos y maquinaria pesada
- Movimiento de vehículos y personal
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Generación de residuos peligrosos
- Generación de emisiones gaseosas
- Forestación y revegetación
- Contratación de mano de obra local

### **A.18. Readecuación del canal y construcción del tanque y tubería de presión**

Para esta actividad las acciones evaluadas son las siguientes:

- Realización de excavaciones, remoción de suelo y cobertura vegetal
- Construcción de ampliación del desarenador en hormigón
- Fundición de canales, muros y tanque en hormigón.

- Uso de equipos y maquinaria pesada
- Movimiento de vehículos y personal
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Generación de residuos peligrosos
- Generación de emisiones gaseosas
- Contratación de mano de obra local

#### **A.19. Construcción de la casa de máquinas y obras de restitución de aguas**

Se evalúan las siguientes acciones y sus efectos sobre el ambiente:

- Realización de excavaciones, remoción de suelo y cobertura vegetal
- Fundición de obras en hormigón.
- Uso de equipos y maquinaria pesada
- Movimiento de vehículos y personal
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Generación de residuos peligrosos
- Generación de emisiones gaseosas
- Contratación de mano de obra local

#### **A.20. Obras de control de erosión**

Se evalúan las siguientes acciones y sus efectos sobre el ambiente:

- Contratación de mano de obra local
- Realización de excavaciones, remoción de suelo y cobertura vegetal
- Conformación de terrazas en zonas con fuertes escarpes.
- Construcción de muros de gaviones con cobertura vegetal

- Uso de equipos y maquinaria pesada
- Movimiento de vehículos y personal
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Generación de residuos peligrosos
- Generación de emisiones gaseosas

#### **A.21. Construcción de la línea de transmisión de energía**

Esta actividad se ejecuta a través de acciones, entre las que se evalúan las siguientes, teniendo en cuenta sus efectos sobre el medio ambiente:

- Remoción de suelo, cobertura vegetal y árboles
- Realización de excavaciones y movimiento de suelos para servidumbre
- Nivelación y compactación del terreno
- Construcción de cimentaciones e instalación de torres metálicas
- Instalación de líneas de transmisión eléctrica
- Montaje de paquete estructural y carpeta de rodamiento de servidumbre
- Realización de obras complementarias (defensas, alambrados, tranqueras, señalizaciones, etc.)
- Uso de equipos y maquinaria pesada (grúas)
- Movimiento de vehículos y personal
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Generación de residuos peligrosos
- Generación de emisiones gaseosas
- Forestación y revegetación
- Contratación de mano de obra local



## **A.22. Desmantelamiento del campamento**

Esta actividad ha sido evaluada a través de las siguientes acciones impactantes:

- Movimiento de camiones, vehículos y personal
- Limpieza, forestación y revegetación del predio
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de emisiones gaseosas
- Contratación de mano de obra local

## **ETAPA DE OPERACIÓN**

Para la valoración de los impactos ambientales de la etapa de operación se han tomado en cuenta las siguientes actividades:

### **B.12. Llenado del reservorio**

Este proceso de llenado del reservorio se ejecutará a través de acciones entre las que se destacan, por la significación de sus impactos ambientales, las siguientes:

- Señalización de sitios de infraestructura del proyecto y principalmente del reservorio
- Operación de válvulas y compuertas de estructuras de captación y canal
- Movimiento de vehículos y personal
- Generación de ruidos y vibraciones
- Generación de material particulado
- Generación de residuos tipo sólido urbano
- Anegamiento del terreno y vegetación natural (no acuática)
- Ampliación del espejo de agua
- Desestabilización de las márgenes del embalse por fluctuación del espejo de agua

- Secado de un tramo del río (aguas abajo del embalse)
- La afectación será alta para los propietarios de terrenos que deban ser expropiados, pues el minifundio es común en la localidad, con promedio de 2 hectáreas por propietario. Esa estructura también será afectada.

### **B.13. Operación del dissipador**

El proceso de funcionamiento de la central hidroeléctrica Huarhuallá es una actividad que generará efectos significativos sobre el medio ambiente analizados a partir de las siguientes acciones:

- Flujo intermitente en el río Huarhuallá, aguas abajo del azud, de acuerdo a la regulación del flujo
- Descarga de rápidas desde estructuras de acceso a la central (canal y tanque de carga)
- Intrusión visual de los diferentes componentes de la central hidroeléctrica
- Posibilidad de erosión en sitios que reciban el agua que se descarga

### **B.14. Socavación del cauce**

La construcción del azud tendrá los siguientes efectos sobre el cauce del río:

- Retención en el vaso del embalse el sedimento que normalmente transporta el río
- Socavación del cauce del río, aguas abajo del azud, buscando al estabilización del río, cuando funcione el vertedero de excesos
- Transporte de sedimentos hacia la descarga en el río Chambo

### **B.15. Control de erosión**

- Estructuras civiles que permitan controlar la erosión junto a las obras de captación, azud, dissipador de energía y descarga de las rápidas y restitución de caudales turbinados.

