



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO DEFINITIVO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “EL ALTAR””

**NARANJO ARELLANO NELSON RODRIGO
ZAPATA GAIBOR CECILIA MARIANELA**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2015-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

NARANJO ARELLANO NELSON RODRIGO
ZAPATA GAIBOR CECILIA MARIANELA

Titulada:

“DISEÑO DEFINITIVO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “EL ALTAR””

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Ordóñez Viñán
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Lenin Orozco Cantos
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: NARANJO ARELLANO NELSON RODRIGO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO DEFINITIVO DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA “EL ALTAR”

Fecha de Examinación: 2016-03-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Ordóñez Viñán DIRECTOR			
Ing. Lenin Orozco Cantos ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ZAPATA GAIBOR CECILIA MARIANELA

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO DEFINITIVO DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA “EL ALTAR””

Fecha de Examinación: 2016-03-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Ordóñez Viñan DIRECTOR			
Ing. Lenin Orozco Cantos ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Naranjo Arellano Nelson Rodrigo

Zapata Gaibor Cecilia Marianela

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Naranjo Arellano Nelson Rodrigo y Zapata Gaibor Cecilia Marianela, declaramos que el presente trabajo de grado es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Naranjo Arellano Nelson Rodrigo
Cédula de Identidad: 060399647-1

Zapata Gaibor Cecilia Marianela
Cédula de Identidad: 060441658-6

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado al esfuerzo y apoyo incondicional de mis padres, Mely y Nelson, a mis hermanos, Patricio y Tatiana, quienes han estado presentes en cada paso de mi carrera, apoyándome en todo momento.

A mi esposa Andrea y a mi hija Eva, que son la inspiración que me impulsa a superar cualquier obstáculo, permitiendo conseguir mis sueños.

Nelson Naranjo Arellano

Esta tesis está dedicada a Dios y especialmente para Ulbio Eduardo Zapata mi padre y Norma Cecilia Gaibor Gaibor mi madre, quienes sin esperar nada a cambio dieron y darán todo de sí para que sus hijos logren sus sueños anhelados, y también a José Eduardo Zapata Gaibor mi hermano.

De igual forma a todos mis amigos y familiares quienes de manera indirecta me brindaron su apoyo, me alentaron a seguir adelante y cumplir mis metas.

Cecilia Zapata Gaibor

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para toda mi familia que con su apoyo incondicional alentaron a la culminación de esta obra, al Ing. Pacífico Riofrío por brindarnos sus conocimientos, al Sr. Miguel Martínez Presidente de la Junta Parroquial por darnos el apoyo necesario.

Nelson Naranjo Arellano

Un agradecimiento especial a Dios por darme la perseverancia y la fortaleza, a mis padres a mi hermano ya que son el pilar fundamental, porque gracias a su comprensión, confianza, amor y constancia que en mi depositaron a lo largo de mi vida y carrera he logrado culminar mis estudios profesionales.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica, a la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que nos abrió sus puertas y permitió mi formación profesional.

Al Ing. Marco Ordoñez Director de la Tesis, Ing. Lenin Orozco Asesor de la tesis, Ing. Pacífico Riofrío por brindarnos sus conocimientos, al Sr. Miguel Martínez Presidente de la Junta Parroquial de El Altar y Nelson Naranjo compañero de tesis.

Un reconocimiento a todas las personas, amigos y familiares que colaboraron directos, indirectamente y en forma desinteresada en la realización de esta tesis.

Cecilia Zapata Gaibor

CONTENIDO

Pág.

1.	GENERALIDADES	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo general.	2
1.3.2	Objetivos específicos:	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Conceptos básicos	3
2.1.1	Clases.	3
2.1.2	Intervalo	3
2.1.3	Ecuación de continuidad.	3
2.1.4	Ecuación de Bernoulli.....	4
2.1.5	Ecuación general de las pérdidas primarias	4
2.1.6	Ecuación fundamental de las pérdidas secundarias.	5
2.1.7	Numero de Reynolds.....	5
2.2	Captación	6
2.2.1	Azud o presa de derivación.	6
2.2.2	Compuerta de Limpieza.	7
2.2.3	Reja de entrada.....	8
2.2.4	Transición.....	9
2.3	Sistema de conducción	10
2.3.1	Sifón.....	10
2.4	Desarenador	10
2.4.1	Ancho y longitud del desarenador.	11
2.4.2	Limpieza de desarenadores y corte del agua.	12
2.5	Tanque de presión o cámara de carga	13
2.5.1	Volumen del tanque de presión.	13
2.5.2	Rejilla.	14
2.6	Tubería de presión	14
2.6.1	Cálculo del diámetro.....	15
2.6.2	Material	15
2.6.3	Apoyos y bloques de anclaje	15
2.6.4	Válvulas.	16
2.6.5	Golpe de ariete.....	16
2.7	Casa de máquinas	17
2.7.1	Ubicación.	17
2.7.2	Selección del número de unidades.....	17
2.8	Turbina.....	17
2.9	Generador eléctrico.....	18
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN	
3.1	Verificación topográfica	19
3.2	Verificación de altura bruta.....	21
3.3	Climatología	21
3.4	Hidrología.....	21
3.4.1	Caudales máximos, mínimos y promedio..	22
3.4.2	Caudal de diseño..	25
3.5	Diseño del azud.....	25

3.5.1	Altura de carga sobre el azud.....	26
3.5.2	Velocidad del agua sobre la cresta del azud.....	27
3.5.3	Cálculo de la carga energética.....	27
3.5.4	Cálculo del área del azud.....	28
3.5.5	Cálculo del resalto o colchón amortiguador.....	29
3.5.6	Cálculo de la longitud de la cuenca.....	30
3.5.7	Cálculo de la profundidad de protección aguas abajo.....	30
3.5.8	Cálculo de la longitud de protección aguas abajo.....	31
3.5.9	Verificación de la estabilidad del azud.....	32
3.5.10	Verificación del deslizamiento del azud.....	34
3.5.11	Diseño de la compuerta del azud.....	37
3.6	Diseño de la bocatoma.....	38
3.6.1	Parámetros principales para el diseño de la bocatoma.....	38
3.6.2	Ancho preliminar del vertedero.....	40
3.6.3	Dimensionamiento de la reja de entrada.....	40
3.7	Diseño del desripeador.....	42
3.7.1	Parámetros para el diseño del desripeador.....	42
3.7.2	Cálculo del ancho del vertedero.....	43
3.7.3	Cálculo del ancho del desripiador.....	44
3.7.4	Diseño de la compuerta de lavado del desripiador.....	45
3.7.5	Gradiente del canal.....	45
3.7.6	Diseño de la transición a la entrada de la tubería.....	47
3.8	Diseño del sistema de conducción.....	47
3.8.1	Tubería de conducción en el tramo 1.....	48
3.8.2	Diseño del sifón.....	50
3.8.3	Tubería de conducción Tramo 3.....	55
3.9	Diseño del desarenador.....	57
3.9.1	Cálculo de la longitud de la base del desarenador.....	57
3.9.2	Cálculo del ancho del desarenador.....	58
3.9.3	Cálculo de la capacidad del tanque colector.....	58
3.9.4	Cálculo del volumen del sedimento.....	58
3.9.5	Cálculo de la profundidad del colector.....	59
3.9.6	Cálculo de la transición de la entrada del desarenador.....	59
3.9.7	Cálculo del tiempo de captación.....	59
3.10	Cámara de carga.....	60
3.10.1	Cálculo del volumen del tanque de presión.....	60
3.10.2	Cálculo del diámetro de tubería de presión según Bondush.....	60
3.10.3	Cálculo de la altura mínima de agua.....	61
3.10.4	Cálculo de la longitud del tanque de presión.....	61
3.10.5	Cálculo del aliviadero.....	61
3.10.6	Rejillas.....	62
3.10.7	Golpe de ariete.....	62
3.11	Tubería de Presión.....	63
3.11.1	Material de la tubería de presión.....	63
3.11.2	Pérdidas en la tubería de presión.....	63
3.11.3	Cálculo del espesor mínimo de la tubería de presión.....	67
3.11.4	Cálculo de las tensiones en la tubería de presión.....	68
3.12	Sistemas de Apoyo.....	73
3.12.1	Bloques de apoyo.....	73
3.12.2	Bloques de anclaje.....	75
3.13	Altura o salto neto.....	79
4.	SELECCIÓN DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	
4.1	Parámetros fundamentales para la selección.....	80
4.2	Potencia al eje de la turbina hidráulica.....	81

4.3	Potencia del sistema de transmisión turbina-generator	81
4.3.1	Velocidad específica en función de la potencia de la turbina	81
4.3.2	Velocidad específica en función del caudal	82
4.4	Selección del tipo de turbina hidráulica	82
4.4.1	Instalación en la casa de máquinas	83
4.5	Selección del generador eléctrico	84
4.6	Generación eléctrica	85
4.7	Grupo Turbina-Generador	85
5.	DISTRIBUCIÓN EN EL PATIO DE TRANSMISIÓN	
5.1	Sistemas de transmisión	87
5.1.1	Elementos de un sistema de transmisión	88
5.2	Etapas de la transmisión	91
5.2.1	La generación	92
5.2.2	Transmisión	92
5.2.3	Transporte	92
5.2.4	Distribución	92
5.3	Componentes del patio de transmisión	93
5.3.1	Transformador elevador (T)	93
5.3.2	Interruptor (I)	94
5.3.3	Seccionador (S)	95
5.3.4	Barra colectora (Bc)	95
5.3.5	Línea de transmisión (Lz)	96
6.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
6.1	Introducción	98
6.2	Justificación	98
6.3	Objetivos	99
6.3.1	Objetivo general	99
6.3.2	Objetivos específicos	99
6.4	Alcance del estudio	99
6.5	Metodología del estudio de impacto ambiental	100
6.5.1	Primera fase	101
6.5.2	Segunda fase	101
6.6	Análisis del marco legal	101
6.6.1	La constitución de la república de Ecuador	102
6.6.2	Ley de gestión ambiental	102
6.6.3	Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica	102
6.6.4	Tratados internacionales	103
6.7	Área de estudio y descripción ambiental general	104
6.7.1	Delimitación del área de estudio	104
6.8	Descripción del proyecto	104
6.8.1	Ubicación del proyecto	104
6.8.2	Descripción general de las construcciones	106
6.8.3	Captación y la conducción del agua	106
6.8.4	Sistema de presión	107
6.8.5	Casa de máquinas y patio de transmisión	107
6.8.6	Descarga al Río Puela	107
6.8.7	Potencia	107
6.9	Inventario ambiental preliminar	108
6.9.1	Hidrología superficial	108
6.9.2	Medio biológico	108
6.9.3	Fauna	112
6.10	Identificación y evaluación de impactos ambientales	115
6.10.1	Etapas de construcción	115

6.10.2	Etapa de operación.....	116
6.10.3	Etapa de mantenimiento.....	116
6.11	Huella del Carbono CO ₂	116
6.12	Medidas de compensación, mitigación y reparación.....	118
6.12.1	Flora.....	118
6.12.2	Uso de suelo.	118
6.12.3	Fauna terrestre y acuática.....	118
6.12.4	Medio humano.	119
6.12.5	Calidad del aire.	119
6.12.6	Ruido.....	119
6.13	Plan de manejo ambiental.....	119
6.13.1	Objetivo.....	119
6.13.2	Metodología.....	120
6.13.3	Estructura del Plan de Manejo Ambiental.....	121
6.13.4	Descripción de los Planes de Manejo Ambiental.....	122
6.13.5	Plan de contingencia y riesgo.....	125
6.13.6	Programa de seguridad y salud ocupacional.....	127
6.13.7	Plan de manejo de residuos.....	129
6.13.8	Plan de relaciones comunitarias e institucionales.....	130
7.	ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS Y COSTOS DEL PROYECTO	
7.1	Costos de inversión.....	132
7.1.1	Costos directos.....	132
7.1.2	Costos indirectos.....	136
7.1.3	Costo total de la inversión.....	136
7.2	Costos de operación y mantenimiento.....	137
7.2.1	Costos de operación mensual.....	137
7.2.2	Costos de mantenimiento anual.....	137
7.3	Beneficios.....	138
7.3.1	Cálculo de la venta de energía.....	138
7.4	Valor residual de salvamento.....	139
7.4.1	Valor residual de obras civiles.....	140
7.4.2	Valor residual del equipo electromecánico.....	140
7.4.3	Valor residual del sistema de transmisión.....	140
7.4.4	Valor de los costos de operación.....	140
7.5	Elaboración del cuadro flujo de caja.....	141
7.5.1	Cálculo de flujo de caja interna.....	141
7.6	Evaluación económica.....	142
7.6.1	Cálculo del valor actual neto.....	142
7.7	Cálculo de la relación beneficio - costo.....	143
7.8	Cálculo de la tasa interna de retorno.....	144
7.9	Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión.....	146
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	Conclusiones.....	147
8.2	Recomendaciones.....	147

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Registro de los puntos20
2	Registro de los caudales mensuales del río Puela.....22
3	Frecuencia absoluta y duración de caudales23
4	Descripción estadística.....24
5	Parámetros para el diseño del azud26
6	Parámetros de la bocatoma.....39
7	Parámetros para el diseño del desripador.....43
8	Valores de m para diferentes tipos de suelos46
9	Tramos y distancias del sistema de conducción47
10	Iteraciones para hallar el diámetro de la tubería50
11	Parámetros para calcular las pérdidas en el sifón.....54
12	Coeficiente de pérdidas en codos del sifón.....55
13	Parámetros para calcular las pérdidas en la tubería de presión.....64
14	Codos en la tubería de presión66
15	Coeficiente de pérdidas en diferentes tipos de válvulas.....67
16	Dimensiones de los apoyos para la tubería de presión.....74
17	Dimensiones de los apoyos para el sifón.....75
18	Ángulos en los anclajes de la tubería de presión75
19	Ángulos en los anclajes del sifón76
20	Dimensiones de los anclajes en la tubería de presión78
21	Dimensiones de los anclajes en el sifón79
22	Eficiencias de los tipos de transmisión para una central hidroeléctrica81
23	Rango de Aplicaciones de la Turbina Pelton82
24	Rango de aplicación según las Velocidades específicas83
25	Principal característica de las líneas de transmisión o conductor.....88
26	Materiales y tipos de estructuras que utilizan la ERSA91
27	Características de las barras colectoras96
28	Especies de flora presentes en las zonas de ríos y quebradas.....109
29	Especies de flora presentes en las zonas de producción.....111
30	Especies de flora presentes en las zonas de bosque.112
31	Especies de fauna presentes en las zonas de ríos y quebradas.....113
32	Especies de fauna presentes en las zonas productivas.....114
33	Especies de fauna presentes en las zonas de bosque.114
34	Impactos ambientales en la fase de construcción.....115
35	Impactos ambientales en la fase de operación.116
36	Impactos ambientales en la fase de mantenimiento.....116
37	Parámetros de cálculo116
38	Estructura del Plan de Manejo Ambiental121
39	Plan de prevención y mitigación de impactos122
40	Plan de contingencia y riesgos126
41	Plan de salud y seguridad industrial128
42	Plan de manejo de residuos129
43	Plan de relaciones comunitarias e institucionales131

44	Costos de materiales	132
45	Costos de obras civiles	133
46	Costo del sistema de transmisión	133
47	Costo de mano de obra	134
48	Costo de equipos y maquinaria	135
49	Costo de transporte	135
50	Costos de ingeniería básica y detalle	136
51	Costos de operación mensual	137
52	Costos de mantenimiento anual	137
53	Costos de herramientas.....	138
54	Diferentes costos de energía y años de recuperación	138
55	Flujo de caja interno por año	141
56	Cálculo del valor actual neto.....	142
57	Cálculo del VAN a diferentes tasas de interés	144
58	La tasa correspondiente al punto de intersección será el TIR.....	145

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Cauce del río Puela 2
2	Elementos de una bocatoma 6
3	Esquema de un desarenador al inicio de la conducción 10
4	Esquema de un desarenador llegando a la cámara 11
5	Trayectoria de las partículas en un desarenador 12
6	Vistas de una cámara de carga 13
7	Elementos de la tubería de presión 14
8	Relieve de la Zona de Influencia 21
9	Histograma de caudales 24
10	Curva de permanencia de caudales 25
11	Ubicación de la captación 26
12	Perfil del azud 28
13	Fuerzas que actúan sobre el azud 33
14	Esquema principal de una bocatoma 38
15	Principales parámetros de una bocatoma 38
16	Vista principal de la bocatoma convencional 41
17	Vista principal del desripiador 42
18	Toma de agua, desripiador y rebosadero 42
19	Esquema de la conducción en el tramo 1 48
20	Esquema del sifón tramo 2 51
21	Esquema de la transición a la entrada 52
22	Esquema de la transición a la salida 53
23	Esquema de conducción tramo 3 56
24	Coefficiente de pérdidas en la rejilla 65
25	Coefficiente de entrada a la tubería 65
26	Esfuerzos sobre la tubería de presión 68
27	Dimensiones de los apoyos 73
28	Dimensiones y ángulos en los apoyos 76
29	Esquema del conjunto electromecánico de la central 80
30	Abaco para la selección de turbinas. 83
31	Esquema de instalación en la casa de máquinas. 83
32	Diagrama de bloque del grupo de generación. 84
33	Grupo Turbina –Generador vista lateral 85
34	Grupo Turbina –Generador vista superior 86
35	Esquema General del patio de transmisión 87
36	Líneas de transmisión o conductores 89
37	Torre o estructura de transmisión 89
38	Estructura de ángulo 90
39	Cimentación 90
40	Estructuras intermedias 91
41	Estructuras metálicas de 18,5 m y de 69 kV 92
42	Subestación de Riobamba (CELEC EP RIOBAMBA) 92
43	Esquema del patio de transmisión 93

44	Transformador	93
45	Interruptor	94
46	Seccionador de línea	95
47	Barra colectora Rectangulares	96
48	Líneas de transmisión sobre una torre metálica.....	97
49	Esquema del traslado de la energía eléctrica	97
50	Ubicación geográfica de la casa de máquinas.....	104
51	Vía de acceso a la de casa de máquinas.....	105
52	Zona de la Captación.....	105
53	Zona de la Tubería de conducción.....	105
54	Zona de la ubicación del sifón	106
55	Esquema de una turbina Pelton.....	107
56	Cascaras y riachuelos que alimentan al río Puela	108
57	Cálculo del TIR	145

SIMBOLOGÍA

Q	Caudal	m^3/s
v	Velocidad	m/s
A	Área	m^2
d	Diámetro	m
p	Presión	Pa
ρ	Densidad	kg/m
μ	Factor de forma de coronamiento	
g	Aceleración de la gravedad	m/s^2
H	Pérdidas en tuberías	m
a_c	Apertura de la compuerta	m
b_c	Ancho de la compuerta	m
L	Longitud	m
λ	Coeficiente de pérdidas primarias	
k_s	Coeficiente de perdidas secundarias	
ν	Viscosidad cinemática	m^2/s
s	Coeficiente de corrección de sumersión	
M	Coeficiente de vertedero	
b	Ancho preliminar	m
h	Altura	m
i	Pendiente	
t	Tiempo	s
η	Eficiencia	
T	Temperatura	$^{\circ}C$
γ	Peso específico	N/m^3
X_m	Distancia en el eje de las abscisas del azud	m
Y_m	Distancia en el eje de las ordenadas del azud	m
P_m	Perímetro mojado	m
R	Radio hidráulico	m
J	Pendiente del canal	%
Re	Numero de Reynolds	
d_d	Profundidad de decantación	m
W	Momento resistente	cm^3
θ	Ángulo de deflexión	$^{\circ}$
E	Módulo de elasticidad del materia	kgf/cm^2
I	Momento de inercia	m^4
h_s	Altura de sobrepresión por golpe de ariete	m
H_B	Altura bruta	m
H_n	Salto o altura neta	m
e	Espesor de la tubería	mm

ΔL	Longitud de seguridad	m
F	Fuerza ejercida sobre el azud	kg/cm
δ	Tensión tangencial en la tubería	kg/cm ²
P_s	Presión atmosférica	Pa
N	Año en que se calcula el valor residual	años
n	Vida útil del bien	años
V_{Rn}	Valor residual en el año	USD

LISTA DE ANEXOS

- A** Geografía de la zona de influencia
- B** Factores de forma de coronamiento para distintos vertederos
- C** Coordenadas generales del perfil de Creager del azud
- D** Tabla de relación para el diseño de compuertas
- E** Propiedades de los materiales
- F** Coeficiente de pérdidas secundarias
- G** Propiedades del agua a diferentes temperaturas
- H** Diagrama de Moody
- I** Velocidad de sedimentación de las partículas
- J** Presión atmosférica a diferentes alturas

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el diseño de la central hidroeléctrica “El Altar” aprovechando la topografía y el caudal del río Puela que está ubicado en la parroquia El Altar, cantón Penipe, provincia de Chimborazo, para generar 10 MW de potencia eléctrica.

Se realiza una investigación de los conceptos básicos relacionados con la generación hidroeléctrica, parámetros de diseño y se muestra una descripción de los elementos. Se presenta un análisis estadístico para determinar el caudal de diseño.

Consecutivamente se realizan los cálculos para determinar las dimensiones de los elementos civiles y mecánicos empleados, basados en datos tomados en el sector, permitiendo establecer la captación con una bocatoma lateral, la conducción debido a la topografía de la zona estará compuesta de tubería, hasta llegar al tanque de carga que alimenta a dos tramos en paralelo de tubería de presión para llegar a las unidades generadoras ubicadas en la casa de máquinas. Posteriormente se selecciona el equipo electro mecánico y se propone la construcción de un patio de transmisión. Considerando la importancia del efecto positivo y negativo se realiza un estudio de impacto ambiental, se presenta el análisis de presupuestos y costos del proyecto.

Se verifica el cumplimiento de los objetivos de la tesis, proponiendo que la energía generada sea trasladada hasta la subestación más cercana y se confirma la necesidad de un trabajo conjunto entre las empresas públicas y privadas para lograr la implementación de este proyecto.

ABSTRACT

The design of the hydroelectric power plant "El Altar" was carried out in this work, thanks to the topography and the flow of the river Puela which is located in the parish El Altar, Penipe canton, Chimborazo province, to generate 10 MW of electrical power.

An investigation of the basic concepts related to hydroelectric generation, design parameters and a description of the elements was performed. In addition a statistical analysis was also presented to determine the design flow.

Consecutively calculations were executed to determine the dimensions of the civil and mechanical elements used, based on data collected in the sector, thus allowing to establish the catchment with a lateral intake, driving due to the topography of the area will consist of pipe up to coming to the load tank which feeds two sections in parallel of pressure pipe to reach the generating units located in the machinery house. Subsequently the electro mechanical equipment was selected, and it was suggested the construction of a transmission yard. An environmental impact study was conducted considering the importance of the positive and negative effect, and the analysis of budgets and project costs was presented.

the fulfillment of the objectives of the thesis was verified by proposing that the energy generated is transferred to the nearest substation and the need for a joint effort between public and private companies to archive the implementation of this project was confirmed.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La provincia de Chimborazo cuenta con un abundante potencial hídrico, el cual debe ser aprovechado mediante la ejecución de proyectos como pico centrales hidroeléctricas con el apoyo de organizaciones privadas o del estado.

En el año 2012 se realizó el estudio de factibilidad de la central hidroeléctrica “El Altar” donde se pretendía utilizar el caudal del río Puela, que se encuentra ubicado en la parroquia El Altar, perteneciente al cantón Penipe, para captar 9,75 m³/s y generar aproximadamente 10 MW de potencia, con una caída de agua de 164 m utilizando un conjunto de instalaciones electromagnéticas y estructuras civiles.

La parroquia se encuentra a una altitud aproximada de 2 400 m s.n.m. de clima frío con una temperatura media de 14 °C y una humedad atmosférica del 45%. Posee una extensión de 74,19 km² y 1 822 habitantes dedicados en su mayoría a actividades agrícolas y pecuarias. La energía eléctrica es distribuida a través del Sistema Nacional Interconectado, llegando a la mayoría de las viviendas de los habitantes de la parroquia.

La información disponible es muy limitada, por esta razón es necesario realizar estudios de campo para verificar y obtener datos que permitan identificar de manera precisa los puntos donde estarán ubicadas las diferentes partes que componen la central hidroeléctrica.

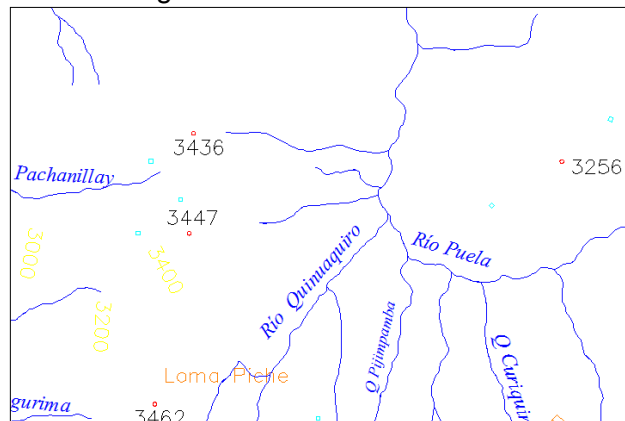
1.2 Justificación

En nuestro país en la actualidad se impulsa la transformación de la matriz energética mediante la implementación de centrales hidroeléctricas, considerándose un tema de vital importancia, por ser el agua una de las fuentes inagotables de energía.

La implementación del presente trabajo permitirá dar continuidad a los estudios de pre-factibilidad y factibilidad realizados con anterioridad.

La parroquia El Altar cuenta en su jurisdicción de un importante recurso hídrico, ya que sobre ella se encuentran los cauces de los ríos: Puela, Quinuaquiro, Naranjal, Cubillin, Cubillin Chico, Asacucho, Palictahua, Badcahuan y Sigsal.

Figura 1. Cauze del río Puela



Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, 2012)

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Realizar el diseño definitivo de la Central Hidroeléctrica "EL ALTAR".

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Realizar el estudio bibliográfico sobre hidráulica y generación energética.
- Realizar el estudio técnico y diseño definitivo del sistema de captación, conducción, y presión de la central hidroeléctrica " EL ALTAR".
- Realizar el estudio técnico y diseño definitivo de casa de máquinas, patio de transmisión y maniobras de la central hidroeléctrica " EL ALTAR".
- Efectuar el análisis técnico- económico.
- Realizar un estudio definitivo de impacto ambiental.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos básicos

2.1.1 Clases. Son cada uno de los diferentes grupos que se forman al reunir los valores correlativos o próximos de la variable o las modalidades parecidas o similares del atributo. Lo ideal es trabajar con distribuciones de entre 5 y 15 clases. (FERNÁNDEZ, y otros, 2002)

$$N_c = 1 + 3,332 \log (N_r) \quad (1)$$

Donde:

N_c = Número de clase

N_r = Número de registros

2.1.2 Intervalo. Un intervalo es la identificación de una clase por sus límites de clase. Los intervalos, normalmente, acaban en un número (límite superior), que es el mismo con el que empieza el intervalo siguiente (límite inferior). (FERNÁNDEZ, y otros, 2002)

$$\Delta x = \frac{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}}{N_c - 1} \quad (2)$$

Donde:

Δx = Intervalo

$X_{\text{máx}}$ = Límite superior

$X_{\text{mín}}$ = Límite inferior

2.1.3 Ecuación de continuidad. Supóngase que un fluido incompresible llena por completo un conducto como, por ejemplo, una tubería o una arteria. Entonces, si entra fluido por un extremo del conducto, una cantidad igual de fluido ha de salir por el otro extremo. Este principio, que puede escribirse matemáticamente de varias formas, recibe el nombre de ecuación de continuidad. (VÁZQUEZ, y otros, 2007)

$$Q = v A \quad (3)$$

Donde:

Q = Caudal [m^3/s]

v = Velocidad [m/s]

A = Área de la sección transversal [m^2]

El área de una sección circular es igual a:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (4)$$

Donde:

d = Diámetro [m]

2.1.4 *Ecuación de Bernoulli.* Es importante conocer las pérdidas de carga que existen en toda conducción hidráulica, pues ella significa un factor más, que necesariamente se ha de tener en cuenta en el completo estudio de cualquier obra o fenómeno hidráulico. (KHOURI, 2004)

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - H_T = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (5)$$

Donde:

P_1 y P_2 = Presiones totales [Pa]

v_1 y v_2 = Velocidades del agua [m/s]

z_1 y z_2 = Alturas de los puntos de análisis [m]

ρ = densidad [kg/m^3]

g = aceleración de la gravedad [m/s^2]

H_T = Pérdidas totales de carga [m]

2.1.5 *Ecuación general de las pérdidas primarias, ecuación de Darcy-Weibach.* A fines del siglo pasado, experimentos realizados con tuberías de agua de diámetros constantes demostraron que la pérdida de carga será directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e

inversamente proporcional al diámetro de la misma. (KHOURI, 2004)

$$H_f = \frac{\lambda L v^2}{2 g d} \quad (6)$$

Donde:

H_f = Pérdidas de carga

λ = Coeficiente de pérdidas primarias

L = Longitud de la tubería [m]

v = Velocidad media del fluido [m/s]

d = Diámetro de la tubería [m]

2.1.6 *Ecuación fundamental de las pérdidas secundarias.* De uso universal en los libros y formularios de hidráulica, y análoga a la fórmula de Darcy-Weisbach para las pérdidas primarias. (KHOURI, 2004)

$$H_s = k_s \frac{v^2}{2 g} \quad (7)$$

Donde:

H_s = Pérdidas secundarias

k_s = Coeficiente de pérdidas secundarias

v = Velocidad media del fluido [m/s]

2.1.7 *Numero de Reynolds.* El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento. Se demuestra en forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo depende de cuatro variables: la densidad del fluido, su viscosidad, el diámetro del tubo y la velocidad promedio del flujo. (MOOT, 2006)

$$Re = \frac{v d}{\nu} \quad (8)$$

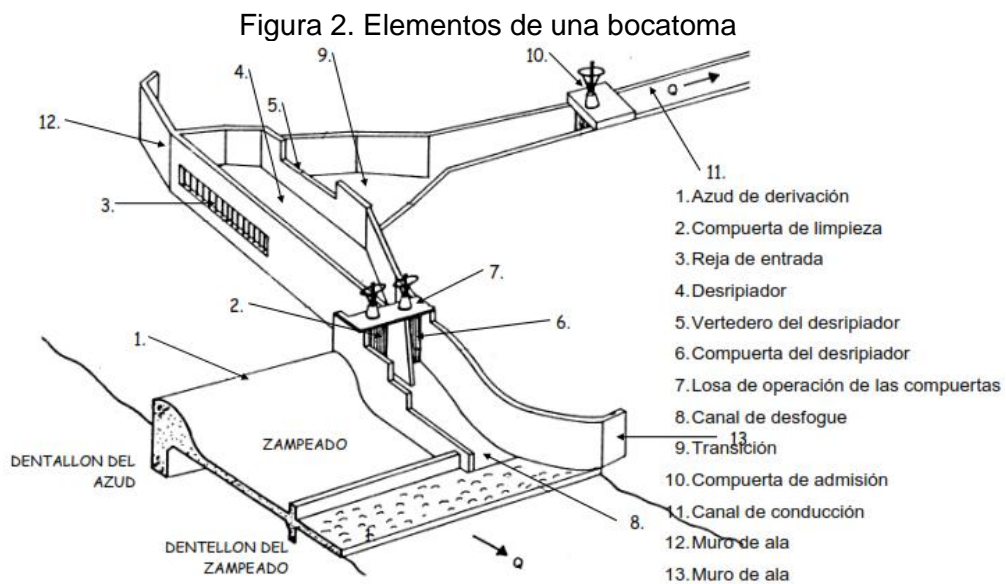
Donde:

ν = Viscosidad cinemática del agua [m²/s]

2.2 Captación

Se denomina obras de toma o de captación a toda estructura hidráulica construida sobre el cauce de un río, con el fin de captar o de derivar el agua necesaria que para los proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas será utilizada en generación de energía; impidiendo que el caudal de diseño sea excedido durante las crecientes y evitando que entren materiales sólidos como ramas o piedras que pueden causar obstrucciones posteriores. (INEA, 1997)

Las bocatomas son obras hidráulicas cuya función es regular y captar un determinado caudal de agua, en este caso, para la producción de hidroenergía sea esta mecánica o eléctrica. Las bocatomas nos permiten tomar el agua de los ríos y conducirla aprovechando la fuerza de la gravedad. (Intermediate Technology Development Group, ITDG, 1995)



Fuente: (NOVILLO, y otros, 1985)

2.2.1 Azud o presa de derivación. El azud es un tipo de barraje (una represa vertedora) cuya función es captar y dejar escapar el agua excedente o de avenidas que no debe ingresar al sistema. Es represa porque levanta el nivel del agua no tomada. (Intermediate Technology Development Group, ITDG, 1995)

Dado que el azud debe tener una altura igual a la suma de la altura del umbral desde el fondo del cauce más la altura de los barrotes; la toma de agua en épocas de estiaje se comporta como un vertedero sumergido con un desnivel muy pequeño entre las dos

superficies de agua. El caudal que pasa por el vertedero sumergido se determina con la siguiente expresión. (ORTIZ, 2011)

$$Q_d = K_v s M b_1 H^{3/2} \quad (9)$$

Donde:

K_v = Coeficiente de pérdida = 0,85

s = Coeficiente de corrección de sumersión

M = Coeficiente de vertedero

b_1 = Ancho preliminar del vertedero [m]

H = Carga sobre la cresta [m]

Según Bazin el coeficiente de sumersión es:

$$s = 1,05 \left(1 + 0,2 \frac{h_n}{Y_2} \right) \left(\frac{Z}{H} \right)^{1/3} \quad (10)$$

Donde:

h_n = elevación del agua bajo el vertedero sobre la cresta [m]

H = Altura de la rejilla [m]

Z = Desnivel entre las superficies del agua [m]

Y_2 = Altura del desarenador [m]

El coeficiente M para vertedero de cresta delgada según Konovalov es:

$$M = \left[0,407 + \left(\frac{0,045 H}{H+Y_1} \right) \right] \left[1 + 0,285 \left(\frac{H}{H+Y_1} \right)^2 \right] \sqrt{2 g} \quad (11)$$

Donde:

Y_2 = Altura del umbral sobre el fondo del río [m]

g = aceleración de la gravedad = 9,81 m/s²

2.2.2 *Compuerta de Limpieza.* Ubicada en un extremo del azud, al lado de la reja de entrada, con el fin de eliminar el material grueso depositado aguas arriba del azud y mantener limpio el cauce frente a la toma de agua, ya que por lo general el

material sólido acumulado reduce el caudal de captación sin embargo la compuerta de purga es de baja eficiencia, lo que obliga a un mantenimiento constante y cuidadoso de la rejilla en la toma de agua. En épocas de crecientes la compuerta se abre con el fin de aliviar el trabajo del azud. (ORTIZ, 2011)

$$Q_c = K E a_c b_c \sqrt{2 g \left(H_e + \frac{V_a^2}{2 g} - E a_c \right)} \quad (12)$$

Donde:

Q_c = Caudal de la compuerta [m^3/s]

K = Constante entre 0,95 – 0,97

a_c = Apertura de la compuerta [m]

b_c = Ancho de la compuerta [m]

H_e = Altura total del agua sobre el lecho [m]

E = Coeficiente dado en función de a_c/H_e

2.2.3 *Reja de entrada.* En la orilla de la conducción se tendrá que disponer de una rejilla para la captación de agua. El umbral del orificio debe estar a una altura no menor de 60 a 80 cm del fondo. El dintel debe llegar hasta una altura superior a la mayor creciente. Los barrotes deben ser lo suficientemente fuertes para resistir el impacto de troncos y otros materiales flotantes que ocasionalmente es traído por las crecientes. (NOVILLO, y otros, 1985)

El número de espacios necesarios entre barrotes se calcula con la siguiente expresión:

$$n = \frac{b_1}{b'} \quad (13)$$

Donde:

b' = separación entre barrotes [m]

b_1 = Ancho del vertedero [m]

n = espacios entre barrotes

El número de barrotes que componen la rejilla está dado por:

$$N = n - 1 \quad (14)$$

Donde:

N = número de barrotes.

