



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN
HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS,
CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, 2022**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Wilson Alberto García Alarcón

Carlos Davy Gualavisí Zapata

TUTOR: Byron Andrés Heredia Hidalgo

Quito - Ecuador
2023

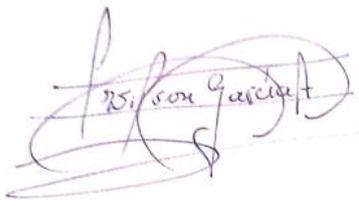
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Wilson Alberto García Alarcón con documento de identificación N° 1722794664 y Carlos Davy Gualavisí Zapata con documento de identificación N° 1720923893; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



Wilson Alberto García Alarcón
1722794664



Carlos Davy Gualavisí Zapata
1720923893

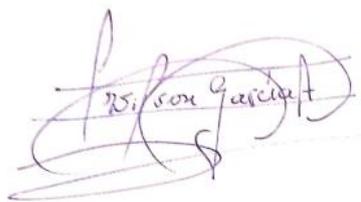
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

Nosotros, Wilson Alberto García Alarcón con documento de identificación N° 1722794664 y Carlos Davy Gualavisí Zapata con documento de identificación N° 1720923893; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Estudio de Prefactibilidad para la generación Hidroeléctrica en el Río Toachi, en la Parroquia Sigchos, Cantón Sigchos, Provincia de Cotopaxi-Ecuador, 2022”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



Wilson Alberto García Alarcón
1722794664



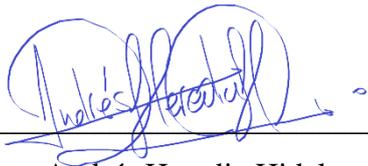
Carlos Davy Gualavisí Zapata
1720923893

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Byron Andrés Heredia Hidalgo con documento de identificación N° 1719147066, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, 2022, realizado por Wilson Alberto García Alarcón con documento de identificación N° 1722794664 y por Carlos Davy Gualavisí Zapata con documento de identificación N° 1720923893, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



Ing. Byron Andrés Heredia Hidalgo, MSc.

1719147066

DEDICATORIA

A Dios, Pues él me ha dado la fuerza para no rendirme jamás, a pesar de los tropiezos y las distintas pruebas que te toca vivir en la vida diaria.

A mis Abuelos Paternos, Mamita Blanquita y Papito Wil, quienes me apoyaron desde pequeño, inculcando en mí valores fundamentales como el respeto, la responsabilidad y más aún me dieron la mejor herencia que se puede desear: la educación.

A la memoria mi madrecita Lilian Esthela Alarcón Trejo, por brindarme su cariño, su don de gente, su ser íntegro y trabajador, me enseñaron a salir adelante por uno mismo, esforzándose al máximo, siendo comedido, humilde y sobre todo ser una persona correcta libre de vicios.

A mis hermanos, Shubert y Sarita Fernanda, por quererme, apoyarme y por siempre creer en mí, en las capacidades que uno tiene para lograr lo que nos proponamos en la vida.

A mi padre, quien así no haya sido del todo alguien ejemplar, si me ayudo a ser un hombre de bien.

Wilson García A.

AGRADECIENTOS

Agradezco a Dios primero, ya que él me ha colmado de bendiciones, salud y sabiduría para poder culminar mis estudios universitarios con esfuerzo y sin rendirme ante las adversidades.

A la memoria de mi abuelo paterno Wilson García Bustamante, pues él siempre me apoyo en mi educación, brindándome consejos oportunos, enseñanzas y a quien fue más que un padre para mi persona.

A mi segunda madre Blanca Elisa Salguero, la abuelita más tierna, dulce, amorosa, generosa ella es quien, a pesar de mis errores, fallas, esta para ayudarme y corregirme incondicionalmente, gracias a mi mamita Blanquita he logrado convertirme en un profesional.

Un agradecimiento especial también la memoria de mi madre Lilian Esthela Alarcón Trejo pues supo enseñarme a luchar para alcanzar mis sueños.

A mis hermanos, Shubert y Sarita que siempre están para darme ese empujoncito para adelante que siempre se necesita por cualquier motivo.

Y finalmente un agradecimiento sincero a todos mis profesores docentes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana, por sus diferentes cátedras impartidas a lo largo de la vida universitaria, ya que gracias a ellos entendí que esta carrera no es de velocidad, sino de lucha y perseverancia.

Wilson García A.

DEDICATORIA

Con toda la emoción de mi corazón, el esfuerzo empleado para llegar a este momento se lo dedico a mi Dios amado, y al propósito que ha encomendado en mi vida, estar al servicio de una nación entera, brindando todos los conocimientos y experiencias adquiridos a lo largo de estos años, para construir un Ecuador digno, libre y próspero.

Carlos Davy.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios amado por su presencia en mi vida, porque me brinda la salud, la vida la sabiduría y la inteligencia para enfrentar cualquier circunstancia y que con su gracia ha permitido cada logro en mi vida.

A los miembros de mi familia, pilares fundamentales en mi crecimiento personal, especial agradecimiento a Silvia Patricia mi amada madre, sin su valentía, constancia y arduo trabajo, esta disertación no habría sido posible, gracias por sostenerme en este camino y por siempre brindarme incluso más de lo que merezco, gracias a mi amada esposa María José, quien con su ternura y amor incondicional es el mejor apoyo en los momentos más álgidos de mi vida, a mi amada hermana Jennifer, su apoyo moral y ejemplo de constancia me levanto siempre en mis momentos de flaqueza, a mi amado hermano Mario, con su amor por su profesión me ayudo a entender que no importa lo que haga en la vida siempre que se haga con amor, a mi amado hermano Gabriel, me motivo a ser un ejemplo a seguir, ya que siempre está mirando mis aciertos y errores, y aprendiendo día con día de su familia y por ultimo pero no menos importante a mi amado padre Carlos Vidal, quien me enseñó a poner primero a Dios por sobre todo y que con su bendición todo se puede lograr no importa lo difícil que parezca.

Carlos Davy.

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Aforo: Es un conjunto de operaciones que se realiza en un río del sitio de estudio, cuyo objetivo es obtener un caudal específico que circula en un tiempo determinado.

Azud: Es una estructura hidráulica colocada transversalmente sobre el cauce de un río, su finalidad es de elevar el nivel de agua, provocando que un porcentaje del caudal se desvíe hacia un sistema de conducción o canalización. Generalmente su tamaño es moderado y macizo, debido a que se encuentra expuesto a fuerzas dinámicas como las crecidas de un río.

Central hidroeléctrica: Es un conjunto de estructuras hidráulicas utilizadas para aprovechar el cauce de un río, con la finalidad de transformar la energía cinética y potencial en electricidad.

Desarenador: Es una estructura hidráulica construida con la finalidad de remover los sedimentos que vienen en el agua a través de un canal de recolección, evitando que las partículas sólidas y varios sedimentos lleguen a las turbinas, generalmente estas estructuras se ubican desde la captación en las obras de toma en el caso de obras hidroeléctricas.

Elevador piscícola: Es conocido más comúnmente como escalera de peces, se la construye sobre el cauce del río, cuya finalidad es lograr que los peces superen un obstáculo como: presas, vertedero, azudes, diques entre otros. Esta construcción es diseñada en forma de canal artificial conectando el nivel aguas arriba del azud con el nivel del río aguas abajo.

Esclusa de purga: Es una estructura cuya función es la de evacuar los sedimentos acumulados en la cámara de captación.

Espigón: Son estructuras hidráulicas construidas como muros, se encuentran ubicados en las orillas y son utilizados para la conducción del flujo del cauce de un río.

Molinete: Es un aparato de precisión cuya función radica en medir la velocidad del agua en diferentes puntos de la sección transversal de un cauce o río.

Obras de toma de agua: Son obras que se encargan de recoger agua del embalse y canalizarlas hacia las máquinas, algunas tienen compuertas para regular la cantidad de caudal y otras presentan rejillas para impedir el paso de materiales como palos y troncos.

Potencia Eléctrica: Es la capacidad de producir energía eléctrica, se expresa en: Watt (W); Kilowatt (kW); Megawatt (MW) o Gigawatt (GW).

Potencia Instalada: Es la capacidad de generación de energía existente en un país determinado, el cual permite satisfacer la demanda eléctrica de las empresas, servicios y ciudadanos en todo momento.

Potencia Nominal: Es la capacidad de energía que un equipo requiere para funcionar en condiciones normales.

Potencia Efectiva: Es el rendimiento real al que operan las centrales hidroeléctricas, su funcionamiento exigido a su máxima potencia de las máquinas, se considera como insumo en los valores de despacho de energía diaria.

Potencia Firme: Es la potencia máxima que podría generar una central hidroeléctrica, con un alto nivel de seguridad, es decir, se puede garantizar en las condiciones más complicadas (Factores climáticos, daños y reparaciones de la central, falta de insumos, etc.).

Potencia Generada: Es la cantidad de energía hidroeléctrica generada por unidad de tiempo, generalmente la potencia generada es una fracción de la potencia consumida

Potencia Demandada: Es la cantidad de energía eléctrica en kilovatios (kW) que el usuario necesita en determinado tiempo.

Tubería Forzada: Es un conjunto de tuberías cuyo funcionamiento conduce el agua desde el embalse o cámara de presión hacia la entrada de las turbinas.

Turbina hidráulica: Es una máquina que transforma la energía de cinética y potencial de un fluido en energía eléctrica. Las turbinas hidráulicas se clasifican según dos criterios de funcionamiento, es decir, pueden ser de acción y reacción. De acción si la turbina solo aprovecha la velocidad de flujo del agua y de reacción aprovechan la pérdida de presión del agua en interior de la turbina.