- Revegetación de zonas con fuerte pendiente y que sean amenaza para la estabilidad de las obras construidas
- Movilización de vehículos
- Transporte de insumos y equipos
- Generación de polvo, gases, escombros y desechos
- Afectación temporal a terrenos donde se construyan las obras de control de erosión
- Desarrollo de plántulas de especies con raíces largas que permitan estabilizar el terreno
- Contratación de mano de obra en el ámbito local

#### **B.16. Control del flujo**

De acuerdo a la demanda de energía y disponibilidad de caudales en el río y altura del embalse, se tienen los impactos siguientes:

- Variación del nivel del embalse y espejo de agua en el cauce de acceso al azud
- Funcionamiento de dissipador de energía y rápidas
- Operación de válvulas y compuertas de estructuras de captación y transporte
- Funcionamiento intermitente del tramo del río aguas abajo del azud en casos de exceso de caudales para el funcionamiento de la central a la máxima capacidad instalada
- Extracción de agua por la comunidad de las estructuras abiertas (canales y embalse)
- Inundaciones en zonas adyacentes a estructuras abiertas en caso de defectuosa operación de la estructura

**B.17. Gestión de la cuenca**

Las iniciativas de diferentes instituciones gubernamentales y no gubernamentales deberán coordinarse para efectivizar acciones en la microcuenca del río Huarhuallá, de manera que la gestión del agua, suelo, cultivos, gestión de productos agrícolas y combate a la pobreza sean reales y no queden en el papel.

- Gestión integral del agua
- Ordenamiento del uso del suelo
- Promoción de la agricultura y comercialización de los productos
- Mejora de la infraestructura de salud y educación

**B.18. Regulación del flujo**

Los impactos serán similares a los señalados en el acápite B.5. sobre la base de la demanda de energía. Depende si la central se conecta o no al sistema nacional interconectado. En caso de ser el consumo local o regional la regulación del flujo tendrá picos mayores.

**B.19. Operación de descarga**

- Flujo continuo de descarga de agua turbinada desde la casa de máquinas.
- Control de las estructuras de protección de las obras civiles

**B.20. Transporte**

- Mejora de vía de acceso al proyecto desde la ciudad de Riobamba
- Señalización de la vía, señalando los componentes del proyecto y precauciones que deben tener conductores y peatones, en especial en la vía de acceso al azud y tanque de carga.
- Mantenimiento de cunetas y capa de rodadura

**B.21. Generación de energía y transporte**

- Mejora y ampliación del servicio de energía a la comunidad como compensación por el uso del agua y terrenos
- Mantenimiento de la infraestructura
- Movimiento de vehículos y personal
- Generación de desechos
- Campañas de concientización a la comunidad para evitar accidentes por acceso inapropiado a la infraestructura construida.

**B.22. Generación de desechos**

La generación de desechos del proyecto puede ser una carga adicional a la que normalmente tiene la zona para el manejo de los desechos sólidos domésticos y escombros.