EL ancho total de la rejilla es:

$$B = b_1 + N a' \quad (15)$$

Donde:

B = Ancho total de la rejilla de captación [m]

a' = Espesor de las barras de la rejilla = 0,15 m

2.2.4 *Transición.* Una transición de entrada al canal contiguo al desripiador una a este último con el canal, con el fin de evitar pérdidas grandes de energía entre éstos. El agua se vierte del desripiador a la transición a través de un vertedero más ancho que el canal con el fin de depositar el material grueso en el desripiador. (ORTIZ, 2011)

$$L_d = \frac{b_M - b_m}{2 \tan 12,5^\circ} \quad (16)$$

Donde:

L_d = Longitud de la transición [m]

b_m = ancho menor [m]

b_M = ancho mayor [m]

De acuerdo al Bureau of Reclamation se recomienda que el ángulo máximo entre el eje del canal y una línea que une los lados de la transición a la entrada y a la salida no exceda de 12,5°.

La longitud de la transición se puede calcular también con la siguiente expresión:

$$L_{td} = 4 d_{it} \quad (17)$$

Donde:

d_{it} = diámetro interno de la tubería

2.3 Sistema de conducción

En este caso la tubería se instala a lo largo del río. Aunque este sistema es necesario cuando resulta imposible construir un canal debido a las características del terreno, hay que tomar siempre algunas precauciones. La más importante es asegurar que la avenida temporal del río no dañe o deteriore la tubería. También es vital calcular el diámetro de la tubería más económico, pues si se trata de una tubería larga el costo será muy elevado. (Intermediate Technology Development Group, ITDG, 1995)

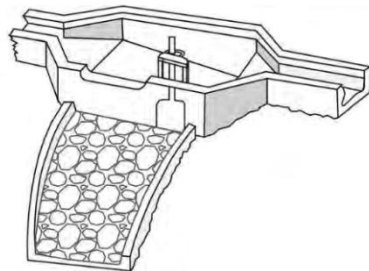
2.3.1 Sifón. Los sifones son tuberías que bajan hasta el fondo de la depresión siguiendo los taludes de la misma. Dependiendo de la altura entre la parte alta y el fondo del sifón y por lo tanto de la presión que soporta, los sifones pueden ser de tubería de un solo diámetro o pueden tener los diámetros decrecientes hacia abajo. Esto se hace por economía, pues un diámetro menor es capaz de soportar una presión mayor sin necesidad de aumentar el espesor. (KROCHIN, 1986)

A la entrada de un sifón, y a veces también a la salida, es necesario poner rejillas y cajones desarenadores para evitar que entre material sólido y flotante hacia el interior. En la parte más baja de un sifón, normalmente se coloca una válvula que permita vaciarlo en caso de necesidad, lavando la arena que puede haberse depositado en el fondo. (KROCHIN, 1986)

2.4 Desarenador

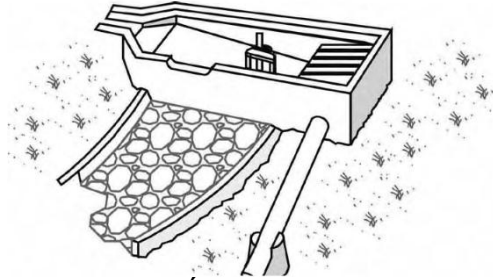
El desarenador es una obra hidráulica, que sirve para sedimentar partículas, de material sólido suspendidas en el agua, de la conducción. Las partículas se mantienen en suspensión debido a que la velocidad de entrada en la bocatoma es elevada y suficiente para arrastrar partículas sólidas; especialmente en las crecidas puede entrar gran cantidad de sedimentos. (ORTIZ, 2011)

Figura 3. Esquema de un desarenador al inicio de la conducción



Fuente: (DÁVILA, y otros, 2010)

Figura 4. Esquema de un desarenador llegando a la cámara



Fuente: (DÁVILA, y otros, 2010)

EL volumen de sólidos durante las crecientes para ríos de montaña es aproximadamente del (4-6) % el volumen del caudal y en ríos de llanuras (0,2-1,0) %. (ORTIZ, 2011)

El propósito del desarenador consiste en eliminar partículas de material sólido suspendidas en el agua de la conducción. Estas están suspendidas en la conducción por la velocidad del agua, para que ellas se decanten se disminuye su velocidad, por tal motivo el desarenador para cumplir con su propósito dispone de una mayor área. (ORTIZ, 2011)

2.4.1 *Ancho y longitud del desarenador.* La longitud total del desarenador se divide en tres partes: entrada (L_e), decantación (L_d) y salida (L_s). La parte central es el área de decantación. (DÁVILA, y otros, 2010)

La longitud se calcula con la expresión:

$$L_d = \frac{v_h}{v_s} d_d f \quad (18)$$

El ancho es igual a:

$$B' = \frac{Q_d}{d_d v_h} \quad (19)$$

Donde:

L_d = Longitud del desarenador [m]

B' = ancho del desarenador [m]

Q_d = Caudal de diseño

v_h = Velocidad horizontal en la cámara de sedimentación [m/s]

v_s = Velocidad de sedimentación [m/s]

d_d = Profundidad de decantación [m]

f = factor de seguridad (recomendado 2)

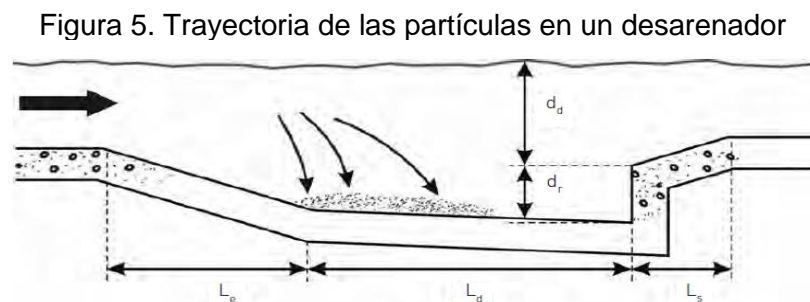
La profundidad del desarenador se divide en dos partes: decantación (d_d) y de recolección (d_r). Es muy importante que el ingeniero proyectista sepa distinguir entre estas dos profundidades, ya que el desarenador funcionará correctamente solo si no se permite que la sedimentación que se va formando exceda el borde del área de recolección que se encuentra en el límite superior de la zona de recolección. (DÁVILA, y otros, 2010)

$$d_r = \frac{V_s}{B \cdot f \cdot L_d} \quad (20)$$

Donde:

d_r = profundidad del colector [m]

V_s = Volumen de sedimentación [m³]



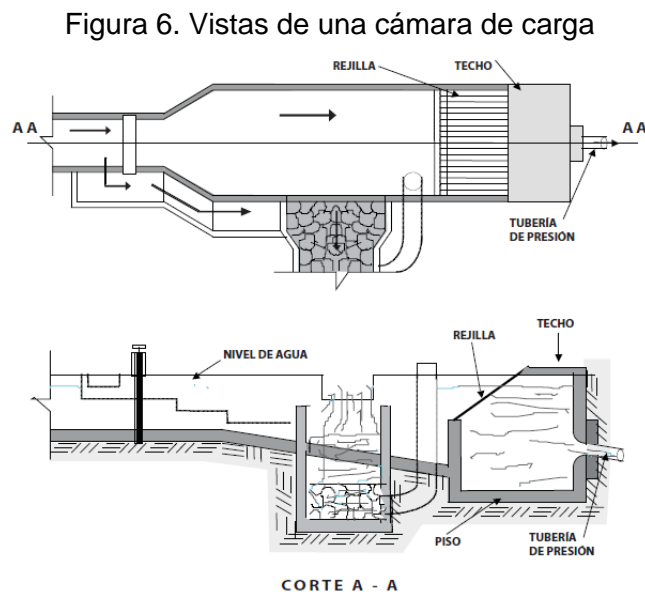
Fuente: (DÁVILA, y otros, 2010)

2.4.2 Limpieza de desarenadores y corte del agua. Por lo general la limpieza es un proceso en donde se abre la compuerta y el sedimento es removido con palas a lo largo del piso del depósito con el fin de dirigirlo a través de la compuerta hacia un canal de limpia ubicado adyacente al desarenador. El piso del depósito debe estar ligeramente inclinado para facilitar esta operación. (DÁVILA, y otros, 2010)

Se pueden diseñar algunos dispositivos de limpieza semiautomáticos a fin de evitar el excesivo trabajo manual y los cortes de energía. Una posibilidad es el reemplazo de una compuerta de apertura lenta por un tubo de desagüe de limpieza. (DÁVILA, y otros, 2010)

2.5 Tanque de presión o cámara de carga

La cámara de carga es un depósito situado al final del canal, justo antes de la entrada de la tubería de fuerza. Está diseñada para actuar como una reserva de agua para mantener la presión de caída en la tubería forzada y requiere una entrada continua de agua del canal para mantener su nivel máximo. (BRISEÑO, 2008)



Fuente: (BRISEÑO, 2008)

Normalmente, se instala una rejilla coladera que cubre la zona de entrada de agua a la tubería forzada para impedir la entrada de detritus en la misma. Es esencial una limpieza frecuente de la rejilla coladera de la cámara de carga, ya que un caudal reducido de agua debido a una rejilla obstruida puede conducir a presiones reducidas en la tubería de presión. (BRISEÑO, 2008)

La cámara de carga actúa como un último desarenador y su diseño debe contar con una válvula de purga en la compuerta de salida, para poder sacar y eliminar todos los sedimentos de la base de la misma. La mayoría de ellas cuenta también con un vertedero para desviar el exceso de agua. (BRISEÑO, 2008)

2.5.1 Volumen del tanque de presión. El caudal que llega por el canal al tanque de presión es prácticamente constante e igual al de diseño cuando no existe reservorio de regulación diaria. En cambio el caudal consumido por la central varía con la carga. En las horas de pico se utiliza todo el caudal que viene pero el resto del tiempo el caudal utilizado es menor. (KROCHIN, 1986)

Si la distancia entre la toma y el tanque de presión es grande, no hay regulación automática de flujo y es necesario instalar un aliviadero. Entonces, si hay una reducción en la demanda de la central, y el caudal que va por la tubería de presión disminuye, el nivel del tanque sube hasta dar al vertedero una carga suficiente para que desborde por el todo el exceso de caudal. (KROCHIN, 1986)

$$V_T = \frac{0,693 A_c v_c^2}{i g} \quad (21)$$

Donde:

A_c = Sección transversal de la conducción [m²]

v_c = Velocidad en la conducción [m/s]

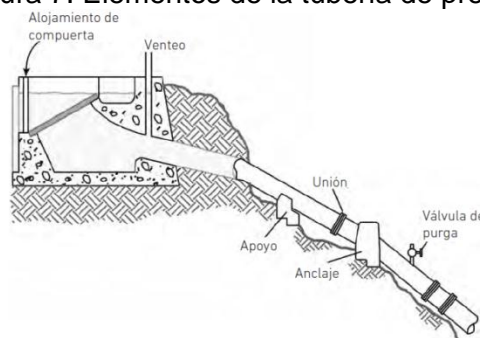
i = Pendiente del tanque = 1%

2.5.2 Rejilla. Con el objeto de evitar la entrada de materiales flotantes en la tubería, entre esta y el tanque de presión, se instalan rejillas finas. Las rejillas se hacen generalmente de hierro (platinas) de 50 x 5 mm o de 60 x 6 mm de sección, unidas con hierros redondos y que se apoyan en marcos de hierro. Cuando las dimensiones son grandes, muchas veces tienen atrás perfiles transversales de hierro que sirven de apoyos intermedios. (KROCHIN, 1986)

2.6 Tubería de presión

La tubería de presión debe ser preferiblemente recta, aunque en algunas ocasiones es difícil de obtener, debido a las condiciones del terreno. Esto obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado, con el apoyo de estructuras de concreto que le ayudan a sostenerse (apoyos) y a variar la pendiente (anclajes). (ORTIZ, 2011)

Figura 7. Elementos de la tubería de presión



Fuente: (DÁVILA, y otros, 2010)

La tubería de presión está compuesta por los siguientes elementos: toma de agua en el tanque de carga, la cual está acompañada de una rejilla; anclajes y apoyos, se encargan de sostener y variar la pendiente de la tubería de presión, codos para variación de pendiente, juntas de unión y de expansión; estas últimas ubicadas entre anclajes; ellas asimilan la contracción o dilatación del material por variación de temperatura; bifurcaciones que le permiten dividir el caudal para varias unidades, válvulas, son elementos independientes a la tubería de presión, ubicados entre el final de la tubería y la turbina. (ORTIZ, 2011)

2.6.1 *Cálculo del diámetro.* El diámetro de la tubería de presión se determina con base en la selección óptima entre el mínimo de pérdidas y el costo mínimo.

Las pérdidas en la tubería se traducen en pérdidas de potencia y a su vez de energía; éstas se reducen con el aumento del diámetro, pero este aumento incrementa el costo de la tubería; por tal motivo el diámetro debe armonizar con el índice de pérdida de energía, que es el dinero perdido por la no venta de energía eléctrica y el costo de armonización de la tubería. (ORTIZ, 2011)

Según Bondush el diámetro de tubería de presión es:

$$D_{Tp} = 1,27 \frac{Q_d^{0,4268}}{(H_b+h_s)^{0,1423}} \quad (22)$$

Donde:

D_{Tp} = Diámetro de la tubería de presión [m]

Q_d = Caudal de diseño [m^3/s]

H_b = Altura bruta [m]

h_s = Altura de sobrepresión por golpe de ariete [m]

2.6.2 *Material.* Para grandes saltos y grandes diámetros, la tubería fabricada en acero soldado con juntas longitudinales y circunferenciales sigue siendo la solución preferida porque es relativamente barata y puede conseguirse con el diámetro y espesor requeridos por el proyectista. (DÁVILA, y otros, 2010)

2.6.3 *Apoyos y bloques de anclaje.* Las tuberías que se encuentran a ciclo abierto requieren de estructuras de concreto para sostenerse y apoyarse según la

pendiente del terreno. El perfil de la tubería y el trazado permiten determinar la ubicación de apoyos y estructuras que sostienen y permiten desplazamiento longitudinal por variación de la temperatura. La ubicación de los anclajes está determinada por las variaciones del terreno y estos están sometidos a esfuerzos por cargas transmitidas por la tubería. (DÁVILA, y otros, 2010)

2.6.4 Válvulas. Las válvulas controlan el paso de agua en la tubería de presión y las hay de diferentes tipos. Para el caso de las microcentrales hidráulicas nos limitaremos tan sólo a las válvulas de compuerta y de mariposa. De estas dos, las de compuerta son las más usadas. Por lo general, las válvulas están instaladas inmediatamente antes de la turbina pero en ciertos casos se encuentran a la entrada de la tubería de presión. (Intermediate Technology Development Group, ITDG, 1995)

2.6.5 Golpe de ariete. Se llama golpe de ariete al aumento de presión que se observa en una tubería cuando en esta cambia bruscamente la velocidad del líquido que circula por ella. Es un caso de movimiento no estacionario en el cual las fuerzas de inercia son las causas de la variación de la presión. (KROCHIN, 1986)

La velocidad de onda de presión se calcula con la fórmula:

$$v_s = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}} \quad (23)$$

Donde:

v_s = Velocidad de onda de presión

K = Constante del material de la tubería = 0,5

D = Diámetro nominal de la tubería de presión [m]

e = Espesor de la tubería de presión [m]

La altura equivalente a causa del golpe de ariete es:

$$h_s = \frac{8 L Q_{Tp}}{\pi g t' D_i^2} \quad (24)$$

Donde:

L = Longitud de la tubería de presión [m]

Q_{Tp} = Caudal en la tubería de presión [m^3]

t' = Tiempo de maniobra de cierre

2.7 Casa de máquinas

Esta es una estructura civil que contiene la mayor parte del equipo electromagnético, en los que se transforma la energía cinética del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. Por ello es muy importante para el funcionamiento de la central, la ubicación de ella. (ORTIZ, 2011)

El proceso de conversión de la energía hidráulica en mecánica y de mecánica en eléctrica requiere como mínimo la instalación dentro de la casa de máquinas, de equipos que realicen estos procesos. (ORTIZ, 2011)

2.7.1 Ubicación. En general la casa de máquinas se debe colocar cerca al afluente al cual se entregará el agua turbinada. Teniendo en cuenta que en el canal de desagüe no se depositen sedimentos que disminuyan su sección. (ORTIZ, 2011)

Es importante destacar que la casa de máquinas, se ubique en una zona con terrenos estables y que este fuera del alcance de riadas, ya que éstas pueden depositar una cantidad de sedimentos en el canal de desagüe o en caso extremo afectar la casa de máquinas. (ORTIZ, 2011)

2.7.2 Selección del número de unidades. En una pequeña central hidroeléctrica los hidrogupos (turbina, generador y reguladores) tienen un costo equivalente al 40-50% del costo de la pequeña central hidroeléctrica en su conjunto. Este costo es elevado y por tal motivo es necesario usar grupos, particularmente de turbinas, que tengan bajo costo. (ORTIZ, 2011)

2.8 Turbina

Una turbina hidráulica viene a ser una turbomáquina hidráulica, en la cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de álabes rotativos. En este sistema denominado rodete, puede ocurrir una simple desviación del flujo de agua o, en otros casos, una desviación y aceleración de este flujo. La potencia generada en el eje de la turbina cuenta con las siguientes ecuaciones: (Intermediate Technology Development Group, ITDG, 1995)

$$P_E = P_T \eta_{TR} \eta_G \quad (25)$$

$$P_T = \frac{P_g}{\eta_{TR} \eta_G} \quad (26)$$

$$\eta_{GR} = \eta \eta_{TR} \eta_G \quad (27)$$

Donde:

P_g = potencia a generar [kW]

P_E = Potencia eléctrica en los bornes del generador [kW]

P_T = Potencia al freno de la turbina a plena carga [kW]

Q_{Tp} = caudal que fluye a la turbina [m^3/s]

η = eficiencia de la turbina = 0,90

η_{TR} = eficiencia de la transmisión = 0,95

η_G = eficiencia del generador = 0,83

η_{GR} = eficiencia del grupo de generación

2.9 Generador eléctrico

El generador de energía eléctrica en las pequeñas centrales hidroeléctricas es quien al final transforma la energía mecánica en eléctrica. Este proceso de conversión de energía se realiza permanentemente a una velocidad mecánica constante lo que obliga acople directo entre los ejes de la turbina y el generador. Esta particularidad hace que los dos equipos giren a igual velocidad mecánica y que los cambios en la demanda de energía eléctrica los afecte simultáneamente; es decir que los cambios en la demanda de energía eléctrica, exigen el generador mayor o menor energía eléctrica (según sea el cambio en la demanda) y este a su vez exige mayor o menor potencia mecánica. (ORTIZ, 2011)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN

El estudio de ingeniería a nivel de diseño contempla la implementación del proyecto, buscando las mejores condiciones desde el punto de vista técnico, económico, social y de seguridad.

Bajo estos condicionantes, se ha procedido a la identificación y diseño de las obras propuestas: la captación, desripador, sifón, tanque entrada y salida del sifón, conducción, desarenador, tanque de carga, tubería de presión y casa de máquinas. Para luego ser evaluadas y valoradas a fin que el ente ejecutor disponga de las herramientas necesarias de acuerdo a sus intereses.

3.1 Verificación topográfica

La Topografía nos permite representar de forma gráfica la realidad observada en el campo y de esta manera poder identificar las irregularidades y características del terreno.

Para identificar la topografía se deben realizar visitas de campo, que permitan determinar de manera visual los lugares donde se ejecutarán las obras civiles del sistema.

Se elabora un cronograma con las actividades que se van a realizar durante las visitas de campo, de manera que se puedan determinar los tiempos requeridos para cada actividad, con un plan organizado que permita optimizar el trabajo y obtener mejores resultados.

Luego de las visitas de campo, la información recopilada es representada en tablas que posteriormente servirán para elaborar la topografía del terreno, representando los puntos donde estarán ubicados cada uno de los elementos del sistema.

Esta investigación de campo ayudara a determinar la altura neta que va a poseer la central, se calcula la distancia entre puntos mediante sistema de referencias, para conocer la longitud de tubería requerida.

Tabla 1. Registro de los puntos

N°	Longitud	Latitud	Altura	N°	Longitud	Latitud	Altura
1	782760	9830800	2629	37	779022	9831091	2610
2	782771	9831149	2628	38	779009	9831115	2610
3	783027	9831242	2628	39	778973	9831152	2610
4	782605	9831502	2627	40	778931	9831193	2610
5	782524	9831809	2626	41	778892	9831223	2610
6	782278	9832068	2625	42	778875	9831206	2610
7	781840	9832254	2624	43	778840	9831214	2610
8	781319	9832252	2623	44	778816	9831718	2611
9	780957	9832116	2622	45	778787	9831163	2610
10	780833	9832021	2621	46	778748	9831118	2609
11	780823	9831978	2621	47	778711	9831088	2609
12	780116	9832076	2620	48	778688	9831078	2609
13	780032	9832141	2620	49	778630	9831042	2610
14	779630	9832082	2619	50	778579	9830995	2609
15	779541	9831886	2619	51	778510	9830977	2608
16	779469	9831066	2619	52	778510	9830979	2605
17	779594	9831322	2619	53	778502	9830990	2599
18	779698	9831510	2618	54	778497	9830995	2594
19	779773	9831664	2619	55	778494	9831011	2586
20	779760	9831892	2619	56	778489	9831003	2586
21	779419	9831029	2615	57	778475	9831015	2565
22	779399	9831029	2613	58	778469	9831018	2559
23	779383	9831030	2605	59	778456	9831042	2546
24	779337	9831046	2586	60	778447	9831053	2530
25	779298	9831060	2582	61	778446	9831053	2521
26	779281	9831050	2577	62	778437	9831071	2517
27	779278	9831029	2566	63	778422	9831089	2504
28	779270	9831024	2562	64	778440	9831107	2491
29	779263	9831028	2552	65	778401	9831148	2480
30	779255	9831027	2551	66	778381	9831204	2474
31	779182	9831004	2549	67	778375	9831205	2472
32	779174	9831016	2552	68	778371	9831226	2468
33	779142	9831009	2576	69	778351	9831248	2457
34	779139	9831022	2578	70	778341	9831261	2449
35	779101	9831026	2607	71	778334	9831272	2437
36	779092	9831030	2610	72	778291	9831306	2430

Fuente: Autores

3.2 Verificación de altura bruta

Se estableció que el agua del río Puela sería captada mediante una bocatoma lateral ubicada en las coordenadas: 9830800 de latitud y 782760 de longitud a una altura de 2 629 m s.n.m. de aquí el agua será conducida mediante tubería, cruzara una quebrada a través de un sifón, continuara hasta llegar al tanque de presión que estará ubicado en las coordenadas: 9830977 de latitud y 778510 de longitud a una altura de 2 605 m s.n.m. y finalmente se dirigirá a la casa de máquinas que está ubicada en la posición 9831306 de latitud y 778291 de longitud a una altura de 2 423 m s.n.m. lo que proporcionara una altura bruta de 182 m.

Figura 8. Relieve de la Zona de Influencia



Fuente: Autores

3.3 Climatología

La parroquia El Altar por su ubicación está bajo la influencia de la sierra y el oriente, sin embargo el comportamiento de las estaciones climáticas siguen más el ritmo de la sierra, durante el verano existen nubosidades ocasionando pequeñas precipitaciones, en la temporada de invierno las lluvias hacen que el cauce del río Puela aumente provocando grandes avenidas de caudal. La temperatura estimada del sector es de 14°C con un rango que varía entre 10°C y 18°C, debido a que recibe vientos y corrientes lluviosas provenientes de la Amazonía.

3.4 Hidrología

Gracias a ella podemos determinar el caudal del río a lo largo de un año, a pesar de esto se pueden presentar muchas variaciones ocasionadas por los cambios climáticos

y la topografía del terreno. Los estudios hidrológicos son primordiales para el diseño de obras hidráulicas.

Lamentablemente la hidrología no es una ciencia exacta, por lo que la información que se obtiene es de forma estadística, los datos de caudales deben tomarse en cuenta ya que son una referencia importante para determinar cuál es el nivel más bajo del río en épocas de estiaje y hasta que nivel puede subir en épocas de avenidas.

3.4.1 Caudales máximos, mínimos y promedio. Para tener una mejor apreciación de los caudales del río Puela se utilizaran varios datos tabulados a lo largo de los años por la estación hidrológica.

Tabla 2. Registro de los caudales mensuales del río Puela

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Julio	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic
1990	18,61				19,89	31,71	21,31	20,55		13,14	13,06	13,81
1991	12,31	18,39		11,11	13,94	17,11	17,04			7,92	7,25	6,10
1992	12,31	10,45	11,10	12,14	8,40	13,73	11,98		9,38		6,89	8,21
1993	7,65	11,19	9,99	9,73	11,10	14,76	15,71		9,65	11,08	7,03	
1994	6,40	7,27	7,55	9,88	13,09	18,29	13,00	14,81	11,18	8,89	8,71	9,21
1995		7,59	9,36	9,88	10,70	12,98	13,22	11,37	11,03	7,39	7,30	6,22
1996	7,49	10,20	9,62	11,30	13,86	10,33	17,88	13,77	11,87	10,42	11,10	12,77
1997	7,59	19,02	11,93	11,29	17,19	12,79	20,53	14,56	12,25	10,22	12,55	14,14
1998	13,23	10,76	15,37	18,86	11,64	17,83	14,56	12,34	11,39	9,65	8,95	9,48
1999	11,15	9,70	11,26	17,36	7,42	7,72	10,02	9,31	9,28	9,49		
2000						11,82	10,14	10,95	10,23	10,11		11,06
2003	12,73	18,15	17,41	14,42	21,56	17,09	17,69	12,82	10,97	9,66	10,11	17,27
2004	10,19	10,65	22,81	13,26	18,46	25,70	21,13	18,46	14,35	14,40	12,79	12,00
2005	10,54	17,80	15,42	19,34	9,38	26,03	10,46	7,85	8,65	5,05	7,66	7,60
2006	14,01	12,69	8,81	8,47	10,23	13,89	11,65	10,46	11,31	7,53	6,93	8,33
2007	13,72	6,51	12,99	12,41	11,65	32,90	12,46	15,94	10,22	6,80	12,30	9,30
2008	12,15	11,47	8,10	9,91	9,91	13,31	16,13	11,09	12,27	10,63	6,99	5,99
2009	10,58	14,08	8,03	10,21	11,17	18,25	23,41	14,52	9,16	8,45	7,77	7,93
2011	6,98	6,36	3,73	7,01	12,69	13,86	20,20	11,88	13,71	6,98	7,17	15,46
2012	11,90	13,48	13,98	10,72	17,49	16,07	16,31	17,47	9,46	8,70	4,97	12,70
2013	21,94	14,32	15,36	14,82	13,98	18,17	23,44	16,25	13,25	11,12	7,47	9,64
2014	14,27	10,00	17,34				30,19	20,32	19,20	9,34	18,56	
2015	26,06	18,04										

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

En base a este registro histórico de los caudales mensuales del río Puela se realiza un cálculo estadístico para obtener un histograma que muestre la frecuencia con que ocurren los caudales y la permanencia que tienen durante un período de tiempo considerable.

Se calcula el número de clase utilizando la ecuación (1) donde el número de registros obtenidos son 242 de acuerdo a la tabla 2:

$$N_c = 1 + 3,332 \log (242) = 8,943$$

Se determinan los caudales máximo y mínimo:

$$Q_{\text{máx}} = 32,091 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{mín}} = 3,725 \text{ m}^3/\text{s}$$

El intervalo, se calcula con base en la expresión (2):

$$\Delta x = \frac{32,091 - 3,725}{8,943 - 1} = 3,57$$

El intervalo calculado es de 3,57 pero se utilizara el valor entero de 3. Con la ayuda del programa Excel se procede a introducir los datos y se generan los siguientes resultados.

Tabla 3. Frecuencia absoluta y duración de caudales

lower	upper	midpoint	width	frequency	percent	frequency	percent
3	6	5	3	4	1,7	4	1,7
6	9	8	3	46	19,0	50	20,7
9	12	11	3	79	32,6	129	53,3
12	15	14	3	57	23,6	186	76,9
15	18	17	3	24	9,9	210	86,8
18	21	20	3	19	7,9	229	94,6
21	24	23	3	7	2,9	236	97,5
24	27	26	3	3	1,2	239	98,8
27	30	29	3	0	0,0	239	98,8
30	33	31	3	3	1,2	242	100,0

Fuente: Autores

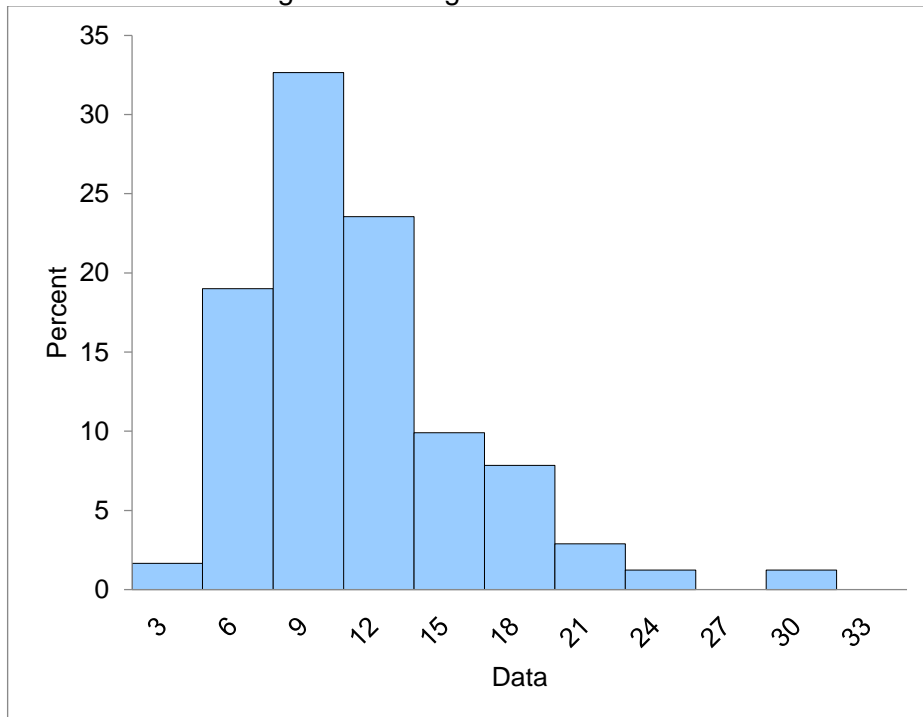
Tabla 4. Descripción estadística

Count	242,000
Mean	12,611
Sample variance	22,349
Sample standard deviation	4,727
Minimum	3,725
Maximum	32,901
Range	29,176
1st quartile	9,480
Median	11,641
3rd quartile	14,546
Interquartile range	5,066
Mode	11,098
Low extremes	0,000
Low outliers	0,000
High outliers	6,000
High extremes	3,000

Fuente: Autores

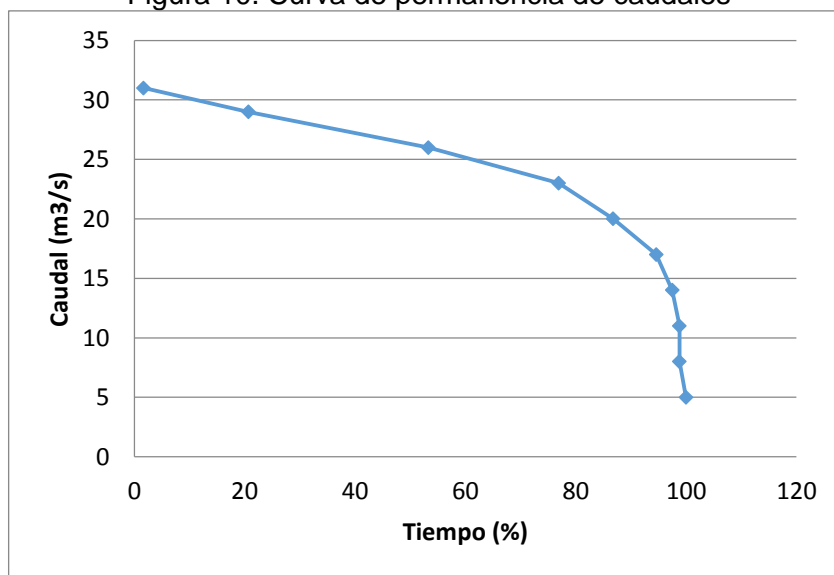
Los resultados tabulados se los puede representar gráficamente para una mejor comprensión y análisis.

Figura 9. Histograma de caudales



Fuente: Autores

Figura 10. Curva de permanencia de caudales



Fuente: Autores

3.4.2 Caudal de diseño. El propósito e interés primordial de este trabajo es proveer de energía a la parroquia El Altar y a las zonas aledañas que carecen de este servicio.

Para el diseño de la central se debe tomar el valor expresado en los resultados estadísticos que corresponde a la moda y es 11,098 m³/s, ya que es el valor que más se repite dentro de los datos, además se debe considerar que el caudal de permanencia en un rango de 8 a 11 m³/s es del 98,8%, por esta razón el caudal de diseño es de 8 m³/s.

3.5 Diseño del azud

En función de las características topográficas y de ubicación, puesto que se encuentran en una zona estable y segura, se han diseñado estructuras de captación con azud, las mismas que por ser de mayor envergadura y tamaño se debe tratar de mitigar y no causar efecto al entorno, por su forma y volumen prácticamente no ocasionarían el transporte de grandes cantidades de materiales y tampoco movimientos de tierra que alteren el equilibrio hidráulico de los cauces.