INDICE

CAPÍTULO I	1
INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Introducción	1
1.1.2 Descripción del problema	1
1.1.3 Delimitación del área de estudio	3
1.1.3.1 Ubicación del proyecto	3
1.1.3.2 Ruta de acceso	4
1.1.4 Justificación	6
1.1.5 Objetivos.....	6
1.1.5.1 Objetivo General.....	6
1.1.5.2 Objetivos Específicos	7
1.1.6 Alcance	8
CAPÍTULO II.....	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Marco teórico	9
2.1.1 Información básica para el desarrollo del proyecto.....	9
2.1.1.1 Levantamiento topográfico y Georreferenciación con GPS de precisión	9
2.1.1.1.1 Levantamiento Topográfico	10
2.1.1.1.2 Aforos	11
2.1.1.1.3 Georreferenciación con GPS de precisión.....	11

2.1.1.2	Transposición de caudales	13
2.1.1.3	Coeficientes de uniformidad y curvatura del suelo.....	14
2.1.1.3.1	Coeficiente de uniformidad (Cu):.....	14
2.1.1.3.2	Coeficiente de curvatura (Cc):.....	14
2.1.1.4	Límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad.....	15
2.1.1.4.1	Límite Líquido:.....	15
2.1.1.4.2	Límite Plástico:.....	15
2.1.1.4.3	Índice de Plasticidad:.....	16
2.1.2	Estructuras que conforman una central hidroeléctrica.....	17
2.1.2.1	Obras de derivación	17
2.1.2.1.1	Azud Vertedero.....	17
2.1.2.1.2	Galería de captación	18
2.1.2.1.3	Rejilla de entrada	18
2.1.2.1.4	Desripiador	19
2.1.2.2	Obras de conducción	20
2.1.2.2.1	Canal inicial de conducción.....	20
2.1.2.2.2	Tubería a baja presión.....	20
2.1.2.1	Obras de protección	20
2.1.2.1.1	Zampeado y colchón disipador	21
2.1.2.1.2	Escalera de protección piscícola	21
2.1.2.1.3	Desarenador	22
2.1.2.1.4	Tanque de carga	23

2.1.2.1.5 Casa de máquinas.....	24
2.1.3 Generación hidroeléctrica.....	25
2.1.4 Turbina Hidráulica.....	25
2.1.4.1 Tipos de Turbina según su diseño	25
2.1.5 Potencia Instalada	26
2.2 Viabilidad económica financiera.....	27
2.2.1 Evaluación económica.....	27
2.2.2 Evaluación financiera	27
2.2.2.1 Metodología de evaluación financiera.....	27
2.2.2.1.1 Valor Actual Neto (V.A.N)	27
2.2.2.1.2 Tasa Interna de Retorno (T.I.R).....	28
2.2.2.1.3 Relación Costo – Beneficio (B/C)	29
CAPÍTULO III	30
METODOLOGÍA.....	30
3.1 Investigación Aplicada	30
3.2 Método de análisis básico.....	30
3.2.1 Cualitativo	30
3.2.2 Cuantitativo	31
3.3 Plan de recolección de datos.....	31
3.3.1 Estudio de campo	31
3.3.2 Investigación Bibliográfica	31
3.4 Demografía	32

3.4.1 Población de Quinticusig.....	33
3.4.2 Muestra	34
3.5 Proceso técnico de la ingeniería Civil	35
3.5.1 Análisis y evaluación de la información topográfica, geológica – geotécnica, hidrológica recopilada	35
3.5.2 Prediseño para cada alternativa propuesta, de las obras civiles que conforman una central hidroeléctrica	36
3.5.3 Diseño definitivo de la alternativa con el mayor rendimiento y beneficio para la central hidroeléctrica.....	36
CAPÍTULO IV.....	37
 RECOPILOCIÓN DE INFORMACIÓN BASE PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.	37
4.1.1 Ubicación geográfica de la subcuenca hidrológica del río Toachi en el sitio del proyecto	37
4.1.2 Delimitación de la subcuenca del proyecto utilizando el software ArcGIS 10.3	39
4.1.3 Cálculo de parámetros de la subcuenca hidrológica delimitada	40
4.1.3.1 Parámetros de la cuenca	40
4.1.3.1.1 Área de drenaje (A)	40
4.1.3.1.2 Perímetro de la cuenca (P).....	40
4.1.3.1.3 Longitud del río principal (L).....	41
4.1.3.1.4 Coeficiente de forma (Rf).....	41
4.1.3.1.5 Coeficiente de compacidad (Kc)	41

4.1.3.1.6 Índice de alargamiento (La).....	42
4.1.3.1.7 Densidad de drenaje.....	42
4.1.3.1.8 Constante de estabilidad del río.....	43
4.1.3.1.9 Curva Hipsométrica.....	44
4.1.3.1.10 Pendiente media de la cuenca.....	45
4.1.3.1.11 Pendiente media del cauce.....	46
4.1.3.2 Resumen de parámetros hidrológicos de la subcuenca delimitada	
47	
4.1.4 Análisis hidrométrico.....	48
4.1.4.1 Análisis y evaluación de las precipitaciones medias mensuales y	
anuales	49
4.1.4.1.1 Condiciones climáticas y meteorológicas.....	49
4.1.4.2 Evaluación de parámetros hidrométricos.....	53
4.1.4.3 Definición de las curvas de duración y variación estacional ...	54
4.1.4.3.1 Curva de duración.....	54
4.1.4.3.2 Variación estacional	56
4.1.5 Cálculo de caudales máximos, medios, de diseño y caudales	
probabilidad de excedencia	56
4.1.5.1 Caudales característicos	56
4.1.5.2 Caudales máximos	57
4.1.5.3 Caudales medios	59
4.1.1.1 Caudales mínimos.....	65

4.1.6	Análisis hidrológico del sitio de estudio.....	66
4.1.6.1	Visita Técnica.....	68
4.1.6.1.1	Recopilación de datos.....	71
4.1.6.1.2	Medición del aforo del río.....	71
4.1.6.2	Investigación y evaluación de los datos obtenidos.....	74
4.1.6.3	Delimitación de la sección transversal del río.....	74
4.1.7	Cálculo de caudal de diseño para la generación de 174 kW.....	77
4.2.4	Metodología del estudio topográfico.....	79
4.2.1.1	Trabajo de campo.....	79
4.2.1.1.1	Levantamiento topográfico con estación total.....	79
4.2.1.1.2	Georreferenciación con GPS.....	80
4.2.1.1.1.1	Datos obtenidos con el GPS.....	80
4.2.1.1.1.2	Localización de los puntos GPS.....	80
4.2.4.1	Trabajo de oficina.....	81
4.2.4.1.1	Obtención de los puntos topográficos de la estación total	81
4.2.4.1.2	Triangulaciones.....	82
4.2.4.1.3	Topografía modificada.....	83
4.2.1.1.4	Topografía detallada.....	83
4.3.1	Metodología del estudio geológico-geotécnico.....	84
4.3.1.1	Trabajo de campo.....	84
4.3.1.1.1	Excavación de calicatas en el sitio de estudio.....	84
4.3.1.2	Ensayos de laboratorio.....	85

4.3.1.2.1 Contenido de humedad	85
4.3.1.2.2 Granulométrico	86
4.3.1.2.3 Límites de consistencia.....	87
4.3.1.2.4 Corte directo.	89
4.3.1.3 Análisis de los resultados obtenidos en laboratorio	92
4.3.1.3.1 Esfuerzo Admisible (qadm).....	94
4.3.1.4 Obtención de características y propiedades físico mecánicas del suelo.....	95
4.3.1.5 Clasificación SUCS	96
CAPÍTULO V	99
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA.....	99
5.1 Alternativas de generación hidroeléctrica con nivel de descarga de 80% y 95%	99
5.2 Prediseño de los elementos que conforman la central hidroeléctrica para las dos alternativas	102
5.2.1 Prediseño de obras de derivación	103
5.2.1.1. Azud vertedero:	103
5.2.1.2 Rejilla lateral.....	106
5.2.1.3 Vertedero de Pared Gruesa	108
5.2.1.5 Desripiador	111
5.2.2 Prediseño de obras de conducción.....	114
5.2.2.1 Tubería de conducción	115

5.2.3 Prediseño de obras de protección	121
5.2.3.1 Cuenco de amortiguamiento o estanque de disipación:.....	122
5.2.3.2 Enrocado:.....	123
5.2.3.3 Escalera de protección piscícola.....	125
5.2.3.4 Desarenador	131
5.2.3.5 Tanque de Carga.....	137
5.2.3.6 Casa de máquinas	139
5.2.3.6.1 Turbina hidráulica	140
5.2.3.6.2 Tipos de turbina hidráulica	141
5.2.3.6.3.1 Turbina hidráulica de acción.....	141
5.2.3.6.3.2 Turbina hidráulica de reacción	142
CAPÍTULO VI.....	144
ELABORACIÓN DE PRESUPUESTO Y CRONOGRAMAS.....	144
6.1 Presupuesto referencial de la obra	144
6.2 Cronogramas.....	145
6.2.1 Cronograma de actividades	145
6.2.2 Cronograma Valorado	146
CAPÍTULO VII.....	147
ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LAS	
ALTERNATIVAS DEL PROYECTO	147
7.1 Evaluación Económica y Financiera de cada alternativa del proyecto ..	147
7.1.1 Costos de Operación y Mantenimiento.....	148
7.1.2 Beneficios por venta de energía.....	148
7.1.3 Análisis del Valor Actual Neto (V.A.N)	150

7.1.4 Análisis de la Tasa Interna de Retorno (T.I.R).....	151
7.1.5 Análisis del costo beneficio (B/C).....	151
CAPÍTULO VIII	153
DISEÑO DEFINITIVO DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE.	153
8.1.1 Metodología.....	153
8.1.1.1 Resumen de predimensionamientos de los elementos que conforman la central hidroeléctrica	153
8.1.1.1.1 Obras de derivación	154
8.1.1.1.2 Obras de conducción	157
8.1.1.1.3 Obras de protección	157
8.1.1.2 Cálculo de coeficiente de rugosidad de Manning.....	163
8.2 Diseño de elementos de la central hidroeléctrica “Perla Andina” en el río Toachi	166
8.2.1 Obras de derivación	166
8.2.1.1 Azud Vertedero.....	166
8.2.1.1.1 Criterios de diseño	166
8.2.1.1.2 Dimensionamiento del Azud	177
8.2.1.1.3 Resumen de resultados	183
8.2.1.2 Rejilla Lateral	183
8.2.1.2.1 Criterios de diseño	183
8.2.1.2.2 Dimensionamiento de la rejilla.....	190

8.2.1.2.3 Resumen de resultados	192
8.2.1.3 Vertedero de pared gruesa	193
8.2.1.3.1 Criterios de diseño	193
8.2.1.3.2 Dimensionamiento de vertedero de pared gruesa.....	197
8.2.1.3.2.1 Vertedero Caudal ecológico	197
8.2.1.3.2.2 Esclusa de purga o emergencia	199
8.2.1.3.2.3 Compuerta	201
8.2.1.3.3 Resumen de resultados	203
8.2.1.5 Desripiador	204
8.2.1.5.1 Criterios de diseño	204
8.2.1.5.2 Dimensionamiento del desripiador	208
8.2.1.5.2.1 Vertedero sumergido:	209
8.2.1.5.2.2 Canal de limpieza	212
8.2.1.5.2.3 Orificio de lavado del desripiador	215
8.2.1.5.2.4 Vertedero de excedentes.....	218
8.2.1.5.3 Resumen de resultados	220
8.2.2 Obras de conducción	222
8.2.2.1 Tubería conducción	222
8.2.2.1.1 Criterios de diseño	222
8.2.2.1.2 Dimensionamiento de tubería Forzada	232
8.2.2.1.3 Resumen de resultados	234
8.2.3 Obras de protección	235
8.2.3.1 Estanque de amortiguamiento o Cuenco disipador de energía. 235	
8.2.3.1.1 Criterios de diseño	235

8.2.3.1.2 Dimensionamiento del estanque amortiguador de disipación de energía.....	238
8.2.3.1.3 Resumen de resultados	243
8.2.3.2 Enrocado.....	243
8.2.3.2.1 Criterios de diseño	243
8.2.3.2.2 Dimensionamiento del enrocado	246
8.2.3.2.3 Resumen de resultados	249
8.2.3.3 Desarenador	249
8.2.3.3.1 Criterios de diseño	249
8.2.3.3.2 Dimensionamiento del desarenador.....	255
8.2.3.3.2.1 Vertedero de salida:.....	258
8.2.3.3.2.2 Transición de salida.....	259
8.2.3.3.2.3 Orificio de lavado.....	261
8.2.3.3.2.4 Canal de limpieza:	265
8.2.3.3.3 Resumen de resultados	266
8.2.3.4 Escalera de peces	268
8.2.3.4.1 Criterios de diseño	268
8.2.3.4.2 Dimensionamiento de la escalera de peces.....	274
8.2.3.4.3 Resumen de resultados.....	280
8.2.3.5 Tanque de Carga	281
8.2.3.5.1 Criterios de diseño	281
8.2.3.5.2 Dimensionamiento del tanque de carga.....	284
8.2.3.5.2.1 Rejilla de entrada del tanque de Carga.....	286
8.2.3.5.2.2 Tanque de carga	286