**ANEXO 4.3**  
**PARÁMETROS DE VALORACIÓN AMBIENTAL**

## PARÁMETROS DE VALORACIÓN AMBIENTAL

PARAMETRO	DESCRIPCION	RANGO	CALIFICACION
Carácter (Ca)	Define las acciones o actividades de un proyecto, como perjudicial o negativa, positiva, neutra o previsible (difícilmente calificable sin estudios específicos).	Negativo Positivo Neutro	- 1 +1 0
Intensidad (In)	Expresa la importancia relativa de las consecuencias que incidirán en la alteración del factor considerado. Se define por interacción del Grado de Perturbación (GP) que imponen las actividades del proyecto y el Valor Ambiental asignado al recurso.	Muy Alta Alta Mediana Baja	1.0 0.7 0.4 0.1
Extensión (Ex)	Define la magnitud del área afectada por el impacto, entendiéndose como la superficie relativa donde afecta el mismo.	Regional Local Puntual	0.8 – 1.0 0.4 – 0.7 0.1 – 0.3
Duración (Du)	Se refiere a la valoración temporal que permite estimar el periodo durante el que las repercusiones serán detectadas en el factor afectado.	Permanente (>10 años) Larga (5 – 10 años) Media (3 – 4 años) Corta (< 2 años)	0.8 – 1.0 0.5 – 0.7 0.3 – 0.4 0.1 – 0.2
Desarrollo (De)	Califica el tiempo que el impacto tarda en desarrollarse completamente. La forma en que evoluciona el impacto, desde que aparece y se manifiesta, hasta que se hace presente plenamente, con todas sus consecuencias.	Muy rápido (< 1 mes) Rápido (1 – 6 meses) Medio (6 – 12 meses) Lento (12 – 24 meses) Muy lento (> 24 meses)	0.9 – 1.0 0.7 – 0.8 0.5 – 0.6 0.3 – 0.4 0.1 – 0.2
Reversibilidad (Re)	Evalúa la capacidad que tiene el factor afectado de revertir el efecto	Irreversible Parcialmente reversible Reversible	0.8 – 1.0 0.4 – 0.7 0.1 – 0.3
Riesgo de ocurrencia (Ro)	Califica la probabilidad que el impacto ocurra, debido a la ejecución de las actividades del proyecto.	Cierto Muy - probable Probable Poco - probable	9 – 10 7 – 8 4 – 6 1 – 3
Calificación Ambiental (CA)	Es la expresión numérica de la interacción de los parámetros o criterios. El valor de CA se corresponde con un valor global de la importancia del impacto. Se aplica según la fórmula.	Impacto -Bajo Impacto -Medio Impacto -Alto	0 – 3 4 – 7 8 – 10

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad, Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008

El Grado de Perturbación, GP, evalúa la amplitud de las modificaciones aportadas por las acciones del proyecto sobre las características estructurales y funcionales del elemento afectado. El grado de perturbación puede ser calificado como:

**Fuerte:** Las acciones del proyecto modifican en forma importante el elemento afectado.

**Medio:** Las acciones del proyecto sólo modifican alguna de las características del elemento.

**Bajo:** Las acciones del proyecto no modifican significativamente el elemento afectado.

El Valor Ambiental, VA, es un criterio de evaluación del grado de importancia de una unidad territorial o de un elemento en su entorno. La importancia la define el especialista en orden al interés y calidad que estime y por el valor social y/o político del recurso. El VA puede ser: muy alto, alto, medio, bajo.

La determinación de la Intensidad, In, se fija con el cruce de GP vs. VA, conforme al siguiente cuadro.

#### **Determinación de la intensidad**

<b>GP \ VA</b>	<b>Muy Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<i>Bajo</i>
<b>Fuerte</b>	Muy Alta	Alta	Mediana	Baja
<b>Medio</b>	Alta	Alta	Mediana	Baja
<b>Suave</b>	Mediana	Mediana	Baja	Baja

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad, Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008



**ANEXO 4.4**  
**MATRICES DE VALORACIÓN AMBIENTAL**

## MATRIZ DE CALIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES – ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