La captación se encuentra en la cota 2 629 m s.n.m. margen izquierdo del río Puela, con diferentes estructuras que garantizarían captar el caudal requerido para cubrir la demanda. La ubicación, caudales disponibles y caudales a ser captados se detallan a continuación.

Figura 11. Ubicación de la captación



Fuente: Autores

Tabla 5. Parámetros para el diseño del azud

Parámetro	Valor
Temperatura promedio del agua	5 °C
Caudal de avenida	32,091 m ³ /s
Caudal de estiaje	3,725 m ³ /s
Ancho local del río	10 m
Velocidad de acercamiento del río	5 m/s
Altura del azud	1,5 m

Fuente: Autores

Los niveles de caudales de avenida y estiaje en el río, serán los valores máximos y mínimos de caudal que tendrá el río respectivamente.

3.5.1 *Altura de carga sobre el azud.* Se utiliza la ecuación para vertederos como indica el manual de mini y micro centrales hidroeléctricas de la ITDG.

$$h_c = \left[\frac{3 Q_a}{2 \mu b_r \sqrt{2g}} + \left(\frac{v_a^2}{2g} \right)^{3/2} \right]^{2/3} - \frac{v_a^2}{2g} \quad (28)$$

Donde:

h_c = Altura de carga sobre el azud [m]

μ = Factor de forma para distintos vertederos = 0,75 (Anexo B)

b_r = Ancho local del río = 10 m

g = aceleración de la gravedad = 9,81 m/s²

v_a = Velocidad de acercamiento = 5 m/s

$$h_c = \left[\frac{3 (32,091)}{2 (0,75) (10) \sqrt{2(9,81)}} + \left(\frac{(5)^2}{2(9,81)} \right)^{3/2} \right]^{2/3} - \frac{(5)^2}{2(9,81)} = 0,802 \text{ m}$$

3.5.2 *Velocidad del agua sobre la cresta del azud.* Despejando la velocidad de la ecuación (3) de la continuidad y reemplazando el valor del área para una sección rectangular se obtiene la siguiente ecuación:

$$v_c = \frac{Q_a}{b_r h_c}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$v_c = \frac{32,091 \text{ m}^3/\text{s}}{(10 \text{ m})(0,802 \text{ m})} = 4 \text{ m/s}$$

3.5.3 *Cálculo de la carga energética.* De acuerdo al manual de mini y micro centrales hidroeléctricas de la ITDG la carga energética viene a ser la suma del tirante de agua más la altura alcanzada por la velocidad de paso del agua.

$$h_e = h_c + \frac{v_c^2}{2g} \quad (29)$$

Donde:

h_e = Carga energética [m]

h_c = Altura de carga sobre el azud [m]

v_c = Velocidad del agua sobre la cresta [m/s]

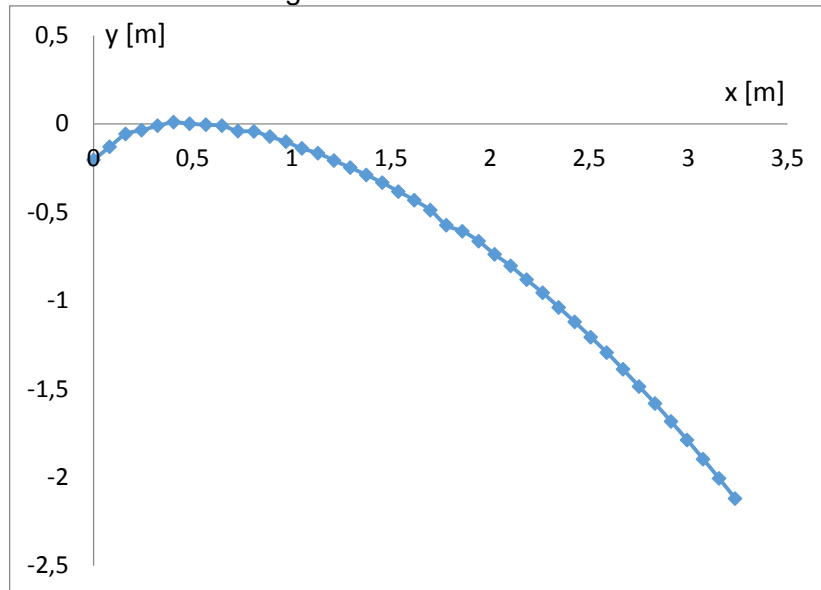
g = aceleración de la gravedad = 9,81 m/s²

$$h_e = 0,802 \text{ m} + \frac{(4 \text{ m/s})^2}{2 (9,81 \text{ m/s}^2)} = 1,618 \text{ m}$$

Se calcula las coordenadas del azud, multiplicando las coordenadas del perfil Creager por el valor obtenido de la carga energética.

El resultado se representa en la figura 12, y las coordenadas del perfil del azud se las puede observar en el Anexo C.

Figura 12. Perfil del azud



Fuente: Autores

La ecuación que gobierna el perfil es la siguiente:

$$y = -0,239 x^2 + 0,1183 x$$

3.5.4 Cálculo del área del azud.

$$A_z = -a \frac{x_m^3}{3} - b \frac{x_m^2}{2} + (y_m - c) x_m \quad (30)$$

Donde:

A_z = Área del azud [m^2]

x_m = Distancia horizontal máxima del perfil de Creager = 3,237 m

y_m = Distancia vertical máxima del perfil de Creager = 2,120 m

a, b, c = Coeficientes de la ecuación del perfil

Según la ecuación que gobierna el perfil los valores que corresponden a los coeficientes son: a = 0,239 b = 0,118 y c = 0. Obteniendo el siguiente resultado.

$$A_z = -0,239 \frac{(3,237)^3}{3} - 0,118 \frac{(3,237)^2}{2} + (2,120) 3,237$$

$$A_z = 8,915 m^2$$

3.5.5 Cálculo del resalto o colchón amortiguador.

$$h_2 = \frac{0,45 Q_z}{\sqrt{h_1}} \quad (31)$$

Donde:

h_2 = Profundidad aguas abajo [m]

Q_z = Caudal de agua sobre el azud por metro [m^3/ms]

h_1 = Altura del agua al final del azud [m]

La altura total del agua sobre el lecho del río aguas arriba es igual a:

$$H_e = h_{az} + h_e$$

Donde:

H_e = Altura total del agua sobre el lecho del río [m]

h_{az} = Altura del azud [m]

h_e = Carga energética [m]

$$H_e = 1,5 \text{ m} + 1,618 \text{ m} = 3,118 \text{ m}$$

La altura de caída de agua es igual a 1,2 veces la altura total del agua sobre el lecho del río.

$$\Delta h = 1,2 (3,118 \text{ m}) = 3,742 \text{ m}$$

La velocidad de caída del agua se calcula con la ecuación.

$$v_{ca} = \sqrt{2 g \Delta h}$$

$$v_{ca} = \sqrt{2 (9,81 \text{ m/s}^2) (3,742 \text{ m})} = 8,568 \text{ m/s}$$

El caudal de agua sobre el azud por metro lineal es igual a:

$$Q_z = \frac{Q_a}{b_r}$$

$$Q_z = \frac{32,091 \text{ m}^3/\text{s}}{10 \text{ m}} = 3,209 \text{ m}^3/\text{m s}$$

La altura del agua al final del azud es:

$$h_1 = \frac{Q_z}{v_{ca}}$$

$$h_1 = \frac{3,209 \text{ m}^3/\text{m s}}{8,568 \text{ m/s}} = 0,375 \text{ m}$$

Por lo tanto, la profundidad de la cuenca o colchón será:

$$P_c = |H_e - \Delta h - h_1|$$

$$P_c = |3,118 \text{ m} - 3,742 \text{ m} - 0,375 \text{ m}| = 1 \text{ m}$$

Finalmente reemplazando los valores en la ecuación (31) se obtiene el requerimiento de la profundidad aguas abajo.

$$h_2 = \frac{0,45 (3,209)}{\sqrt{0,375}} = 2,358 \text{ m}$$

3.5.6 *Cálculo de la longitud de la cuenca.*

$$L_z = 5 (h_2 - h_1) \tag{32}$$

Donde:

L_z = Longitud de la cuenca [m]

h_1 = Altura del agua al final del azud = 0,375 m

$$L_z = 5 (2,358 \text{ m} - 0,375 \text{ m}) = 9,916 \text{ m}$$

3.5.7 *Cálculo de la profundidad de protección aguas abajo.*

$$d_s = 2,5 h_m \tag{33}$$

Donde:

d_s = Profundidad de protección aguas abajo [m]

Se calcula el diámetro medio del material.

$$D_m = \frac{1,4}{\Delta} \frac{(v_{ca} + 0,5)^2}{8 g}$$

Donde:

D_m = Diámetro medio del material [m]

Δ = Relación de peso específico del hormigón con el agua = 1,7

v_{ca} = Velocidad de caída del agua = 8,568 m/s

$$D_m = 0,863 \text{ m}$$

$$F_b = 1,76 \sqrt{D_m}$$

$$F_b = 1,76 \sqrt{0,863 \text{ m}} = 1,635 \text{ m}$$

$$h_m = 1,34 \frac{Q_d^{2/3}}{F_b^{1/3}}$$

$$h_m = 1,34 \frac{(8)^{2/3}}{(1,635)^{1/3}} = 4,55 \text{ m}$$

Donde la profundidad de protección será:

$$d_s = 2,5 (4,55 \text{ m})$$

$$d_s = 11,38 \text{ m}$$

3.5.8 *Cálculo de la longitud de protección aguas abajo.*

$$L_L = 1,75 d_s \tag{34}$$

Donde:

L_L = Longitud de protección aguas abajo [m]

$$L_L = 1,75 (11,375 \text{ m}) = 19,905 \text{ m}$$

3.5.9 Verificación de la estabilidad del azud.

Se calcula el momento de la región.

$$M_y = \frac{(y_m - c) x_m}{2} - \frac{b x_m^3}{3} - \frac{a x_m^2}{4}$$

Donde:

M_y = Momento de la región [N m]

$$M_y = \frac{(2,120) 3,237}{2} - 0,239 \frac{(3,237)^3}{4} - 0,118 \frac{(3,237)^2}{3} = 2,718 \text{ N m}$$

El centro de gravedad se calcula con la siguiente ecuación.

$$\bar{x} = \frac{M_y}{A_z}$$

$$\bar{x} = \frac{2,718}{8,915} = 0,305 \text{ m}$$

El centro de gravedad real es:

$$\bar{x}_{\text{Real}} = x_m - \bar{x}$$

$$\bar{x}_{\text{Real}} = 3,237 \text{ m} - 0,305 \text{ m} = 2,925 \text{ m}$$

Se calcula el peso del azud con respecto a la longitud.

$$W_Z = \gamma_{\text{concreto}} A_Z$$

Donde:

W_z = Peso del azud con respecto a la longitud [N/m]

γ_{concreto} = Peso específico del concreto = 23 520 N/m³

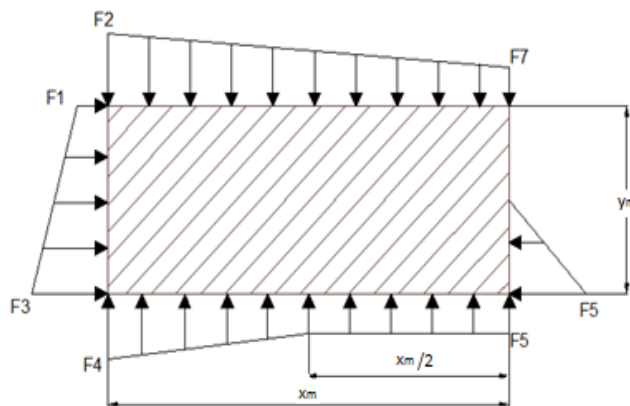
$$W_z = (23\,520 \text{ N/m}^3) (8,915 \text{ m}^2) = 209\,683,683 \text{ N/m}$$

Distancia donde se aplica la fuerza desde la cresta del vertedero.

$$Y = \frac{y_m}{-3}$$

$$Y = \frac{2,120 \text{ m}}{-3} = 0,707 \text{ m}$$

Figura 13. Fuerzas que actúan sobre el azud



Fuente: Autores

Cálculo que ejerce la estructura sobre la roca.

$$f_{\text{max}} = \frac{W_z}{|A_z|} \left(1 + 6 \frac{e}{x_m} \right)$$

$$f_{\text{min}} = \frac{W_z}{|A_z|} \left(1 - 6 \frac{e}{x_m} \right)$$

Donde:

f_{max} = Resistencia máxima [N/m²]

f_{min} = Resistencia mínima [N/m²]

$$f_{\max} = 80\,427,372 \text{ N/m}^2$$

$$f_{\min} = 33\,387,372 \text{ N/m}^2$$

La resistencia promedio de la roca es de 98 000 N/m², comprobando se tiene:

$$f_{\max} \leq f_{\text{disponible}}$$

$$80\,427,372 \leq 98\,000$$

$$f_{\min} \leq f_{\text{disponible}}$$

$$33\,387,372 \leq 98\,000$$

Las condiciones se cumplen, el azud es estable.

3.5.10 *Verificación del deslizamiento del azud.* Es importante calcular el valor de cada una de las fuerzas que actúan sobre el azud, para poder comprobar el factor de seguridad ante el deslizamiento.

Cálculo de la fuerza dada por la carga energética del fluido.

$$F_1 = \left(\frac{V_a^2}{2g} + h_c \right) \rho_{\text{agua}}$$

$$F_1 = 2\,076,21 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la fuerza dada por la altura de carga del fluido.

$$F_2 = h_c \rho_{\text{agua}}$$

$$F_2 = 802 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la fuerza dada por la carga energética y la altura total del agua sobre el lecho del río.

$$F_3 = \left(\frac{V_a^2}{2g} + h_c + H_e \right) \rho_{\text{agua}}$$

$$F_3 = 5\,194 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la fuerza dada por la altura de carga y la altura total del agua sobre el lecho del río.

$$F_4 = (h_c + H_e) \rho_{\text{agua}}$$

$$F_4 = 3\,920 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la fuerza dada por la profundidad del colchón.

$$F_5 = P_c \rho_{\text{agua}}$$

$$F_5 = 1\,000 \text{ kg/m}^2$$

$$F_5 = F_6$$

$$F_6 = 1\,000 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la fuerza dada por la altura del agua

$$F_7 = h_1 \rho_{\text{agua}}$$

$$F_7 = 375 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la fuerza por las cargas horizontales a la izquierda del azud.

$$F_8 = (F_3 + F_1) \frac{H_e}{2}$$

$$F_8 = 11\,334,26 \text{ kg/m}$$

Cálculo de la fuerza por la carga horizontal a la derecha del azud.

$$F_9 = \frac{F_5 P_c}{2}$$

$$F_9 = 500 \text{ kg/m}$$

Cálculo de la fuerza producida por el peso del azud.

$$F_{10} = |A_z| \rho_{\text{concreto}}$$

Donde:

F_{10} = Fuerza producida por el peso del azud [kg/m]

A_z = Área del azud [m²]

ρ_{concreto} = Densidad del concreto = 2 400 Kg/m³

$$F_{10} = 21\,396 \text{ kg/m}$$

Cálculo de la fuerza por carga vertical dirigida hacia abajo.

$$F_{11} = (F_2 + F_7) \frac{x_m}{2}$$

$$F_{11} = 1\,904,86 \text{ kg/m}$$

Cálculo de la fuerza por cargas verticales dirigidas hacia arriba.

$$F_{12} = (F_4 + F_6) \frac{x_m}{4} + F_6 \frac{x_m}{2}$$

$$F_{12} = 5\,600 \text{ kg/m}$$

Cálculo de la fuerza resultante de las cargas verticales.

$$F_{RV} = \mu_{\text{roca}}(F_{10} + F_{11} - F_{12})$$

Donde:

F_{RV} = Fuerza resultante de las cargas verticales [kg/m]

μ_{roca} = Coeficiente de rozamiento entre la roca y el concreto = 0,85

$$F_{RV} = 15\,045,73 \text{ kg/m}$$

Cálculo de las fuerzas resultantes de las cargas horizontales.

$$F_{RH} = F_8 - F_9$$

$$F_{RH} = 10\,834,26 \text{ kg/m}$$

Se procede a calcular el coeficiente de seguridad.

$$n_z = \frac{F_{RV}}{F_{RH}}$$

$$n_z = \frac{15\,045,73}{10\,834,26} = 1,39$$

La fuerza vertical resultante que mantiene pegado el azud al piso es mayor que la fuerza horizontal resultante, lo que garantiza que el diseño es correcto.

3.5.11 *Diseño de la compuerta del azud.* Es necesario realizar trabajos de mantenimiento en la central hidroeléctrica, para esto se cuenta con compuertas que permitan el desfogue total del caudal del río, estará ubicada al costado izquierdo del azud.

La apertura de la compuerta se considera de 1,4 m con un ancho de compuerta de 0,8 m. Se deberá calcular el coeficiente E, para ello es necesario determinar la relación existente entre a_c y H_e , entonces se tendrá:

$$\frac{a_c}{H_e} = 0,45$$

Obtenida la relación, se procede a encontrar el coeficiente E con el Anexo D.

$$E = 0,638$$

Remplazando los parámetros en la ecuación (12) se obtiene:

$$Q_{cz} = 0,95 (0,638) (1,4) (0,8) \sqrt{2 (9,81) \left(3,118 + \frac{(5)^2}{2 (9,81)} - (0,638) (1,4) \right)}$$

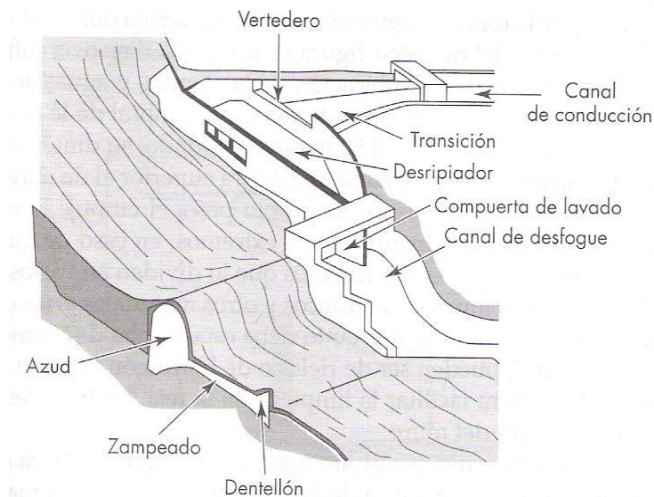
$$Q_{cz} = 5,625 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acuerdo al valor obtenido, se establece que se necesita 1 compuerta al extremo del azud, la misma que puede evacuar la totalidad del caudal del río en época de estiaje.

3.6 Diseño de la bocatoma

La obra de toma por derivación directa, capta el agua que viene por el río Puela sin necesidad de almacenamiento y está diseñada para que ingrese el caudal de $8 \text{ m}^3/\text{s}$ con cualquier calado del río, no debe permitir el ingreso a la conducción material sólido o flotante; en sí, la toma que es del tipo convencional y consta de los siguientes elementos:

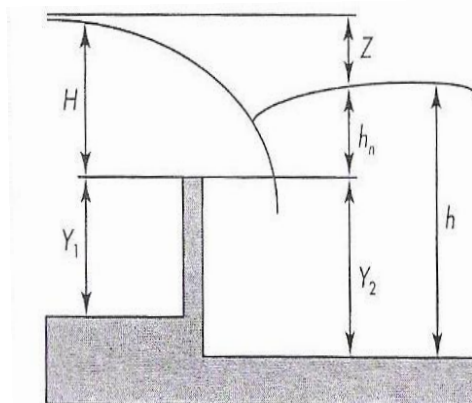
Figura 14. Esquema principal de una bocatoma



Fuente: (ORTIZ, 2011)

3.6.1 *Parámetros principales para el diseño de la bocatoma.* Se deben asumir algunos valores de acuerdo a las condiciones requeridas y a la topografía del terreno.

Figura 15. Principales parámetros de una bocatoma



Fuente: (ORTIZ, 2011)

Tabla 6. Parámetros de la bocatoma

Parámetro	Símbolo	Valor
Caudal medio anual	Q_m	12,611 m ³ /s
Altura del umbral sobre el fondo del río	Y_1	0,5 m
Altura de la rejilla	H	1 m
Desnivel entre las superficies del agua	Z	0,35 m
Altura del desripeador	Y_2	1 m
Espesor de pared	e_{pared}	0,2 m

Fuente: Autores

Para determinar los coeficientes M y s, es necesario comprobar que las condiciones están de acuerdo con las de vertederos sumergidos de pared delgada.

$$\frac{H}{e_{pared}} > 1,5$$

Donde:

e_{pared} = espesor de pared

$$\frac{1}{0,2} > 1,5$$

$$5 > 1,5$$

Comprobado que se cumple la condición, se procede a determinar el coeficiente de sumersión.

Donde la elevación del agua bajo el vertedero se calcula con la expresión:

$$h_n = H - Z$$

$$h_n = 1 \text{ m} - 0,35 \text{ m} = 0,65 \text{ m}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (10) se tiene:

$$s = 1,05 \left(1 + 0,2 \frac{0,65}{1} \right) \left(\frac{0,35}{1} \right)^{1/3} = 0,93$$

El coeficiente M para vertedero de cresta delgada según la ecuación (11) es:

$$M = \left[0,407 + \left(\frac{0,045 (1)}{1 + 0,5} \right) \right] \left[1 + 0,285 \left(\frac{1}{1 + 0,5} \right)^2 \right] \sqrt{2 (9,81)} = 2,034$$

3.6.2 *Ancho preliminar del vertedero.* Despejando de la ecuación (9) el ancho preliminar del vertedero se tiene:

$$b_1 = \frac{Q_d}{K_v s M H^{3/2}}$$

$$b_1 = \frac{8}{(0,85)(0,93)(2,034) (1)^{3/2}} = 4,21 \text{ m}$$

3.6.3 *Dimensionamiento de la reja de entrada.* Se toma una separación entre barrotes de 0,2 m para asegurar que los materiales flotantes y gruesos como palos o rocas no puedan pasar.

El número de espacios necesarios entre barrotes con la ecuación (13).

$$n = \frac{4,21 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} = 21,05 \text{ espacios}$$

$$n \approx 21 \text{ espacios}$$

Se calcula el número de barrotes que componen la rejilla con la expresión (14).

$$N = 21 - 1 = 20 \text{ barrotes}$$

Se calcula el ancho total de la rejilla con la expresión (15) y se establece un espesor de las barras de 0,15 m:

$$B = 4,21 \text{ m} + (20)(0,15 \text{ m}) = 7,21 \text{ m}$$

El ángulo se determina con la expresión:

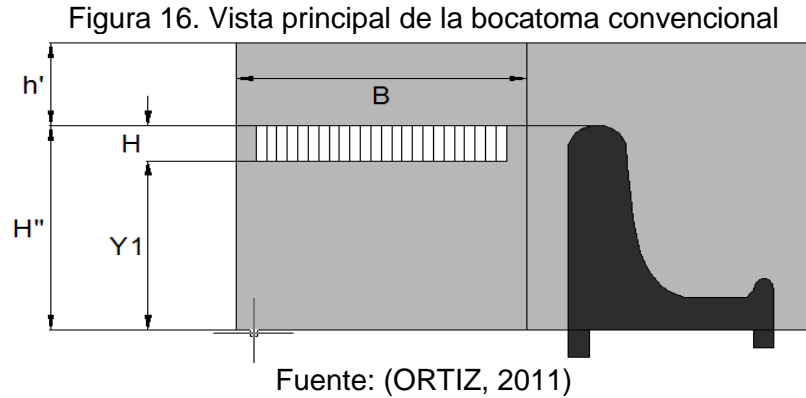
$$\alpha = \arcsin \left[\frac{v_f}{v_e} \right] \quad (35)$$

Donde:

α = ángulo de inclinación de la rejilla.

v_r = Velocidad media del río correspondiente al caudal medio anual.

v_e = Velocidad de entrada al canal.



La velocidad media del río es igual a:

$$v_r = \frac{Q_m}{P_m^2}$$

Donde:

P_m = Perímetro mojado [m]

$$P_m = B + 2H$$

$$P_m = 7,21 \text{ m} + 2 (1 \text{ m}) = 9,21 \text{ m}$$

Reemplazando este valor se obtiene:

$$v_r = \frac{(12,611 \text{ m}^3/\text{s})}{(9,21 \text{ m})^2} 0,149 \text{ m/s}$$

Se considera 1,2 m/s el valor para la velocidad de entrada del agua a través de los barrotes.

Se reemplaza los valores en la expresión (35) para obtener el ángulo de inclinación.

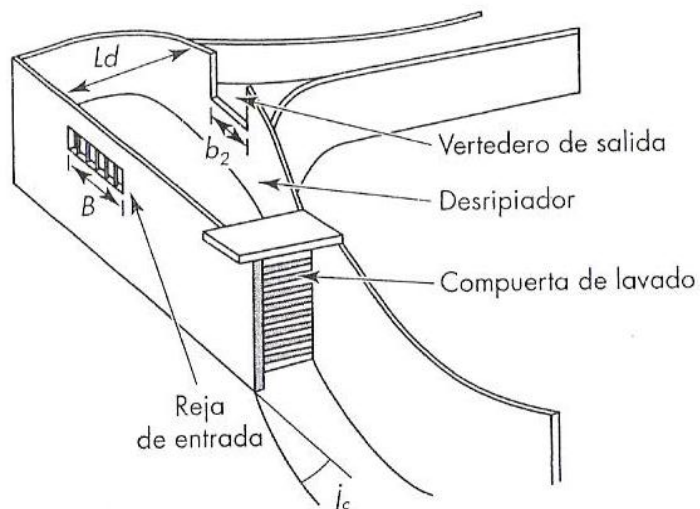
$$\alpha = \arcsin \left[\frac{0,149}{1,2} \right] = 82,88^\circ$$

El ángulo que forma la pared de la toma de agua con respecto a la dirección del río es de $7,12^\circ$.

3.7 Diseño del desripiador

La función del desripiador es detener las piedras que lograron pasar entre los barrotes de la rejilla de entrada.

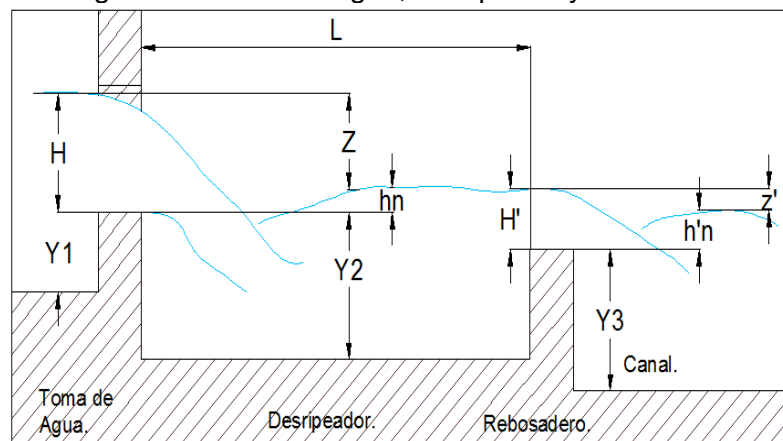
Figura 17. Vista principal del desripiador



Fuente: (ORTIZ, 2011)

3.7.1 Parámetros para el diseño del desripiador.

Figura 18. Toma de agua, desripiador y rebosadero



Fuente: Autores

Tabla 7. Parámetros para el diseño del desripiador

Parámetro	Símbolo	Valor
Caudal de diseño	Q_d	8 m ³ /s
Altura de agua en el rebosadero	H'	1,2 m
Altura del umbral sobre el fondo del canal	Y_3	1,6 m
Desnivel entre las superficies del agua	Z'	0,4 m
Altura del desrieador	Y_2'	0,7 m

Fuente: Autores

3.7.2 *Cálculo del ancho del vertedero.* Se verifica que el desrieador este dentro de los parámetros de un vertedero sumergido con la expresión.

$$\frac{H'}{e_{pared}} > 1,5$$

$$6 > 1,5$$

La elevación del agua bajo el vertedero es:

$$h'_n = 1,2 \text{ m} - 0,4 \text{ m} = 0,8 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación (10) se tiene:

$$s = 1,05 \left(1 + 0,2 \frac{0,8}{0,7} \right) \left(\frac{0,4}{1,2} \right)^{1/3} = 0,89$$

El coeficiente M para vertedero según la ecuación (11):

$$M = \left[0,407 + \left(\frac{0,045 (1,2)}{1,2 + 1,6} \right) \right] \left[1 + 0,285 \left(\frac{1,2}{1,2 + 1,6} \right)^2 \right] \sqrt{2 \cdot 9,81} = 1,987$$

Reemplazando estos valores en la expresión (9) se obtiene el ancho del vertedero.

$$b_2 = \frac{8}{(0,89) (1,987) (1,2)^{3/2}} = 3,426 \text{ m}$$

El nivel del agua bajo el vertedero debe estar por sobre el nivel de la cresta, es decir que exista un valor positivo de h_n y se comprueba con la siguiente expresión:

$$\frac{Z_o}{Y_2} < 0,7 \quad (36)$$

$$Z_o = Z' - \frac{v^2}{2g} \quad (37)$$

Se calcula la velocidad del agua despejando de la ecuación (3) de continuidad:

$$v_{ag} = \frac{Q_d}{A}$$

Donde el área es:

$$A = b_2 H'$$

$$A = (3,426 \text{ m}) (1,2 \text{ m}) = 4,111 \text{ m}^2$$

De donde se obtiene:

$$v_{ag} = \frac{8 \text{ m}^3/\text{s}}{4,111 \text{ m}^2} = 1,946 \text{ m/s}$$

Remplazando en la expresión (37):

$$Z_o = 0,4 \text{ m} - \frac{(1,946 \text{ m/s})^2}{2 (9,81 \text{ m/s}^2)} = 0,207 \text{ m}$$

Y comprobando la condición (36):

$$0,296 < 0,7$$

Se concluye que el vertedero actúa como uno de pared delgada y sumergida.

3.7.3 Cálculo del ancho del desripiador. Se establece que el ancho del desripiador es igual a una transición que uniera los anchos de la reja y el vertedero, se calcula con la expresión (16).

$$L_d = \frac{7,21 \text{ m} - 3,426 \text{ m}}{2 \tan 12,5^\circ} = 8,534 \text{ m}$$

3.7.4 *Diseño de la compuerta de lavado del desripador.* Debe dejarse una compuerta que se conecta con el canal de desfogue para poder eliminar las piedras que se encuentran en el fondo del desripador, el canal debe tener una gradiente suficiente para lograr que todas las piedras sean arrastradas, es por esta razón que la velocidad del agua no debe ser inferior a 2 m/s.

La apertura de la compuerta se considera de 1,6 m con un ancho de compuerta de 1,2 m. Se establece que la altura H_e es de 2 m, reemplazando los valores en la relación se obtiene:

$$\frac{a_c}{H_e} = 0,8$$

Con este valor se procede a encontrar el coeficiente E con la ayuda del Anexo D.

$$E = 0,72$$

Remplazando los parámetros en la ecuación (12) se tiene:

$$Q_{cd} = 0,95 (0,72)(1,6)(1,2) \sqrt{2 (9,81) \left(2 + \frac{(5)^2}{2 (9,81)} - (0,72)(1,6) \right)} = 8,474 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acuerdo al valor obtenido, se observa que el caudal que pasa por la compuerta es superior al caudal de captación, lo que significa que las dimensiones son las apropiadas.

3.7.5 *Gradiente del canal.* Para que la compuerta cumpla con su objetivo, el canal debe tener una pendiente elevada, la misma que se determina con la expresión:

$$J = \frac{v_{ag}^2 n_d^2}{R^{4/3}} \quad (38)$$

Donde:

J = Gradiente del canal

n_d = Coeficiente de rugosidad

R = Radio hidráulico [m]

El coeficiente de rugosidad se lo puede observar en el Anexo E, debido a la existencia de piedras en el fondo se tomara un valor de n igual a 0,025.

El radio hidráulico es:

$$R = \frac{A_c}{P_{md}}$$

Donde:

A_c = Sección del caudal [m^2]

P_{md} = Perímetro mojado en el desripiador [m]

$$A_c = a_c b_c$$

$$A_c = (1,6 \text{ m}) (1,2 \text{ m}) = 1,9 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado se calcula con la expresión:

$$P_{md} = 2 a_c b_d \sqrt{1 + m^2}$$

Donde:

m = Talud de las paredes para un suelo semi rocoso = 0,6.

b_d = Altura del desripiador.

a_c = Ancho del desripiador

Tabla 8. Valores de m para diferentes tipos de suelos

Materiales	Bajo Agua	Sobre Agua
Arenas finas	3,0 - 3,5	2,5
Suelos limo arenosos	2,0 - 2,5	2
Suelos limo arcillosos	1,5 - 2,0	1,5
Arenas gruesas y gravas	1,0 - 1,5	1
Arcillas comunes y loes	1,0 - 1,5	1
Arcillas compactas	1,0 - 1,25	0,5 - 1,0
Suelo semi rocoso	0,25 - 1,0	0 - 0,25
Suelo rocoso	0,1 - 0,5	0 - 0,25

Fuente: (KROCHIN, 1986)

Se toma una altura del desripiador de 1 m, para el cálculo del perímetro mojado obteniendo:

$$P_{md} = 2 (1,6)(1)\sqrt{1 + (0,6)^2} = 3,73 \text{ m}$$

Remplazando los parámetros obtenidos se tiene el radio hidráulico:

$$R = \frac{1,9 \text{ m}^2}{3,73 \text{ m}} = 0,51 \text{ m}$$

El resultado de la expresión (38) es:

$$J = \frac{(5)^2 (0,025)^2}{(0,51)^{4/3}} = 0,038$$

3.7.6 *Diseño de la transición a la entrada de la tubería.* El agua sale por medio del vertedero pasando a una tubería de conducción, y entre los dos se intercala una transición, para que el cambio de sección se haga en forma gradual.

La longitud de la transición se calcula con la ecuación (17)

$$L_{td} = 4 (1,956 \text{ m}) = 7,824 \text{ m}$$

La pendiente de fondo está ligada a la topografía del terreno aunque se debe tener en cuenta la disminución de las posibilidades de ahogo del vertedor.