8.2.3.5.2	Resumen de resultados.....	287
8.2.3.6	Casa de Máquinas	287
8.2.3.6.1	Introducción.....	287
8.2.3.6.2	Consideraciones de diseño.....	288
8.2.3.6.3	Elección de la turbina	288
8.3	Definición del diseño definitivo de la alternativa más eficiente y eficaz.	292
	CONCLUSIONES	297
	RECOMENDACIONES	300
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	302
	ANEXOS:	327

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Diagrama de consistencia de suelos finos</i>	15
Tabla 2	<i>Población del cantón Sigchos</i>	32
Tabla 3	<i>Densidad poblacional proyectada</i>	32
Tabla 4	<i>Población de Quinticusig</i>	33
Tabla 5	<i>Cuencas Pfafstetter nivel 5</i>	38
Tabla 6	<i>Clasificación de los terrenos por la pendiente media</i>	45
Tabla 7	<i>Caracterización fisiográfica de la cuenca de estudio</i>	47
Tabla 8	<i>Valores de las precipitaciones anuales de estaciones analizadas</i>	51
Tabla 9	<i>Variación estacional de las precipitaciones mensuales</i>	52
Tabla 10	<i>Duración de las lluvias para diferentes periodos de retorno</i>	55
Tabla 11	<i>Caudales máximos con diferentes periodos de duración</i>	59
Tabla 12	<i>Ecuaciones y coeficientes de correlación lineal para el relleno de datos</i>	60
Tabla 13	<i>Caudal medio para la captación del río Toachi</i>	63
Tabla 14	<i>Caudales diarios para cada probabilidad de excedencia</i>	66
Tabla 15	<i>Cuadro de resumen de alternativas de caudales</i>	67
Tabla 16	<i>Cronograma de aforos</i>	74
Tabla 17	<i>Tabla de resumen Aforos realizados</i>	74
Tabla 18	<i>Cálculo de sección transversal del río</i>	75
Tabla 19	<i>Datos para el cálculo potencia instalada de 174kW con diferentes caudales</i>	77
Tabla 20	<i>Cálculo de potencia instalada para diferentes caudales de diseño</i>	78
Tabla 21	<i>Puntos topográficos Estación Total</i>	81
Tabla 22	<i>Ubicación geográfica de la calicata</i>	84
Tabla 23	<i>Diámetros característicos obtenidos en la curva granulométrica</i>	86

Tabla 24	<i>Coeficientes de la curva granulométrica</i>	87
Tabla 25	<i>Datos para graficar la envolvente de falla</i>	91
Tabla 26	<i>Resumen de parámetros físicos y mecánicos del suelo en el sitio de estudio</i>	96
Tabla 27	<i>Porcentajes granulométricos para clasificación SUCS</i>	96
Tabla 28	<i>Clasificación de suelos</i>	97
Tabla 29	<i>Datos para el diseño del Azud Tipo Creager</i>	104
Tabla 30	<i>Datos necesarios para el prediseño de la captación con rejilla lateral</i>	106
Tabla 31	<i>Información general para prediseño de Vertedero Pared Gruesa</i>	109
Tabla 32	<i>Información para prediseño de Desripador</i>	112
Tabla 33	<i>Datos para el prediseño de la tubería de conducción</i>	115
Tabla 34	<i>Datos de rugosidad para el diseño de la tubería de conducción</i>	120
Tabla 35	<i>Datos para prediseño de estanque de amortiguamiento</i>	122
Tabla 36	<i>Datos prediseño de enrocado</i>	124
Tabla 37	<i>Información general para el prediseño de la Escalera de Peces</i>	126
Tabla 38	<i>Información General para el diseño del desarenador</i>	132
Tabla 39	<i>Valores de la constante (a) para calcular velocidad de diseño (Vd)</i>	133
Tabla 40	<i>Datos para el diseño del tanque de carga</i>	137
Tabla 41	<i>Presupuesto de las obras consideradas en el proyecto</i>	144
Tabla 42	<i>Porcentajes de Gastos en Operación y Mantenimiento</i>	148
Tabla 43	<i>Ingresos por venta de energía y sus parámetros</i>	150
Tabla 44	<i>Egresos de la central hidroeléctrica</i>	150
Tabla 45	<i>Indicadores de viabilidad Financiera del Proyecto</i>	152
Tabla 46	<i>Indicadores de sensibilidad del Flujo económico del Proyecto en el río Toachi</i>	152
Tabla 47	<i>Resumen del prediseño de un azud vertedero tipo Creager</i>	154

Tabla 48	<i>Resumen de prediseño de Rejilla Lateral</i>	155
Tabla 49	<i>Resumen de prediseño de Vertedero Pared Gruesa</i>	155
Tabla 50	<i>Resumen de prediseño de Desripiador</i>	156
Tabla 51	<i>Resumen del prediseño de la tubería de conducción</i>	157
Tabla 52	<i>Resumen de prediseño de Cuenco disipador de energía</i>	158
Tabla 53	<i>Resumen de prediseño de enrocado</i>	158
Tabla 54	<i>Resumen de prediseño de Escalera de peces</i>	159
Tabla 55	<i>Condiciones de funcionamiento de la escalera de peces</i>	160
Tabla 56	<i>Resumen de prediseño del desarenador</i>	161
Tabla 57	<i>Resumen de prediseño de Tanque de carga</i>	162
Tabla 58	<i>Tabla de resumen coeficiente de rugosidad de Manning</i>	165
Tabla 59	<i>Valores de La/P Según el material del río</i>	175
Tabla 60	<i>Información para el diseño del azud vertedero</i>	177
Tabla 61	<i>Coordenadas Para determinar el Perfil Creager OFIZEROFF</i>	179
Tabla 62	<i>Cálculo de Longitud mínima del azud</i>	182
Tabla 63	<i>Resultados de los dimensionamientos del azud vertedero</i>	183
Tabla 64	<i>Información necesaria para el diseño de la captación con rejilla lateral</i> ..	190
Tabla 65	<i>Resultados de los dimensionamientos de la rejilla lateral</i>	193
Tabla 66	<i>Información general para dimensionar la esclusa de emergencias</i>	202
Tabla 67	<i>Valores de a/H para determinar el factor e</i>	202
Tabla 68	<i>Dimensiones del vertedero de pared gruesa</i>	203
Tabla 69	<i>Información general para dimensionar el desripiador</i>	208
Tabla 70	<i>Información para diseñar el canal de limpieza desripiador</i>	212
Tabla 71	<i>Datos para calcular el tiempo de vaciado del desripiador</i>	216
Tabla 72	<i>Comprobación de arrastre de partículas para $Q_{d-lav} = 3.49m^3/s$</i>	218

Tabla 73	<i>Información para diseño de vertedero de excedentes (Desripiador)</i>	219
Tabla 74	<i>Dimensiones Vertedero sumergido del desripiador</i>	220
Tabla 75	<i>Dimensiones canal de limpieza (Desripiador)</i>	221
Tabla 76	<i>Dimensiones vertedero excedentes (Desripiador)</i>	221
Tabla 77	<i>Dimensiones orificio de lavado y tiempo de vaciado de desripiador</i>	222
Tabla 78	<i>Dimensiones de las tuberías GRP</i>	226
Tabla 79	<i>Rugosidades absolutas según el material de la tubería de conducción</i>	228
Tabla 80	<i>Datos para dimensionamiento de la tubería de conducción</i>	232
Tabla 81	<i>Dimensiones de la tubería de conducción</i>	234
Tabla 82	<i>Información general para el diseño del Zampeado o Pozo de disipación</i> ..	238
Tabla 83	<i>Dimensiones de los bloques de impacto y del umbral del Cuenco Amortiguador</i>	242
Tabla 84	<i>Resumen de diseño Cuenco disipador de energía</i>	243
Tabla 85	<i>Información para diseño de Enrocado</i>	246
Tabla 86	<i>Resultados del diseño de enrocado</i>	249
Tabla 87	<i>Valor de la constante en función del diámetro de la partícula, (diseño definitivo)</i>	250
Tabla 88	<i>Velocidades de sedimentación según Arkhangelski</i>	252
Tabla 89	<i>Información general para diseño de Desarenador</i>	255
Tabla 90	<i>Información general para dimensionar el vaciado del desarenador</i>	263
Tabla 91	<i>Datos generales para el diseño del Canal de limpieza</i>	265
Tabla 92	<i>Dimensiones de cámara desarenadora</i>	266
Tabla 93	<i>Dimensiones vertedero de salida del desarenador</i>	267
Tabla 94	<i>Dimensiones orificio de Lavado</i>	267
Tabla 95	<i>Volúmenes del desarenador</i>	267

Tabla 96	<i>Dimensiones del canal de limpieza</i>	268
Tabla 97	<i>Datos para el dimensionamiento de la Escalera de Peces</i>	274
Tabla 98	<i>Dimensiones de la escalera de protección Piscícola</i>	280
Tabla 99	<i>Datos para el dimensionamiento del Tanque de Carga</i>	284
Tabla 100	<i>Datos para calcular las perdidas en la Rejilla</i>	286
Tabla 101	<i>Dimensiones del Tanque de Carga</i>	286
Tabla 102	<i>Dimensiones del canal de conducción (Tanque de Carga)</i>	287
Tabla 103	<i>Dimensiones del diseño definitivo de Azud vertedero, rejilla lateral, cuenco de disipación y enrocado de protección</i>	293
Tabla 104	<i>Dimensiones del diseño definitivo del Desripador y Desarenador</i>	294
Tabla 105	<i>Diseño definitivo de Tanque de Carga y tubería de conducción</i>	295
Tabla 106	<i>Dimensiones del diseño definitivo de la escalera de peces y el vertedero de pared gruesa</i>	296
Tabla 107	<i>Diseño definitivo de la casa de máquinas</i>	296
Tabla 108	<i>Resumen de parámetros del suelo en el sitio de estudio (Conclusiones)</i> .	298
Tabla 109	<i>Indicadores de viabilidad Financiera del Proyecto</i>	299

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Delimitación del área de estudio</i>	3
Figura 2	<i>Ubicación geográfica del Proyecto</i>	4
Figura 3	<i>Ruta de acceso al proyecto</i>	5
Figura 4	<i>Vía principal al proyecto</i>	5
Figura 5	<i>Carta topográfica de Sigchos</i>	10
Figura 6	<i>Aforos en el río</i>	11
Figura 7	<i>Georreferenciación con GPS de precisión</i>	12
Figura 8	<i>Carta de Plasticidad</i>	16
Figura 9	<i>Estructuras principales de una Central Hidroeléctrica</i>	17
Figura 10	<i>Azud Vertedero</i>	18
Figura 11	<i>Rejilla de entrada</i>	19
Figura 12	<i>Desripiador</i>	19
Figura 13	<i>Escalera de peces</i>	21
Figura 14	<i>Desarenador</i>	22
Figura 15	<i>Vista en planta y elevación de un desarenador</i>	23
Figura 16	<i>Tanque de carga</i>	24
Figura 17	<i>Casa de máquinas</i>	24
Figura 18	<i>Tipos de turbinas</i>	26
Figura 19	<i>Número de habitantes de Quinticusig</i>	33
Figura 20	<i>Mapa conceptual de análisis y evaluación de los datos recopilados</i>	35
Figura 21	<i>Mapas de las provincias (ubicación)</i>	39
Figura 22	<i>Delimitación de la subcuenca del río Toachi</i>	40
Figura 23	<i>Total de afluentes de la cuenca</i>	43
Figura 24	<i>Curva hipsométrica- de frecuencias de altitud</i>	44