ACTIVIDADES DEL PROYECTO COMPONENTES DEL AMBIENTE		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Total
		Expropiación de terrenos	Vías de acceso al sitio del proyecto	Montaje y funcionamiento del campamento	Limpieza del sitio y del cauce	Transporte de insumos, materiales y equipos	Construcción obras de captación y desarenación	Canal de conducción, tanque y tubería de presión	Casa de máquinas y obras de restitución de aguas	Obras de control de erosión	Construcción de la línea de transmisión de energía	Desmantelamiento del campamento	
<b>CALIDAD DEL AIRE</b>													
CA1	Calidad del aire		-3,04	-2,88		-4,86	-2,24	-3,84	-2,24	-2,66		-2,66	-24,42
<b>SUELOS</b>													
SU1	Calidad		-4,16	-2,80								-2,80	-9,76
SU2	Estabilidad		-4,32		-3,08								-7,40
SU3	Uso actual	-7,02		-4,00			-3,50	-4,16		-4,32	-4,32		-27,32
<b>AGUA</b>													
AG1	Calidad del agua superficial		-3,68	-2,66	-2,94		-3,04			-3,68	-2,94		-18,94
AG2	Cambio hidrológico				-3,84		-4,48	-3,92	-3,84				-16,08
AG3	Control de inundaciones				-3,20		-4,48			3,78			-3,90
<b>FLORA Y FAUNA</b>													
FF1	Flora		-3,00	-1,68	-1,92		-2,52	-2,64	-2,28	-3,78			-17,82
FF2	Fauna				-3,08		-3,20	-4,32	-3,22				-13,82
<b>HISTÓRICO CULTURAL</b>													
HC1	Costumbres	-8,20	-5,12	-3,52			-3,50		-3,22	-4,06			-27,62
HC2	Residuos arqueológicos												0,00
HC3	Recreación		3,52			-2,66							0,86
HC4	Paisaje estético			-3,68			-3,50	-5,44	-3,50		-4,48		-20,60
<b>ASENTAMIENTOS</b>													
AS1	Reasentamientos	-7,38		-4,20				-4,90		-4,62			-21,10
AS2	Estructura de la propiedad	-6,84	4,76					-5,44		4,20	-4,62		-7,94
AS3	Desarrollo inducido		4,76							4,20			8,96
<b>ECONOMÍA</b>													
EC1	Generación de empleo		4,00	3,84		3,68	3,36	4,16		2,88	3,20	3,60	28,72
EC2	Economía local	-7,74	5,44	2,66				2,80		3,08			6,24
<b>CALIDAD DE VIDA</b>													
CV1	Estilo de vida	-6,08		-3,50			-4,34			3,50			-10,42
CV2	Infraestructura		4,90							4,48	4,34		13,72
CV3	Servicios públicos		4,34							3,22	3,78		11,34
CV4	Seguridad de operarios	-8,28	-4,32		-5,04		-4,86	-4,86	-3,36	-3,92	-4,06		-38,70
CV5	Seguridad de personas		-3,64			-4,06		-3,08		3,64	-3,92		-11,06
Total		-51,54	0,44	-22,42	-23,10	-7,90	-36,30	-35,64	-21,66	5,94	-13,02	-1,86	

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad, Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008

## MATRIZ DE CALIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES – ETAPA DE OPERACIÓN

ACTIVIDADES DEL PROYECTO COMPONENTES DEL AMBIENTE		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	Total
		Llenado del reservorio	Operación del disipador	Socavación del cauce	Control de erosión	Control del flujo	Gestión de la cuenca	Regulación del flujo	Operación de descarga	Transporte	Generación de energía y transporte	Generación de desechos	
<b>CALIDAD DEL AIRE</b>													
CA1	Calidad del aire							-4,20		-4,06		-3,50	-11,76
<b>SUELOS</b>													
SU1	Calidad	-7,20											-7,20
SU2	Estabilidad	-3,78		-3,60	-4,48				-3,00				-14,86
SU3	Uso actual	-3,96			-4,80		5,44	-3,12				-3,36	-9,80
<b>AGUA</b>													
AG1	Calidad del agua superficial	-3,00		-3,00	-3,36		3,78		-3,24			-1,92	-10,74
AG2	Cambio hidrológico	-6,66			-4,62		5,32						-5,96
AG3	Control de inundaciones	-5,40	-2,80		-5,40	-5,04	4,90	-4,76			-5,04		-23,54
<b>FLORA Y FAUNA</b>													
FF1	Flora		-4,16		-3,78		4,06						-3,88
FF2	Fauna	-4,32	-2,64		-5,28		4,48		-4,06		-4,20	-4,48	-20,50
<b>HISTÓRICO CULTURAL</b>													
HC1	Costumbres	-7,02			-5,44		4,76				-5,44		-13,14
HC2	Residuos arqueológicos												0,00
HC3	Recreación												0,00
HC4	Paisaje estético	-6,12		-4,62	-4,06				-3,92		-7,02	-5,58	-31,32
<b>ASENTAMIENTOS</b>													
AS1	Reasentamientos	-8,60			-3,36								-11,96
AS2	Estructura de la propiedad	-5,28			-3,78						-4,64		-13,70
AS3	Desarrollo inducido						3,72			-4,62			-0,90
<b>ECONOMÍA</b>													
EC1	Generación de empleo						3,08	-3,52				-3,36	-3,80
EC2	Economía local												0,00
<b>CALIDAD DE VIDA</b>													
CV1	Estilo de vida	-5,58			-4,62		4,48				-5,76		-11,48
CV2	Infraestructura											-2,10	-2,10
CV3	Servicios públicos											-3,12	-3,12
CV4	Seguridad de operarios		-4,34		-4,06	-3,72		-3,60		-4,62			-20,34
CV5	Seguridad de personas	-5,28			-3,60		4,48			-5,92	-3,36		-13,68
Total		-72,20	-13,94	-11,22	-60,64	-8,76	48,50	-19,20	-14,22	-19,22	-35,46	-27,42	