3.8 Diseño del sistema de conducción

Mediante el estudio topográfico se determinó las características del terreno, estableciendo tres tramos de conducción desde la captación hasta el tanque de carga, los mismos que se presentan a continuación:

Tabla 9. Tramos y distancias del sistema de conducción

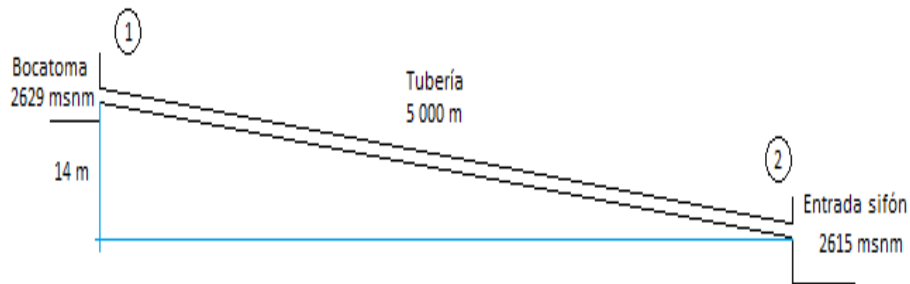
Tramo	Elemento	Distancia [m]
1	tubería	5 000
2	sifón	419,56
3	tubería	750

Fuente: Autores

3.8.1 *Tubería de conducción en el tramo 1.* Los tramos 1 y 3 de conducción no poseen accesorios, ya que en el trazado de ellos las curvas poseen grandes radios, por lo que no se considera la existencia de pérdidas en accesorios.

3.8.1.1 *Selección del diámetro de la tubería de conducción.*

Figura 19. Esquema de la conducción en el tramo 1



Fuente: Autores

Para seleccionar el diámetro de tubería, se realiza un balance de energía en los puntos 1 y 2, que se encuentran representados en la figura 19.

El sistema funciona a presión atmosférica y la velocidad es la misma, por lo que la expresión (5) se reduce a:

$$z_1 - z_2 = H_T$$

La longitud entre los puntos es de 5 000 m y se establece el nivel de referencia en el punto 2, en la bocatoma la altura es de 2 629 m s.n.m. y en el tanque de entrada al sifón es de 2 615 m s.n.m. esto quiere decir que hay una diferencia de nivel de 14 m.

Se debe aumentar un 20% al caudal de diseño como medida de seguridad.

$$Q_s = Q_d + (0,2 Q_d)$$

Donde:

Q_s = Caudal de seguridad

$$Q_s = 8 \text{ m}^3/\text{s} + (0,2)(8 \text{ m}^3/\text{s}) = 9,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Remplazando la expresión (4) en la ecuación (3) y despejando la velocidad se obtiene:

$$V_{t1} = \frac{4 Q_s}{\pi d_t^2}$$

La ecuación de velocidad se reemplaza en la ecuación (6) de pérdidas primarias o por longitud de tubería y se obtiene:

$$H_f = \frac{8 \lambda L Q_s^2}{\pi^2 g d_t^5}$$

Inicialmente se asume un valor para el coeficiente de pérdidas primarias de λ igual a 0,02.

Las pérdidas secundarias únicamente son consideradas a la entrada y salida, puesto que no posee accesorios y la trayectoria no tiene grandes radios de curvatura. Se reemplaza la ecuación de la velocidad expresada en función del diámetro y el caudal de diseño en la expresión (7) y se obtiene:

$$H_s = k_s \frac{8 Q_s^2}{\pi^2 g d_t^4}$$

El coeficiente de pérdidas secundarias se encuentra en el Anexo F, se tomara el valor de 0,5 para la entrada y de 1 para la salida, es decir:

$$k_s = 1,5$$

Las pérdidas totales en el sistema son igual a la suma de las pérdidas primarias más las pérdidas secundarias.

$$H_T = \frac{8 \lambda L Q_s^2}{\pi^2 g d_t^5} + \frac{8 k_s Q_s^2}{\pi^2 g d_t^4}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$14 = \frac{761,489}{d_t^5} + \frac{11,422}{d_t^4}$$

De la expresión anterior se despeja el diámetro de la tubería (d_t).

$$d_t = 2,239 \text{ m}$$

El número de Reynolds se calcula con la expresión (8), donde el valor de la viscosidad cinemática del agua a 5 °C se encuentra en el Anexo G.

$$v = 1,519 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

$$Re = 3,59 * 10^6$$

La rugosidad absoluta para la tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) se toma del Anexo E.

$$\epsilon = 0,029 \text{ mm}$$

Con los valores obtenidos de Reynolds y la rugosidad relativa (ϵ/d), se ingresa al diagrama de Moody, que se encuentra en el Anexo H para determinar el valor de λ . Se realiza este proceso iterativo hasta conseguir el valor real.

Tabla 10. Iteraciones para hallar el diámetro de la tubería

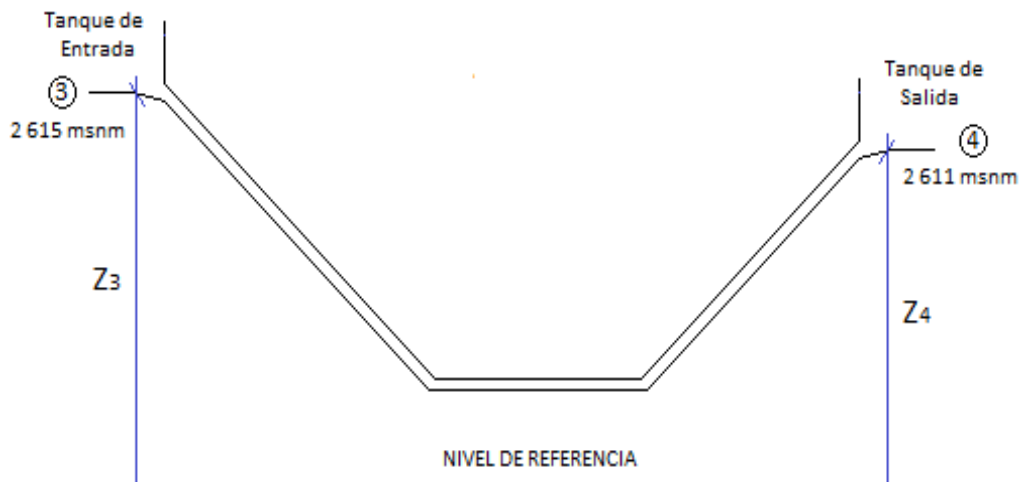
Parámetro	Iteraciones		
d_t [m]	2,239	1,9656	1,9582
Re	3 590 000	4 093 817,087	4 109 287,54
ϵ/d	1,29522E-05	1,47538E-05	1,481E-05
λ_1	0,0102	0,01	0,01

Fuente: Autores

Se utilizara para la conducción tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) con un diámetro nominal de 2 000 mm y un diámetro interior de 1956,8 mm.

3.8.2 *Diseño del sifón.* Para cruzar la quebrada denominada Violingwayco ubicada en las coordenadas 779217 de longitud y 9831026 de latitud, se debe recurrir a la solución más conveniente, que en este caso es el sifón, el tanque de entrada se encuentra ubicado a 2 615 m s.n.m. y el tanque de salida está a 2 615 m s.n.m.

Figura 20. Esquema del sifón tramo 2



Fuente: Autores

Las dimensiones del diámetro de la tubería del sifón se determinan en función de la descarga que pasara y de la velocidad.

La velocidad en sifones grandes es de (2,5 - 3,5) m/s, que evita el depósito de azolves en el fondo y que no es tan grande como para que pueda producir erosión.

En la expresión (3) se reemplaza el área y se despeja el diámetro, obteniendo la siguiente expresión:

$$d_s = \sqrt{\frac{4 Q_d}{\pi v_s}}$$

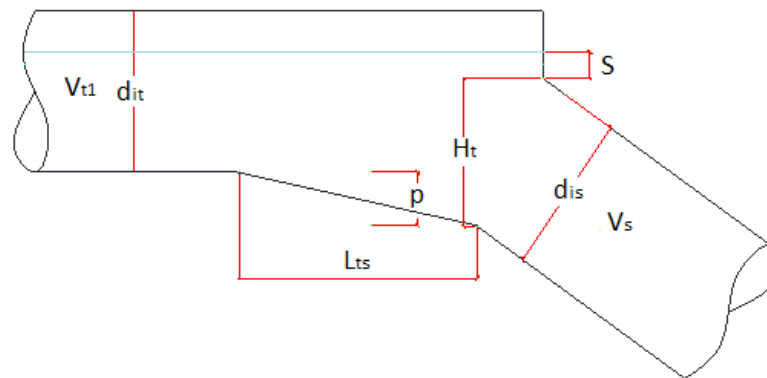
Tomando un valor para la velocidad de 3,5 m/s se obtiene:

$$d_s = \sqrt{\frac{4 (8 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi (3,5 \text{ m/s})}} = 1,7 \text{ m}$$

Se utiliza tubería de acero de diámetro nominal de 68 pulgadas y diámetro interno de 1 707,2 mm.

Cálculo de la transición a la entrada del sifón. Tanto a la entrada como a la salida del sifón se ubican tanques denominados transiciones, que sirven para garantizar que la tubería este siempre llena.

Figura 21. Esquema de la transición a la entrada



Fuente: Autores

$$H_t = \frac{d_s}{\cos \theta} \quad (39)$$

Donde:

H_t = Altura de la transición a la entrada

θ = ángulo de deflexión a la entrada del sifón.

$$H_t = 1,716 \text{ m}$$

$$\frac{3 d_s}{4} \geq p \geq \frac{d_s}{2}$$

Donde:

p = altura de la inclinación

$$1,280 \text{ m} \geq p \geq 0,854 \text{ m}$$

$$d_{it} + p - H_t > S > 0,076$$

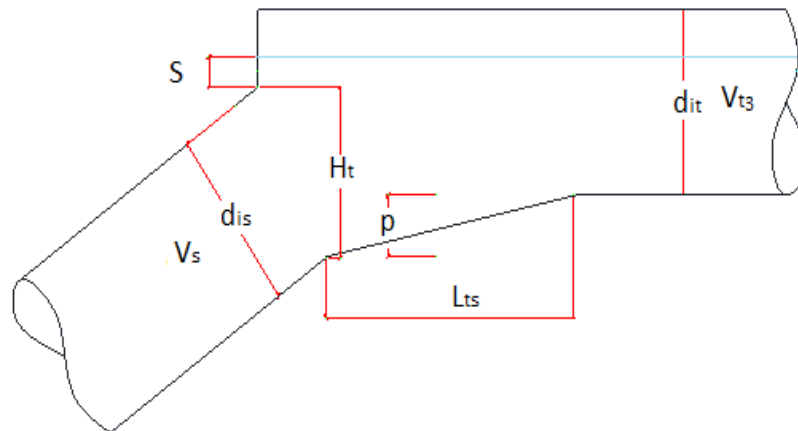
$$1,095 \text{ m} > S < 0,076 \text{ m}$$

La longitud de la transición a la entrada se calcula utilizando la expresión (17).

$$L_{ts} = 4 (1,707 \text{ 2 m}) = 6,829 \text{ m}$$

Cálculo de la transición a la salida del sifón.

Figura 22. Esquema de la transición a la salida



Fuente: Autores

Con la ecuación (39) se calcula la altura de la transición a la salida.

$$H_t = 1,801 \text{ m}$$

El valor de p es el mismo tanto en la transición a la entrada como en la transición a la salida.

$$d_{it} + p - H_t > S > \frac{H_t}{6}$$

$$1,009 \text{ m} > S > 0,30 \text{ m}$$

La longitud de la transición a la salida se calcula utilizando la expresión (17) como se observa a continuación.

$$L_{ts} = 4 d_{it}$$

$$L_{ts} = 4 (1,9568 \text{ m}) = 7,827 \text{ m}$$

Pérdidas en el sifón. El sifón funciona por diferencia de cargas, se debe cumplir que la variación de altura debe ser mayor a la suma de todas las pérdidas que se generan, por ende se debe analizar en las posiciones 3 y 4 como se encuentra representada en la figura 20.

Tabla 11. Parámetros para calcular las pérdidas en el sifón

Parámetro	Símbolo	Valor
Rugosidad absoluta	ϵ	0,046 mm
Rugosidad relativa	ϵ/d	0,000023
Viscosidad cinemática del agua a 5 °C	ν	1,519E-6 m ² /s
Diámetro interno del sifón	d_s	1 707,2 mm

Fuente: Autores

Reemplazando el valor de la velocidad y el diámetro en la ecuación (8) se obtiene el número de Reynolds para el sifón.

$$Re = 3\,927\,877,45$$

Con la rugosidad y el número de Reynolds se halla el valor de λ en el Anexo H correspondiente al diagrama de Moody.

$$\lambda_2 = 0,0105$$

Se calcula las pérdidas por longitud en el sifón utilizando la fórmula (6).

$$H_{f2} = \frac{(0,0105) (420 \text{ m}) (3,5 \text{ m/s})^2}{2 (9,81 \text{ m/s}^2) (1,707 \text{ m})} = 1,607 \text{ m}$$

Las pérdidas en los codos se calculan con la expresión (7):

$$H_{s2} = \Sigma k_c \frac{v_s^2}{2g}$$

Dónde k_c es el coeficiente de pérdidas en codos y es igual a:

$$k_c = 0,25 \sqrt{\frac{\theta}{90}}$$

Donde:

K_c = Pérdidas en codos

θ = ángulo de deflexión

Tabla 12. Coeficiente de pérdidas en codos del sifón

Codos	Ángulo	k_c
1	5,710593	0,06297372
2	20,809809	0,12021338
3	5,208738	0,06014299
4	14,431277	0,10010854
5	13,243613	0,09590075
6	8,603372	0,07729530
7	28,727372	0,14124292
8	42,025559	0,17083447
9	14,135253	0,09907647
10	11,221130	0,08827486
11	20,501707	0,11932014
12	18,609730	0,11368124
Total k_c		1,24906479

Fuente: Autores

$$H_{s2} = 0,778 \text{ m}$$

Las pérdidas que se originan por la válvula de limpieza se deben considerar como perdidas por bifurcación de tuberías, pero en vista de que se consideran muy pequeñas se desprecia.

Las pérdidas totales serán igual a la suma de las pérdidas por longitud más las perdidas en codos.

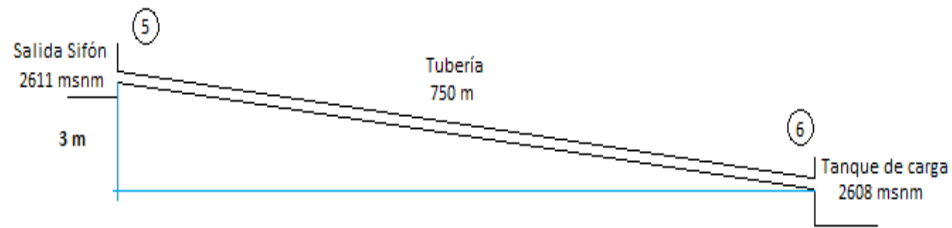
$$H_{T2} = 2,338 \text{ m}$$

Para mayor seguridad las pérdidas totales se deben incrementar en un 10%, Es decir serán de 2,572 m.

La variación de alturas es de 4 m y las pérdidas son 2,572 m, lo que garantiza el correcto funcionamiento del sifón.

3.8.3 *Tubería de conducción Tramo 3.* La longitud entre los puntos es de 750 m y se establece el nivel de referencia en el punto 5, en el tanque de salida del sifón la altura es de 2 611 m s.n.m. y en el tanque de carga es de 2 608 m s.n.m. esto quiere decir que se tiene una diferencia de nivel de 3 m.

Figura 23. Esquema de conducción tramo 3



Fuente: Autores

Utilizando la ecuación (3) de continuidad se calcula la velocidad

$$v_{t3} = \frac{4 (9,6 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi (1,9568 \text{ m})^2} = 3,192 \text{ m/s}$$

El número de Reynolds se calcula con la expresión (8)

$$Re = \frac{(3,192 \text{ m/s})(1,9568 \text{ m})}{(1,519 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 4\,713\,452$$

Con este valor y el de la rugosidad, ingresamos al diagrama de Moody que se encuentra en el Anexo H, y se obtiene:

$$\lambda_3 = 0,01$$

Con la expresión (6) se obtiene las pérdidas primarias.

$$H_{f3} = \frac{0,01 (750 \text{ m}) (3,192 \text{ m/s})^2}{2 (9,81 \text{ m/s}^2) (1,9568 \text{ m})} = 1,991 \text{ m}$$

Se consideran las pérdidas secundarias al igual que en el tramo 1, a la entrada y salida de la tubería.

$$k_{s3} = 1,5$$

Las pérdidas secundarias se calculan con la ecuación (7)

$$H_{s3} = 1,5 \frac{(3,192 \text{ m/s})^2}{2 (9,81 \text{ m/s}^2)} = 0,779 \text{ m}$$

Las pérdidas totales son:

$$H_{T3} = 2,77 \text{ m}$$

La diferencia de nivel es mayor a las pérdidas en este tramo, lo que significa que el diseño es correcto.

3.9 Diseño del desarenador

La velocidad de sedimentación de las partículas de acuerdo a su tamaño se encuentran en el Anexo I donde se toma una velocidad de:

$$v_s = 0,0944 \text{ m/s}$$

La velocidad horizontal v_h en la cámara de sedimentación oscila entre (0,1 - 0,4) m/s y la profundidad media entre (1,5 – 4,0) m, se toma los siguientes valores:

$$v_h = 0,4 \text{ m/s}$$

$$d_d = 2 \text{ m}$$

La fuerza de empuje es igual a:

$$W = 0,152 v_s$$

Donde v_s es la velocidad de sedimentación.

$$W = 0,014 \text{ m/s}$$

3.9.1 *Cálculo de la longitud de la base del desarenador.* Para el cálculo de la longitud de la base del desarenador se utiliza la ecuación (18), con un factor de seguridad igual a 2.

$$L_d = \frac{v_h}{v_s} d_d f$$

$$L_d = 2 \left(\frac{0,4 \text{ m/s}}{0,0944 \text{ m/s}} \right) (2 \text{ m}) = 16,95 \text{ m}$$

3.9.2 *Cálculo del ancho del desarenador.* Se utiliza la ecuación (19)

$$B' = \frac{(8 \text{ m}^3/\text{s})}{(0,4 \text{ m/s})(2 \text{ m})} = 10 \text{ m}$$

3.9.3 *Cálculo de la capacidad del tanque colector.*

$$m = Q_d t S$$

Donde:

t = Período de tiempo de vaciado [s]

S = Sedimentos transportados [Kg/m^3]

Se puede afirmar de acuerdo a las pruebas realizadas que se trabaja con agua relativamente baja en porcentaje de turbidez, por lo que se considera que transporta sedimentos a razón de:

$$S = 0,05 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

Considerando el vaciado del tanque una vez por semana, se tiene un tiempo de:

$$t = 604\,800 \text{ s}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación se obtiene:

$$m = (8 \text{ m}^3/\text{s}) (604\,800 \text{ s})(0,05 \text{ Kg}/\text{m}^3) = 241\,920 \text{ kg}$$

Por recomendaciones de seguridad se debe aumentar la masa en un 100%, es decir:

$$m_R = 483\,840 \text{ Kg}$$

3.9.4 *Cálculo del volumen del sedimento.*

$$V_{sd} = \frac{m_R}{\rho_{arena}}$$

La densidad de la arena se la encuentra en el Anexo E y corresponde a:

$$\rho_{\text{arena}} = 2\,600 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{sd}} = \frac{483\,840 \text{ Kg}}{2\,600 \text{ kg/m}^3} = 186,09 \text{ m}^3$$

3.9.5 *Cálculo de la profundidad del colector.* Se calcula con la expresión (20)

$$d_r = \frac{186,09 \text{ m}^3}{(10 \text{ m})(16,95 \text{ m})} = 1,09 \text{ m}$$

3.9.6 *Cálculo de la transición de la entrada del desarenador*

$$L_e = 1,5 * B'$$

$$L_e = 1,5 (10 \text{ m}) = 15 \text{ m}$$

3.9.7 *Cálculo del tiempo de captación.*

Tiempo de decantación:

$$t_d = \frac{L_d}{v_h} \tag{40}$$

$$t_d = 42,37 \text{ s}$$

Tiempo de sedimentación:

$$t_s = \frac{d_d}{v_s - W} \tag{41}$$

$$t_s = 24,98 \text{ s}$$

$$t_d \geq t_s \tag{42}$$

$$42,37 \geq 24,98$$

La condición expresada en la ecuación (42) se cumple, asegurando que las partículas se decantaran en el tanque del desarenador.

3.10 Cámara de carga

Es la estructura que une el sistema de baja presión con el de alta, se caracterizan por tener diferentes velocidades. Se utiliza 2 tuberías en paralelo, dividiendo el caudal en dos partes iguales. Se debe considerar el volumen que este alojara y la altura mínima que se tendrá sobre la tubería de presión.

3.10.1 *Cálculo del volumen del tanque de presión.* Es necesario conocer dos parámetros fundamentales; como la velocidad del agua en la conducción y la sección transversal de la conducción.

$$v_{t3} = 3,192 \text{ m/s}$$

De la ecuación (3) se despeja la sección transversal.

$$A_c = \frac{8 \text{ m}^3/\text{s}}{3,192 \text{ m/s}} = 2,506 \text{ m}^2$$

Se calcula el volumen del tanque de presión, mediante la ecuación (21):

$$V_T = \frac{0,693 (2,506 \text{ m}^2) (3,192 \text{ m/s})^2}{(0,01) (9,81 \text{ m/s}^2)} = 180,371 \text{ m}^3$$

3.10.2 *Cálculo del diámetro de tubería de presión según Bondush*

Se realiza dos trazados de tubería de presión en paralelo, el caudal de diseño se divide, es decir que por cada ramal pasa 4 m³/s.

El valor de la altura de sobrepresión causada por el fenómeno de golpe de ariete, es igual al 30% de la altura bruta.

Estos valores se reemplazan en la ecuación (22) y se obtiene:

$$D_{Tp} = 1,27 \frac{(4)^{0,4268}}{(182 + 54,6)^{0,1423}} = 1,056 \text{ m}$$

Para la tubería de presión se utiliza acero de diámetro nominal igual a 44 pulgadas y un diámetro interno de 1 101,6 mm.

3.10.3 *Cálculo de la altura mínima de agua sobre la tubería de presión para la salida longitudinal del flujo*

$$h_{Tp} = 0,724 v_{Tp} d_{Tp} \quad (43)$$

Donde:

v_{Tp} = Velocidad del agua en la tubería de presión [m/s]

d_{Tp} = Diámetro interno de la tubería de presión [m]

Según el manual de hidráulica de Azevedo Acosta, menciona que en tuberías de presión en centrales hidroeléctricas, la velocidad máxima que pase por estas debe estar en el rango de 1,5 – 4,5 m/s, para así evitar y controlar el desgaste por erosión del material y los efectos dinámicos como sobrepresiones, se asume un valor intermedio de 3 m/s.

$$h_{Tp} = 0,724 (3,192)(1,1016) = 2,393 \text{ m}$$

3.10.4 *Cálculo de la longitud del tanque de presión*

$$L_{Tp} = 1,27 \frac{V_T}{B h_{Tp}} \quad (44)$$

$$L_{Tp} = 1,27 \frac{180,371 \text{ m}^3}{(10 \text{ m})(2,393 \text{ m})} = 9,573 \text{ m}$$

3.10.5 *Cálculo del aliviadero.* En este caso se determinara en base a la situación más crítica, que es cuando debe rebosar todo el caudal captado, en este caso el caudal vertido es igual a:

$$Q_v = \frac{2}{3} M B \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (45)$$

Donde:

Q_v = Caudal vertido = 8 m³/s

B = ancho del aliviadero

H = altura del vertedero

M = coeficiente para aliviadero de cresta gruesa = 0,50

Se toma una altura de vertedero de 1 m y de la expresión (45) se despeja el ancho del aliviadero.

$$B = \frac{3 (8 \text{ m}^3/\text{s})}{2 (0,5) \sqrt{2 (9,81) (1)^{3/2}}} = 5,42 \text{ m}$$

3.10.6 *Rejillas.* Las rejillas se hacen de hierro (pletinas) de sección de 20 x 5 mm, están instaladas en paneles de 2,5 m de ancho. La separación entre barrotes para turbinas Pelton de acuerdo a Sokolov está entre (20 - 65) mm, se tomara 50 mm. Están inclinadas con la horizontal un ángulo de 50°, considerando que la limpieza se la va a realizar a mano.

3.10.7 *Golpe de ariete.* Si una válvula se cierra parcial o totalmente, se produce el efecto de propagación de ondas de presión dentro de la tubería, es por ello que es indispensable el estudio del mismo.

Se calcula la velocidad de onda de presión con la ecuación (23)

$$v_s = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + (0,5) \frac{(1,1016)}{(0,01)}}} = 170,443 \text{ m/s}$$

Tiempo que demora la onda de presión, desde el órgano de control hasta el tanque de presión y su regreso. Para ello se utiliza la fórmula:

$$t = \frac{2 L_{Tp}}{v_s}$$

Donde:

L_{Tp} = longitud de la tubería de presión = 420 m

v_s = Velocidad de onda de presión [m/s]

$$L_d = \frac{v_h}{v_s} d_d f = \frac{2(420 \text{ m})}{170,443 \text{ m/s}} = 4,928 \text{ s}$$

Se asume un valor de tiempo de maniobra de cierre t' al órgano de control superior al tiempo t calculado:

$t' > t$ Para esto se sumarán 6 segundos adicionales al tiempo t .

$$t' = t + 6 \text{ s}$$

$$t' = 10,928 \text{ s}$$

Finalmente se calcula la altura equivalente debido al golpe de ariete con la fórmula (24):

$$h_s = \frac{8 (420 \text{ m}) (4 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi (9,81 \text{ m/s}^2) (10,928 \text{ s})(1,1016 \text{ m})^2} = 25,801 \text{ m}$$

3.11 Tubería de Presión

3.11.1 *Material de la tubería de presión.* Se utilizara tubería de acero, ya que ofrece prestaciones como resistencia al impacto, factor de fricción regular, una excelente durabilidad y una facilidad de montaje adecuada.

La unión de la tubería de acero se la realiza generalmente mediante soldadura, aunque en algunos casos se pueden utilizar otros métodos.

Se calcula la velocidad del agua que fluye por las diferentes tuberías, utilizando la ecuación (3) de continuidad, reemplazando el valor de la sección y posteriormente despejando la velocidad.

$$v_{Tp} = \frac{4 (4 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi (1,1016 \text{ m})^2} = 4,197 \text{ m/s}$$

3.11.2 *Pérdidas en la tubería de presión.* Se clasifican dependiendo en donde se las produzca, las pérdidas primarias que son las pérdidas de energía por el rozamiento del agua con las paredes de la tubería.

Las pérdidas secundarias son las existentes a la entrada y salida de la tubería, en los accesorios utilizados a lo largo de la tubería de presión.

Tabla 13. Parámetros para calcular las pérdidas en la tubería de presión

Parámetro	Símbolo	Valor
Caudal en la tubería de presión	Q_{Tp}	4 m ³ /s
Longitud de la tubería	L_{Tp}	420 m
Diámetro interno de la tubería	D_i	1,101 6 m
Rugosidad absoluta	ϵ	0,046 mm
Rugosidad relativa	ϵ/d	0,000042
Viscosidad cinemática del agua a 5 °C	ν	1,519E-6 m ² /s

Fuente: Autores

Pérdidas primarias o de superficie. Se calcula con la expresión (6)

El número de Reynolds está dado por la ecuación (8) donde:

$$Re = \frac{(4,197 \text{ m/s}) (1,101 6 \text{ m})}{(1,519 \text{ E} - 6 \text{ m}^2/\text{s})} = 3 043 606$$

Con los parámetros anteriores se ingresa al diagrama de Moody que está en el Anexo H y se halla el coeficiente de pérdidas primarias para la tubería de presión, se reemplaza en la ecuación y se obtiene el resultado.

$$\lambda = 0,011$$

$$H_{fTp} = \frac{0,011 (420 \text{ m}) (4,197 \text{ m/s})^2}{2 (9,81 \text{ m/s}^2) (1,101 6 \text{ m})} = 3,765 \text{ m}$$

Pérdidas secundarias o de forma. Se utiliza la ecuación (7) para calcular.

Pérdidas secundarias en rejilla.

$$H_{sr} = k_R \frac{v_{Tp}^2}{2g}$$

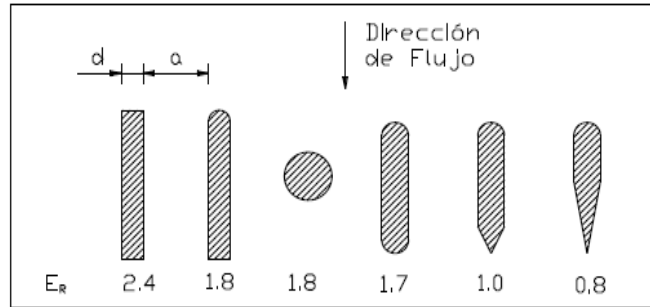
Donde:

H_{sr} = Pérdidas secundarias en rejilla [m]

v_{Tp} = Velocidad en la tubería de presión [m/s]

k_R = Coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo de la forma de los barrotes

Figura 24. Coeficiente de pérdidas en la rejilla



Fuente: (FREIRE, 2010)

Se escoge un perfil circular, por lo cual se tiene:

$$H_{sr} = 1,616 \text{ m}$$

Pérdidas secundarias en la entrada a la tubería.

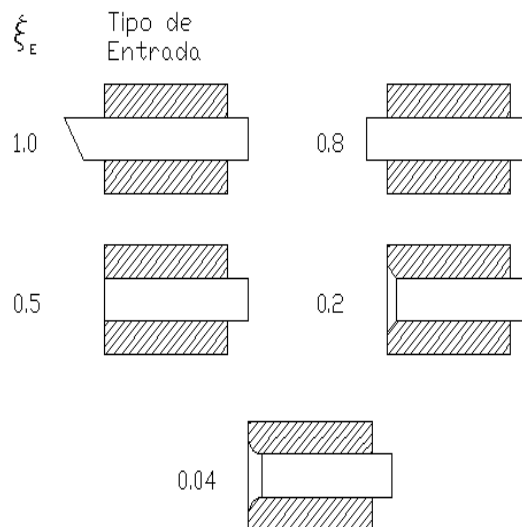
$$H_{se} = k_E \frac{v_{Tp}^2}{2g}$$

Donde:

H_{se} = Pérdidas secundarias por entrada a la tubería [m]

k_E = Coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo de la forma de entrada = 0,5

Figura 25. Coeficiente de entrada a la tubería



Fuente: (ORTIZ, 2011)

$$H_{se} = 0,449 \text{ m}$$

Pérdidas secundarias por codos.

$$H_{sc} = \sum k_c \frac{v_{TP}^2}{2g}$$

Donde:

H_{sc} = Pérdidas secundarias en codos circulares en función del ángulo [m]

v_{TP} = velocidad en la tubería de presión [m/s]

k_c = Coeficiente de pérdidas en codos

Para calcular el coeficiente de pérdidas en los codos se utiliza la expresión:

$$k_c = 0,25 \sqrt{\frac{\theta}{90}}$$

Tabla 14. Codos en la tubería de presión

Codo	Pendiente	k_c
1	18,8765036	0,114493157
2	15,9734009	0,105321601
3	34,8499046	0,155567743
4	52,5719945	0,19107153
5	12,0303926	0,091402622
6	12,5885005	0,093498739
7	53,1301024	0,192083066
8	36,2215466	0,158599659
9	36,2215466	0,158599659
10	33,0557312	0,151510293
11	26,1636286	0,134793125
12	6,89210258	0,06918224
13	17,0438466	0,108793403
14	4,98046622	0,058810349
15	0,56418509	0,019793817
16	21,4601277	0,122077297
Total k_c		1,9255983

Fuente: Autores

Se debe conocer el número de codos necesarios que se utilizara en el trazado de la tubería de presión, para lo cual se guía del estudio vertical, el mismo que está representado en los planos y está dividido en tramos.

$$H_{sc} = 1,729 \text{ m}$$

Pérdidas secundarias por presencia de una válvula de control.

$$H_{sv} = k_v \frac{v_{Tp}^2}{2g}$$

Donde:

H_{sv} = Pérdidas secundarias en válvula [m]

k_v = Coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo del tipo de válvula

Tabla 15. Coeficiente de pérdidas en diferentes tipos de válvulas

Tipo	k_v
Válvula tipo de mariposa	0,2 - 0,4
Válvula esférica	0,1
Válvula anular	1,2 - 2,5

Fuente: (ORTIZ, 2011)

Se utiliza una válvula tipo mariposa, con un coeficiente de pérdidas de 0,2.

$$H_{sv} = 0,180 \text{ m}$$

Pérdidas totales. Es igual a la suma de todas las perdidas.

$$H_T = H_{fTp} + H_{sr} + H_{se} + H_{sc} + H_{sv}$$

$$H_T = 7,738 \text{ m}$$

3.11.3 Cálculo del espesor mínimo de la tubería de presión.

$$e' = \frac{5 f_s (H_b + H_s) 10^6 D K_j}{\delta t} + K_c \quad (46)$$

Donde:

e' = Espesor teórico de la tubería [mm]

f_s = Factor de seguridad = 2

K_j = Factor de junta (para el acero se utilizan juntas soldadas = 1,1)

K_c = Factor de corrosión a 20 años de vida útil (para el acero = 2 mm)

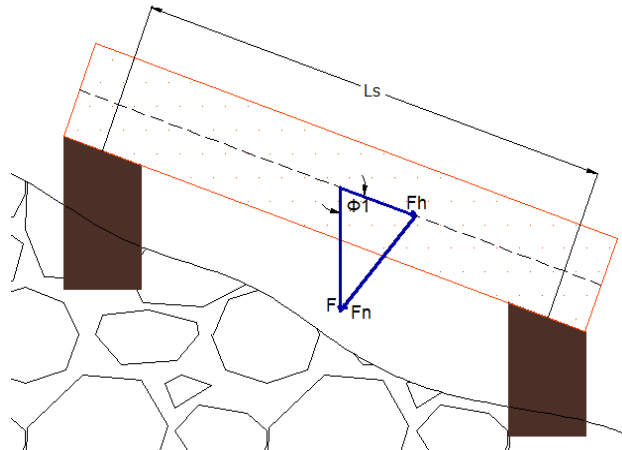
h_s = Sobrepresión por golpe de ariete = 25,801 m

δ_t = Resistencia última a la rotura del material (para el acero $\delta_t = 415$ MPa).

$$e' = 8,942 \text{ mm}$$

3.11.4 Cálculo de las tensiones en la tubería de presión.

Figura 26. Esfuerzos sobre la tubería de presión



Fuente: (ORTIZ, 2011)

Tensión tangencial por golpe de ariete. Si se produce el fenómeno de golpe de ariete sobre la tubería, esta tiende a aumentar su diámetro, ya que estará sometida a esfuerzos tangenciales.

$$\delta_{ta} = \frac{P_s D}{2 e}$$

Donde:

P_s = Presión actual por golpe de ariete [Pa]

e = Espesor nominal de la tubería [m].