Figura 25	<i>Mapa de elevaciones de la cuenca</i>	45
Figura 26	<i>Mapa de pendientes de la cuenca</i>	46
Figura 27	<i>Perfil longitudinal del río Toachi</i>	48
Figura 28	<i>Condiciones climáticas del cantón Sigchos</i>	49
Figura 29	<i>Mapa de Isoyetas</i>	53
Figura 30	<i>Estaciones, intervalos y ecuaciones para el cálculo de intensidad de lluvia</i>	54
Figura 31	<i>Curva IDF</i>	55
Figura 32	<i>Gráfico de Distribución de Gumbel</i>	58
Figura 33	<i>Gráfico de Distribución de Log Gumbel</i>	58
Figura 34	<i>Lista de caudales medios mensuales periodo (1968-2013)</i>	61
Figura 35	<i>Transposición de cuencas</i>	62
Figura 36	<i>Cálculo de la serie de caudales medios mensuales empleando el método de transposición de caudales</i>	64
Figura 37	<i>Caudales medios mensuales para cada estación considerada</i>	65
Figura 38	<i>Curva de duración de caudales</i>	67
Figura 39	<i>Río Toachi en el sitio de estudio</i>	68
Figura 40	<i>Crecida del río Toachi</i>	69
Figura 41	<i>Zona de captación de la central hidroeléctrica</i>	69
Figura 42	<i>Margen derecho zona de transición</i>	70
Figura 43	<i>Procedimiento para realizar un aforo de un río</i>	72
Figura 44	<i>Distribución de Velocidades (Régimen Permanente)</i>	73
Figura 45	<i>Sección transversal del Río</i>	76
Figura 46	<i>Puntos GPS en el Sitio del proyecto</i>	80
Figura 47	<i>Superficie del terreno triangulada</i>	82

Figura 48	<i>Topografía detallada del sitio de estudio</i>	83
Figura 49	<i>Cronograma de ensayos de laboratorio de suelos</i>	85
Figura 50	<i>Ensayo de Copa de casa grande</i>	87
Figura 51	<i>Ensayo de Copa de Casa Grande, Límite Líquido (LL)</i>	88
Figura 52	<i>Preparación de muestras ensayo de corte directo</i>	89
Figura 53	<i>Realización de ensayo de corte directo</i>	90
Figura 54	<i>Resultados del ensayo de corte directo</i>	90
Figura 55	<i>Envolvente de falla, Ensayo de Corte Directo</i>	91
Figura 56	<i>Curva Granulométrica</i>	93
Figura 57	<i>Ecuaciones de los Factores de corrección Meyerhof</i>	95
Figura 58	<i>Carta de Asignación de grupo y nombre del suelo para su clasificación</i> ...	97
Figura 59	<i>Implantación preliminar del Azud Vertedero</i>	100
Figura 60	<i>Implantación definitiva del Azud</i>	101
Figura 61	<i>Vista georreferenciada de la ubicación del azud</i>	102
Figura 62	<i>Ubicación Tubería de conducción</i>	114
Figura 63	<i>Partes principales de una turbina Pelton de eje horizontal</i>	142
Figura 64	<i>Turbina de reacción de eje vertical</i>	143
Figura 65	<i>Valores para cálculo de coeficiente de rugosidad</i>	164
Figura 66	<i>Abaco para determinar coeficiente de descarga (Co</i>	168
Figura 67	<i>Ábaco para determinar coeficiente de descarga sistema internacional (SI)</i>	169
Figura 68	<i>Coordenadas del Perfil Creager -OFIZEROFF para Ho=1m</i>	171
Figura 69	<i>Valores de k y n para el diseño de un Perfil Creager</i>	172
Figura 70	<i>Factores de forma de la cresta del Perfil Creager (Xc, Yc, R1 y R2)</i>	174
Figura 71	<i>Abaco para dimensionamiento Azud Factor n y k</i>	178

Figura 72	<i>Gráfico del Perfil Creager</i>	180
Figura 73	<i>Valores para X_c/H_o y Y_c/H_o</i>	180
Figura 74	<i>Valores de $R1/H_o$ y $R2/H_o$ para el diseño de un Perfil Creager según criterios USBR</i>	181
Figura 75	<i>Dimensiones del azud vertedero</i>	182
Figura 76	<i>Esquema de Rejilla lateral (Espacios y espesor)</i>	189
Figura 77	<i>Dimensiones de la captación con rejilla lateral</i>	192
Figura 78	<i>Formas del vertedero pared gruesa</i>	194
Figura 79	<i>Esquema Vertedero Pared Gruesa</i>	199
Figura 80	<i>Dimensiones orificio de esclusa de emergencias</i>	201
Figura 81	<i>Variación de Esfuerzo cortante crítico y diámetro de las partículas de arrastre</i>	206
Figura 82	<i>Esquema geométrico del vertedero sumergido en el desripador</i>	210
Figura 83	<i>Coefficientes \mathcal{E} para vertederos de pared gruesa, con descarga sumergida según (F. Domínguez 1959)</i>	211
Figura 84	<i>Variación de esfuerzo cortante crítico en función del a tamaño de los sedimentos</i>	213
Figura 85	<i>Pantalla de soporte de anclaje (Tubería de Conducción)</i>	230
Figura 86	<i>Perfil Turbina de reacción de eje vertical</i>	231
Figura 87	<i>Tipos de Cuencos Disipadores de energía USBR</i>	235
Figura 88	<i>Dimensiones del cuenco USBR tipo III</i>	239
Figura 89	<i>Características de un Cuenco Amortiguado tipo USBR tipo III</i>	240
Figura 90	<i>Dimensiones diseño de estanque de amortiguamiento</i>	242
Figura 91	<i>Peso y diámetro efectivo del enrocado</i>	244
Figura 92	<i>Lectura de diámetro efectivo y peso del enrocado</i>	247

Figura 93	<i>Dimensiones del diseño de Enrocado río Toachi</i>	248
Figura 94	<i>Esquema del proceso de sedimentación</i>	252
Figura 95	<i>Parámetros hidráulicos del desarenador</i>	258
Figura 96	<i>Esquema de un orificio rectangular</i>	262
Figura 97	<i>Dimensiones del orificio de lavado del Desarenador</i>	263
Figura 98	<i>Esquema del canal con fondo de escalera (Disipación por Cubetas)</i>	269
Figura 99	<i>Vista en Planta de escalera de peces</i>	278
Figura 100	<i>Parámetros hidráulicos escalera de peces</i>	279
Figura 101	<i>Elección de la Turbina de reacción de eje vertical</i>	289
Figura 102	<i>Detalle de casa de maquinas</i>	290
Figura 103	<i>Vista en Planta de casa de máquinas</i>	290
Figura 104	<i>Sección Transversal de la Casa de Máquinas</i>	291

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es realizar un estudio de prefactibilidad para la generación hidroeléctrica en el río Toachi, para lo cual se establecerá dos alternativas de generación de energía, para posteriormente realizar análisis técnicos y económicos logrando así determinar una alternativa que alcance los mayores beneficios, y cuya finalidad es solucionar los problemas de escasez de energía eléctrica, tanto para los habitantes de este sector, como para los productores de vinos de mortiño, quienes requieren de electricidad de aproximadamente un total de 174 KW/H.

Para desarrollar este proyecto se debe realizar previamente un levantamiento topográfico georreferenciado con GPS, posteriormente se efectuará un análisis hidrológico de la cuenca del río Toachi, para evaluar la capacidad del río con cada una de las alternativas, mismas que tendrán las siguientes características:

La alternativa Nro. 1 se encuentra con un nivel de garantía del 80%, mientras que, la alternativa Nro.2 mantiene el 95% para el caudal de diseño.

Previo al prediseño del azud vertedero de cinco metros de altura se procederá a realizar un estudio de suelos, de esa forma se pretende obtener datos geológicos y geotécnicos como la capacidad admisible del suelo, asentamientos, resistencia al corte entre otros, datos que son indispensables en cualquier tipo de cimentación.

Una vez determinada la alternativa más favorable se procederá a realizar los diseños definitivos de todos los elementos que conforman la central hidroeléctrica.

Palabras clave: Levantamiento topográfico georreferenciado con GPS, análisis hidrológico, azud vertedero, central hidroeléctrica, potencia instalada.

ABSTRACT

The main objective of this project is to carry out a pre-feasibility study for hydroelectric generation in the Toachi River, establishing two energy generation alternatives, to later carry out technical and economic analyzes to determine a favorable alternative whose purpose is to solve the problems of scarcity. of electrical energy, both for the inhabitants of this sector, as well as for the producers of mortiño wines, who require electricity of approximately a total of 174 KW/H.

To develop this project, a georeferenced topographical survey with GPS must be carried out previously, later a hydrological analysis of the Toachi river basin will be carried out, to evaluate the capacity of the river, the alternatives proposed above are presented. Alternative No. 1 has a guarantee level of 80% and alternative No. 2 with 95% for the design flow.

Prior to the pre-design of the five-meter-high weir, a soil study will be carried out to obtain geological and geotechnical data such as the admissible capacity of the soil, settlements, shear resistance, among others, data that are essential in any type of foundation.

Once the most favorable alternative has been determined, the definitive designs of all the elements that make up the hydroelectric plant will be carried out.

Keywords: Georeferenced topographic survey with GPS, hydrological analysis, spillway weir, hydroelectric power plant, installed power.

CAPÍTULO I

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

1.1.1 Introducción

El cantón Sigchos se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi en el centro del Ecuador, situado sobre la cuenca hidrográfica del río Toachi y Pilatón; es una zona rural en más del 91.9% de población, cuenta con aproximadamente 25022 habitantes, su actividad económica en la gran mayoría es la agricultura y ganadería, también se caracteriza por la producción de aguardientes a base de caña de azúcar, vinos en alambiques elaborados con mora, mortiño, etc.

El clima procedente de este cantón de la sierra ecuatoriana varía entre los 12-20°C grados centígrados, con frecuentes precipitaciones durante la mitad del año.

Con poca vegetación, Sigchos es considerada una zona accidentada debido a la existencia de quebradas y grandes pendientes, dentro de la flora se puede encontrar especies como: el mortiño, pumamaqui, romerillo, el sigse, etc.

En la parroquia Sigchos está la comunidad de Quinticusig, misma que comprende alrededor de 100 familias, que trabajan en conjunto con la empresa comunitaria “Perla Andina”.