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad, Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008

**ANEXO 5**  
**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA**

**ANEXO 5.1**  
**PRESUPUESTO GENERAL**

## PRESUPUESTO GENERAL – CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUARHUALLÁ

Rubros referenciales		Unidad	Cantidad	P.U.	P.T.
<b>Obras generales</b>					
1.	Replanteo de obras por longitud	m	1270	1,17	1485,9
2.	Replanteo de obras por área	m <sup>2</sup>	1323	0,9	1190,7
3.	Expropiaciones	Ha			10608,0
4.	Campamentos	global	1	217958	217958,4
Total obras generales					<b>231.243,05</b>
<b>Vías de acceso</b>					
5.	Conformación talud, peinado	m <sup>2</sup>	1586,5	1,07	1697,555
6.	Desalojo de material con volqueta (hasta 10 km)	m <sup>3</sup>	3112,2	5,53	17210,53236
7.	Cunetas de coronación	m	167,00	1,00	167
8.	Adecuación de vías existentes	Km	2	160000	320000
9.	Construcción de nuevas vías	Km	0,167	165000	27555
Total vías de acceso					<b>366.630,09</b>
<b>Obra de captación</b>					
10.	Rotura hormigón simple f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> , sin desalojo	m <sup>3</sup>	1259,12	18,69	23532,9528
11.	Desalojo de material con volqueta (hasta 10 km)	m <sup>3</sup>	1385,0	5,53	7659,22696
12.	Obras de desvío	global	1	50000	50000
13.	Desbroce (Incluye desalojo)	m <sup>2</sup>	1500	1,3	1950
14.	Excavación a máquina. (Equipo: retroexcavadora)	m <sup>3</sup>	545	3,43	1869,35
15.	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	54,5	5	272,5
16.	Hormigón (incluye encofrado)	m <sup>3</sup>	437	205	89546,05
17.	Acero de refuerzo	Kg	54164,44	2	108328,88
18.	Relleno compactado	m <sup>3</sup>	376,45	5,5	2070,475
19.	Enrocado de protección	m <sup>3</sup>	130	35	4550
20.	Rejilla de acero	m <sup>2</sup>	13,5	60	810
21.	Compuertas (incluye mecanismo de operación)	m <sup>2</sup>	7,3	110	803
22.	Gaviones	m <sup>3</sup>	60	44	2640
23.	Hormigón ciclópeo	m <sup>3</sup>	80,4	105	8442
24.	Limpieza final	m <sup>2</sup>	1500	1,21	1813,5
25.	Obras complementarias (jardinería e iluminación)	global	1	5425,6451	5425,6451
Total obra de captación					<b>309.713,58</b>
<b>Canal captación-desarenador</b>					
26.	Excavación de zanjas a máquina. (Equipo: retroexcavadora)	m <sup>3</sup>	342	3,43	1173,06
27.	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	34,2	5,00	171,00
28.	Acero de Refuerzo	kg	9120	2,00	18240,00
29.	Hormigón f'c= 210 Kg/cm <sup>2</sup> (incluye encofrado)	m <sup>3</sup>	76,00	185,00	14060,00
30.	Limpieza final	m <sup>2</sup>	190,00	1,21	229,71
Total canal captación-desarenador					<b>33.873,77</b>
<b>Desarenador</b>					
31.	Desbroce	m <sup>2</sup>	779,00	1,30	1012,70
32.	Excavación a máquina. (Equipo: retroexcavadora)	m <sup>3</sup>	590,00	3,43	2023,70
33.	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	59,00	5,00	295,00
34.	Hormigón f'c= 210 Kg/cm <sup>2</sup> (incluye encofrado)	m <sup>3</sup>	160,00	205,00	32800,00
35.	Acero de Refuerzo	Kg	18011,00	2,00	36022,00
36.	Compuertas (incluye mecanismo de operación)	m <sup>2</sup>	25,00	110,00	2750,00