D = Diámetro nominal de la tubería de presión.

La presión actual por golpe de ariete se calcula con la expresión:

$$P_s = (H_b + h_s) \rho_{\text{aguas}} + P_a$$

Donde:

H_b = Altura bruta [m]

h_s = Sobre presión por golpe de ariete [m]

ρ_{agua} = Densidad del agua a 5°C = 1000 kg/m³

P_a = Presión atmosférica a 2 590,8 m s.n.m [Pa].

En el Anexo J, se encuentra que para una altitud de 2 590,8 m s.n.m. se tiene una presión atmosférica de 73 860,38 Pa.

$$P_s = 2\,043\,718,19 \text{ Pa}$$

Con esta presión se obtiene la tensión tangencial por golpe de ariete.

$$\delta_{ta} = 1\,455,68 \text{ kgf/cm}^2$$

Cálculo de la tensión longitudinal por variación de la temperatura. La tubería al someterse a variaciones de temperatura, sufre dilataciones, puesto que está apoyada de forma rígida al suelo existirán esfuerzos longitudinales.

$$\delta_{te} = E \alpha (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad del material (para acero al carbono 207 GPa)

α = Coeficiente de dilatación térmica (para acero al carbono $12 \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$)

T_{max} = Temperatura máxima de la zona [°C]

T_{min} = Temperatura mínima de la zona [°C].

La parroquia El Altar recibe la influencia de la sierra y la amazonia, posee una temperatura máxima de 18 °C y una mínima de 10 °C.

$$\delta_{te} = 201,72 \text{ kgf/cm}^2$$

Cálculo de la tensión longitudinal por presión hidrostática. Si se cierra totalmente la válvula de control, el agua permanecerá estática dentro de la tubería, ejerciendo sobre las paredes y válvula una presión hidrostática, lo que provoca que el diámetro interno de la tubería tienda a extenderse y al mismo tiempo la longitud de tubería tienda a aumentar su valor.

$$\delta_{tl} = 0,025 \frac{P_s D_i^2}{e (e + D_i)}$$

$$\delta_{tl} = 71,225 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la tensión longitudinal por flexión entre apoyos. La tubería y el agua ejercen una fuerza sobre los apoyos por su peso, estos se comportaran como una viga apoyada, por lo que estará sujeta a esfuerzos de flexión.

$$\delta_f = \frac{F (L_s 100)^2 \text{ sen } \theta}{8 W}$$

Donde:

F = Fuerza que ejerce el agua y el peso de la tubería [kg/cm]

L_s = Longitud entre apoyos [m]

θ = Ángulo complementario al ángulo de la pendiente total aproximada = 60°

W = Momento resistente de la sección transversal de la tubería [cm³]

Para determinar la fuerza F se utiliza la siguiente ecuación:

$$F = \left[\frac{\gamma_t \pi e (D_i + e)}{100} \right] + \gamma_{\text{agua}} \pi \frac{D_i^2}{400}$$

Donde:

F = Fuerza que ejerce el agua y el peso de la tubería [kg/cm]

e = Espesor nominal de la tubería de presión [m]

D_i = Diámetro interno [m]

γ_t = Peso específico de la tubería (para el acero 1 372 kgf/m³)

γ_{agua} = Peso específico del agua = 1 000 kgf/m³

Cálculo de la longitud máxima admisible entre apoyos.

$$L_{ad} = \sqrt[3]{\frac{16}{75} \frac{E I 100}{F}}$$

Donde:

L_{ad} = Longitud máxima admisible entre apoyos [m]

E = Modulo de elasticidad del material = $2,11 \cdot 10^6$ kgf/cm² (Anexo E)

I = Momento de inercia de la tubería [m⁴]

$$L_{ad} = 26,914 \text{ m}$$

Determinación de la longitud entre apoyos.

$$L_s = L_{ad} - \Delta L$$

Donde:

ΔL = Longitud de seguridad (2 m para el acero).

$$L_s = 24,914 \text{ m}$$

De acuerdo al perfil del terreno y a los cálculos realizados se decide tomar una distancia entre apoyos de 20 m.

Se procede a calcular el momento resistente.

$$W = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - D_i^4}{D} 100^3$$

Donde:

W = Momento resistente de la sección transversal de la tubería [cm³]

D = Diámetro de la tubería [m]

$$W = 7\,680,96 \text{ cm}^3$$

Entonces la tensión longitudinal que soporta es:

$$\delta_f = 558,877 \text{ kg/cm}^2$$

Se calcula la tensión longitudinal por variación de pendiente. La pendiente originara que se produzcan tensiones, es por ello que su valor se lo calculara mediante la ecuación:

$$\delta_j = \frac{F L_s \cos\theta}{\pi e (D_i + e) 100}$$

$$\delta_j = 35,549 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo del esfuerzo equivalente.

$$\delta_{eq} = \sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j)^2}$$

$$\delta_{eq} = 1\,694,512 \text{ kg/cm}^2$$

Debe cumplir la condición:

$$\delta_{ad} \geq \delta_{eq}$$

Donde:

$\bar{\delta}_{ad}$ = Esfuerzo admisible [kg/cm²]

$\bar{\delta}_{te}$ = Esfuerzo equivalente [kg/cm²]

El esfuerzo admisible para el acero al carbono según la norma AISI B31.4 es:

$$\delta_{ad} = 1\,771,672 \text{ kg/cm}^2$$

$$1\,771,672 \geq 1\,694,512$$

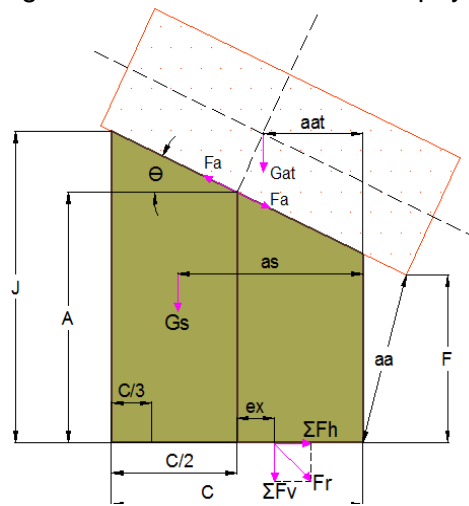
La condición expresada se cumple, esto significa que los parámetros utilizados son correctos.

3.12 Sistemas de Apoyo

Durante todo su trayecto la tubería de presión deberá sostenerse sobre estructuras de concreto denominados apoyos y donde la tubería cambie de dirección se debe colocar anclajes.

3.12.1 Bloques de apoyo

Figura 27. Dimensiones de los apoyos



Fuente: (ORTIZ, 2011)

Altura mínima

$$E_{\min} = 0,25 D_n$$

Donde:

E_{\min} = Altura mínima del apoyo [m]

D_n = Diámetro nominal de la tubería de presión [m]

Ancho del bloque "B"

$$B = 1,5 D_n$$

Donde:

B = Ancho de bloque [m]

Largo del bloque "C"

$$C = 1,9 D_n$$

Donde:

C = Largo de bloque [m]

Altura del bloque "A"

$$A = 1,2 D_n$$

Donde:

A = Altura del bloque [m]

Cálculo de la distancia "J"

$$J = A + 0,5 C \tan \theta$$

Donde:

θ = Pendiente del tramo.

Cálculo de la distancia "F"

$$F = A - 0,5 C \tan \theta$$

Tabla 16. Dimensiones de los apoyos para la tubería de presión

Tramo	distancia	ángulo	N° ap.	E _{min}	B	C	A	J	F
1	34	18,877	1	0,279	1,676	2,123	1,341	1,7041	0,978
4	34	52,572	1	0,279	1,676	2,123	1,676	3,0637	0,289
8	44	36,222	2	0,279	1,676	2,123	1,341	2,1188	0,563
10	44	33,056	2	0,279	1,676	2,123	1,341	2,0321	0,650
11	50	6,892	2	0,279	1,676	2,123	1,341	1,4695	1,213
13	58	17,044	2	0,279	1,676	2,123	1,341	1,6666	1,016
14	73	21,707	3	0,279	1,676	2,123	1,341	1,7638	0,918

Fuente: Autores

Tabla 17. Dimensiones de los apoyos para el sifón

Tramo	distancia	ángulo	N° ap.	B	C	A	J	F
3	52,278	21,312	1	2,591	3,282	2,073	2,7128	1,433
4	41,737	6,880	1	2,591	3,282	2,073	2,2706	1,875
5	43,598	20,124	1	2,591	3,282	2,073	2,6739	1,471
6	64,497	28,727	2	2,591	3,282	2,073	2,9720	1,173
8	43,318	42,026	1	2,591	3,282	2,073	3,5514	0,594
9	32,066	27,890	1	2,591	3,282	2,073	2,9411	1,204
10	42,801	39,111	1	2,591	3,282	2,073	3,4067	0,739

Fuente: Autores

Se emplean 13 apoyos en cada ramal de tubería de presión, puesto que son 2 se utilizaran un total de 26 apoyos. En el sifón se utilizaran 8 apoyos.

3.12.2 Bloques de anclaje. Para el cálculo de los anclajes se debe analizar la tubería en dos tramos: aguas arriba que estará representado por la letra m y aguas abajo que estará representado por la letra j.

En las siguientes tablas, se muestran los diferentes valores que tienen los ángulos θ_1 y θ_2 , los mismos que servirán para dimensionar los anclajes.

Tabla 18. Ángulos en los anclajes de la tubería de presión

Anclaje	θ_1	θ_2
1	0,000	18,877
2	18,877	34,850
3	34,850	0,000
4	0,000	52,572
5	52,572	40,542
6	40,542	53,130
7	53,130	0,000
8	0,000	36,222
9	36,222	0,000
10	0,000	33,056
11	33,056	6,892
12	6,892	0,000
13	0,000	17,044
14	17,044	21,707
15	21,707	0,000

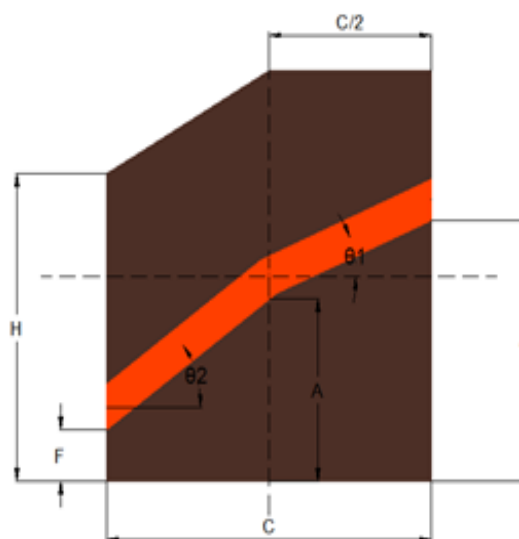
Fuente: Autores

Tabla 19. Ángulos en los anclajes del sifón

Anclaje	θ_1	θ_2
1	0,0000000	5,7105931
2	5,7105931	26,5204022
3	26,5204022	21,3116638
4	21,3116638	6,8803868
5	6,8803868	20,1239998
6	20,1239998	28,7273718
7	28,7273718	0,0000000
8	0,0000000	42,0255591
9	42,0255591	27,8903064
10	27,8903064	39,1114366
11	39,1114366	18,6097295
12	18,6097295	0,0000000

Fuente: Autores

Figura 28. Dimensiones y ángulos en los apoyos



Fuente: (ORTIZ, 2011)

Cálculo de la longitud "A".

$$A = 4 D_n$$

Donde:

D_n = Diámetro nominal de la tubería de presión [m]

Cálculo de la altura del anclaje “B”

$$B = 3 D_n$$

Cálculo del ancho del anclaje “C”

$$C = 3 D_n$$

Cálculo de la distancia inferior entre la base del anclaje y la tubería de presión “F”

$$F = A - 0,5 C \tan \theta_2$$

Donde:

F = Distancia inferior [m]

A = Altura del bloque [m]

C = Ancho de bloque [m]

θ_2 = Ángulo de inclinación de la tubería de presión aguas abajo.

Cálculo de la distancia superior entre la base del anclaje y la tubería de presión “J”.

$$J = A + 0,5 C \tan \theta_1$$

Donde:

J = distancia superior entre la base y la tubería [m]

θ_1 = Angulo de inclinación de la tubería de presión aguas arriba

Cálculo de la altura del anclaje aguas abajo “H”

$$H = 1,5 D_n + F$$

Donde:

H = Altura del anclaje [m]

D_n = Diámetro nominal de la tubería de presión [m]

F = Distancia inferior [m]

Cálculo del volumen de concreto del anclaje “V_C”

$$V_C = V_{tot} - V_t$$

Donde:

V_C = Volumen de concreto del anclaje [m³]

V_{tot} = Volumen total del anclaje [m³]

V_t = Volumen de la tubería dentro del anclaje [m³]

Se calcula cada uno de los parámetros antes mencionados

$$V_{tot} = B \left(\frac{C}{4} 3 (J + 1,5 D_n \cos \theta_1) + H \right)$$

$$V_t = \frac{\pi}{8} C (D_n + 2e) \left(\frac{1}{\cos \theta_1} + \frac{1}{\cos \theta_2} \right)$$

Tabla 20. Dimensiones de los anclajes en la tubería de presión

Anclaje	A	B	C	F	J	H	V _{tot}	V _t	V _C
1	4,470	3,353	3,353	3,897	4,470	7,522	77,044	3,070	73,974
2	4,470	3,353	3,353	3,303	5,044	4,955	59,134	3,396	55,738
3	4,470	3,353	3,353	4,470	5,638	6,706	70,014	3,311	66,702
4	4,470	3,353	3,353	2,280	4,470	3,420	49,156	3,948	45,208
5	4,470	3,353	3,353	3,037	6,661	4,555	71,428	4,420	67,008
6	4,470	3,353	3,353	2,235	5,904	3,353	61,020	4,452	56,568
7	4,470	3,353	3,353	4,470	6,706	6,706	79,017	3,980	75,037
8	4,470	3,353	3,353	3,242	4,470	4,864	53,997	3,343	50,654
9	4,470	3,353	3,353	4,470	5,698	6,706	70,525	3,343	67,182
10	4,470	3,353	3,353	3,379	4,470	5,069	54,685	3,273	51,412
11	4,470	3,353	3,353	4,268	5,561	6,402	68,351	3,284	65,067
12	4,470	3,353	3,353	4,470	4,673	6,706	61,881	2,996	58,885
13	4,470	3,353	3,353	3,956	4,470	5,935	57,588	3,054	54,534
14	4,470	3,353	3,353	3,803	4,984	5,705	61,149	3,168	57,981
15	4,470	3,353	3,353	4,470	5,138	6,706	65,799	3,099	62,700

Fuente: Autores

Se debe utilizar en la tubería de presión 15 anclajes por cada ramal de tubería.

Tabla 21. Dimensiones de los anclajes en el sifón

Anclaje	A	B	C	F	J	H	V _{tot}	V _t	V _c
1	6,909	5,182	5,182	6,650	6,909	9,241	239,172	7,128	232,043
2	6,909	5,182	5,182	5,616	7,168	8,207	238,773	7,546	231,227
3	6,909	5,182	5,182	5,898	8,202	8,489	255,822	7,789	248,032
4	6,909	5,182	5,182	6,596	7,920	9,187	255,679	7,397	248,282
5	6,909	5,182	5,182	5,959	7,221	8,550	241,514	7,367	234,147
6	6,909	5,182	5,182	5,489	7,858	8,080	249,087	7,841	241,247
7	6,909	5,182	5,182	6,909	8,329	9,500	262,688	7,609	255,078
8	6,909	5,182	5,182	4,574	6,909	7,165	228,416	8,341	220,075
9	6,909	5,182	5,182	5,538	9,244	8,128	267,010	8,808	258,201
10	6,909	5,182	5,182	4,802	8,280	7,393	251,151	8,604	242,547
11	6,909	5,182	5,182	6,036	9,015	8,627	266,718	8,333	258,385
12	6,909	5,182	5,182	6,909	7,781	9,500	255,353	7,307	248,047

Fuente: Autores

En el sifón se utilizarán 12 anclajes.

3.13 Altura o salto neto.

Altura neta o salto neto es el resultado de restar las pérdidas de carga totales a lo largo del sistema de tubería de presión de la altura bruta.

$$H_N = H_B - H_{RT} \quad (47)$$

Donde:

H_B = Altura bruta = 182 m

H_{RT} = Pérdidas totales en la tubería de presión = 7,888 m

$$H_N = 182 \text{ m} - 7,888 \text{ m} = 174,112 \text{ m}$$

CAPÍTULO IV

4. SELECCIÓN DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO

Se selecciona dos turbinas Pelton con dos generadores síncronos, ya que las máquinas están expuestas a avería y en el caso de que un grupo de turbina-generador deje de funcionar la producción se reduce a la mitad.

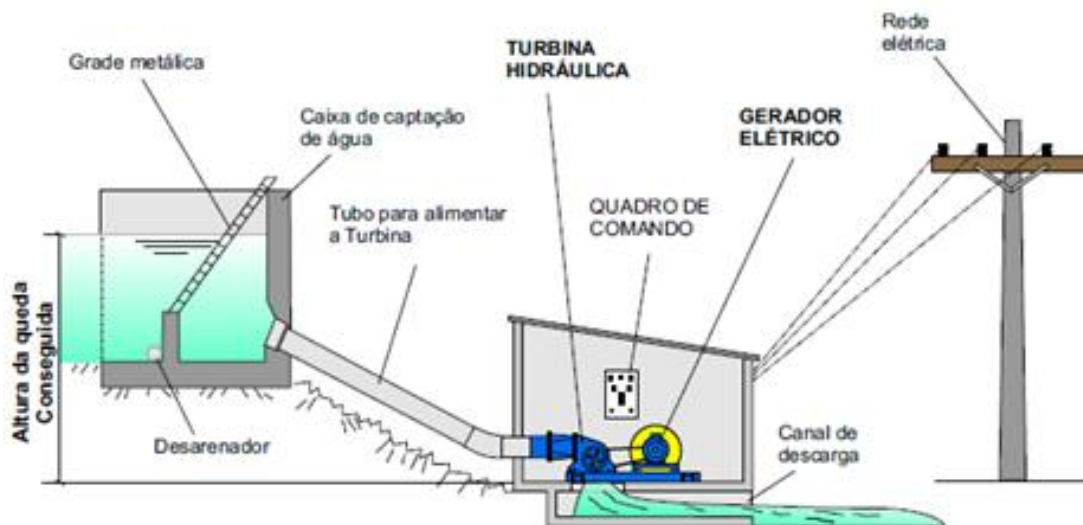
La turbina Pelton es un turbina de acción de flujo tangencial también llamada turbina de impulsión o chorro libre, puede ser de uno o más inyectores (toberas) de sección circular y es un elemento fundamental del sistema de regulación.

4.1 Parámetros fundamentales para la selección

En el presente trabajo se utilizaran criterios y datos ya analizados, no se pretende diseñar el equipo electromecánico si no seleccionar equipos estandarizados por los fabricantes y que se encuentren disponibles en el mercado. Para la selección de la turbina se deben considerar los siguientes parámetros:

- Caudal que fluye a la turbina [m^3/s]
- Altura o salto Neto de la central [m]
- La velocidad de giro de la turbina = 600 rpm

Figura 29. Esquema del conjunto electromecánico de la central



Fuente: <http://www.renovables-energia.com/2009/06/esquema-de-una-central-hidroelectrica/>

4.2 Potencia al eje de la turbina hidráulica

Se calcula la eficiencia del grupo generador con la ecuación (27)

$$\eta_{GR} = (0,9)(0,95)(0,83) = 0,69$$

Este valor, al igual que el de la potencia que se pretende generar se reemplaza en la ecuación (25) y (26) y se obtienen los siguientes resultados:

$$P_T = \frac{10\,000\text{ kW}}{(0,95)(0,83)} = 6\,341,15\text{ kW}$$

$$P_E = (6\,341,15\text{ kW})(0,95)(0,69) = 4\,861\text{ kW}$$

4.3 Potencia del sistema de transmisión turbina-generador

En la central hidroeléctrica "El Altar" se va a producir una continua conversión de energía hidráulica en energía mecánica y de energía mecánica en energía eléctrica en los generadores, la transmisión a utilizarse en el proyecto es de bandas, la potencia del sistema de transmisión se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{TR} = P_T \eta_{TR}$$

Donde:

P_{TR} = Potencia transmitida al generador [kW]

Tabla 22. Eficiencias de los tipos de transmisión para una central hidroeléctrica

Tipo	η_{TR}
Engranajes	0,98
Bandas o fajas en "V"	0,95

Fuente: (SHIGLEY, 2002)

$$P_{TR} = (6\,341,15\text{ kW})(0,98) = 6\,244,09\text{ kW}$$

4.3.1 *Velocidad específica en función de la potencia de la turbina.* Es aquella velocidad a la cual gira un modelo geoméricamente semejante a la turbina real.

$$N_s = \frac{N \sqrt{P_{TR}}}{(H_N)^{5/4}} \quad (48)$$

Donde:

N_s = velocidad específica en función de la potencia [rpm]

N = velocidad de rotación de la turbina [rpm]

H_N = Salto o altura neta [m]

P_{TR} = Potencia al eje de la turbina = 8 621,55 CV

$$N_s = \frac{(600) \sqrt{8\,621,55}}{(174,112)^{5/4}} = 88,086 \text{ rpm}$$

4.3.2 *Velocidad específica en función del caudal.* Es aquella velocidad que se encuentra relacionada con el caudal que fluye a la turbina.

$$N_q = \frac{N \sqrt{Q_{TP}}}{(H_N)^{3/4}} \quad (49)$$

$$N_q = \frac{(600) \sqrt{4}}{(174,112)^{3/4}} = 25,035$$

4.4 Selección del tipo de turbina hidráulica

Existen algunas tablas donde se muestran las características fundamentales de las turbinas, en la tabla 23 se muestran los rangos de la turbina Pelton en función de la velocidad específica N_s , el caudal, la altura bruta y el rendimiento.

Tabla 23. Rango de Aplicaciones de la Turbina Pelton

Turbina de acción	Inventor y año de patente	N_s [rpm, Hp, m] RPM	Caudal [m ³ /s]	Altura neta H [m]	Potencia P [kW]	Rendimiento n [%]
Pelton	Lester Pelton (EEUU) 1880	1ch:20-30 2ch:30-50 3ch:30-50 4ch:50-70	0,05-50	30-1800	2-300 000	91

Fuente: (Intermediate Technology Development Group, ITDG, 1995)

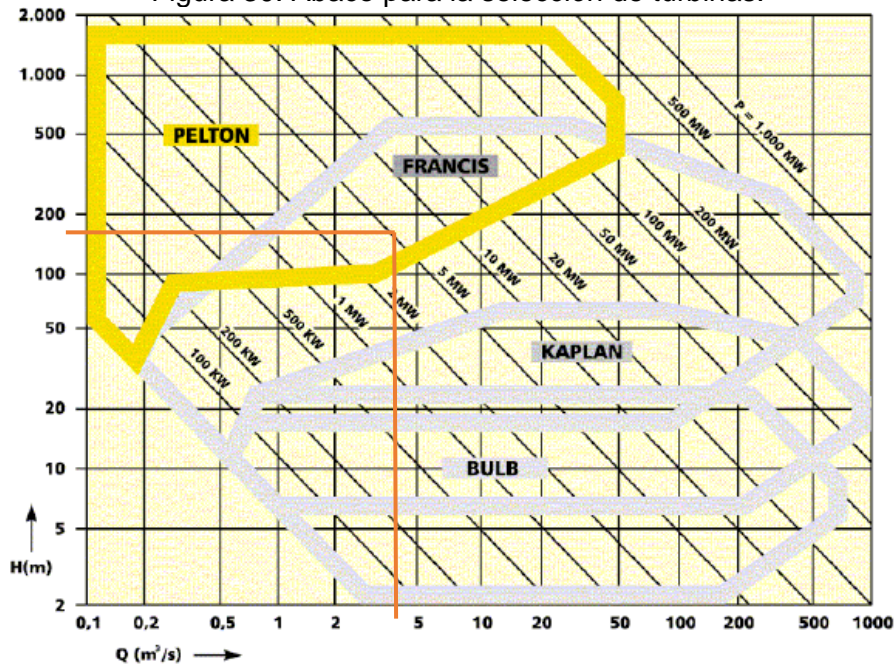
Otro rango para la selección de las turbinas lo definen los números específicos de revoluciones N_q y N_s .

Tabla 24. Rango de aplicación según las Velocidades específicas

Tipo de turbina	N_q	N_s
Turbina Pelton de 1 Tobera	Hasta 9	Hasta 28
Turbina Pelton de 2 Tobera	4 a 13	14 a 42
Turbina Pelton de 3 Toberas mas	5 a 22	17 a 73

Fuente: (Intermediate Technology Development Group, ITDG, 1995)

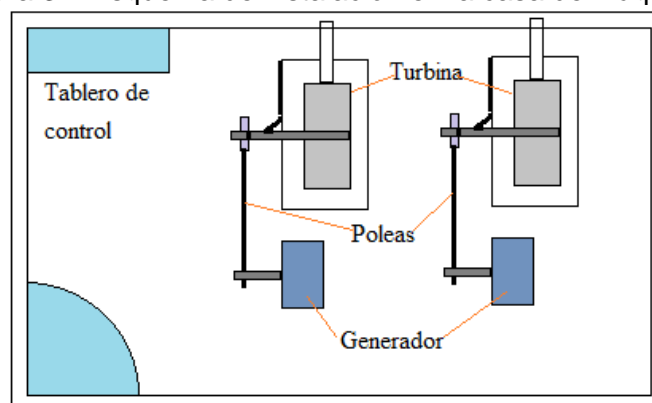
Figura 30. Abaco para la selección de turbinas.



Fuente: Catálogo para la selección del tipo de turbinas

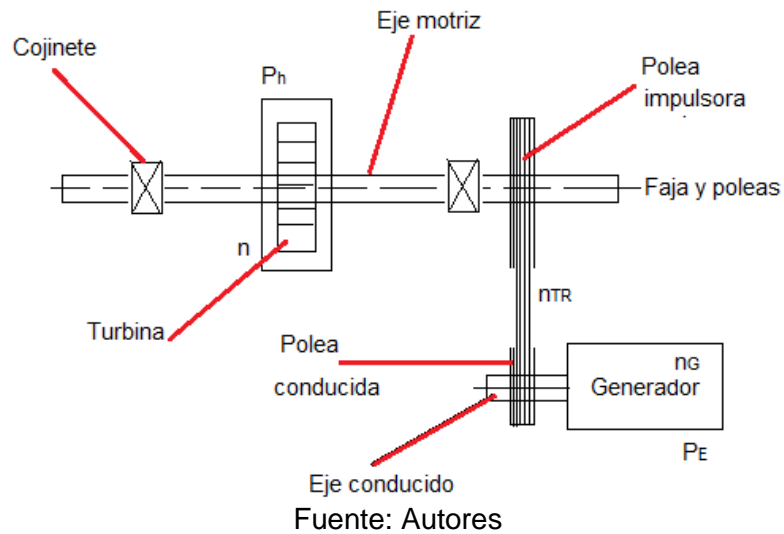
4.4.1 *Instalación en la casa de máquinas.* Colocar desde el tanque de carga las dos tuberías de presión en paralelo y que cada una de ellas sea conectada a una turbina y por ende a un generador como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 31. Esquema de instalación en la casa de máquinas.



Fuente: Autores

Figura 32. Diagrama de bloque del grupo de generación.



Se instalara 2 turbinas Pelton de 5 MW cada una, la potencia total a generar es:

$$P_T = 9,638 \text{ MW}$$

4.5 Selección del generador eléctrico

El generador síncrono arranca en vacío, actuando sobre la admisión de la turbina para aumentar gradualmente la velocidad. El generador se sincroniza con la red igualando previamente, en la máquina y en la red, las tensiones eficaces, las frecuencias, los desfases y el sentido de rotación. Cuando el generador alcanza una velocidad próxima al sincronismo, se arranca la excitación y se regula para que la tensión entre bornes sea igual a la tensión entre barras. (ESHA, 2006)

En generadores acoplados a una red aislada, el regulador debe mantener un valor predeterminado de la tensión sea cual sea la carga. Si está acoplado a una red importante, el regulador mantendrá el valor pre ajustado de la potencia reactiva. (ESHA, 2006)

Los generadores eléctricos se acoplan directamente a los rodets de la turbina así producen la energía eléctrica y se deben considerar los siguientes aspectos:

- Ventajas
- Desventajas
- Mantenimiento

Se selecciona dos generadores síncronos, en caso de avería de un grupo turbina generador la producción de generación es del 50% de la producción total.

4.6 Generación eléctrica

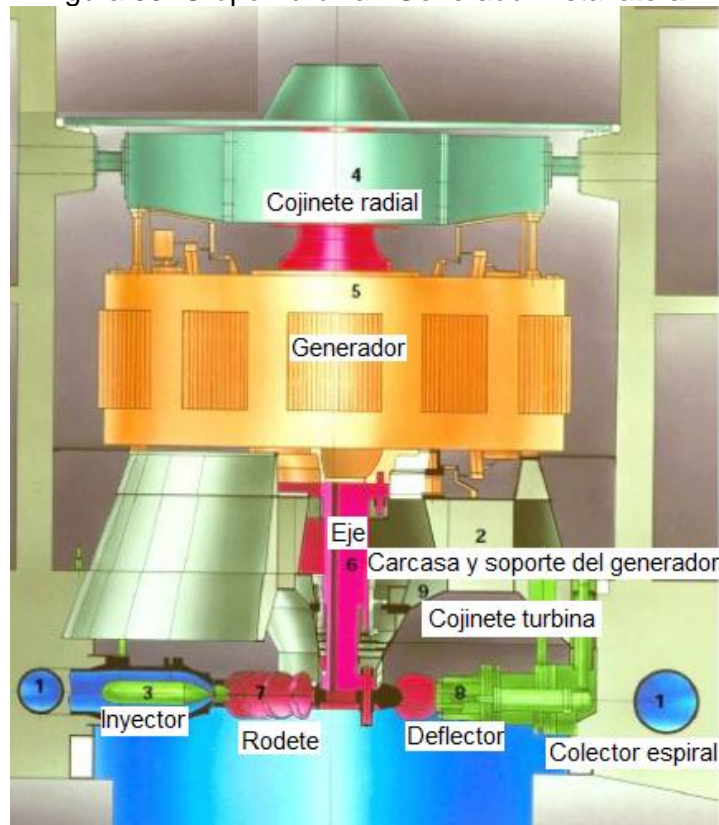
El generador eléctrico a utilizar en la central hidroeléctrica "El Altar", será de tipo síncrono ya que la conversión de la energía mecánica en eléctrica se produce con una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo.

La velocidad que tendrá será de 600 rpm con un número de polos igual a 12 a una frecuencia de 60 Hz. La potencia de salida del generador es de 5 MW.

4.7 Grupo Turbina-Generador.

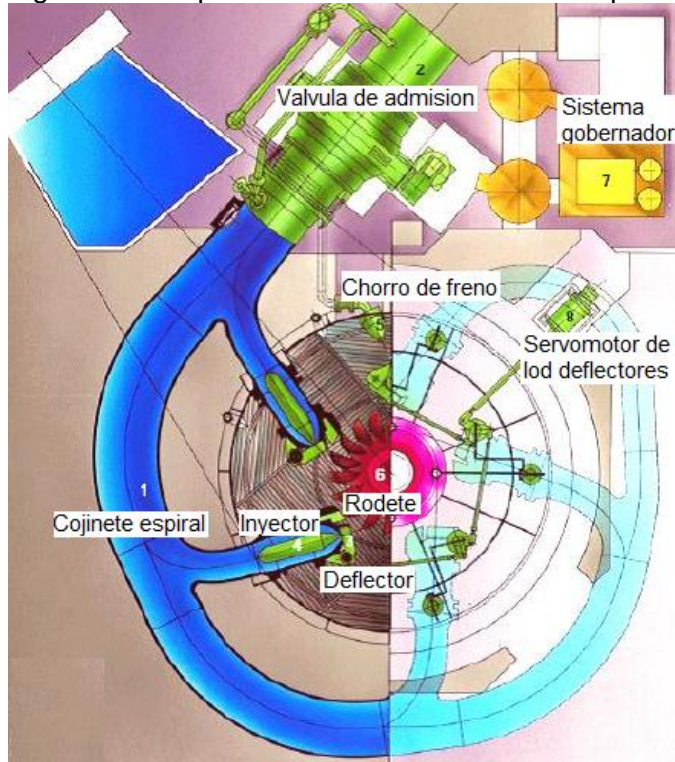
La transmisión que se necesita para el grupo Turbina – Generador debe ser de tipo vertical, es una transmisión por bandas planas cuya relación de transmisión es de 1 a 3 debido a que la velocidad de la turbina es de 600 rpm y la del generador es de 1 800 rpm. El rendimiento de la transmisión es de 0,95.

Figura 33. Grupo Turbina –Generador vista lateral



Fuente: TurbomáquinasHidráulicasCT-3411

Figura 34. Grupo Turbina –Generador vista superior



Fuente: TurbomáquinasHidráulicasCT-3411

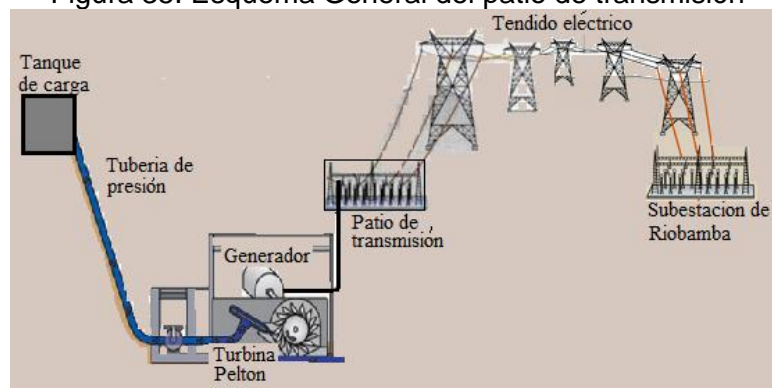
CAPÍTULO V

5. DISTRIBUCIÓN EN EL PATIO DE TRANSMISIÓN

El patio de transmisión se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas longitud 778291, latitud 9831306 y altura 2 430 m s.n.m. está a continuación de la casa de máquinas y no se encuentra cerca de las líneas de tensión de la red interconectada nacional por esta razón la electricidad generada en la central hidroeléctrica debe ser trasladada a la subestación más cercana.

El patio de transmisión es un complemento del DISEÑO DEFINITIVO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA "EL ALTAR" y es un conjunto de componentes de la subestación que debe manipular un mismo nivel de tensión para generar 10 MW, con un voltaje de 69 kV. Permite trasladar la energía eléctrica desde el patio de transformación hasta la subestación de Riobamba que es la más cercana y maneja un nivel de voltaje de 230 kV y 69 kV con una capacidad de potencia de 100 MW.