1.1.2 Descripción del problema

Dado que los servicios básicos del cantón Sigchos (agua, teléfono y luz eléctrica, etc.) y sus diferentes parroquias son limitados, por ejemplo, la energía eléctrica en zonas urbanas es apropiada al 95-100%, sin embargo, en el caso de zonas rurales, alcanza únicamente el 58.6% de su totalidad siendo los productores de vinos y emprendedores,

además de microempresarios agrícolas, los más desfavorecidos al carecer de esta asistencia para la producción de sus labores.

Detalladamente, el servicio eléctrico procedente del cantón, puede obtenerse mediante:

- Red de Empresa Eléctrica- servicio público
- Paneles Solares
- Plantas eléctricas que funcionan con combustible
- Entre otros

Por este motivo se plantea la generación de energía hidroeléctrica aprovechando un recurso natural -en este caso el caudal del río Toachi- mismo que se vincula a la construcción del azud vertedero para posteriormente implementar energía hidroeléctrica con una potencia instalada de 17,40 MW, mediante el diseño de una central hidroeléctrica, para de esta manera poder satisfacer las necesidades de los usuarios del sistema.

1.1.3 Delimitación del área de estudio

El área de estudio consta de una superficie aproximada de 3,35 Hectáreas de terreno, y se encuentra delimitada al Este por la ruta de acceso o carretera de la parroquia Palo Quemado y al Sur-Oeste por el río Toachi como se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Delimitación del área de estudio



Nota: Se presenta la delimitación del área del proyecto, con una superficie de 3.4 hectáreas. Fuente: Google Earth

1.1.3.1 Ubicación del proyecto

El proyecto se encuentra localizado en la provincia del Cotopaxi, cantón Sigchos, parroquia urbana de Sigchos; aproximadamente a 136 Km de la ciudad de Quito y 63,6 Km de Latacunga, (ver figura 2).

Sus coordenadas son: 0°43'08.0"S 78°52'25.0"W. Latitud: -0,718888 Longitud: -78,873612.

Figura 2
Ubicación geográfica del Proyecto



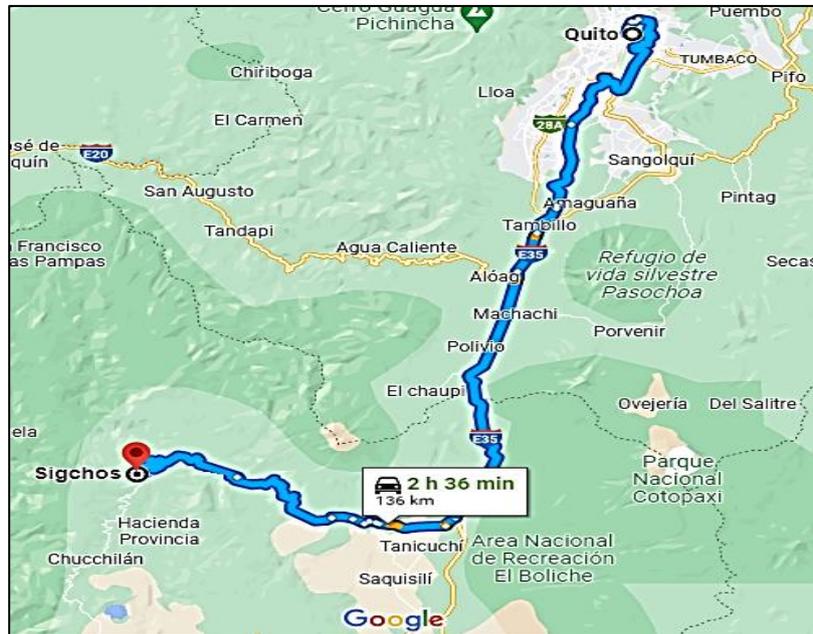
Nota: Ubicación del proyecto en el mapa del Ecuador, distancia de Quito y Latacunga respectivamente. Fuente: GAD Municipal de Sigchos.

1.1.3.2 Ruta de acceso

En cuanto al acceso al sitio del proyecto se puede dirigir por la Av. Simón Bolívar, posteriormente tomar la Panamericana Sur/ Troncal de la Sierra, E35 hasta el desvío a la altura del Parque Nacional Cotopaxi, más conocida como Área Nacional de Recreación “Boliche”

Una vez llegado al desvío se continua por la ruta del “Quilotoa” hasta llegar al parque central del cantón Sigchos, posteriormente se toma la ruta de acceso en la calle 21 de julio hacia la ubicación del proyecto aproximadamente a 12 km por la ruta marcada, como se muestra en la figura (3 y 4).

Figura 3
Ruta de acceso al proyecto



Nota: Acceso por la carretera Panamericana Sur E35 desde la ciudad de Quito hasta el punto de ubicación del proyecto. Fuente: Google Maps

Figura 4
Vía principal al proyecto



Nota: Se presenta la ruta de acceso por carretera a partir del cantón Sigchos hacia el sitio del proyecto. Fuente: ArcGIS 10.3

1.1.4 Justificación

La desatención municipal, la falta de recursos públicos y la necesidad de obras básicas como la prestación del servicio eléctrico para el cantón Sigchos específicamente para la comunidad Quinticusig quienes se ven afectados por la falta de obra pública dan lugar a la realización de este proyecto.

La colaboración entre la Universidad Politécnica Salesiana y la empresa Perla Andina que se da a través de la Dirección Técnica de Vinculación con la Sociedad, permite realizar varios proyectos de titulación en varios campos de la ingeniería, eléctrica, mecánica, industrial, ambiental, y civil, de competencia de nuestro proyecto está el estudio de pre factibilidad para el diseño y construcción de la central hidroeléctrica mencionada.

El proyecto abarca el estudio topográfico, estudio de suelo, y estudio hidrológico para evaluar la capacidad del río, siendo positiva la evaluación se realizarán los diseños de las obras civiles requeridas.

La inversión necesaria será financiada enteramente por la empresa comunitaria para hacer realidad este proyecto, una vez se haya concluido el estudio, dándose como factible la construcción de una central hidroeléctrica aprovechando el cauce del río Toachi.

1.1.5 Objetivos

1.1.5.1 Objetivo General

Identificar la capacidad hidroeléctrica del río Toachi en el sitio de estudio, proponiendo alternativas de generación, realizando estudios hidrológicos, topográfico-geomorfológico, geológico-geotécnico, a su vez planteando el análisis técnico-económico de las alternativas propuestas, con la finalidad de generar una potencia de 174 kW de electricidad necesaria para satisfacer la demanda de energía que requiere la comunidad

de Quinticusig que conforman la empresa de vinos Perla Andina y determinando la viabilidad técnica-económica de la alternativa más favorable.

1.1.5.2 Objetivos Específicos

Proponer dos alternativas de generación hidroeléctrica, determinando el caudal de diseño para una máxima crecida del río y el caudal de aprovechamiento del cauce con un nivel de garantía del 80% y 95%, realizando un estudio hidrológico, con la finalidad de obtener prediseños de las alternativas propuestas.

Realizar un estudio de la topografía en el sitio del proyecto, mediante la realización de un levantamiento topográfico con estaciones totales y GPS de precisión, con la finalidad de determinar el punto de ubicación del azud vertedero para la central hidroeléctrica.

Identificar la litología de la localidad en el punto de estudio, mediante la extracción de calicatas, cuya finalidad es someter las muestras a ensayos de laboratorio para determinar el tipo de suelo, sus características y propiedades mecánicas.

Elaborar el presupuesto referencial de cada una de las alternativas expuestas en el proyecto, con la utilización de análisis de precios unitarios (APU) y especificaciones técnicas, con el fin de obtener el costo real que tiene cada una de las alternativas del proyecto para su materialización.

Analizar de manera técnica y económica las dos alternativas del proyecto, determinando el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el índice costo-beneficio, con el propósito de obtener datos relevantes conforme a la disponibilidad laboral que rige frente a las condiciones sociales de las personas que conforman la comunidad de Quinticusig, consecutivamente se busca elaborar mecanismos de acción que permitan renovar diversas fuentes de empleo en actividades conjuntas a la obra.

Realizar el diseño a detalle de la alternativa que resulte más favorable técnica-económicamente, con ayuda del análisis y evaluación de los parámetros de diseño obtenidos con los diferentes estudios realizados, cuya finalidad es materializar el proyecto con la menor inversión y mayor rendimiento.

1.1.6 Alcance

Para la ejecución del estudio de prefactibilidad para la generación hidroeléctrica en el río Toachi, en la parroquia Sigchos, cantón Sigchos, provincia de Cotopaxi-Ecuador, año 2022, para la empresa “Perla Andina”, involucra desarrollar los siguientes trabajos:

- Inspección y registro del sitio donde se realiza el proyecto, mediante visitas técnicas programadas.
- Análisis hidrológico de la cuenca del río Toachi.
- Estudio geológico -geotécnico previo la implantación del azud vertedero, obteniendo muestras de suelo y posteriormente realizando ensayos de laboratorio, cuya finalidad es obtener datos geotécnicos que nos ayuden a la toma de decisiones a la hora de realizar prediseños de las estructuras que conforman la central hidroeléctrica.
- Levantamiento topográfico georreferenciado.
- Establecer dos alternativas de generación hidroeléctrica
- Prediseño del azud vertedero con las alternativas propuestas.
- Análisis técnico-económico del proyecto.
- Elección de la alternativa más favorable, con mayor beneficio y menor costo posible.
- Diseños definitivos de los elementos que conforman la central hidroeléctrica, tomando en cuenta la alternativa con mayor rendimiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico

2.1.1 Información básica para el desarrollo del proyecto

Se realizará varias visitas de campo al sitio del proyecto, con el motivo recopilar características físicas, geográficas y geométricas del terreno donde se ejecutará el plan de central hidroeléctrica para la empresa “Perla Andina”, esta información será de fundamental importancia para el adelanto del estudio de prefactibilidad, misma que será aplicada a cada una de las alternativas propuestas en esta disertación.

2.1.1.1 Levantamiento topográfico y Georreferenciación con GPS de precisión

Según Andrade & Heredia H, (2013) “la ubicación del sitio de estudio se la adquiere gracias a las cartas topográficas del IGM (Instituto Geográfico Militar), la cual se encuentra a una escala de 1:50000” (pag.8)

Para el trazado y delimitación de la cuenca hidrológica del río Toachi se utilizará la carta topográfica de “Sigchos” como se observa en la figura 5.

Dado que las curvas de nivel que se presenta en esta carta topográfica se hallan cada 40 metros, se procederá a realizar un levantamiento topográfico con GPS de precisión, cuya finalidad es tener una topografía más exacta de la zona de estudio con una escala de 1:1000 con curvas de nivel cada 5 metros, para que la ubicación del azud vertedero y demás elementos que conforman la central hidroeléctrica no presenten inconvenientes en cuanto al funcionamiento, operación, mantenimiento de los mismo. A demás de esto se calculará la geometría del proyecto, generando un número específico de puntos y formando así una franja topográfica del terreno especificado anteriormente.

Posteriormente se realizará la planimetría y altimetría del lugar, para proceder con el replanteo y nivelación del terreno.

Figura 5
Carta topográfica de Sigchos



Nota: Topografía del sitio de estudio con curvas de nivel cada 40 metros y escala 1:50000.
Fuente: IGM (Instituto Geográfico Militar).