37.	Pedraplén	m <sup>3</sup>	5,00	35,00	175,00
38.	Casa de guardanía	global	1,00	26000,00	26000,00
39.	Limpieza final	m <sup>2</sup>	779,00	1,21	941,81
40.	Obras complementarias (jardinería e iluminación)	global	1,00	2021,57	2021,57
Total desarenador					<b>104.041,78</b>
<b>Canal desarenador-túnel</b>					
41.	Excavación de zanjas a máquina. (Equipo: retroexcavadora)	m <sup>3</sup>	231	3,43	792,33
42.	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	23,1	5,00	115,50
43.	Hormigón f'c= 210 Kg/cm <sup>2</sup> (incluye encofrado)	m <sup>3</sup>	75,00	185,00	13875,00
44.	Acero de Refuerzo	Kg	9000,00	2,00	18000,00
45.	Limpieza final	m <sup>2</sup>	190,00	1,21	229,71
Total canal desarenador-túnel					<b>33.012,54</b>
<b>Ampliación canal de conducción</b>					
52.	Derrocamiento a mano de estructura existente	m <sup>3</sup>	1225,00	37,38	45790,50
53.	Desalojo de material con volqueta	m <sup>3</sup>	1347,50	5,53	7451,68
54.	Picado de hormigón	m <sup>2</sup>	5969,50	1,33	7939,44
59	Relleno	m <sup>3</sup>	0,00	5,10	0,00
55.	Hormigón incluye soldadura de hormigón viejo a nuevo (ampliación)	m <sup>3</sup>	2984,75	235,00	701416,49
56.	Acero de refuerzo	Kg	681628,63	2,00	1363257,25
57.	Hormigón de Cubierta	m <sup>3</sup>	2425,00	205,00	497125,00
58.	Rápida de excesos	global	1,00	21340,00	21340,00
59.	Limpieza final de la obra	m <sup>2</sup>	19898,34	1,21	24076,99
Total ampliación canal de conducción					<b>2.668.397,34</b>
<b>Ampliación y rehabilitación de sifones en conducción</b>					
46.	Bloques de anclaje	u	12	1230,00	14.760,0
47.	Tubería de acero con accesorios Ø =1600 mm	m	900	1300	1.170.000,0
48.	Restitución de cobertura vegetal	m <sup>2</sup>	4500	0,6	2.700,0
49.	Limpieza final de la obra	m <sup>2</sup>	4500	0,93	4.185,0
50.	Hormigón f'c=210 Kg/cm <sup>2</sup> (incluye encofrado)	m <sup>3</sup>	75,17	205,00	15410,36
51.	Acero de refuerzo	Kg	9020,70	2,00	18041,40
52.	Rehabilitación cimentación sifón № 3	global	1,00	251904,03	251904,03
Total rehabilitación de sifones en conducción					<b>1.477.000,79</b>
<b>Tanque de presión</b>					
60.	Desbroce	m <sup>2</sup>	492	1,3	639,6
61.	Excavación a máquina. (Equipo: retroexcavadora)	m <sup>3</sup>	628,33	13	8168,29
62.	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	62,833	5	314,165
63.	Hormigón (incluye encofrado)	m <sup>3</sup>	89,5044	205	18348,402
64.	Acero de Refuerzo	kg	11098,5456	2	22197,0912
65.	Compuertas (incluye mecanismo de operación)	m <sup>2</sup>	5,7	110	627
66.	Reja de acero	m <sup>2</sup>	34,2	60	2052
67.	Canal de Lavado (L= 365 m)	u	1	227863	227863
68.	Obras complementarias (jardinería e iluminación)	global	1	1847	1846,93
69.	Obra de excedencia del tanque de presión	global	1	40000	40000
70.	Limpieza final de la obra	m <sup>2</sup>	492	1,21	595,32
Total tanque de presión					<b>322.651,80</b>
<b>Tubería de presión</b>					
71.	Bloques de anclajes	u	10	1230	12.300,0
72.	Pantallas	u	47	245,43	11.535,2