Figura 35. Esquema General del patio de transmisión



Fuente: Autores

Por medio de los componentes se puede trasladar la energía eléctrica generada a la subestación y posteriormente distribuirla. Es necesario que posea un cerramiento y un sistema de drenaje con ripio para evitar inundaciones.

5.1 Sistemas de transmisión

El sistema de transmisión está constituido por elementos necesarios para transmitir la energía eléctrica generada hasta la subestación de Riobamba, a través de torres metálicas y líneas de transmisión.

El nivel de energía eléctrica producida se transmite o eleva a un mismo nivel de tensión para reducir la corriente que circula y de tal manera reducir las pérdidas producidas en las líneas de transmisión.

5.1.1 Elementos de un sistema de transmisión

- Línea de transporte o conductores de energía eléctrica
- Torre o estructura de transmisión
- Estructura de ángulo
- Estructuras intermedias

Línea de transporte o conductores de energía eléctrica. Es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias.

Tabla 25. Principal característica de las líneas de transmisión o conductor.

Conductor	
Materiales	Aluminio con alma de acero
Tipos	477 M.C.M.
Características	
Composición	26/7
Sección	281,1 mm ²
Diámetro	21,8 mm
Peso	0,9749 kg/m
Carga de rotura	8 820 kg
Resistencia a 20 °C/km	0,1195
Módulo de elasticidad final	7 273 kg/mm ²
Coefficiente de dilatación por	19,6 °Cx10 ⁻⁶
Capacidad	580 A

Fuente: Autores

Es recomendable el uso de conductores de aluminio o aleación de aluminio con o sin refuerzo de acero. Generalmente se dice que los conductores "tienen vida propia" debido a que están sujetos a tracciones causadas por la combinación de agentes como el viento, la temperatura, etc.

Se determina que el conductor apropiado para el proyecto, es el de aluminio con alma de acero 477 M.C.M. con una composición 26/7 por tener las mejores características,

además es el recomendado por la Empresa Eléctrica de Riobamba.

Figura 36. Líneas de transmisión o conductores



Fuente: Autores

Torre o estructura de transmisión. Hay una variedad de torres o estructuras de transmisión, entre ellas la más usada y la más importante es la torres de amarre, se usa para guiar cuando existe un cruce de carreteras, evitar obstáculos, cuando se va a elevar la línea para subir o bajar un cerro o para pasar por encima o debajo de las torres.

Figura 37. Torre o estructura de transmisión



Fuente: Autores

Estructuras de ángulo. Se utilizan para sostener los cables o conductores en los vértices de los ángulos que forman dos alineaciones, y permite girar con un ángulo determinado.

Para la línea de 69 kV que se va a utilizar en el diseño de la central hidroeléctrica "El Altar" se emplearan estructuras de metal con una resistencia elevada a la acción de los agentes atmosféricos. Se evitara la existencia de todo tipo de cavidad sin drenaje en la que se pueda acumular suciedad, agua lluvia.

Figura 38. Estructura de ángulo



Fuente: Autores

Los materiales a utilizar deben ser nuevos y libres de cualquier imperfección, cumpliendo con todas las características para satisfacer la norma ASTM y deben someterse a ensayos.



Figura 39. Cimentación



Fuente: Autores

La protección anticorrosiva de las estructuras debe ser galvanizada por inmersión con baño de zinc no menor a 800 g/m^2 para que se adhiera firmemente a la superficie del acero. La cimentación de las estructuras es de acuerdo al peso y se podrán realizar de hormigón, hormigón armado.

Tabla 26. Materiales y tipos de estructuras que utiliza la ERSA

Estructuras	Material de conducción	Distancias (m)
Metal para 69 kV 	Aluminio	100 a 1000
Hormigón para 13,8 kV 	Aluminio	50 a 100

Frente: Autores

Las estructuras intermedias. Son importantes para grandes distancias entre una estructura de metal y otra dependiendo del perfil del terreno, sirven para evitar la deformación de las líneas de transmisión por su peso.

Figura 40. Estructuras intermedias



Fuente Autores

5.2 Etapas de la transmisión

Las etapas de transmisión son actividades a realizarse desde la generación hasta la subestación de Riobamba.

- Generación
- Transmisión
- Transporte
- Distribución

5.2.1 *La generación.* La generación de la energía eléctrica es por medio de la central hidroeléctrica que utilizando un caudal continuo de $8 \text{ m}^3/\text{s}$ permitirá generar una potencia de 10 MW, con dos grupos de turbinas Pelton, es decir, cada una genera 5 MW.

5.2.2 *Transmisión.* Se realiza mediante un conjunto de elementos como generador, transformador, interruptor, seccionadores y barras colectoras, que permite tener un mismo nivel de tensión de 69 kV.

5.2.3 *Transporte.* El transporte de la energía eléctrica se efectúa a través de líneas de transmisión de aluminio con alma de acero y estructuras metálicas que miden 18,5 m. La distancia desde el patio de transmisión hasta la subestación es de 25,25 km, se pretende utilizar 80 estructuras de metal.

Figura 41. Estructuras metálicas de 18,5 m y de 69 kV



Fuente: Autores

5.2.4 *Distribución.* Se realiza mediante la subestación de Riobamba, ya que es la más cercana y permite un nivel de tensión de 69 kV.

Figura 42. Subestación de Riobamba (CELEC EP RIOBAMBA)



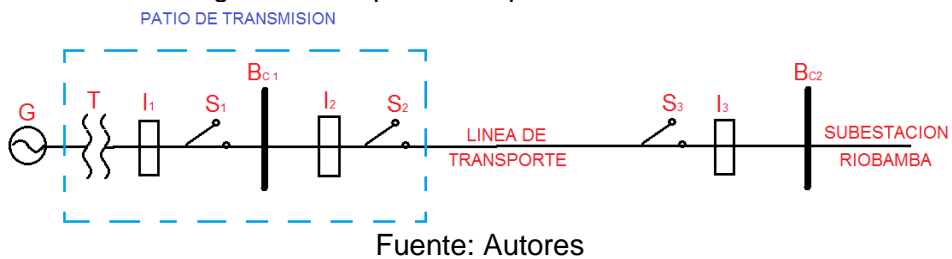
Fuente: Autores

5.3 Componentes del patio de transmisión

Un patio de transmisión está constituido por los siguientes componentes:

- Transformador elevador (T)
- Interruptor (I)
- Seccionador (S)
- Barra colectora (Bc)
- Línea de transmisión (LT)

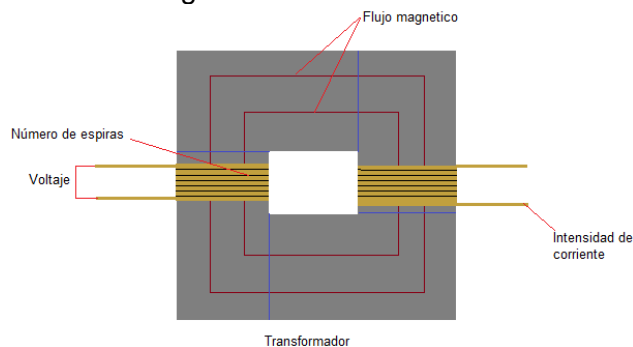
Figura 43. Esquema del patio de transmisión



5.3.1 Transformador elevador (T). El transformador es una máquina estática de inducción en la cual la energía eléctrica es transformada en sus dos factores: tensión e intensidad. Cualquiera que sea el uso que se haga del transformador, se llama primario al circuito que recibe la energía y secundario al que la suministra a los aparatos receptores. (ZOPPETTI GAUDENCIO, 1972)

Es un componente importante del patio de transformación, el cual está encargado de disminuir o elevar la tensión para mantenerla un mismo nivel, estos transformadores presentan un mínimo porcentaje de pérdidas ya que la potencia que entra es mayor a la que sale.

Figura 44. Transformador

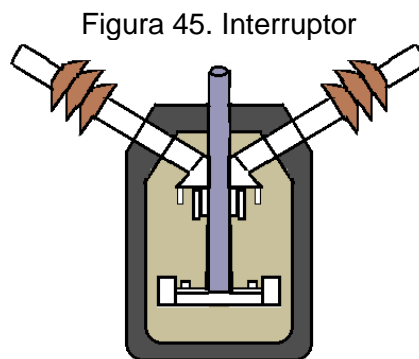


El transformador para el patio de transmisión por seguridad debe tener un 20 % adicional a la capacidad, esto es recomendado por la Empresa Eléctrica de Riobamba, en este caso debe ser de 12 MW. El voltaje a la entrada del transformador debe ser mayor al voltaje de salida.

El transformador debe tener una cimentación adecuada, dependiendo del peso y tiene que contar con un sistema de drenaje para evitar la acumulación de agua y aceite.

5.3.2 Interruptor (I). El interruptor llamado también en el lenguaje técnico disyuntor es el aparato destinado a establecer o acotar la continuidad de un circuito eléctrico bajo cargas, y construido de tal modo que esta continuidad pueda ser mantenida después de cada maniobra de cierre o de apertura. (ZOPPETTI GAUDENCIO, 1972)

Tiene pues, por objeto insertar en un sistema eléctrico o retirar de las máquinas, aparatos o líneas e interrumpir el circuito cuando se produzca una sobre intensidad. Esta interrupción se realiza automáticamente para que el tiempo preciso de la misma sea breve y graduado a voluntad. (ZOPPETTI GAUDENCIO, 1972)



Fuente: Autores

La selección del interruptor se realiza de acuerdo a la capacidad de corriente:

$$P = V I \quad (50)$$

Donde:

P = Potencia = 10 000 000 W

V = Voltaje = 69 000 V

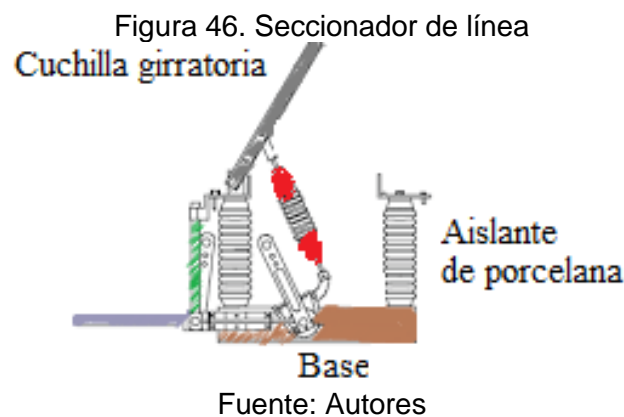
I = Intensidad de corriente [A]

Despejando de la ecuación (50) la intensidad de corriente se obtiene:

$$P = \frac{10\,000\,000\text{ W}}{69\,000\text{ V}} = 144,927\text{ A}$$

5.3.3 Seccionador (S). Se llaman también separadores, son utilizados para aislar la línea de tensión de los interruptores, se maniobran sin carga ya que poseen una capacidad de interrupción, están ubicados a los dos lados del interruptor.

Existe una gran variedad de seccionadores, el tipo que se va a utilizar es el seccionador de línea ya que no existe tensión en la línea, de esta manera se maniobra manualmente en su reparación o mantenimiento.



La capacidad de un seccionador se clasifica por la corriente nominal para la que ha sido construido, esto es para la corriente que lo atraviesa sin elevación anormal de su temperatura. Pero hay que tener en cuenta, además, la corriente límite térmica, que es la que el seccionador puede resistir durante un segundo sin calentarse en exceso, y la corriente dinámica límite que es la máxima amplitud de la corriente de cortocircuito para la cual está construido el desconectador. (ZOPPETTI GAUDENCIO, 1972)

5.3.4 Barra colectora (Bc). Las barras colectoras o barras ómnibus es un conductor de corriente se instalan desnudas y aisladas apropiadamente. Tienen la función de distribuir la energía eléctrica o alimentar equipos de gran capacidad. Su empleo en la industria radica en la alimentación de transformadores, rectificadores, grúas viajeras y otros equipos. (EcuRed, 2010)

Existe una variedad de barras colectoras que se utilizan, con frecuencia la más apropiada para el proyecto es la barra colectora del tipo sección rectangular ya que su

montaje no es complejo, pueden ser empleadas para corrientes muy elevadas pero no menores de 35 kV.

Figura 47. Barra colectora Rectangulares



Fuente: (EcuRed, 2010)

Las barras colectoras generalmente se fabrican de cobre y aluminio por ser buenos conductores de corriente eléctrica con un bajo costo.

Las características principales de los materiales de las barras colectoras son las que se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Características de las barras colectoras

Características	Aluminio	Cobre
Resistividad en $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	0,0293	0,0180
Peso específico en g/cm^3	2,6	8,2
Resistencia en la tracción en kg/mm^2	20	30

Fuente: Autores

5.3.5 Línea de transmisión (Lz). Es el conjunto de dispositivos utilizados para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo. Y estos son utilizados normalmente cuando no es costeable producir la energía eléctrica en los centros de consumo o cuando afecta el medio ambiente (visual, acústico o físico), buscando siempre maximizar la eficiencia, disminuyendo las pérdidas por calor o por radiaciones. (JIMÉNEZ MEZA, y otros, 2006)

En las líneas de transmisión se recomienda el uso de conductores de aluminio con alma de acero y deben ser protegidos contra la corrosión mediante galvanizado o aluminizado, y con un aislamiento de porcelana o vidrio.

Figura 48. Líneas de transmisión sobre una torre metálica



Fuente: Autores

Mencionado lo anterior se puede dar una alternativa para el traslado de la energía eléctrica desde el patio de transmisión que se encuentra a continuación de la casa de máquinas hasta la Subestación CELEC EP. RIOBAMBA, que está ubicado en la ciudad de Riobamba, a una distancia de 25,25 km.

En la figura 49 se da a conocer la ruta más recta para el traslado de la energía eléctrica, utilizando aproximadamente 83 estructuras de metal.

Figura 49. Esquema del traslado de la energía eléctrica desde el patio de transmisión



Fuente: Autores

CAPITULO VI

6. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1 Introducción

El proyecto de la central hidroeléctrica "El Altar" está constituido por un azud, tubería de conducción, sifón, tubería de presión y casa de máquinas, por donde fluirá el caudal de 8 m³/s tomados del río Puela. Tendrá una capacidad de 10 MW con 2 módulos de 5 MW, luego dicho fluido retornara al mismo río.

En la central hidroeléctrica se deja planteada la construcción de un patio de transmisión de 69 kV y una línea de transmisión a 69 kV, por la cual la central entregará la energía generada a la Subestación de Riobamba. Se debe realizar un oficio a la TRANSELECTRIC, solicitando de manera formal el permiso de conexión.

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es un instrumento que permite identificar los posibles impactos ambientales vinculados a todas las actividades productivas, permitiendo que los impactos negativos puedan ser evitados, en tanto los impactos positivos puedan ser mejorados. Los EIA definitivos son un requerimiento de entes reguladores tanto locales como nacionales, así como de entidades internacionales.

Un Plan de Manejo Ambiental (PMA) aplicable a la construcción, operación y mantenimiento es parte integrante del EIA. En cumplimiento con las disposiciones legales relativas a la protección del medio ambiente, previo a la ejecución de la central hidroeléctrica "El Altar", se ha preparado el presente estudio.

6.2 Justificación

La incorporación de las energías renovables como una fuente de abastecimiento energético disminuyendo el grado de dependencia de las fuentes tradicionales no renovables, permitiendo ser la mejor alternativa de generación desde un punto de vista ambiental, debido a que no producen emisiones de gases a la atmósfera y suponen el desarrollo de actividades económicas e industriales, con efectos positivos sobre la economía y el empleo. Antes y durante su construcción, se deberá disminuir el impacto producido por los trabajos

6.3 Objetivos

6.3.1 *Objetivo general.* Realizar el Estudio de Impacto Ambiental para la Central Hidroeléctrica "El Altar".

6.3.2 *Objetivos específicos.*

- Identificar las posibles afectaciones ambientales de la central hidroeléctrica "El Altar".
- Potenciar los impactos ambientales positivos y minimizar los impactos ambientales negativos, tomando en cuenta la legislación ambiental provincial y nacional.
- Establecer un Plan de Manejo Ambiental para reducir y mitigar los impactos ambientales negativos y canalizar los positivos de la central hidroeléctrica "El Altar".

6.4 Alcance del estudio

El estudio de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica "El Altar", cubre la identificación de los impactos ambientales positivos y negativos.

Luego de la identificación de los impactos ambientales se establece el plan de manejo ambiental destinado a la prevención y cuidado de los recursos naturales, asegurando el cuidado de la flora y fauna durante la construcción de todos los elementos de la central hidroeléctrica "El Altar".

Los alcances del Estudio de Impacto Ambiental comprenden:

Evaluación de los Impactos Ambientales en el área de influencia de la central hidroeléctrica "El Altar".

Evaluación de los componentes ambientales de las áreas de captación, obras de conducción, sistema hidroeléctrico e infraestructura.

Evaluación del Plan de Manejo Ambiental para la Central Hidroeléctrica "El Altar"

El estudio se debe realizar de acuerdo al área de influencia; el agua, suelo, aire, flora, fauna, población, comunicación, obras, equipos, instalaciones y las actividades, proporcionando los análisis de:

- Emisiones a la atmosfera
- Contaminación del agua y el suelo
- Producción de ruidos y residuos peligrosos, tóxicos
- Riesgos en la salud
- Afectar en el ecosistema natural

6.5 Metodología del estudio de impacto ambiental

Las principales partes del estudio de impacto ambiental son:

Introducción: La presentación del estudio datos generales e importantes de la Central Hidroeléctrica "El Altar".

Descripción del proyecto: Se realizara un resumen de las principales características y obras que constituyen la central hidroeléctrica, que nos permitirá identificar los impactos ambientales a generarse.

Marco legal y normativo: El estudio de impacto ambiental se constituye de la legislación ambiental vigente (Constitución de la República del Ecuador, Ley de Gestión Ambiental, Ley de Aguas, etc.)

Línea de base ambiental: Se realiza una descripción ambiental del área de influencia directa e indirecta con los componentes físicos, bióticos y socio-económicos previos a la implantación de la central hidroeléctrica "El Altar".

Identificación y valoraciones de Impactos Ambientales: Son los resultados de los análisis de los impactos ambientales que puede generar la central hidroeléctrica.

Plan de manejo Ambiental: Son los datos ambientales para mitigar o compensar favorablemente los impactos ambientales, con la finalidad de causar el menor daño posible al medio ambiente.

La metodología para realizar el estudio de impacto ambiental consta de dos fases.

6.5.1 *Primera fase.* Se realiza la descripción, legislación y el estudio de los siguientes elementos: físico, biológico y socio-económico para poder elaborar el inventario ambiental de la zona de influencia.

También se incluye la descripción detallada y las características de la central, las principales funciones que sobrelleva y la forma de ejecución de los trabajos. El estudio del proyecto permite la identificación de las actividades que puedan deteriorar el entorno. Mediante el censo, inventario, identificación, cuantificación y geografía de las condiciones ambientales, legales, sociales y técnicos del sitio de estudio.

En el inventario ambiental se analizan los medios: físico, biológico y socio-económico y las características de la central hidroeléctrica "El Altar", para la evaluación del impacto ambiental que se pueda producir y definir las medidas preventivas y correctivas.

La información seleccionada es la base principal para determinar los elementos existentes en la zona de influencia directa e indirecta. La realización del levantamiento de información planificando los trabajos de campo para completar los requerimientos del estudio.

6.5.2 *Segunda fase.* Una vez concluido y analizado la primera fase del estudio de impacto ambiental, procedemos al análisis del impacto ambiental que puedan generar los diferentes elementos del medio de la Central Hidroeléctrica "El Altar", considerando la fase de construcción como la de operación.

Identificación de los impactos ambientales positivos y negativos para realizar la valoración y los posibles daños en la naturaleza que se generaran en el desarrollo de la Central Hidroeléctrica "El Altar".

El plan de manejo ambiental incluye las medidas de prevención, control y mitigación frente a los impactos ambientales que se puedan implementar en la central hidroeléctrica "El Altar". Se toma como base la estructura establecida por el CONELEC en el reglamento ambiental para las actividades eléctricas en el Ecuador.

6.6 Análisis del marco legal

Analizar las disposiciones ambientales legales, reglamentarias, constitucionales y acuerdos vigentes para las instalaciones y operaciones de una central Hidroeléctrica.

6.6.1 *La constitución de la república de Ecuador.* La constitución de la República de Ecuador aprobada en el referéndum y vigente en el registro oficial N° 449 del 20 de octubre del 2008 en el artículo 14 reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente saludable y ecológico, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir.

Art.3.- Del buen vivir

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias.

Art. 83.- Deberes y responsabilidades.

Art. 276.-Objetivos del régimen de desarrollo.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales.

Art. 413.-El Estado promoverá la eficiencia energética.

6.6.2 *Ley de gestión ambiental.* La ley de Gestión Ambiental publicada según el Registro Oficial N° 418 del 10 de septiembre del 2004 establece las políticas ambientales. Determina la participación y la responsabilidad de los sectores públicos y privados además señala las sanciones y límites permisibles.

La ley dispone que la gestión ambiental se sujete a la utilización de tecnología alternativa ambientalmente sustentada según las políticas generales del desarrollo sustentable para la conservación del patrimonio natural y aprovechamiento de los recursos naturales.

Dcto. 1802: Políticas Básicas Ambientales del Ecuador que establecen las estrategias para orientar el desarrollo sustentable del país.

6.6.3 *Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica.* La Ley Orgánica del Servicios Público de Energía Eléctrica, probada por la Asamblea Nacional el 08 de

enero de 2015, publicada en el Tercer Suplemento del Registro Oficial N° 418 del viernes 16 de enero de 2015.

La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, son aplicables las leyes que regulan el uso y beneficio de los recursos naturales, la participación ciudadana y la protección del ambiente. Crea la Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL- que, entre otras atribuciones y deberes, tiene la de coordinar con la Autoridad Ambiental Nacional los mecanismos para la observancia al cumplimiento de la normativa jurídica, por parte de las empresas eléctricas, relacionada con la protección del ambiente y las obligaciones socio ambientales, determinadas en los correspondientes títulos habilitantes que permiten la construcción, instalación y operación de centrales de generación eléctrica. (RODRÍGUEZ, 2015)

CAPITULO I

DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

Art. 1.- Deber del Estado.

Art. 2.- Concesiones y Permisos.

Art. 3.- Medio Ambiente.

CAPITULO VI

DE LAS EMPRESAS DE GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION

Art. 29.- De los Nuevos Proyectos de Generación.

Art. 30.- Permisos para Generación.

Art. 31.- Obligaciones de las Empresas de Generación.

6.6.4 *Tratados internacionales.*

TEMAS VERDES O ECOLOGICOS

Convenio de diversidad biológica

Protocolo de Cartagena

Convenio sobre el tráfico ilegal de especies en peligro de extinción (cites)

Convenio ramsar sobre humedales

TEMAS MARRONES

Convenio marco sobre cambio climático.

Protocolo de Kyoto

Convenio de Estocolmo

Convenio de Rotterdam

Convenio de Basilea

Convenio de Viena: Ozono

Protocolo de Montreal

6.7 Área de estudio y descripción ambiental general

6.7.1 *Delimitación del área de estudio.* Para el estudio de Impacto Ambiental se ha considerado una superficie amplia que pueda generar en el entorno ambiental. El estudio detallado se lo realizara una vez concluida la segunda fase de la metodología adoptada, es por ello que en el estudio se identificarán:

- Hidrología superficial
- Cuencas y red de drenaje
- Medio biológico
- Flora y fauna

6.8 Descripción del proyecto

6.8.1 *Ubicación del proyecto.* Está ubicada dentro de la jurisdicción de la parroquia El Altar, a la izquierda del río Puela a unos 2 460 m s.n.m. La casa de máquinas está a una altura 2 423 m s.n.m, las características del terreno son óptimas.

Figura 50. Ubicación geográfica de la casa de máquinas



Fuente: Autores

La vía de acceso a la casa de máquinas es de segundo orden, de lastre, la misma que se encuentra en la ruta del centro poblado El Altar hacia la parroquia Puela.

Figura 51. Vía de acceso a la casa de máquinas



Fuente: Autores

Para las obras civiles de la central hidroeléctrica "El Altar", no se posee vías de acceso por que se encuentra en una zona montañosa, por lo que se establece su construcción.

Figura 52. Zona de la Captación



Fuente: Autores

Figura 53. Zona de la Tubería de conducción



Fuente: Autores

Figura 54. Zona de la ubicación del sifón



Fuente: Autores

6.8.2 *Descripción general de las construcciones.* La captación se realizara de tal manera que no afecte la flora y la fauna, tratado de captar el máximo caudal posible conservando el caudal ecológico, se encuentra en la coordenada geográfica longitud 782760, latitud 9830800 y una altura 2 629 m s.n.m. La tubería de conducción es de acero que se instala desde la captación hasta la entrada del sifón y la otra parte se encuentra desde la salida del sifón hasta el tanque de carga, los materiales pétreos utilizados no se deben mezclar con los materiales presentes en la zona.

El sifón consta de una tubería de acero y los elementos necesarios, la tubería de presión es de acero, la casa de máquina está ubicada en un sitio seguro y muy cercano a una vía de segundo orden a una altura 2 423 m s.n.m. Finalmente el agua turbinada será devuelta al río Puela.

6.8.3 *Captación y la conducción del agua.* La captación y la conducción de agua del río Puela, se realiza mediante el azud y la conducción costa, de dos tramos de tubería de conducción y un sifón.

La captación del agua se realiza mediante una rejilla con un ancho apropiado para captar un caudal de 8 m³/s también costa de un desrieador que es un elemento importante que detiene el material pétreo para posteriormente desalojar, en donde su función principal será sedimentar los sólidos en suspensión que tenga el agua de río.

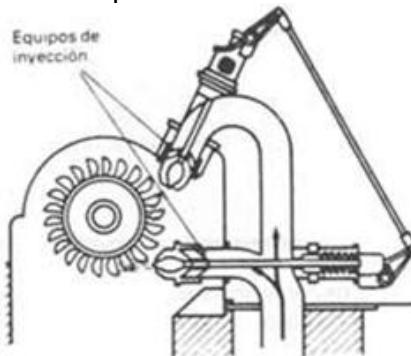
Posterior el agua pasa hacia el primer tramo de tubería de conducción de un diámetro interno de 1 956,8 mm y con un caudal de 8 m³/s, posterior pasa al sifón que tiene un

diámetro interno de 1 707,2 mm y finalmente al segundo tramo de conducción que posee el mismo diámetro de tubería que el primero.

6.8.4 *Sistema de presión.* El sistema de presión consta del tanque de carga y la tubería de presión, el tanque de presión está localizado a 2 608 m s.n.m, el agua almacenada será la necesaria para abastecer a la casa de máquinas a través de la tubería de presión. Las tuberías de presión estarán dispuestas de tal manera que se tenga 2 tramos en paralelo, de un diámetro interno de 1 097,6 mm de acero, sujetas por un sistema de apoyos y anclajes en una longitud de 420 m en cada tramo.

6.8.5 *Casa de máquinas y patio de transmisión.* La central hidroeléctrica "El Altar" estará ubicada a la izquierda del río Puela, el espacio que está destinado para la construcción de la casa de máquinas y patio de transmisión está a una altitud de 2 423 m s.n.m.

Figura 55. Esquema de una turbina Pelton.



Fuente: (RIOFRIO, 2013)

El patio de transmisión se ubicara en la parte posterior de la central hidroeléctrica, donde se procede al montaje de los diversos conjuntos eléctricos y sistemas auxiliares que ayudaran a que la energía producida llegue hacia la subestación de Riobamba que está a una distancia de 25,25 km.

6.8.6 *Descarga al Rio Puela.* El flujo de agua que pasa por las turbina se descarga hacia un canal correspondiente a cada equipo generador, los cuales se acoplaran a un canal principal de un ancho de 2,5 m el cual devolverá la totalidad de agua al río mediante una solera de hormigón armado con contra pendiente del 10%.

6.8.7 *Potencia.* La potencia generada por la Central Hidroeléctrica "En Altar" es de 10 MW, distribuida en dos grupos de generación cada uno de 5 MW.

6.9 Inventario ambiental preliminar

6.9.1 *Hidrología superficial.* La zona del proyecto cuenta con un importante potencial hidrológico, ya que en su periferia cuenta con cascadas y pequeños riachuelos que alimentan el caudal del río Puela.

Figura 56. Cascadas y riachuelos que alimentan al río Puela



Fuente: Autores

- Chorreras
- Siete Vueltas
- Naranjal
- Sigsal
- Las Flautas
- El Laurel
- Quinoaquiro
- Palitahua

6.9.2 *Medio biológico.* Se realiza un análisis previo de la vegetación, plantas y hábitat presentes en la zona, para tener un inventario preliminar y determinar si existe especies en peligro de extinción.

Las tablas fueron elaboradas por el GAD de la parroquia “El Altar”, mediante visitas de campo y recopilación de información por parte de los pobladores de la zona, se han realizado las siguientes tablas informativas clasificando en zonas en las que se encontraron diferentes especies:

Zona de quebradas y ríos.

Tabla 28. Especies de flora presentes en las zonas de ríos y quebradas.

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
Aliso	<i>Alnus acuminata</i> H.B.K.	X		
Berro				X
Zapan		X		
Kikuyo				X
Colca	<i>Miconia Quitensis</i>		X	X
Olivo		X		
Suro			X	
Muco quiro	<i>Piper</i> sp.	X		
Sandalla		X		
Kive			X	
Pamamaqui	<i>Oreopanax</i>	X		
Sigse			X	
Trinitaria				X
Cedro		X		
Shanshi			X	
Dana		X		
Menta				X
Laurel	<i>Laurus mobilis</i>	X		
Zapatito				
Canelo	<i>Drinvs granatensis</i>	X		
Yerba buena				X
Poleo (tipo)				X
Pulala				X
Tabalbo		X		
Sangre de drago		X		
Tocte		X		
Caballo chupa				X
Negrillo	<i>Tournefortia fuliginosa</i>	X	X	
Bodoque		X	X	
Gualicon	<i>Maclenia</i>	X	X	
Mortiño Bajo				X
Mora Silvestre			X	
Uña de Gato				
Culantrillo				X
Llantén				X

Tabla 28. (Continuación)

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
Moradilla				X
Taraxaco	Taraxacum officinalis			X
Poxe			X	
Sauco			X	
Paja blanca				X
Timbo (paja)			X	
Achupalla				X
Chulco				X
Simbalo			X	
Barba de tigre				X
Helecho				X
Achin				X
Caucho		X		
Totorilla				X
Maigua				X
Musgo				X
Tunda			X	
Taxo de monte			X	
Eucalipto		X		
Pino	Pinus radiata	X		
Atuxara			X	
Arrayan	Eugenia myrtiloides	X		
Guishmo	Weinmannia glabra	X		
Tarqui	Cayodendron orinocense	X		
Guishcas	Stylocerus laurifolium	X		
Quishuar	Buddleja incana	X		
Chigmay	Ilex Sp.	X		
Jigueron		X		
Pujin	Hesperomeles glabrata	X		
Samal	Rapanea andina	X		
Gualumo			X	
Quino		X		
Palma	Oreodosea frígida	X		
Padguaso	Gaiadendron punctatum	X		
Sacha capulí		X		
Sagalejo		X		
Ortiguilla				X

Tabla 28. (Continuación)

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
Sauco			X	
Iso			X	
Diente de león				X
Número total de especies reportada		82		

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, 2012)

Zona de producción.

Tabla 29. Especies de flora presentes en las zonas de producción.

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
Ocas				X
Tomate de árbol		X		
Mora			X	
Manzana		X		
Durazno		X		
Claudia		X		
Capulí		X		
Nuez		X		
Nogal		X		
Aguacate		X		
Limón		X		
Taxo			X	
Granadilla			X	
Cebolla blanca				X
Alverja				X
Meloco				X
Papas				X
Maíz			X	
Frejol				X
Habas				X
Zapallo				X
Zambo				X
Chochos			X	
Guaba		X		
Uva				
Mirabel		X		

Tabla 29. (Continuación)

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
Pepino				X
Tomate de carne				X
Membrillo		X		
Higo		X		
Frutilla				X
Zanahoria				X
Número total de especies reportadas		32		

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, 2012)

Zona de bosque.

Tabla 30. Especies de flora presentes en las zonas de bosque.

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
Eucalipto	Eucalyptus camaldulensis	X		
Pino	Pinus radiata	X		
Aliso	Agnus jorulliensis	X		
Quishuar	Buddleja incana		X	
Cedro	Cedrela odorata	X		
Cipres	Ceroxylon spp.	X		
Guishmo			X	
Canelo	Drinvs granatensis		X	
Pumamaqui	Oreopanax ecuadorense		X	
Nogal	Cupania vernalis	X		
Polylepis	Polylepis bessi		X	
Chachacoma	Escallonia myrtilloides	X		
Número total de especies reportadas		12		

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, 2012)

De acuerdo con las tablas (34), (35) y (36), del medio biológico el tipo de vegetación predominante es la arbórea.

6.9.3 Fauna. En la zona de estudio del proyecto la fauna tiene factores clave que definen la distribución y abundancia de las especies. Los vegetales son muy diversos, se encuentran vegetales propios de la región. La descripción de las montañas en la zona es excepcionalmente abrupta.

Zona de quebradas y ríos.

Tabla 31. Especies de fauna presentes en las zonas de ríos y quebradas.

Nombre común	Nombre científico	Tipo				Abundancia		
		Mamíferos	Aves	Reptiles y anfibios	Peces	Poco	Frecuente	Mucho
Trucha	Salmo trutta							
Sapo	Bufobufo			X		X		
Lagartija	Analis sp.			X		X		
Cullan	Urocyon cinéreo argenteus			X		X		
Culebra	Oxyrhopus rhombifer			X		X		
Timbul	Abies							
Golondrina	Progne modesta							
Torcasa	Tarquaceus		X					X
Tortola	Streptopelia		X					X
Colibrí	Oreothochilus stella							
Mirlos	Thurdus sp		X					X
Gorriones	Padda oryzivora		X					X
Chucuri	Mustela frenata	X				X		
Azulejos	Cyanolycaurcos		X			X		
Chiva de monte	Bubalus bubalis							
Guarro	Geranoactus malanoleucus		X			X		
Jilguero	Carduelis carduelis		X			X		
Rana	Agalychnis litodryas							
Preñadilla	Merluccius							
Chirote	Chirote							
Wetse						X		
Perdis	Alectoris rufa		X			X		
Torero	Elanoides forficatus		X			X		
Cusumbo	Patos flavus							
Cuy de monte	Cunicunus taczanowskii							
Predicador	Phoenicapterus ruber							
Carpintero	Calaptes melanochloros							
Número total de especies reportadas		19						

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, 2012)

De acuerdo con las tabla (31) la especie predominante es el tipo aves y poca abundancia.