2.1.1.1 Levantamiento Topográfico

Consiste en la realización de trabajo de campo mediante el uso de estaciones totales, para determinar la topografía y planimetría del terreno o sitio de estudio. En su correcto cumplimiento es necesario los siguientes equipos topográficos:

Estación Total, trípode, cintas, herramienta menor, clavos, spray, etc.

Es importante mencionar que el levantamiento topográfico debe ser realizado por personal técnico especializado (Topógrafo, auxiliar.) o por personas que se encuentren familiarizadas con el manejo de la estación total y demás equipos topográficos.

Una vez elaborado el levantamiento topográfico y planimetría del terreno es sustancial desarrollar un replanteo del mismo antes de seguir con la ejecución del proyecto, esto con la finalidad de ubicar cada uno de los elementos geométricos que se encuentren previamente definidos en el proyecto (Rincón Villalba y otros, 2017).

2.1.1.1.2 Aforos

Es un conjunto de operaciones para determinar el caudal específico de un cauce en un tiempo determinado, para el cual se procede a medir la sección transversal del río y posteriormente por medio de un equipo llamado molinete determinar la velocidad media de flujo del cauce, dando como resultado la obtención del caudal en el cauce del río.

La realización de un aforo se la puede apreciar en la figura 6.

Figura 6
Aforos en el río



Nota: Aforos en el cauce del río, permite obtener el caudal en un tiempo determinado.
Fuente: Borbón Fajardo Consultores.

2.1.1.1.3 Georreferenciación con GPS de precisión

Esta metodología emplea un sistema de posicionamiento global por satélite, La georreferenciación consiste en asignar coordenadas geográficas a diferentes puntos los cuales sean de interés para el proyecto que se pretende desarrollar.

Según (Pestarini, 2016) georreferenciar es expresar uno o varios puntos de un objeto, en referencia a la Tierra, es decir, un sistema de referencia único relativo al planeta Tierra.

Es de suma necesidad entender varios conceptos a la hora de hablar de georreferenciación con GPS como son: Elipsoide, geoide y datum.

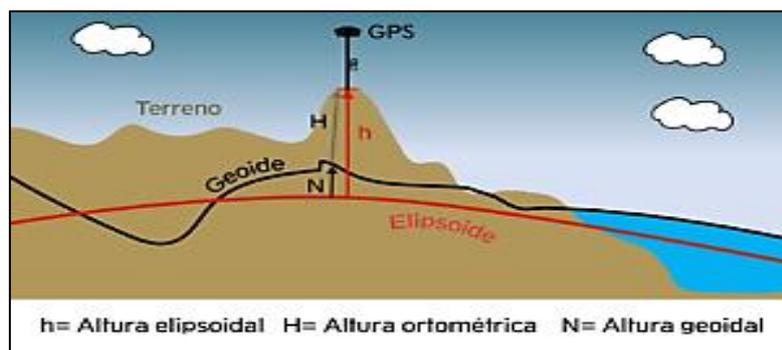
Elipsoide: También se le encuentra con el nombre de esferoide y es la representación de una esfera achatada, misma que es utilizada en topografía para representar la superficie de la Tierra. Cabe mencionar que el elipsoide no es un objeto que se encuentre físicamente, pues se trata de una representación matemática. Hoy en día existen diversos elipsoides, la más conocida es WGS 84.

Geoide: Dado que el planeta es irregular y posee diferentes elevaciones, el geoide es un implemento que nos ayuda a representar la altura media del mar o altura ortométrica.

Datum: Es el concepto que se utiliza para definir cual modelo fue empleado para representar la superficie de la Tierra, generalmente se encuentra compuesto por una parte vertical y otra horizontal, y está definido por un elipsoide y la relación que existe entre un punto sobre la superficie.

Los datos de la georreferenciación se pueden apreciar en la figura 7.

Figura 7
Georreferenciación con GPS de precisión



Nota: Alturas referenciales que presenta el GPS de precisión. Fuente: Topo Servís.

2.1.1.2 Transposición de caudales

Es un método desarrollado para cuando existe escasez de información de las cuencas hidrográficas estudiadas entre otras zonas donde no hay datos. Para la aplicación del método de transposición de caudales se debe lograr establecer una relación entre el área, los caudales y precipitaciones de la cuenca, posteriormente se realiza la transposición de los datos conocidos frente a los desconocidos como se encuentra en la ecuación 1.

Cabe mencionar que para poder realizar este método los parámetros deben ser adimensionales al transferir los datos de la variable que se requiere determinar, además de ello el procedimiento de transposición de caudales posee una relación entre la escorrentía y el área de la cuenca hidrográfica

Para la aplicación de la transposición de caudales se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{Q_c}{A_c * P_c} = \frac{Q_s}{A_s * P_s}$$

Ecuación (1)

Donde:

Q_c; Es el caudal de la cuenca con datos

A_c; Es el área de la cuenca con datos

P_c; Es la precipitación de la cuenca con datos

Q_s; Es el caudal de la cuenca sin datos

A_s; Es el área de la cuenca sin datos

P_s; Es la Precipitación de la cuenca sin datos

2.1.1.3 Coeficientes de uniformidad y curvatura del suelo

2.1.1.3.1 Coeficiente de uniformidad (Cu):

Es un parámetro que se obtiene de una curva granulométrica, este coeficiente determina la uniformidad que posee el suelo (INEN 638, 2005), se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación (2)

Donde:

D₆₀; Diámetro correspondiente al 60% del material que pasa por la curva granulométrica.

D₁₀; Diámetro correspondiente al 10% del material que pasa por la curva granulométrica, se lo conoce también con el nombre de diámetro efectivo.

La uniformidad que tiene el suelo se la obtendrá según los siguientes criterios:

- Si $Cu < 5$ la granulometría que tiene el suelo es **uniforme**.
- Si $5 \leq Cu \leq 20$ la granulometría que tiene el suelo es **poco uniforme**.
- Si $Cu > 20$ la granulometría que tiene el suelo es **bien graduado**.

Los suelos bien graduados tienen $Cu > 4$ para gravas y $Cu > 6$ para arenas.

2.1.1.3.2 Coeficiente de curvatura (Cc):

Es aquel parámetro que permite obtener la curvatura que tiene una curva granulométrica, para que un suelo se encuentre bien graduado el coeficiente de curvatura debe tener valores entre 1 y 3 (Crespo Villalaz, 2004), además se lo calcula por la siguiente ecuación:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Ecuación (3)

Donde:

D₃₀; Diámetro correspondiente al 30% del material que pasa por la curva granulométrica.

2.1.1.4 Límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad

Estos límites o estados son más conocidos como límites de Atterberg y miden la consistencia y plasticidad que tienen los suelos finos.

2.1.1.4.1 Límite Líquido:

Es considerado un contenido de humedad del suelo, donde el peso del suelo seco pasa de una consistencia plástica a una líquida, para obtener este límite se realiza un ensayo en laboratorio denominado cono de Casagrande (González Caballero, 2001).

2.1.1.4.2 Límite Plástico:

Es aquel contenido de humedad del suelo, donde el suelo empieza a carecer de su estado plástico, también se lo conoce como límite inferior al estado plástico, cuando el suelo pasa de estado sólido a semisólido, este límite también se lo obtiene en laboratorio mediante el ensayo de límite plástico ASTM D-4318.

Tabla 1

Diagrama de consistencia de suelos finos

Humedad, %H, creciente	←—————→			
Estados:	Sólido	Semisólido	Plástico	Semilíquido
Consistencia:	Dura	Semidura	Plástica	Fluida
Límites:		Lr	LP	LL

Nota: Se presenta los límites de Atterberg. Fuente: El Terreno 2001

2.1.1.4.3 Índice de Plasticidad:

Es un contenido de humedad del suelo que representa la diferencia entre el límite líquido y plástico, el índice de plasticidad es un factor que indica la consistencia o plasticidad que tiene el suelo, se lo obtiene según la ecuación subsiguiente:

$$IP = LL - LP$$

Ecuación (4)

Donde:

LL; Límite Líquido

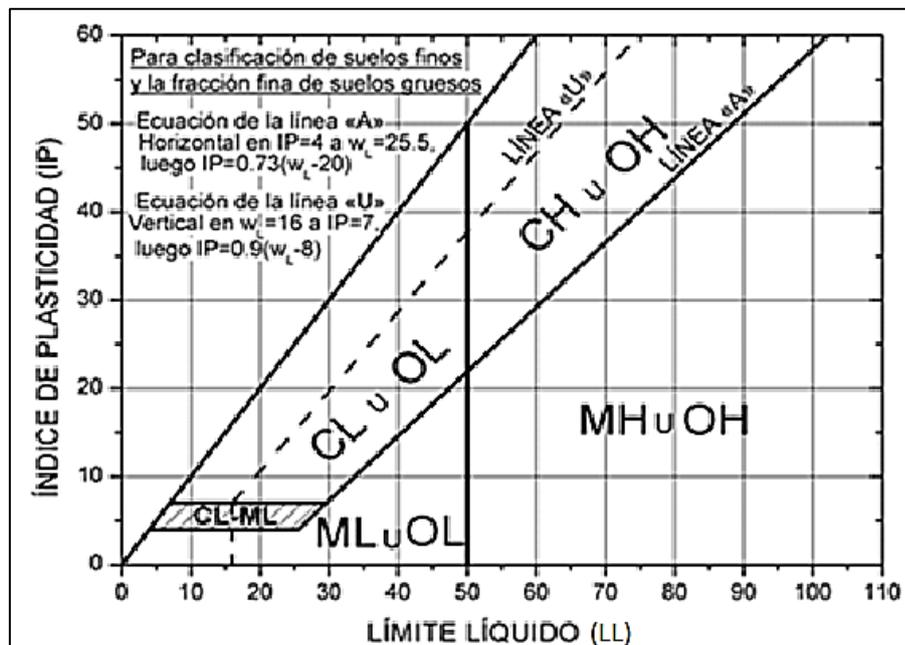
LP; Límite Plástico

IP; Índice de Plasticidad

El límite líquido (LL) y Índice de plasticidad (IP) son criterios de clasificación SUCS del suelo, para ello se emplea la carta de plasticidad (Ver figura 8).

Figura 8

Carta de Plasticidad



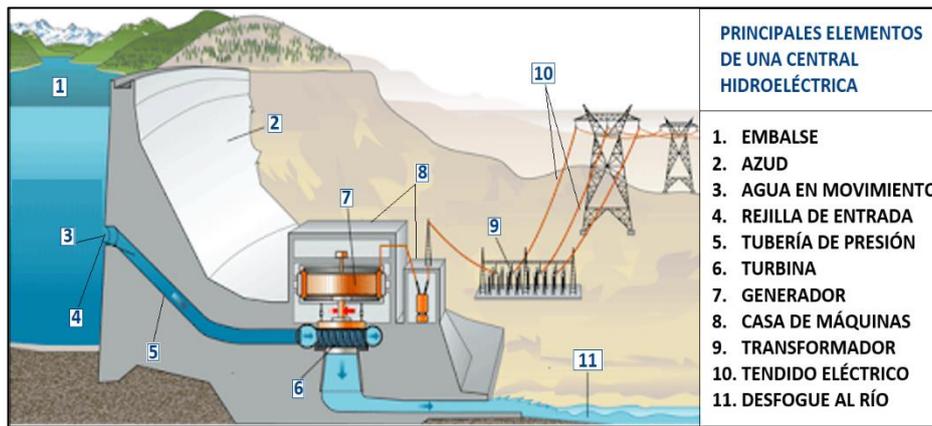
Nota: Carta de plasticidad de Casagrande Fuente: Norma ASTM D-2487-93

2.1.2 Estructuras que conforman una central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica contiene un conjunto de estructuras hidráulicas con funciones específicas dentro del sistema de generación eléctrica con el fin de aprovechar el cauce natural de un río, lago, etc., para a partir de ello transformar la energía cinética y por medio de turbinas, además de alternadores convertirla en electricidad (ver figura 9).