73.	Tubería de acero con accesorios $\varnothing = 1000$ mm	m	665	1300	864.500,0
74.	Excavación a máquina	m <sup>3</sup>	5187,4	6,25	32.421,4
75.	Restitución de cobertura vegetal	m <sup>2</sup>	3325	0,6	1.995,0
76.	Limpieza final de la obra	m <sup>2</sup>	3325	0,93	3.092,3
Total tubería de presión					<b>925.843,85</b>
<b>Casa de máquinas</b>					
77.	Casa de Máquinas (galpón)	global	1	90000	90000
78.	Casa de guardia	global	1	26000	26000
79.	Obras complementarias (jardinería e iluminación)	global	1	2320	2320
80.	Limpieza final de la obra	m <sup>2</sup>	100	1,2	120
Total casa de máquinas					<b>118.440,00</b>
<b>Equipo electromecánico</b>					
81.	Grupo Turbina Pelton-Generador (0.5 m <sup>3</sup> /seg)	u	1	340000	340000
82.	Grupo Turbina Pelton-Generador (1.5 m <sup>3</sup> /seg)	u	1	680000	680000
83.	Otros componentes mecánicos	u	1	73000	73000
84.	Puente Grúa	u	1	18000	18000
85.	Subestación	u	1	174000	174000
86.	Línea de transmisión	Km	8,5	37000	314500
87.	Sistema de control, medida y protección	u	1	98000	98000
88.	Instalación y Montaje				203500
89.	Transporte				152625
90.	Imprevistos				101750
Total equipo electromecánico					<b>2.155.375,00</b>
<b>Obras de restitución de caudales</b>					
91.	Desbroce	m <sup>2</sup>	385,85	1,1	424,4
92.	Excavación a máquina y desalojo	m <sup>3</sup>	411	6,25	2.568,8
93.	Hormigón (incluye encofrado)	m <sup>3</sup>	77,17	205	15.819,9
94.	Acero de Refuerzo	Kg	9260,40	2	18.520,8
95.	Relleno	m <sup>3</sup>	50,00	5,5	275,0
96.	Enrocado de protección	m <sup>3</sup>	79,69	57	4.542,4
97.	Limpieza final de la obra	m <sup>2</sup>	400	0,93	372,0
Total obras de restitución de caudales					<b>42.523,24</b>
<b>Costos ambientales</b>					
98.	Programas de medidas de mitigación, manejo de efluentes, prevención de emergencias, plan de seguridad, control y monitoreo ambiental y comunicaciones a la comunidad	glb		60000	60000
99.	Mitigación y compensación	glb		2550	2550
Total costos ambientales					<b>62.550,00</b>
<b>Operación y mantenimiento anual</b>					
100.	Vías de acceso	mes	12	700	8400
101.	Obras de captación y desarenación	mes	12	975	11700
102.	Obras de conducción	mes	12	4550	54600
103.	Tanque de presión	mes	12	600	7200
104.	Tubería de presión, equipo electromecánico y línea de transmisión	mes	12	7200,0	86400
105.	Obras de restitución de caudales	mes	12	300	3600
106.	Medidas de protección ambiental	mes	12	1950	23400
Total operación y mantenimiento anual					<b>195.300,00</b>

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad, Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008



**ANEXO 5.2**  
**ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO**

## ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

### RESUMEN PRESUPUESTO GENERAL

Nº	Rubros	Valor [US\$]
1	Obras generales	231.243
2	Vías de acceso	366.630
3	Obra de captación	309.714
4	Canal captación-desarenador	33.874
5	Desarenador	104.042
6	Canal desarenador-tunel	33.013
7	Ampliación canal de conducción	2.668.397
8	Ampliación y rehabilitación de sifones en conducción	1.477.001
9	Tanque de presión	322.652
10	Tubería de presión	925.844
11	Casa de máquinas	118.440
12	Equipo electromecánico	2.155.375
13	Obras de restitución de caudales	42.523
14	Costos ambientales	62.550

PARÁMETROS	Año 0
COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO [US\$]	
COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO* [US\$]	
TOTAL COSTOS	8.851.297
INGRESOS BAJO LA ALTERNATIVA 1 [US\$]	
INGRESOS BAJO LA ALTERNATIVA 2 [US\$]	
BENEFICIOS NETOS - ALTERNATIVA 1 [US\$]	
BENEFICIOS NETOS - ALTERNATIVA 2 [US\$]	

### ANÁLISIS FINANCIERO

VALOR ACTUAL COSTOS TOTALES [US\$]	12.236.648
COSTO ANUALIZADO DEL PROYECTO [US\$]	794.056
COSTO ANUAL EQUIVALENTE [US\$]	1.097.758
VAN COSTOS OPERACION Y MANTENIMIENTO [US\$]	2.176.999
VAN COSTOS OPERACION Y MANTENIMIENTO* [US\$]	1.208.353
VAN COSTOS TOTALES MANTENIMIENTO [US\$]	3.385.351
PORCENTAJE MANTENIMIENTO/COSTO TOTAL	27,7%
COSTO DE INVERSION POR KILOVATIO INSTALADO [US\$/Kw]	1.880
COSTO POR KILOVATIO-HORA - ALTERNATIVA 1 [US\$/Kwh]	0,043
COSTO POR KILOVATIO-HORA - ALTERNATIVA 2 [US\$/Kwh]	0,039
VALOR ACTUAL INGRESOS - ALTERNATIVA 1 [US\$]	16.550.985
VALOR ACTUAL INGRESOS - ALTERNATIVA 2 [US\$]	17.973.336
VAN MEGAVATIOS-HORA - ALTERNATIVA 1 [Mwh]	285.362
VAN MEGAVATIOS-HORA - ALTERNATIVA 2 [Mwh]	309.885
VAN BENEFICIOS NETOS - ALTERNATIVA 1 [US\$]	4.314.337
VAN BENEFICIOS NETOS - ALTERNATIVA 2 [US\$]	5.736.688
TASA INTERNA DE RETORNO - ALTERNATIVA 1	12,7%
TASA INTERNA DE RETORNO - ALTERNATIVA 2	14,3%