Zonas productivas.

Tabla 32. Especies de fauna presentes en las zonas productivas.

Nombre común	Nombre científico	Tipo				Abundancia		
		Mamíferos	Aves	Reptiles y anfibios	Peces	Poco	Frecuente	Mucho
Paloma	Otidiphaps nobilis		X			X		
Cuyes	Cavia porcellus	X						X
Gallinas	Gallusintroducida		X					X
Caballo	Equus ferus	X						X
Conejo	Oryctolagus	X						X
Pato	Amasplaty Rhynchos		X					X
Número total de especies reportadas		8						

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, 2012)

En la tabla (32), la especie predominante es el tipo mamíferos y mucha abundancia.

Zona de bosque.

Tabla 33. Especies de fauna presentes en las zonas de bosque.

Nombre común	Nombre científico	Tipo				Abundancia		
		Mamíferos	Aves	Reptiles y anfibios	Peces	Poco	Frecuente	Mucho
Torcaza	Zenaida auriculata		X			X		
Guarro	Geranoactus melanoleucus		X			X		
Tortola	Streptopelia risoria		X				X	
Gavilan	Parabuteo unicinctus		X			X		
Número total de especies reportadas		4						

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, 2012)

De acuerdo con la tabla (33), la especie predominante es el tipo aves y poca abundancia.

6.10 Identificación y evaluación de impactos ambientales

Es necesario analizar en primer término los potenciales impactos de las obras y actividades de la central hidroeléctrica "El Altar", puede afectar al ambiente, y en segundo término son los riesgos que conlleva el proyecto en base a su vulnerabilidad ante las amenazas naturales.

Los posibles impactos ambientales de la Central Hidroeléctrica "El Altar" son en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.

En los cuadros a continuación se registrarán los diferentes impactos ambientales que se generan en las etapas de construcción, operación y mantenimiento, en la ejecución de la obra:

6.10.1 Etapa de construcción.

Tabla 34. Impactos ambientales en la fase de construcción.

Impactos	Positivos	Negativos
Contaminación		Incremento de contaminación acústica por construcción de la central e incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero en el aire por el tráfico de camiones, además de incremento en la emisión de partículas en suspensión por la circulación de los mismos.
Fauna		Interrupción por tala e inundación, en la vida de un gran número de animales, desproviniéndolos de su hábitat natural.
Medio Humano	Activación temporal de la economía local por la compra de bienes y servicios, además de incremento en la oferta de empleos.	Cambios en la calidad de vida de las personas, disminuyendo la tranquilidad y serenidad características del lugar. Además deterioro en la calidad del paisaje.
Flora		Inundación y tala de bosque nativo, remoción de ejemplares de flora en el roce, despeje de terrenos en la zona de obras y la construcción del embalse.
Hidrología		Cambios drásticos en la morfología del cauce y la calidad de sus aguas, variación en la cantidad y velocidad del flujo.
Tenencia de tierras		Afectación a la tenencia de tierras de propietarios de la zona, pérdida de viviendas rurales y predios.

Fuente: Autores

6.10.2 Etapa de operación.

Tabla 35. Impactos ambientales en la fase de operación.

Impactos	Positivos	Negativos
Fauna		Pérdida y perturbación en la fauna acuática, por desviación y secado de un tramo del río.
Contaminación		Incremento de contaminación acústica por construcción de central e incremento de material en suspensión y emisión de gases de efecto invernadero por tráfico de camiones.
Medio Humano		Lesiones por caídas menores y/o mayores. Afección al sistema auditivo de los operadores.

Fuente: Autores

6.10.3 Etapa de mantenimiento.

Tabla 36. Impactos ambientales en la fase de mantenimiento.

Impactos	Positivos	Negativos
Contaminación		Contaminación del agua Afección del sistema auditivo. Contaminación por desechos químicos.
Medio Humano		Lesiones por caídas menores y/o mayores. Mareos. Afectaciones a las vías respiratorias.

Fuente: Autores

6.11 Huella del Carbono CO₂

El factor de emisión de CO₂ es la masa estimada de toneladas de CO₂ emitidas a la atmosfera por cada unidad de MWh de energía generada. Los parámetros de cálculo de acuerdo a la última visión de la "Herramienta para calcular el factor de emisión para un sistema eléctrico", v4.0.0, se calcula los siguientes parámetros: (BURI, 2013)

Tabla 37. Parámetros de cálculo

Parámetro	Unidad	Descripción
EF _{grid,BM}	t CO ₂ /MWh	Margen de construcción de CO ₂ para el año
EF _{grid,OM}	t CO ₂ /MWh	Margen de operación de CO ₂ para el año

Fuente: (BURI, 2013)

El factor de emisión de CO₂ del margen de construcción, representa las emisiones asociadas al ingreso de nuevas unidades de generación para el período que es calculado, cuya construcción y operación sería desplazada por la actividad de proyecto MDL (Mecanismo para un desarrollo limpio). (BURI, 2013)

El factor de emisión de CO₂ del margen de operación, estima como la operación de centrales actualmente conectadas a la red sería afectada por la actividad de proyecto MDL. (BURI, 2013)

El factor de emisión de CO₂ del margen combinado, corresponde a la ponderación asignada en el cálculo de los dos anteriores.

El ministerio del ambiente rebela el factor de emisión del CO₂ para un proyecto hidroeléctrico y los resultados obtenidos se pueden utilizar para estimar las emisiones de CO₂ según EF_{grid,BM} y EF_{grid,OM}.

$$EF_{BM} = 0,304 \text{ 4 (t CO}_2\text{/MWh)}$$

$$EF_{OM} = 0,707 \text{ 9 (t CO}_2\text{/MWh)}$$

Para la Central Hidroeléctrica "El Altar" que genera 10 MW con una generación anual Ga = 99 080 MWh se tiene una emisión en toneladas de CO₂ en el margen de construcción como también en el de operación de:

E = Emisión [t CO₂]

Ga = Generación anual [MWh]

Margen de construcción:

$$EF_{BM} = \frac{E}{Ga}$$

$$E = 30 \text{ 159,952 t CO}_2$$

Margen de operación:

$$EF_{OM} = \frac{E}{Ga}$$

$$E = 70 \text{ 138,732 t CO}_2$$

Un total de emisión de CO₂ para la construcción y operación de la central hidroeléctrica de: 100 298,684 t CO₂

6.12 Medidas de compensación, mitigación y reparación para los impactos ambientales negativos

Los impactos ambientales mencionados anteriormente deben tener medidas de compensación, mitigación y reparación, para que los efectos que se produzcan sean los menores posibles.

6.12.1 Flora. Remoción de flora nativa en el roce y despeje de terrenos en la zona de obras.

Medidas de compensación: Siembra y manejo de plantas nativas de la zona.

Medidas de mitigación: Se deberá despejar el área necesaria para la construcción de las obras, también no se debe de talar los árboles que no se encuentren en la zona de infraestructura y tránsito.

Para lo cual se debe de realizar un cronograma de reforestación según el área afectada en las diferentes actividades a realizar en la Central Hidroeléctrica "El Altar".

6.12.2 Uso de suelo. Erosión de suelos.

Medidas de compensación: La erosión de suelo es por las construcciones de obras civiles, la medida de compensación es la reforestación de la zona para la recuperación de suelos degradados.

6.12.3 Fauna terrestre y acuática. Comprenden los siguientes aspectos:

Alteración del hábitat por el corte de bosque nativo.

Medidas de compensación: Es la reforestación de árboles nativos

Medidas de mitigación: Tratar de evitar los movimientos abruptos de las maquinarias que se utilizaran en las diferentes construcciones de la central hidroeléctrica "El Altar".

La empresa constructora deberá dar instrucciones a los trabajadores, sobre la prohibición de todo lo que pueda afectar a la fauna silvestre y de alejarse del lugar de la obra.

Alteración del hábitat acuático

Medidas de mitigación: Mantener el caudal ecológico mínimo del 10% del caudal promedio anual.

Medidas de reparación: Los ejemplares afectados de la fauna acuática se debe de mover a sitios apropiados y seguros.

6.12.4 Medio humano. Afectación de la propiedad, por la instalación de obras, camino de acceso.

Medidas de compensación: La compensación es económica por la compra de terrenos que se encuentren dentro de la zona de la central hidroeléctrica "El Altar", a un precio justo y razonable para los dueños.

6.12.5 Calidad del aire. Emisión de material particulado y gases de combustión.

Medidas de mitigación: Para el transporte de materiales y maquinarias se debe efectuar mediante normas para los diferentes ambientes que tiene la zona. Se debe circular a baja velocidad en caminos de tierra. Los vehículos y maquinaria deberán estar con un registro de mantenimiento de acuerdo al fabricante para evitar que sus motores provoquen emisiones inadecuadas de gases de combustión.

6.12.6 Ruido. Generación de ruido en la etapa de construcción, operación y mantenimiento.

Medidas de mitigación: Se evitará el movimiento innecesario de maquinaria pesada y maquinaria liviana. Los trabajadores usarán protecciones auditivas en eventos y lugares de alta generación de ruido.

6.13 Plan de manejo ambiental

6.13.1 Objetivo. Definir procedimientos técnicos, actividades, especificaciones y recomendaciones para la aplicación de medidas de prevención y mitigación de impactos ambientales, manejo y disposición de desechos, respuestas a emergencias, capacitación ambiental, seguimiento y monitoreo ambiental, participación ciudadana, de acuerdo a la normativa ambiental vigente para la actividad hidroeléctrica, reunidas

en el plan de manejo ambiental para la fase de operación de la central hidroeléctrica "El Altar".

6.13.2 Metodología. Este PMA está orientado a proporcionar estrategias prácticas que permitan la prevención, mitigación y control de los potenciales impactos al ambiente y a las comunidades asentadas en el área de influencia directa de la central hidroeléctrica "El Altar".

Este plan ha sido diseñado de manera que pueda ser evaluado en su ejecución, modificado según las necesidades de la empresa.

Es importante mencionar que para su elaboración se ha tomado en consideración las leyes y regulaciones ambientales para el sector eléctrico, con especial atención a lo establecido en el R.O. 041 del 14 de marzo del 2007; el artículo 25 del Reglamento ambiental para actividades eléctricas en el Ecuador y las especificaciones del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI de la calidad ambiental.

Como lineamiento general se ha considerado que los empleados propios y empresas proveedoras de servicios cumplirán con la Política Ambiental de Salud Ocupacional, Seguridad Industrial y Relaciones Comunitarias de CELEC EP y la parroquia El Altar, cuyos lineamientos se citan a continuación:

Asegurarse que cada empleado sea responsable de ejecutar su trabajo de conformidad con las prácticas y procedimientos establecidos. Cumplir con todas las leyes ecuatorianas, regulaciones y guías ambientales.

Valorar los asuntos sociales, ambientales, de salud y seguridad industrial previa al inicio de nuevas actividades y/o apertura de nuevas áreas y reevaluarlas en caso de haber cambios significativos en las circunstancias existentes.

Desarrollar y mantener procedimientos de contingencia, en colaboración con autoridades para minimizar el daño generado por cualquier incidente. A través de consultas, reconocer la preocupación del directorio, empleados y miembros de la comunidad en asuntos de salud ocupacional y seguridad industrial, suministrándoles información relevante y discutir con ellos políticas y prácticas relacionadas de CELEC EP y la parroquia El Altar.

Aplicar normas pertinentes, prácticas ambientales sólidas y principios de análisis de riesgos para asegurar que las actividades ambientales, de salud y seguridad industrial, sean conducidas responsablemente.

6.13.3 Estructura del Plan de Manejo Ambiental. A continuación se presenta la estructura del plan de manejo ambiental, con los planes y programas que son desarrollados de manera detallada.

Tabla 38. Estructura del Plan de Manejo Ambiental

Plan de prevención y mitigación de impactos	Medidas generales, actividades de mantenimiento de equipos auxiliares.
	Programa de manejo de combustibles aceites, lubricantes y otros productos químicos.
	Programa de prevención y mitigación de impactos sobre las condiciones del suelo.
	Programa de prevención y mitigación de impactos sobre las condiciones del agua.
	Programa de prevención y mitigación de impactos sobre las condiciones atmosféricas.
	Programa de prevención y mitigación de impactos para el medio biótico.
Plan de contingencia	Procedimiento de prevención, control y corrección de contingencias y emergencias ambientales.
	Procedimientos durante una contingencia.
	Procedimientos después una contingencia.
Plan de salud y seguridad industrial	Programa de seguridad industrial.
	Programa de salud ocupacional.
Plan de manejo de residuos	Programa de manejo de residuos sólidos.
	Programa de manejo de residuos líquidos.
Plan de relaciones comunitarias e institucionales	Programa: Fortalecimiento de capacidades institucionales de gestión social.
	Programa: Información, comunicación y dialogo comunitario.
	Programa: Apoyo al desarrollo local sustentable.

Fuente: Autores

6.13.4 Descripción de los Planes de Manejo Ambiental. El plan de prevención y mitigación de impactos comprende:

Proyectar alternativas y sugerencias para minimizar o atenuar los impactos ambientales y está diseñado en base al cumplimiento de objetivos articulados entorno a los impactos directos identificados y evaluados previamente.

Objetivos.

- Minimizar la incidencia de impactos sobre el medio físico por acción de las actividades de operación de la Central.
- Disminuir la incidencia de impactos sobre el medio biótico por acción de las actividades de operación de la Central.
- Reducir los efectos en la integridad de trabajadores y entorno socio ambiental por la ocurrencia de incidentes/accidentes/contingencias durante la operación de la Central.
- Potencializar los impactos positivos en el entorno socio ambiental generados por las actividades de operación.

Tabla 39. Plan de prevención y mitigación de impactos

Actividades	Frecuencia de la ejecución	Responsable de la actividad
Medidas generales de prevención y mitigación - actividades de mantenimiento de equipos auxiliares		
Dar mantenimiento a las señaléticas y letreros de las vías tanto para el tránsito vehicular como peatonal y control de velocidad.	Continua	Coordinador del medio ambiente y contratista.
Controlar que los contratistas apliquen disposiciones precisas a sus trabajadores para: prohibir la caza, la pesca, la recolección, consumo, tráfico y/o comercialización de fauna o flora silvestres.	Continua	Coordinador del medio ambiente y contratista.
Verificar que los contratistas cumplan con todas las regulaciones que se hayan establecido, se establezcan o sean requeridos por el Coordinador de Medio Ambiente, con la finalidad de reducir los riesgos de contaminación y cumplir con la legislación y reglamentos de salud seguridad y ambiente aplicable.	Continua	Personal de supervisión.
El material producto de las actividades de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica "El Altar" y su Línea de Transmisión por ningún motivo será depositado en cuerpos hídricos.	Continua	Coordinador del medio ambiente.

Tabla 39. (Continuación)

El mantenimiento de los equipos camioneros y maquinaria para evitar emisiones excesivas de gases productos de la combustión será con proveedores externos y fuera de la central	Continua	Coordinador del medio ambiente y personal de mantenimiento.
Dar mantenimiento a todas las estructuras de drenaje. Deberán ser limpiados, eliminando de los mismos cualquier acumulación de materiales extraños y efectuando los trabajos de mantenimiento necesarios..	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Programa de manejo de combustibles, aceite lubricantes y otros productos químicos		
Adecuar una bodega para el almacenamiento de productos químicos, combustibles, lubricantes, pinturas debidamente señalizadas y que cumplan con los requisitos establecidos en la NORMA INEN 2266. Dicha bodega debe contar con un muro de contención que en caso de un derrame, impida la salida del producto hacia el exterior.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Los productos químicos se deben clasificar y almacenar de acuerdo a la compatibilidad y cumpliendo las especificaciones de la NORMA INEN 2266.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Verificar que todo tanque, tambor y recipiente que contenga productos químicos o combustibles, cuenten con la señalética referente a la peligrosidad por cada tipo de producto químico.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Instalar y dar mantenimiento de modo que sea visible la señalética de "NO FUMAR" en todas las áreas donde se almacenen productos inflamables, como laboratorio, bodegas, cuarto de máquinas, otros.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Las hojas de seguridad deben estar al alcance de las personas (idioma español).	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Asegurar que toda actividad de almacenamiento de combustibles cumpla con lo establecido en el Acuerdo Ministerial 155 y el RAHOE 1215.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Los recipientes pequeños con productos químicos, combustibles, aceites o lubricantes no se almacenarán directamente sobre el suelo, deberán tener material impermeable para evitar su contaminación por goteos o derrames accidentales durante los abastecimientos.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Realizar inspecciones periódicas a los tanques de almacenamiento superficiales y dispositivos de contención. Los tanques deberán ser sometidos a pruebas hidrostáticas y pruebas de ultrasonido del fondo de los mismos cada cinco años. Se deberá mantener los registros e informes técnicos de estas inspecciones.	Cada 5 años	Coordinador del medio ambiente y personal de mantenimiento.
Dar mantenimiento a las áreas de ubicación de los transformadores o grupo de transformadores de potencia y de sus sistemas de captación de derrames de aceite dieléctrico.	Anual	Coordinador del medio ambiente y personal de mantenimiento.
Dar mantenimiento a las áreas donde se realice la recepción, abastecimiento y/o manipulación de combustibles y a los separadores agua-aceite.	Anual	Coordinador del medio ambiente y personal de mantenimiento.
Asegurar que todo equipo mecánico como bombas, generadores, tanques de almacenamiento de combustible, otros cuenten con dispositivos de descarga de energía estática (conexión a tierra). Ubicar la señalética de conexión a tierra.	Anual	Coordinador del medio ambiente y personal de mantenimiento.

Tabla 39. (Continuación)

De producirse pequeños derrames, se contendrá con una berma pequeña de tierra; la limpieza podrá efectuarse con materiales absorbentes citados a continuación: Orgánico natural: - paja, conchas de arroz o centros de maíz Minerales - vermiculita, perlita, o arcilla Sintéticos - polímeros Los sintéticos son los más efectivos; sin embargo, puede ser más difícil su disposición. Asegurar que estos materiales se encuentran en buen estado.	En caso de derrames pequeños	Coordinador del medio ambiente.
Programa de prevención y mitigación de impactos sobre las condiciones del suelo		
Después de cada lluvia fuerte y por lo menos diariamente cuando llueva en forma prolongada, el Responsable y/o Asistente de Medio Ambiente inspeccionará los dispositivos de control de erosión y sedimentación, tanto transitoria como permanente, para verificar posibles deficiencias, que serán corregidas en el plazo más inmediato. Llevar registro de estas inspecciones.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Monitorear el estado de la las aguas abajo de la presa, a la salida de los desagües de fondo de la presa, así como por efecto del paso de caudales por los vertederos, con el fin de determinar la necesidad o no de diseñar obras de protección.	Semestral	Coordinador del medio ambiente.
Si el caso lo amerita diseñar y construir obras de protección, como cunetas revestidas de coronación, drenes y otras obras que logren disminuir la saturación de los suelos en las áreas de deslizamiento. Dar mantenimiento a las existentes.	Cuando sea necesario	Coordinador del medio ambiente.
Hacer el mantenimiento periódico de los sistemas de drenaje que logren encausar las aguas hacia las captaciones respectivas, en condiciones adecuadas	Mensual	Coordinador del medio ambiente y personal de mantenimiento.
Realizar limpiezas periódicas de los materiales que se acumulan en los causes	Trimestral	Coordinador del medio ambiente.
Mantener registros de la actividad volcánica del volcán Tungurahua y de la actividad sísmica	Diariamente	Coordinador del medio ambiente.
Coordinar con la Secretaría Nacional de Riesgos los planes de defensa y mitigación para en caso de sismos, riesgos volcánicos, otros.	Mensual	Coordinador del medio ambiente
Realizar el control periódico de la actividad de los deslizamientos activos identificados en el río Puela	Trimestral	Coordinador del medio ambiente.
Programa de prevención y mitigación sobre las condiciones del agua		
Realizar el monitoreo en estación seca y época lluviosa, para verificar que se mantiene el caudal ecológico y no existen efectos sobre los ecosistemas del agua, debajo de la central hidroeléctrica, utilizando la metodología desarrollada y los sitios establecidos en esta.	Anual	Coordinador del medio ambiente.
Todas las estructuras de drenaje, cunetas y demás desagües deberán ser limpiados, eliminando de los mismos cualquier acumulación de materiales extraños y efectuando los trabajos de mantenimiento necesarios.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
En el caso de un derrame no se debe emplear agua para labores de limpieza de derrames, sin embargo de ser inevitable su uso, el efluente producto de la limpieza deberá ser tratado y cumplir con los límites de descarga hacia sistemas de alcantarillado público o cuerpo de agua receptor	En el caso de darse un derrame	Coordinador del medio ambiente y personal de mantenimiento.

Tabla 39. (Continuación)

Asegurar que el lavado de vehículos, equipos y maquinarias se realice dentro de una franja de 30 metros medidos desde la orilla de cualquier cuerpo de agua. Continuar con el tratamiento de estas aguas pasándola por la trampa de separación aceite - agua.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Programa de prevención y mitigación sobre las condiciones Atmosféricas		
No incinerar materiales líquidos o sólidos	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Llevar el registro de horas de funcionamiento de los generadores de energía, realizar un análisis de emisiones gaseosas de fuentes fijas de combustión.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
No se deberán practicar modificaciones a equipos, si tales cambios resultan en un incremento de las emisiones al ambiente o en los niveles de ruidos. En el caso de superar los niveles permitidos se utilizarán silenciadores aislamiento acústico u otros mecanismos de control de ruido en el equipo y maquinaria, según sea necesario para cumplir los límites establecidos.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Programa de prevención y mitigación para el medio biótico		
Calcular los índices de diversidad biológica en el río.	Semestral	Coordinador del medio ambiente.
Se prohíbe a los trabajadores las actividades de caza y pesca, así como la recolección de especies de flora, el mantenimiento de animales en cautiverio y la introducción de especies faunísticas exóticas y animales domésticos.	Continua	Coordinador del medio ambiente y contratista.
Los animales que ingresen a las instalaciones o sean encontrados serán devueltos a su hábitat de manera segura, tanto para el animal como para el personal encargado de esta actividad. Ningún animal que ingrese a las instalaciones será sacrificado intencionalmente. No se sacrificarán animales silvestres, a menos que representen un peligro inminente para la integridad del personal.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
En caso de que los niveles de ruido excedan los valores de fondo determinados en la línea base respecto a la ubicación de receptores sensibles comunitarios, se instalarán barreras acústicas u otros dispositivos donde sea requerido con el objeto de minimizar las afectaciones, procurando que las fuentes de emisión de ruido se ubicarán preferentemente en zonas donde se produzca menor afectación.	En caso de darse	Coordinador del medio ambiente.

Fuente: Autores

6.13.5 Plan de contingencia y riesgo. A pesar de las medidas de prevención y seguridad establecidas en el PMA, existen factores internos y/o externos que pueden generar situaciones emergentes.

Un plan de contingencia es un tipo de plan preventivo, predictivo y reactivo que permite controlar una situación de emergencia y minimizar sus consecuencias negativas.

Esta clase de plan, intenta garantizar la continuidad del funcionamiento de la organización frente a cualquier eventualidad, ya sean materiales o personales.

Las emergencias o contingencias serán aquellas causadas por fallas operacionales, humanas, fenómenos naturales o sabotajes, de los que pueden resultar circunstancias como: derrames de hidrocarburos y sus derivados, fugas, incendios o explosiones, accidentes viales incluyendo también emergencias derivadas de sismos, descargas eléctricas (rayos), incendios forestales y de procesos erosivos.

El presente plan establece acciones básicas de respuesta que se tomarán para afrontar de manera oportuna, adecuada y efectiva situaciones de emergencia.

Plan de Contingencias. Responderá de manera oportuna y eficaz posibles emergencias, minimizando y controlando en la medida posible efectos socio-ambientales derivados de posibles contingencias.

Objetivo. El Objetivo es proporcionar una herramienta de planificación y trabajo que permita proveer respuestas rápidas y eficaces cuando se presenten contingencias, apoyando la toma de decisiones, así como la organización y coordinación de las acciones en el control de las mismas.

Tabla 40. Plan de contingencia y riesgos

Actividades	Frecuencia de la ejecución	Responsable de la actividad
Procedimiento de prevención, control y corrección de contingencias y emergencias ambientales		
En el caso de cualquier derrame, se deberá notificar inmediatamente al coordinador ambiental para establecer las acciones de acuerdo al plan de contingencias.	Eventual	Coordinador del medio ambiente.
Actualizar e informar mensualmente, como están constituidas las brigadas de emergencia: brigada de evacuación y rescate, brigada de primeros auxilios.	Mensual	Coordinador del medio ambiente
Mantener y actualizar la señalización de los tanques de almacenamiento de combustible y tuberías de acuerdo a la norma INEN 440	Continua	Coordinador del medio ambiente
Contar con las hojas de seguridad visibles y en los puntos de uso, de las sustancias que se utilizan	Continua	Coordinador del medio ambiente
Realizar revisiones periódicas y mantenimiento anuales de las instalaciones eléctricas en general.	Mensual	Coordinador del medio ambiente
Equipo de primeros auxilios Asegurar que los botiquines se ubiquen en sitios estratégicos y cuenten con todos los implementos necesarios. Verificar que los materiales no se encuentren caducados.	Anual	Responsable de seguridad y salud ocupacional.
Mantener actualizado el plan de evacuación. Realizar simulacros de evacuación, en coordinación de organismos de socorro y rescate.	Anual	Coordinador del medio ambiente

Tabla 40. (Continuación)

Entregar equipos de protección personal a los trabajadores de acuerdo al programa establecido internamente, el EPP deberá ser entregado de acuerdo al riesgo inherente al proceso que desempeñe y llevar registros de la entrega del EPP.	Continua	Responsable de seguridad y salud ocupacional.
Procedimientos durante una contingencia		
En caso de una situación de contingencia aplicar los lineamientos establecidos en el Plan de Contingencias de la empresa para situaciones de: incendio, sismos, erupciones volcánicas, derrames de hidrocarburos y otras sustancias, derrumbes e inestabilidad de derrumbes y accidentes.	Eventual	Coordinador del medio ambiente y responsable de seguridad y salud ocupacional.
Las brigadas deben cumplir las funciones asignadas	Eventual	Brigadistas
En el caso de evacuación seguir el procedimiento de evacuación ante una emergencia.	Eventual	Todo el personal
Procedimientos después una contingencia		
Evaluar las consecuencias e impactos generados por la contingencia.	Eventual	Coordinador del medio ambiente y responsable de seguridad.
Informar a la autoridad competente, si se produjeron impactos ocasionados por actividades de la empresa, implementar medidas de compensación.	Eventual	Autoridad de la empresa.

Fuente: Autores

6.13.6 Programa de seguridad y salud ocupacional. El presente Plan de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional aplica a las actividades de la fase de operación. Todas las directrices que se establecen en el presente plan deben ser difundidas antes de reiniciar las actividades de operación y aplicadas durante la ejecución de las mismas.

Además de lo aquí indicado, se deberá llevar a cabo lo dispuesto en el Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo. El plan establece medidas que el personal (propio y contratado) deberá cumplir para prevenir incidentes y accidentes que comprometan la integridad de los trabajadores.

Objetivos.

- Controlar y prevenir los riesgos identificados previamente, para la salud de sus empleados y sus contratistas.
- Minimizar los riesgos para la salud del personal, contratistas y visitantes.
- Reducir y controlar los riesgos de incidentes y accidentes de sus empleados, contratistas, y visitantes.

Tabla 41. Plan de salud y seguridad industrial

Actividades	Frecuencia de la ejecución	Responsable de la actividad
Programa de seguridad industrial		
Entrenamiento y uso de instrumentos de control de riesgos ocupacionales como son los permisos de trabajo, charlas al inicio de la jornada de trabajo, normas de SSO, peligros específicos, uso correcto del EPP, otros	Diario	Responsable de seguridad y salud ocupacional.
Cuando se modifique el Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo se debe notificar a los jefes de área, para que estos a su vez notifiquen al personal a su cargo.	Eventual	Responsable de seguridad y salud ocupacional.
Si los EPP han acabado su vida útil o se encuentran deteriorados deben ser reemplazados cuando cumpla su tiempo de vida útil o se encuentren deteriorados	Trimestral	Responsable de seguridad y salud ocupacional.
Los químicos usados se manipularán siguiendo las recomendaciones de su fabricante respecto a su transporte, almacenamiento, reactividad, protección y reglas generales, los mismos que se encuentran en las hojas de seguridad, las mismas que serán visibles en el área de almacenamiento.	Continua	Responsable de seguridad y salud ocupacional.
Programa de salud ocupacional		
Asegurar el cumplimiento de las políticas de salud, participar en las evacuaciones médicas, atención de emergencias y estabilización, actualizar los registros requeridos y emitir los informes respectivos.	Continua	Responsable de seguridad y salud ocupacional.
El programa de salud deberá incluir, pero no limitarse a, los siguientes temas: <ul style="list-style-type: none"> • Exámenes pre-ocupacionales • Tratamiento y control de enfermedades ocupacionales • Accidentes de trabajo • Atención médica de emergencia y de patología • Subprograma de salud comunitaria • Subprograma de Inmunización • Exámenes y controles relacionados a los riesgos a los que están expuestos los trabajadores. 	Continua	Responsable de seguridad y salud ocupacional.
El servicio médico deberá estar en capacidad de resolver la patología primaria, toda atención médica de mayor complejidad tendrá que ser referida a una unidad de salud para tratamiento específico.	Continua	Departamento Medico
Se realizarán exámenes ocupacionales anualmente a los trabajadores según el frente de trabajo en donde desarrollan sus actividades, entre ellas audiometrías para el personal que tienen relación directa con el funcionamiento de las turbinas. Para la realización de exámenes médicos anuales se determinará un centro de salud del Ministerio de Salud o un centro médico autorizado por el IESS.	Anual	Departamento Medico
Todos los frentes de trabajo que se encuentren lejanos a los dispensarios médicos deberán contar con un botiquín de primeros auxilios que cuenten con los elementos indispensables para la atención de pequeñas heridas. En caso de requerir atención de mayor complejidad los trabajadores deberán acudir al dispensario médico.	Continua	Departamento Medico

Fuente: Autores

6.13.7 Plan de manejo de residuos. Define directrices para clasificar en la fuente, almacenar correctamente, reutilizar, reciclar y disponer los residuos sólidos y desechos peligrosos generados por las actividades de la operación de la central.

Objetivos Específicos

- Disminuir los impactos directos sobre los factores socio-ambientales relacionados con el almacenamiento, tratamiento y disposición de residuos sólidos.
- Reducir la magnitud de los impactos directos sobre los factores socio-ambientales resultantes de las descargas de desechos líquidos.
- Prevenir y mitigar los impactos sobre los factores socio-ambientales relacionados con el manejo de residuos peligrosos.

El programa de desechos implica mantener una secuencia integral desde la generación hasta la disposición final de los desechos que se generan.

Desechos generados en la central. En la central Hidroeléctrica se genera los siguientes desechos.

Desechos orgánicos e inorgánicos son: chatarra, papel, cartón, vidrio, madera, aisladores de cerámica y desechos orgánicos.

Desechos peligrosos son: aceites minerales usados, aceites hidráulicos, aceites dieléctricos, suelos contaminados, material absorbente contaminado, lámparas de mercurio, sodio, fluorescentes, pilas, baterías, y solventes.

Tabla 42. Plan de manejo de residuos

Actividades	Frecuencia de la ejecución	Responsable de la actividad
Programa de manejo de desechos sólidos		
Se ubicarán recipientes etiquetados, en lugares estratégicos para el almacenamiento temporal de los desechos, se aplicará el código de colores para la separación en la fuente: Rojo – Desechos peligrosos Verde – Desechos comunes Azul – desechos inorgánicos Gris – desechos metálicos	Continua	Coordinador del medio ambiente

Tabla 42. (Continuación)

Asegurar que en las áreas de mantenimiento existan recipientes adecuados y rotulados para almacenamiento de aceites minerales, hidráulicos, dieléctricos. Así como recipientes para almacenar temporalmente el material contaminado como wypes, equipo de trabajo, guantes, telas, etc.	Semanal	Coordinador del medio ambiente
El lugar de almacenamiento temporal de materiales peligrosos se debe almacenar en un lugar cubierto, con techo y suelo impermeable.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Los desechos peligrosos se deben clasificar y almacenar temporalmente de acuerdo a la NORMA INEN 2266	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Entregar los desechos como papel, cartón, chatarra y vidrio a gestores ambientales calificados. Llevar los registros de la entrega de desechos	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Tratar los desechos del dispensario médico de forma separada y en cumplimiento a la normativa establecida por el Ministerio de Salud Pública. Debe ser entregado por separado a gestores específicos para este tipo de desechos	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Programa de manejo de efluentes líquidos		
Enviar las aguas grises y negras al pozo séptico. Dar mantenimiento de los mismos.	Continua	Coordinador del medio ambiente.
Realizar el monitoreo de las aguas turbinadas	Continua	Coordinador del medio ambiente.

Fuente: Autores

6.13.8 Plan de relaciones comunitarias e institucionales. El Programa tiene como propósito la realización de actividades orientadas a generar las condiciones para lograr la "licencia social", manteniendo una relación transparente y de buena vecindad con la población local, contribuyendo al mejoramiento de su calidad de vida y procurando el bienestar común de las población ubicada en el área de influencia.

El programa de relaciones comunitarias e institucionales de la central hidroeléctrica "El Altar" establece los lineamientos de gestión social de la hidroeléctrica en relación con su área de influencia.

Los impactos al medio socio económico y cultural han sido poco identificados por los diferentes instrumentos de evaluación aplicados, tales como las evaluaciones, diagnósticos y auditorías ambientales.

Otro de los factores a tomar en cuenta es que las medidas contenidas en los programas deben corresponder directamente a los impactos (sobre la economía local, la salud, el acceso a tierras, aspectos socio culturales e históricos) generados o a producirse; siempre con la premisa de corregir aquellos efectos negativos y potenciar los positivos.