Figura 9

Estructuras principales de una Central Hidroeléctrica



Nota: Se presenta cada uno de los elementos que generalmente tiene una central hidroeléctrica. Fuente: AulaFácil.com

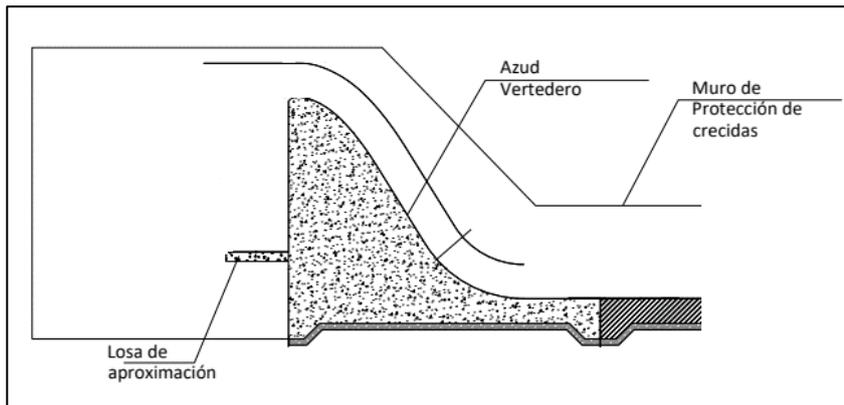
2.1.2.1 Obras de derivación

Son estructuras hidráulicas que se construyen con el fin de aprovechar los caudales de aguas superficiales de lagos o ríos de una manera controlada sin alterar el régimen de la fuente de abastecimiento. Estas obras de derivación deben ser canalizadas hacia el lugar donde se las van a utilizar ya sea por bombeo o gravedad (Lugo Cruz, 2004).

2.1.2.1.1 Azud Vertedero

Es una estructura hidráulica que se coloca transversalmente sobre el cauce de un río, su finalidad es de elevar el nivel de agua, para posteriormente hacer que se derive hacia un sistema de conducción como canales o tubería hasta la ubicación de las turbinas (Ver figura 10).

Figura 10
Azud Vertedero



Nota: Se muestra el esquema de un azud vertedero de hormigón cimentado en suelo.

Fuente: Autores

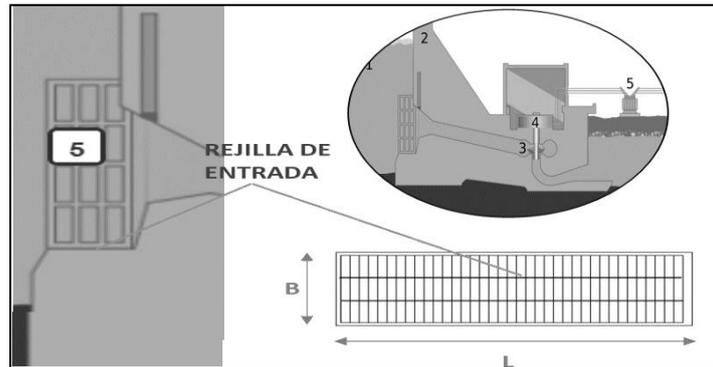
2.1.2.1.2 Galería de captación

Es una estructura hidráulica diseñada para captar agua de los ríos de montaña en zonas altas y posteriormente canalizarla hacia ductos logrando así su aprovechamiento. Generalmente estas estructuras son usadas en la región sierra dado las condiciones topográficas de nuestro país.

2.1.2.1.3 Rejilla de entrada

Esta estructura está diseñada para la limpieza del agua que entra en la toma o galería de captación, es decir, asegura que no exista residuos sólidos provenientes del río como se puede ver en la Figura 11.

Figura 11
Rejilla de entrada

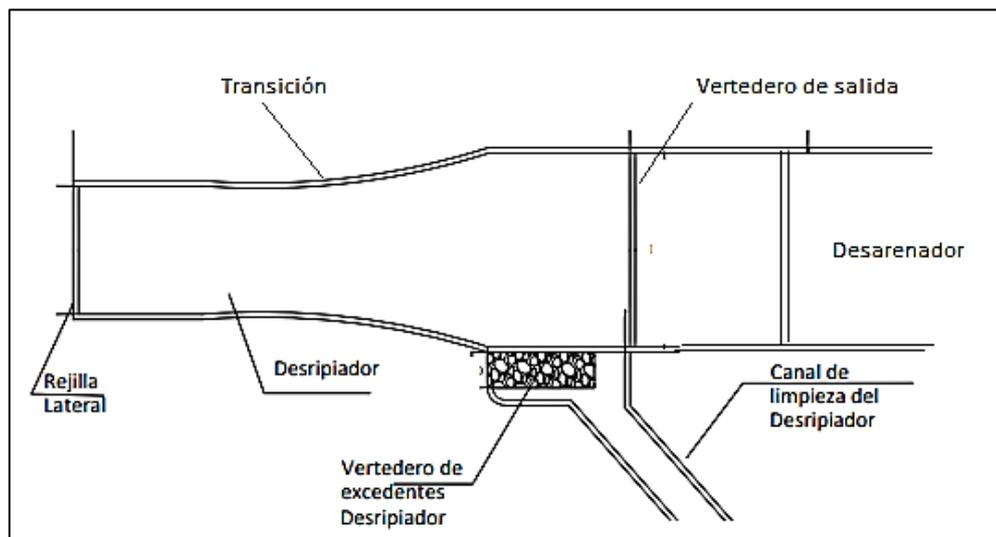


Nota: Se muestra la ubicación de la rejilla de entrada en la central hidroeléctrica. Fuente: Autores.

2.1.2.1.4 Desripiador

Es una estructura hidráulica que se utiliza detener piedras y demás residuos sólidos que alcancen a pasar a través de los barrotes de la rejilla, generalmente es colocada detrás de la rejilla de entrada como una especie de cámara de limpieza con un vertedero de excedentes y un canal de limpieza, además de su zona de transición que empieza en la rejilla de entrada y termina en la salida en el vertedero que une el desripiador con otra estructura hidráulica conocida como desarenador.

Figura 12
Desripiador



Nota: Se muestra la vista en planta de un desripiador y sus elementos principales. Fuente: Autores.

2.1.2.2 Obras de conducción

Son estructuras hidráulicas que se emplean después de la captación de agua, para llevarla a través de canales o tuberías de presión hacia el tanque de carga, estas estructuras a menudo pasan por diferentes accidentes topográficos (Ortíz Flórez, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, 2011), el trazado que existe en las obras de conducción influye directamente el costo de las estructuras, ya que se debe en lo posible mantener la pendiente longitudinal del río aguas abajo.

2.1.2.2.1 Canal inicial de conducción

Son estructuras que se construyen con el fin de canalizar el agua del río, se utiliza para riego o para centrales hidroeléctricas como es el caso de esta disertación, su diseño comprende el revestimiento del material que tiene el canal, además de la determinación de características hidráulicas como la velocidad de flujo, coeficiente de rugosidad de Manning, pendiente, taludes entre otros.

Son diseñadas a cielo abierto dado que su superficie está en contacto con la atmosfera.

2.1.2.2.2 Tubería a baja presión

Son estructuras hidráulicas que conducen el agua por medio de tubos o túneles de baja presión, para su elección se debe tomar en cuenta las condiciones topográficas y geológicas del sitio de estudio, así como, su facilidad de construcción, operación y mantenimiento.

2.1.2.1 Obras de protección

Existen varios factores que afectan los elementos que conforman la central hidroeléctrica, como es el caso de las piedras que impactan directamente con el azud vertedero de derivación (Carcelen & Monition, 1985).

Por esta razón se construye obras de protección mismas que se definirán en esta disertación.

2.1.2.1.1 Zampeado y colchón disipador

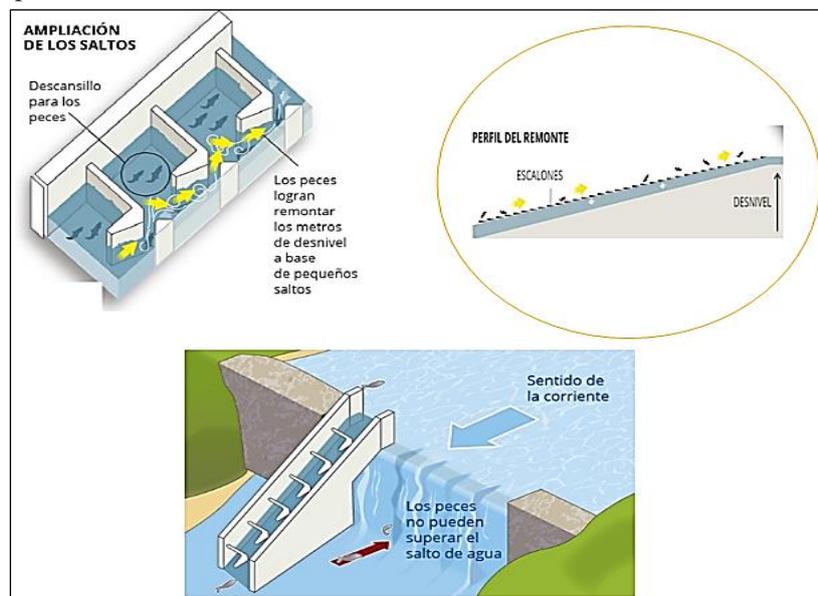
Es una estructura hidráulica que generalmente se la coloca en el pie del azud vertedero, su finalidad es evitar la socavación y desgaste que tenga el azud debido a crecientes de los ríos, generando erosiones del cauce.

Es entonces que el zampeado se utiliza para la disipación de la energía haciendo que el cauce fluya con velocidades relativamente bajas.

2.1.2.1.2 Escalera de protección piscícola

Son estructuras hidráulicas construidas sobre el cauce del río, cuya finalidad es lograr que las especies de peces superen un obstáculo como: presas, vertedero, azudes, diques entre otros. Esta construcción es diseñada en forma de canal artificial conectando el nivel aguas arriba del azud con el nivel del río aguas abajo como se puede ver en la figura 13.