## CONTINUACIÓN

## ANÁLISIS ECONÓMICO

DIESEL QUE SE REEMPLAZA ANUALMENTE - ALTERNATIVA 1 [BARRILES]	106.807
DIESEL QUE SE REEMPLAZA ANUALMENTE - ALTERNATIVA 2 [BARRILES]	115.986
COSTOS EVITADOS ANUALMENTE EN CONSUMO DIESEL - ALTERNATIVA 1 [US\$]	10.680.683
COSTOS EVITADOS ANUALMENTE EN CONSUMO DIESEL - ALTERNATIVA 2 [US\$]	11.598.554
VAN COSTOS EVITADOS EN CONSUMO DIESEL - ALTERNATIVA 1 [US\$]	119.056.994
VAN COSTOS EVITADOS EN CONSUMO DIESEL - ALTERNATIVA 2 [US\$]	129.288.454
FLUJO DE BENEFICIOS ECONOMICOS NETOS - ALTERNATIVA 1 [US\$]	
FLUJO DE BENEFICIOS ECONOMICOS NETOS - ALTERNATIVA 2 [US\$]	
VALOR ACTUAL BENEFICIOS ECONOMICOS - ALTERNATIVA 1 [US\$]	115.671.643
VALOR ACTUAL BENEFICIOS ECONOMICOS - ALTERNATIVA 2 [US\$]	125.903.103
VALOR ACTUAL NETO BENEFICIOS ECONÓMICOS, VANE - ALTERNATIVA 1 [US\$]	106.820.346
VALOR ACTUAL NETO BENEFICIOS ECONÓMICOS, VANE - ALTERNATIVA 2 [US\$]	117.051.806
TASA INTERNA DE RETORNO ECONOMICA - ALTERNATIVA 1	118,1%
TASA INTERNA DE RETORNO ECONOMICA - ALTERNATIVA 2	128,5%
DIESEL QUE SE REEMPLAZA ANUALMENTE - ALTERNATIVA 1 [TON]	16.957
DIESEL QUE SE REEMPLAZA ANUALMENTE - ALTERNATIVA 2 [TON]	18.414
CO <sub>2</sub> QUE SE EVITA ANUALMENTE - ALTERNATIVA 1 [TON]	52.905
CO <sub>2</sub> QUE SE EVITA ANUALMENTE - ALTERNATIVA 2 [TON]	57.451
INGRESOS ANUALES POR EVITAR EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> - ALTERNATIVA 1 [US\$]	529.048
INGRESOS ANUALES POR EVITAR EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> - ALTERNATIVA 2 [US\$]	574.513

\* Requerimientos de mantenimiento correctivo y preventivo por concepto de desgaste y daños de la tubería de presión y el equipo electromecánico cada cinco años y costo de auditoría ambiental en el primer año.

Tasa de descuento:	7,50%	
Precio generación hidroeléctrica:	0,058	US\$/kwh
Potencia instalada:	4707,6	kw
Energía anual generada [Alternativa 1]:	25600	Mwh
Energía anual generada [Alternativa 2]:	27800	Mwh
Consumo de diesel para la generación:	4,17	barri/Mwh
Precio del diesel:	100,00	US\$/barri
Densidad del diesel:	0,159	Ton/barri
Emisión de CO <sub>2</sub> por unidad de diesel quemado:	3,12	Ton/Ton
Precio de las emisiones evitadas de CO <sub>2</sub> :	10,00	US\$/TON

FUENTE: MEER, Estudio de Prefactibilidad, Central Hidroeléctrica Huarhuallá, 2008.

ELABORACIÓN: César Costa Costa

**ANEXO 6**  
**PLANOS**