Tabla 43. Plan de relaciones comunitarias e institucionales

Actividades	Frecuencia de la ejecución	Responsable de la actividad
Programa de fortalecimiento de capacidad institucional de gestión social		
Incorporar personal propio de la planta para ejecutar de manera directa el Programa de relaciones comunitarias	Continua	Coordinador del medio ambiente
Desarrollar acuerdos y compromisos, considerando dos niveles: <ul style="list-style-type: none"> • Acuerdos y convenios específicos que se generarán con actores locales y que se orienten a lograr un objetivo concreto y de corta duración para su ejecución. • Acuerdos de impactos y beneficio, con organizaciones y gobiernos locales, que implicarán un carácter estratégico de largo plazo. En algunos casos se deberá contar con asesoría especializada. 	Anual	Coordinador del medio ambiente y comunidad
Diseñar e implementar un proyecto o estrategia específico para el manejo de conflictos socio ambientales, el cual pretende mantener abiertos todos los canales de comunicación y negociación,	Anual	Coordinador del medio ambiente y comunidad
Programa de información, comunicación y diagnóstico comunitario		
Diseñar e implementar un proyecto específico para el manejo de conflictos socio-ambientales, el cual pretende mantener abiertos todos los canales de comunicación y negociación, a fin de reducir las tensiones.	Anual	Coordinador del medio ambiente personal de apoyo para el programa de relaciones comunitarias.
Diseñar e implementar procedimientos a seguir, brindando la mejor respuesta de la empresa frente a potenciales conflictos y denuncias.	Anual	Coordinador del medio ambiente personal de apoyo para el programa de relaciones comunitarias.
Programa apoyo al desarrollo local sustentable		
Si el turismo es un motor de desarrollo local, se deberá fomentar una serie de estrategias que otorguen valor agregado a la oferta de turismo comunitario y que los grupos menos favorecidos puedan ser competitivos frente a otros proyectos con mayor capacidad de inversión.	Anual	Coordinador del medio ambiente/personal de apoyo para el programa de relaciones comunitarias.
En función de la demanda laboral de la central hidroeléctrica se implementará un procedimiento de empleo local, el cual permitirá brindar una oportunidad de empleo temporal o permanente a los habitantes de las distintas comunidades del área de influencia de la central de generación hidroeléctrica San Francisco.	Anual	Coordinador del medio ambiente/personal de apoyo para el programa de relaciones comunitarias.
Programa de apoyo al fortalecimiento de capacidades locales		
Acompañamiento al proceso de participación ciudadana y consulta durante las actividades de operación y mantenimiento de la central hidroeléctrica, a través de lo cual se pretende mejorar las capacidades de negociación, incluso para establecer acuerdos encaminados a la sostenibilidad.	Continua	Coordinador del medio ambiente/personal de apoyo para el programa de relaciones comunitarias.

Fuente: Autores

CAPITULO VII

7. ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS Y COSTOS DEL PROYECTO

7.1 Costos de inversión

7.1.1 Costos directos. Los costos directos son todos los gastos asociados directamente a la construcción de la central.

En el análisis de los costos directos se consideran los siguientes aspectos:

- Costo de materiales
- Costo de obras civiles
- Costos del sistema de transmisión
- Costo de mano de obra
- Costo de equipos y maquinaria
- Costos de transporte

Costos de materiales. Se detallan los costos de los materiales necesarios para la construcción, tanto para la obra civil, hidráulica y mecánica.

Tabla 44. Costos de materiales

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Equipos hidrogeneradores	2	UNID	2 869 377,42	5 738 754,84
Tubería PRFV \varnothing 80 in	5750	m	780,05	4 485 287,50
Tubería Acero \varnothing 68 in	420	m	789,29	331 500,75
Tubería Acero \varnothing 42 in	840	m	537,63	451 605,00
Junta de expansión \varnothing 80	40	m	1 250,00	50 000,00
Válvula de compuerta bridada	4	UND	817,50	3 270,00
Pintura epóxido	42,3	GLS	56,25	2 379,38
Tabla de monte 0,30 M	639,6	m	0,99	631,61
Válvula mariposa \varnothing 42 in	4	UND	5 304,94	21 219,75
Válvula check retención 80 in	2	UND	1 054,69	2 109,38
Válvula check retención 42 in	4	UND	817,79	3 271,15
Pintura zinc inorgánico tipo I-C	44,23	GLS	131,25	5 805,19
Disco de desgaste	67,96	UND	4,50	305,82
Pintura de caucho	10	gal	14,81	148,13

Tabla 44. (Continuación)

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Manómetro de presión 600 psi	2	UND	73,45	146,90
Válvula de aire	1	UND	1 500,00	1 500,00
Válvula de descarga	1	UND	3 500,00	3 500,00
Total (A)				11 104 954,38

Fuente: Autores

Costos de obras civiles. Son todas las obras que se construirán en la Central.

Tabla 45. Costos de obras civiles

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Bocatoma	1	UND	200 000,0	200 000
Desarenador	2	UND	10 000,0	20 000
Desripador	2	UND	10 000,0	20 000
Pozos de control	12	UND	4 000,0	48 000
Paso elevado	1	UND	70 000,0	70 000
Alcantarillado	1	UND	2 500,0	2 500
Tanque de entrada al sifón	1	UND	10 000,0	10 000
Tanque de salida al sifón	1	UND	10 000,0	10 000
Tanque de carga	1	UND	10 000,0	10 000
Apoyos tubería de presión	24	UND	67,5	1 620
Anclaje tubería de presión	32	UND	495,0	15 840
Apoyos sifón	9	UND	270,0	2 430
Anclaje sifón	12	UND	1 800,0	21 600
Apertura de vía	5750	m	100,0	575 000
Total (B)				1 006 990

Fuente: Autores

Costo del sistema de transmisión. Comprenden todos los gastos desde la casa de máquinas hasta la subestación.

Tabla 46. Costo del sistema de transmisión

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Conductor 477 M.C.M.	25250	m	1,50	37 875,00
Estructuras de transm. de 69 kv	83	UND	417,59	34 659,76
Cimentación	83	m ³	11,00	913,00
Terreno de la cimentación	332	m ²	10,00	3 320,00

Tabla 46. (Continuación)

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Casa de control	1	UND	4 993,16	4 993,16
Estructura exterior	1	UND	5 542,04	5 542,04
Instalación eléctrica	1	UND	101 482,63	101 482,63
Instalación de equipos	1	UND	19 736,58	19 736,58
Equipo de importación	1	UND	766 314,35	766 314,35
Total (C)				974 836,51

Fuente: Autores

Costos de mano de obra. Están establecidos por la Contraloría General de Estado.

Tabla 47. Costo de mano de obra

Descripción	Categoría	Horas-Hombre	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Peón	Estructura Ocupacional E2	10 200	2,562	26 132,40
Ayudante en general	Estructura Ocupacional E2	1 000	2,562	2 562,00
Albañil	Estructura Ocupacional D2	1 300	2,593	3 371,55
Carpintero	Estructura Ocupacional D2	550	2,593	1 426,43
Pintor	Estructura Ocupacional D2	300	2,593	778,05
Cadenero	Estructura Ocupacional D2	100	2,593	259,35
Maestro soldador	Estructura Ocupacional C1	200	2,688	537,60
Maestro de obra	Estructura Ocupacional C2	950	2,667	2 533,65
Operador de maquinaria	Estructura Ocupacional C2	100	2,688	268,80
Chofer	Choferes profesionales	400	3,864	1 545,60
Inspector	Estructura Ocupacional B3	500	2,688	1 344,00
Supervisor de pintura	Supervisor	80	6,940	555,24
Topógrafo 1	Topografía	100	2,667	266,70
Topógrafo 2	Topografía	75	2,688	201,60
Maestro Soldador	Mecánico	40	2,688	107,52
Maestro de Mecanizado	Mecánico	10	2,688	26,88
Ayudante de soldadura	Sin titulo	20	2,593	51,87
Ayudante de albañil	Estructura ocupacional E2	25	2,562	64,05
Ayudante mecánico	Estructura ocupacional E2	15	2,688	40,32
Fierrero	Estructura ocupacional D2	8	2,593	20,75
Ayudante de fierrero	Estructura ocupacional E2	2	2,562	5,12
Mano de obra en electricidad	Subestación	1	5 292	5 292,00
Total (D)				47 391,48

Fuente: Autores

Costos de equipos y maquinaria. En la siguiente tabla se detallan todos los equipos y maquinarias que se necesitarán para la ejecución de la central hidroeléctrica.

Tabla 48. Costo de equipos y maquinaria

Descripción	Unidad	Horas totales	Tarifa [USD]	Costo total [USD]
Herramienta menor	Hora	10 000	0,250	2 500,00
Compresor	Hora	250	2,520	630,00
Equipo de topografía	Hora	300	2,500	750,00
Tecele	Hora	600	0,625	375,00
Teodolito	Hora	250	3,750	937,50
Soldadora eléctrica 300 A	Hora	160	1,250	200,00
Amoladora eléctrica	Hora	130	1,375	178,75
Vibrador	Hora	120	1,250	150,00
Equipo de suelda autógena	Hora	25	2,500	62,50
Torno de mecánica industrial	Hora	5	12,500	62,50
Equipo de oxicorte	Hora	10	1,375	13,75
Andamios módulo incluye transporte	Hora	80	0,150	12,00
Grúa móvil	Hora	200	31,250	6 250,00
Cortadora	Hora	200	1,250	250,00
Dobladora de hierro	Hora	30	0,175	5,25
Cizalla	Hora	50	0,175	8,75
Total (E)				12 386,00

Fuente: Autores

Costos de transporte. Son los costos de transporte de materiales, equipos y personal.

Tabla 49. Costo de transporte

Descripción	Cantidad	unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Transporte Turbina Pelton	2	UND	625,00	1 250,00
Volqueta 8 m ³	75	Horas	18,75	1 406,25
Transporte de tubería	1168	UND	10,00	11 683,30
Camioneta	180	Horas	6,25	1 125,00
Retroexcavadora	150	Horas	56,25	8 437,50
Transporte de conductor 477 M. C. M	25	UND	50,00	1 262,50
Transporte de torres de 69 kv	83	UND	100,00	8 300,00
Total (F)				25 164,55

Fuente: Autores

Sumando los costos totales de A + B + C + D + E + F es igual a 13 171 722,92 USD

7.1.2 Costos indirectos. Son los gastos de tipo general no incluidos en los costos directos.

En análisis de los costos indirectos se considera los siguientes aspectos:

- Costos de ingeniería y detalles
- Imprevistos

Costos de ingeniería y detalles. Es de gran importancia considerar el trabajo de los técnicos como: ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos, ingenieros agrónomos, proyectistas, ingenieros civiles, topógrafos, etc. Se considera también los rubros generales como gastos de oficina.

Tabla 50. Costos de ingeniería y detalles

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Internet	350	GLOB	1,00	350,00
Gastos visita de equipos	4	GLOB	250,00	1 000,00
Empastados documentos	5	UND	150,00	750,00
Impresiones documentos en general	25	UND	18,75	468,75
Planos topográficos	5	UND	150,00	750,00
Planos generales	15	UND	37,50	562,50
Viáticos	1	GLOB	975,00	975,00
Gastos de movilización: Combustible	2	GLOB	125,00	250,00
Dirección del proyecto y personal tec.	1	GLOB	2412,50	2412,50
Gastos de oficina	1	GLOB	625,00	625,00
Total (G)				8 143,75

Fuente: Autores

Costos de imprevistos. Corresponden a la variación de precios de materiales, mano de obra, equipos y servicios adicionales, debido a que no se conoce con precisión la fecha de iniciación del proyecto. Para los costos de imprevistos se establece un 10% del costo total, por lo tanto tienen una valoración de 1 317 172,29 USD.

El costo indirecto total es la suma de los costos totales G + los costos de imprevistos y es igual a 1 325 316,042 USD.

7.1.3 Costo total de la inversión. El costo total del proyecto es la suma de los costos directos y los costos indirectos.

Los costos totales son la suma de: A + B + C + D + E + F + G + los costos de imprevistos y es igual a 14 497 038,96 USD.

7.2 Costos de operación y mantenimiento

7.2.1 Costos de operación mensual.

Tabla 51. Costos de operación mensual

Descripción	Cantidad	Costo [USD]
Técnicos	2	3 600,00
Operadores en turnos de 8 horas	4	2 250,00
Encargados de limpieza y mantenimiento	2	1 350,00
Equipos e implementos de seguridad	1	225,00
Gastos misceláneos	1	93,75
Gastos totales mensuales (H)		7 518,75

Fuente: Autores

Los gastos anuales de operación se obtienen multiplicado el valor de H por los doce meses del año y es igual a 90 225 USD.

7.2.2 *Costos de mantenimiento anual.* Se consideran los costos de inspección y recambio de piezas. Las actividades de mantenimiento que se podría dar son:

Tabla 52. Costos de mantenimiento anual

Descripción	Frecuencia	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Engrasado de chumaceras	Mensual	24	195,00	4 680,00
Desmontaje y chequeo del generador	Trimestral	12	247,00	2 964,00
Engrase cojinetes internos del generador	Mensual	24	390,00	9 360,00
Cambio de retenedores	Mensual	24	390,00	9 360,00
Mantenimiento generador	Semestral	12	325,00	3 900,00
Imprevistos	Mensual	12	117,00	1 404,00
Mantenimiento del sistema de transmisión	Trimestral	12	520,00	6 240,00
Cambio de cojinetes en la turbina	Semestral	24	195,00	4 680,00
Total (I)				42 588,00

Fuente: Autores

También es importante considerar las herramientas necesarias para la realización del mantenimiento continuo de la central hidroeléctrica.

Tabla 53. Costos de herramientas

Herramientas necesarias	Cantidad	Costo [USD]
Destornilladores plano y estrella	4	34,80
Alicate para mecánico	4	25,00
Martillo mecánico	4	37,50
Juego de llave de boca	4	75,00
Juego de llaves hexagonales	4	75,00
Rastrillo para limpieza de las rejillas	4	37,50
Escalera	4	180,00
Pala	10	120,00
Machete	6	45,00
Linterna de mano	6	225,00
Tecele	2	875,00
Aceite lubricante	10 Galones	150,00
Diesel para limpieza	30 Galones	46,88
Twipe	40	40,00
Total (J)		2 220,53

Fuente: Autores

El costo total de operación y mantenimiento al año es la suma de los costos (H multiplicado por 12) + I + J y es igual a 135 033,525 USD.

7.3 Beneficios

Los beneficios de la central hidroeléctrica se manifiestan en la venta de energía generada, permitiendo obtener ingresos considerables.

7.3.1 Cálculo de la venta de energía. La central hidroeléctrica "El Altar" genera 10 MW, de los cuales se pretende vender aproximadamente 9,8 MW y los 0,2 MW restantes serán para uso de la comunidad o para la implementación de obras turísticas.

Tabla 54. Diferentes costos de energía y años de recuperación

Costo [USD/kWh]	Costo al Año [USD/kWh]	Años de recuperación
0,05	4 233 600	3,5
0,04	3 386 880	4,3
0,03	2 540 160	5,8

Fuente: Autores

El costo por kWh es de 0,125 USD según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

De acuerdo al análisis de la tabla 54 se decide vender la energía a 0,04 USD el kWh, ya que el costo de la energía ofertada debe ser menor al costo de la energía proporcionada por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

Se calcula los ingresos anuales por venta de la energía considerando que se generara las 24 horas del día.

La energía al mes por hora es: 9 800 kW x 720 h/mes = 7 056 000 kWh/mes.

Costo total de energía al mes: 7 056 000 kWh/mes x 0,04 USD/kWh = 282 240 USD/mes.

Costo total venta energía al año: 3 386 880 USD

7.4 Valor residual de salvamento

Se utiliza la depreciación lineal, en donde se considera que el bien pierde su valor anualmente de manera uniforme, desde el valor inicial en el año de la instalación hasta cero en el último año de la vida útil del proyecto.

La vida útil para pequeñas centrales del equipo electromecánico se considera 30 años y para la obra civil de 50 años.

El valor residual se determina con la siguiente ecuación:

$$V_{Rn} = V_1 - V_1 \frac{(n)}{N}$$

Donde:

V_{Rn} = Valor residual en el año [USD]

V_i = Valor inicial del bien, en al año de su instalación [USD]

n = Valor residual [años]

N = Vida útil del bien [años]

7.4.1 Valor residual de obras civiles:

$$V_i = 1\,006\,990 \text{ USD}$$

$$N = 50 \text{ años}$$

$$n = 30 \text{ años}$$

$$V_{Rn} = 1\,006\,990 - 1\,006\,990 \left(\frac{30}{50}\right) = 402\,796 \text{ USD}$$

7.4.2 Valor residual del equipo electromecánico:

$$V_i = 5\,774\,403,62 \text{ USD}$$

$$N = 30 \text{ años}$$

$$n = 29 \text{ años}$$

$$V_{Rn} = 5\,774\,403,62 - 5\,774\,403,62 \left(\frac{29}{30}\right) = 192\,480,121 \text{ USD}$$

7.4.3 Valor residual del sistema de transmisión:

$$V_i = 974\,836,52 \text{ USD}$$

$$N = 30 \text{ años}$$

$$n = 29 \text{ años}$$

$$V_{Rn} = 974\,836,52 - 974\,836,52 \left(\frac{29}{30}\right) = 32\,494,55 \text{ USD}$$

7.4.4 Valor de los costos de operación. Se considera solo la recuperación de tres meses de los costos de operación de 90 225 USD en el último año de funcionamiento.

$$N = 12 \text{ meses}$$

$$n = 3 \text{ meses}$$

$$V_{Rn} = 90\,225 - 90\,225 \left(\frac{3}{12}\right) = 67\,668,75 \text{ USD}$$

El valor residual para los 30 años del equipo electromecánico es la suma de los valores residuales de las obras civiles, equipo electromecánico y costo de operación.

$$V_{Rn} = 695\,439,421 \text{ USD}$$

7.5 Elaboración del cuadro flujo de caja

Ingresos:

- Consumo de energía al valor estatal
- Valor residual de la instalación y equipo

Egresos:

- Inversiones
- Costo de operación y mantenimiento

7.5.1 Cálculo de flujo de caja interna.

Tabla 55. Flujo de caja interno por año

Año	Valor energía [USD]	Beneficio [USD]	Inversión [USD]	Operación y mantenimiento [USD]	Costo total [USD]	Flujo de caja [USD]
1	4492357	4492357	14497039	76328,938	14497038,96	-10004681,33
2	3386880	3386880	0	135033,525	135033,525	3251846,475
3	3386880	3386880	0	135033,525	135033,525	3251846,475
4	3386880	3386880	0	135033,525	135033,525	3251846,475
5	3386880	3386880	0	135033,525	135033,525	3251846,475
6	3386880	3386880	0	135033,525	135033,525	3251846,475
7	3386880	3386880	0	135033,525	135033,525	3251846,475
8	3386880	3386880	0	135033,525	135033,525	3251846,475
9	3386880	3386880	0	135033,525	135033,525	3251846,475
10	3386880	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
11	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
12	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
13	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
14	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
15	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
16	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
17	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
18	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
19	3556224	3556224	0	135033,525	135033,525	3421190,475
20	3556224	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675

Tabla 55. (Continuación)

Año	Valor energía [USD]	Beneficio [USD]	Inversión [USD]	Operación y mantenimiento [USD]	Costo total [USD]	Flujo de caja [USD]
21	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
22	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
23	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
24	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
25	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
26	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
27	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
28	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
29	3734035,2	3734035,2	0	135033,525	135033,525	3599001,675
30	3734035,2	4429474,6	0	135033,525	135033,525	4294441,096

Fuente: Autores

7.6 Evaluación económica

7.6.1 Cálculo del valor actual neto.

La tasa de descuento que se utilizó para el cálculo del valor actual neto (VAN) es del 9% según la tasa activa de interés, El valor actual neto es la diferencia de los beneficios y los costos, a una misma tasa de descuento i .

Tabla 56. Cálculo del valor actual neto

Año	Beneficio [USD]	Factor del valor actual	Beneficio actualizado	Costo [USD]	Factor del Valor actual	Costo actualizado [USD]
1	4492357,0	0,9174	4121288,89	14497039,0	0,9174	13299583,54
2	3386880,0	0,8417	2850736,89	135033,525	0,8417	113657,71
3	3386880,0	0,7722	2615348,73	135033,525	0,7722	104272,89
4	3386880,0	0,7084	2399265,79	135033,525	0,7084	95657,75
5	3386880,0	0,6499	2201133,31	135033,525	0,6499	87758,28
6	3386880,0	0,5963	2019596,54	135033,525	0,5963	80520,49
7	3386880,0	0,5470	1852623,36	135033,525	0,5470	73863,33
8	3386880,0	0,5019	1699875,07	135033,525	0,5019	67773,32
9	3386880,0	0,4604	1559319,55	135033,525	0,4604	62169,43
10	3386880,0	0,4224	1430618,11	135033,525	0,4224	57038,16
11	3556224,0	0,3875	1378036,80	135033,525	0,3875	52325,49
12	3556224,0	0,3555	1264237,63	135033,525	0,3555	48004,42
13	3556224,0	0,3262	1160040,26	135033,525	0,3262	44047,94

Tabla 56. (Continuación)

Año	Beneficio [USD]	Factor del valor actual	Beneficio actualizado	Costo [USD]	Factor del Valor actual	Costo actualizado [USD]
14	3556224,0	0,2993	1064377,84	135033,525	0,2993	40415,53
15	3556224,0	0,2475	880165,44	135033,525	0,2475	33420,79
16	3556224,0	0,2519	895812,82	135033,525	0,2519	34014,94
17	3556224,0	0,2311	821843,36	135033,525	0,2311	31206,25
18	3556224,0	0,2120	753919,48	135033,525	0,2120	28627,11
19	3556224,0	0,1945	691685,56	135033,525	0,1945	26264,02
20	3556224,0	0,1784	634430,36	135033,525	0,1784	24089,99
21	3734035,2	0,1637	611261,56	135033,525	0,1637	22104,99
22	3734035,2	0,1502	560852,08	135033,525	0,1502	20282,04
23	3734035,2	0,1378	514550,05	135033,525	0,1378	18607,62
24	3734035,2	0,1264	471982,04	135033,525	0,1264	17068,24
25	3734035,2	0,1160	433148,08	135033,525	0,1160	15663,89
26	3734035,2	0,1064	397301,34	135033,525	0,1064	14367,57
27	3734035,2	0,0976	364441,83	135033,525	0,0976	13179,27
28	3734035,2	0,0896	334569,55	135033,525	0,0896	12099,01
29	3734035,2	0,0822	306937,69	135033,525	0,0822	11099,76
30	4429474,6	0,0754	333982,38	135033,525	0,0754	10181,53
		Beneficio total (K)	36623382,51		Costo total (L)	14559365,31

Fuente: Autores

VAN (9%) es la resta K - L actualizados y es igual a 22 064 017,2 USD. El VAN es positivo, esto significa que el proyecto es viable.

7.7 Cálculo de la relación beneficio - costo

Son los beneficios divididos entre los costos a una misma tasa de descuento. Si este cociente es mayor que 1 significa que para la tasa de descuento i, los beneficios son mayores que los costos y si es menor que 1, los costos son mayores que los beneficios.

La regla señala que debe realizarse el proyecto solo si la relación de beneficios-costos es mayor que la unidad. El cálculo de la relación beneficio/costo está dada por:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{K}{L} = 2,52$$

El cociente es mayor que la unidad significa que para la tasa de descuento ($i = 9\%$) los beneficios son mayores que los costos es decir que el proyecto es rentable y se recupera dentro del periodo de vida útil.

7.8 Cálculo de la tasa interna de retorno

Se concluye que si los costos son iguales a los beneficios, el proyecto solo cubrirá sus gastos y no dejará ninguna utilidad o beneficio monetario. En este caso el VAN es igual a cero y la relación beneficio/costo es igual a uno. El TIR se calcula iterativamente, en la siguiente tabla se indica el cálculo del VAN para las tasas de interés del 10% al 40%.

Tabla 57. Cálculo del VAN a diferentes tasas de interés

Año	Flujo de caja (USD)	Tasa del 10%	Tasa del 20%	Tasa del 30%	Tasa del 40%
1	-10004681,33	-9095164,842	-8337234,439	-7695908,7130	-7146200,948
2	3251846,475	2687476,426	2258226,719	1924169,5120	1659105,344
3	3251846,475	2443160,387	1881855,599	1480130,3940	1185075,246
4	3251846,475	2221054,897	1568212,999	1138561,8410	846482,3186
5	3251846,475	2019140,816	1306844,166	875816,8010	604630,2275
6	3251846,475	1835582,560	1089036,805	673705,2316	431878,734
7	3251846,475	1668711,418	907530,670	518234,7935	308484,8100
8	3251846,475	1517010,380	756275,559	398642,1488	220346,2928
9	3251846,475	1379100,345	630229,6325	306647,8068	157390,2092
10	3421190,475	1319017,029	552541,3618	248166,8288	118276,0732
11	3421190,475	1199106,390	460451,1349	190897,5606	84482,9094
12	3421190,475	1090096,719	383709,2791	146844,2774	60344,9353
13	3421190,475	990997,017	319757,7325	112957,1365	43103,5252
14	3421190,475	900906,379	266464,7771	86890,1049	30788,2323
15	3421190,475	819005,799	222053,9809	66838,5422	21991,5945
16	3421190,475	744550,726	185044,9841	51414,2633	15708,2817
17	3421190,475	676864,297	154204,1534	39549,4333	11220,2012
18	3421190,475	615331,178	128503,4612	30422,6410	8014,4294
19	3421190,475	559391,981	107086,2177	23402,0315	5724,5924
20	3599001,675	534968,666	93876,5515	18937,1667	4301,5139
21	3599001,675	486335,151	78230,4596	14567,0513	3072,5099
22	3599001,675	442122,864	65192,0496	11205,4240	2194,6499
23	3599001,675	401929,877	54326,7080	8619,55699	1567,6071
24	3599001,675	365390,797	45272,2567	6630,42845	1119,7193
25	3599001,675	332173,452	37726,8806	5100,32958	799,7995

Tabla 57. (Continuación)

Año	Flujo de caja (USD)	Tasa del 10%	Tasa del 20%	Tasa del 30%	Tasa del 40%
26	3599001,675	301975,865	31439,0671	3923,33044	571,2853
27	3599001,675	274523,514	26199,2226	3017,94649	408,0609
28	3599001,675	249566,831	21832,6855	2321,49730	291,4721
29	3599001,675	226878,937	18193,9046	1785,76715	208,1943
30	4294441,096	246108,206	18091,2789	1639,10238	177,4457
Total	90506453,070	19453314,060	5331175,8590	695130,23650	-1318440,7320

Fuente: Autores

El cálculo del TIR se lo puede abreviar como se indica en la figura 57. Para realizar este gráfico se ubica en el eje de las ordenadas el VAN y en el eje de las abscisas la tasa de interés.

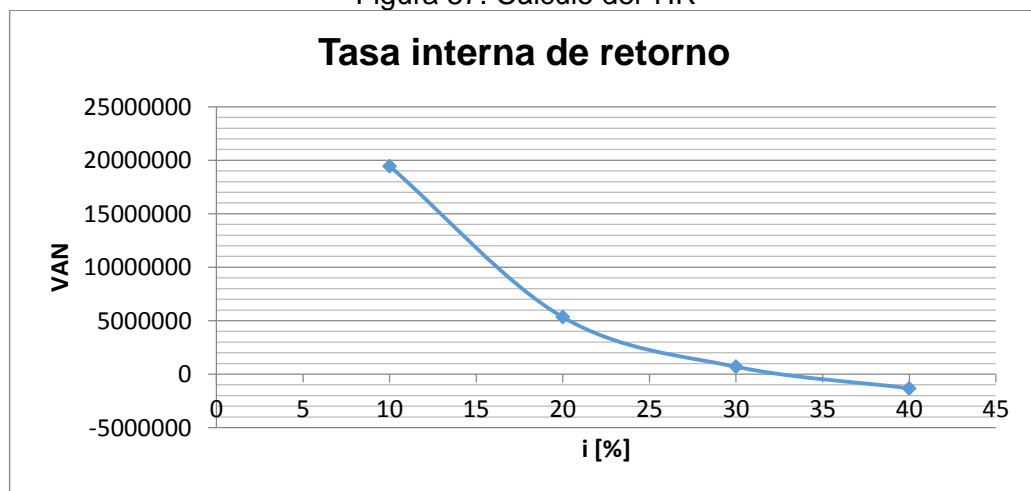
Posteriormente se ubican los puntos del VAN calculado para 10% al 40% como se indica en la tabla se unen los dos puntos y se encuentra la intersección de ellos en el eje de las abscisas.

Tabla 58. Tasa correspondiente al punto de intersección

Porcentaje [%]	VAN
10	19453314,060
20	5331175,859
30	695130,237
40	-1318440,732

Fuente: Autores

Figura 57. Cálculo del TIR



Fuente: Autores

El TIR del proyecto es del 32 % .Según la evaluación de proyectos se establece que la tasa pasiva máxima para inversiones del sector es 3,5 % y para las privadas es 4,5 % al 5,25 % por lo tanto para este proyecto se considera una tasa TMAR de 3,5 % .

7.9 Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión

Tiene como objetivo determinar el número de años en que se recupera la inversión, los valores necesarios para el cálculo de dicho tiempo se considera en una amortización anual por ahorro de energía vendida de 3 386 880 USD y un valor futuro a igualar de 13 171 722,92 USD que es el monto total de la inversión.

Aplicando la siguiente ecuación se despeja el factor del valor futuro.

$$F = A \left(\frac{F}{A} i n \right)$$

Donde:

F = Monto total de la inversión

A = Costo de la energía vendida

$$\left(\frac{F}{A}, i, n \right) = \frac{F}{A}$$

$$\left(\frac{F}{A}, i, n \right) = \frac{13\ 171\ 722,92}{3\ 386\ 880} = 3,89 \text{ años}$$

El tiempo de recuperación de la inversión se estima en 3 años con 10 meses y tiene un beneficio aceptable.

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

La curva de permanencia de caudales presentada, proporciona valiosa información gráfica, donde se puede observar el comportamiento del río Puela a lo largo del año, permitiendo establecer los caudales de estiaje y avenida.

Se seleccionan dos turbinas Pelton de cinco inyectores con 600 rpm en el eje, para un caudal de 4 m³/s que generaran 5 MW, el grupo turbina-generador tiene que ser vertical con transmisión por bandas y posee un rendimiento del 0,95 %.

En el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) se muestra un Plan de Manejo Ambiental (PMA) para reducir y mitigar los distintos impactos ambientales negativos y canalizar los impactos ambientales positivos que se puedan generar en las etapas de construcción, operación y mantenimiento de la central hidroeléctrica "El Altar".

Mediante el análisis de presupuestos y costos del proyecto, se puede afirmar que la construcción es factible, puesto que la tasa de interés vigente en el país según el Banco Central del Ecuador es del 9% frente a un TIR obtenido en el proyecto del 32%, alcanzando un costo final de inversión de 14 497 038,69 USD los cuales serán recuperados en 3 años con 10 meses, vendiendo la energía a 0,04 USD/kWh.

8.2 Recomendaciones

Se recomienda mantener contacto permanente con los fabricantes de los equipos electromecánicos y del sistema de transmisión, para tener una idea clara y precisa sobre el mantenimiento y reparación.

La mano de obra para la construcción y ejecución de la central hidroeléctrica "El Altar" debe ser contratada en el sector, de esta manera se puede ahorrar en lo que se refiere a alimentación y transporte de los trabajadores. Se recomienda dar constantes capacitaciones a los habitantes de la zona para mantener en buen estado la infraestructura.

Se recomienda que la energía generada de la central hidroeléctrica debe trasladarse en línea recta hasta la subestación más cercana al proyecto, en este caso es la subestación de Riobamba.

Es conveniente realizar la limpieza del desripador, desarenador y tanque de carga una vez por semana para evitar que se acumule gran cantidad de sedimentos que pueden obstaculizar el paso del agua.

Se recomienda realizar un plan de mantenimiento para la central hidroeléctrica "El Altar" con el fin de prevenir daños o averías en los equipos y obras civiles para evitar interrupciones o paralizaciones imprevistas.

BIBLIOGRAFÍA

- BURI, Alexandra. 2013.** *Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador*. Quito: ISIS, 2013.
- BLANK, Leland y TARQIN, Anthony 2006.** *Ingeniería Económica*. Sexta. México: McGraw-Hill, 2006.
- BRISEÑO, Eduardo. 2008.** *Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas*. Lima : s.n., 2008. ISBN: 978-9972-47-148-3.
- DÁVILA, Celso, y otros. 2010.** *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima : s.n., 2010. 978-9972-47-210-5.
- EcuRed. 2010.** http://www.ecured.cu/index.php/Barras_colectoras.
http://www.ecured.cu/index.php/Barras_colectoras. [En línea] EcuRed, 11 de Enero de 2010. [Citado el: 16 de Noviembre de 2015.]
http://www.ecured.cu/index.php/Barras_colectoras.
- ESHA. 2006.** *Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica*. 2006.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar. 2012.** *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Penipe : s.n., 2012.
- INEA. 1997.** *Guía de diseño de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Santafé de Bogotá : s.n., 1997.
- Intermediate Technology Development Group, ITDG. 1995.** *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: una guía para desarrollo de proyectos*. Lima : s.n., 1995. ISBN: 1 85339 278 2
- JIMÉNEZ MEZA, Obed Renato, CANTU GUTIÉRREZ, Vicente y CONDE ENRÍQUEZ, Arturo. 2006.** *Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica*. San Nicolás de los Garza Nuevo León : UANL, 2006.
- KROCHIN, Sviatoslav. 1986.** *Diseño Hidráulico*. Quito : Editorial de la Escuela Politécnica Nacional, 1986.
- KHOURI, Elías. 2004.** *Apuntes de hidráulica para explotaciones forestales*. Oviedo : Ediuno, 2004. ISBN: 84-8317-453-7.
- MATAIX, Claudio. 1986.** *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Ediciones Del Castillo, S.A, Segunda Edición, Madrid-España, 1986.
- MOOT, Robert. 2006.** *Mecánica de Fluidos*. Sexta. México : Editorial Progreso S.A., 2006. ISBN: 970-26-0805-8.
- NOVILLO, Marcelo, GALARZA, Leoncio y ROMERO, Guillermo. 1985.** *Obras Civiles. Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas*. Bucaramanga : s.n., 1985.
- OLADE. 1988.** *Apuntes para un manual técnico de Diseño, Estandarización y Fabricación de equipos de pequeñas Centrales Hidroeléctricas - Turbina Pelton* . 1988.

ORTIZ, Ramiro. 2011. *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá : Ediciones de la U, 2011. ISBN 978-958-8675-99-2.

RIOFRÍO, P. 2007. *Micro Hidroenergía*. Riobamba: Documento, 2007

RODRÍGUEZ, Verónica. 2015. *Estudio de Impacto Ambiental Hidrosigchos*. Cotopaxi : Consultora Ambiental, 2015.

SHIGLEY, J. 2002. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Sexta. México: McGraw-Hill, 2002.

VÁZQUEZ, José y MIRABENT, David. 2007. *Física*. Segunda. Barcelona : Editorial Reverté, S.A., 2007. ISBN: 84-291-4318-1.

VELASCO CASTELO, Geoconda Marisela y CÁRDENAS HUILCA, Marcelo Gabriel. 2012. *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA – ECONÓMICA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “EL ALTAR”*. Riobamba : s.n., 2012. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad Mecánica.

ZOPPETTI GAUDENCIO, Júdez. 1972. *Estaciones transtormadoras y de distribución*. Barcelona : Gustavo Gili, S. A., 1972.