Figura 13
Escalera de peces



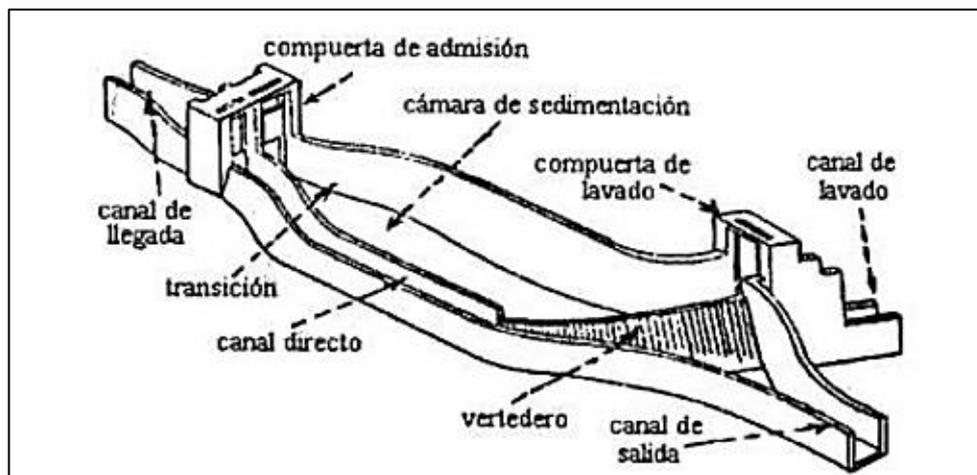
Nota: Se presenta de manera esquemática la escalera de protección piscícola, la ampliación y el perfil de los escalones. Fuente: @elperiodico/@EPGraficos

2.1.2.1.3 Desarenador

Es una estructura hidráulica construida con el fin de eliminar residuos sólidos y sedimentos transportados por el agua de un río, desde la toma de entrada pasando por el canal o ductos de conducción hasta llegar a las turbinas, esto para brindar protección a los elementos de la central hidroeléctrica, evitando su daño y deterioro. Los desarenadores se encuentran compuestos por una zona de transición al inicio de la captación, cámaras desarenadoras y desagües de purga o emergencia.

El diámetro de un desarenador se puede asumir en función al tipo de turbina que sea utilizada en la central hidroeléctrica (ver figura 14 y 15).

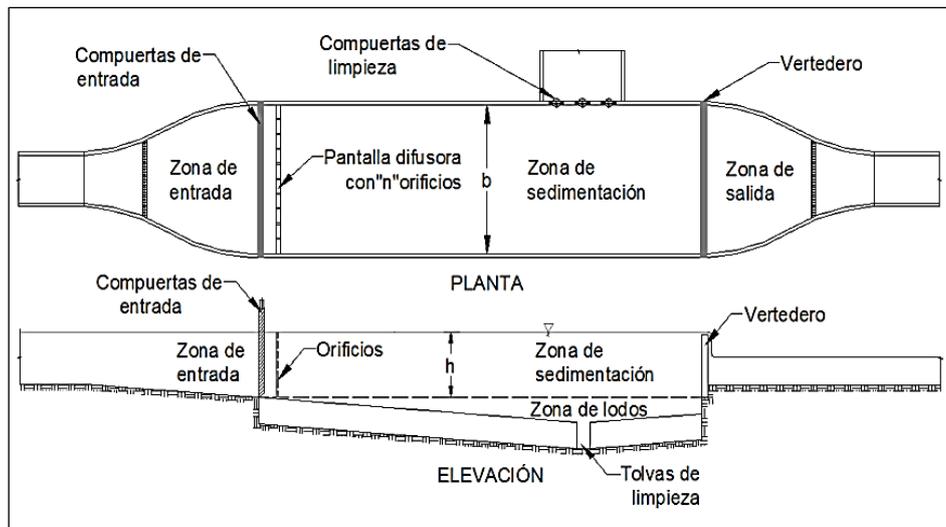
Figura 14
Desarenador



Nota: Se presenta las partes y elementos típicos de un desarenador. Fuente: es.slideshare.net

Figura 15

Vista en planta y elevación de un desarenador



Nota: Se presentan todos los elementos y zonas que conforman un desarenador.

Fuente: Guía para el diseño de desarenadores, OPS, Lima (2005).

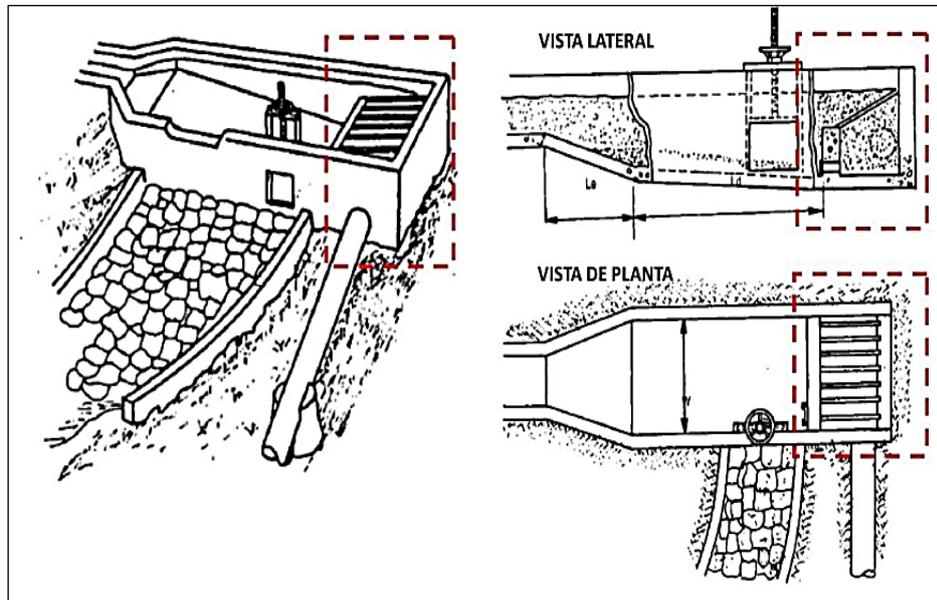
2.1.2.1.4 Tanque de carga

También conocido como tanque de presión, es una estructura cuya función principal es la de permitir la conexión entre la conducción con superficie libre o gravedad y la canalización por ductos cerrados o tubería de presión (Proaño Prócel, 2013).

Genera un volumen de reserva de agua para el funcionamiento de las turbinas en el caso de existir un incremento en su demanda, de esta manera también se mantiene una altura de agua suficiente impidiendo la entrada de aire.

Según (Carcelen & Monition, 1985), cuando la cantidad de agua utilizada por las turbinas es menor al caudal de diseño, el tanque de presión desaloja el excedente de agua consumido en dichas horas (ver figura 16).

Figura 16
Tanque de carga

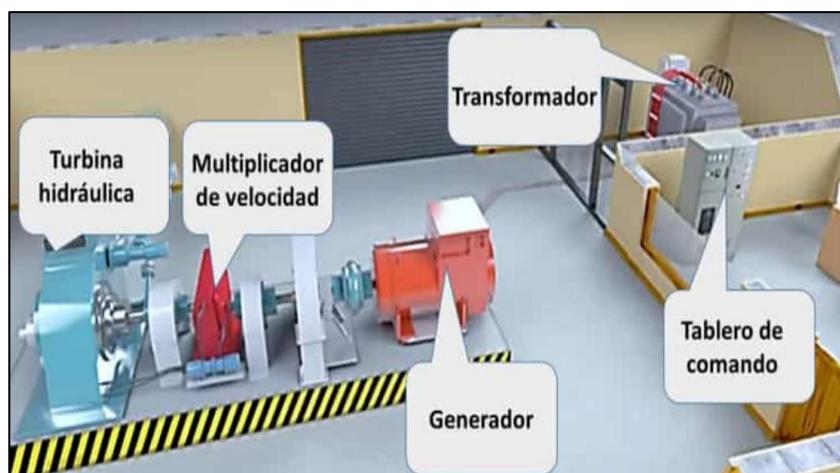


Nota: Esquema, vista en planta y vista lateral de un tanque de carga de una central hidroeléctrica. Fuente: Arechua de la Cruz, 2018.

2.1.2.1.5 Casa de máquinas

Es aquella estructura donde se instalan todos los equipos electromecánicos de la central hidroeléctrica, tales como los alternadores, las turbinas, generadores, válvulas, sistemas de regulación y control. Cabe mencionar que a menudo los transformadores son colocados fuera de la casa de máquinas (ver figura 17).

Figura 17
Casa de máquinas



Nota: casa de máquinas en las centrales hidroeléctricas. Fuente: Deingenierias.com

La ubicación de la casa de máquinas depende directamente la topografía de lugar, las características geológicas y del máximo salto que se requiera para generar la cantidad de energía que satisfaga a los usuarios del sistema (Inmaculada Fernández & Robles Díaz, 2010).

2.1.3 Generación hidroeléctrica

Consiste en aprovechar el flujo de agua en un cauce para generar el movimiento de turbinas convirtiendo la energía cinética en eléctrica, este principio lo utilizamos en ingeniería civil para plantear proyectos de generación hidroeléctrica generalmente mediante el represamiento y elevación del nivel del agua de un cauce natural para luego conducirlo en caída hacia las turbinas.

2.1.4 Turbina Hidráulica

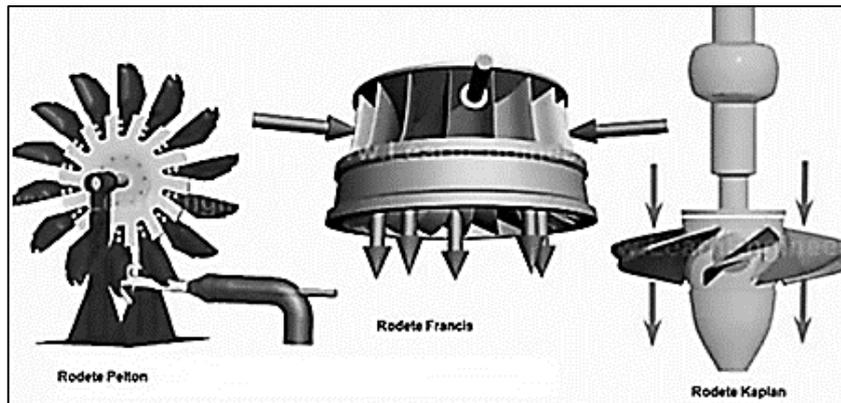
Una turbina es un mecanismo que utiliza una máquina para transformar la energía cinética en potencial, a menudo la energía cinética ocurre por la caída de agua en un salto, o por la propia corriente del río.

2.1.4.1 Tipos de Turbina según su diseño

Existen varios tipos de turbinas, su selección depende de varias características de diseño como: El caudal, la altura bruta, la dimensión tanto en longitud, como en sección de la tubería forzada.

Según su diseño las turbinas se clasifican en: Pelton, Francis, Kaplan y Hélice. Además se debe tener en cuenta la velocidad de giro de la turbina, la cual viene dada por cada alternador (ver figura 18).

Figura 18
Tipos de turbinas



Nota: Se presenta la fotografía de una turbina y el tipo de turbinas. Fuente: CEUPE Magazine, 2021.

2.1.5 Potencia Instalada

Es la potencia activa que una unidad de producción (Hidroeléctrica) genera para abastecer la demanda de los usuarios del sistema, la suma de las potencias nominales es igual a la potencia instalada. La potencia instalada se la calcula en función de la siguiente ecuación:

$$P_{inst} = \gamma * Q_e * H_n * \eta_t * \eta_m * \eta_g * \eta_{tr}$$

Ecuación (5)

Donde:

P_{inst}: Potencia Instalada o Potencia Nominal de utilidad [kW]

γ ; Peso específico del agua (9.81 kN/m³)

Q_e; Caudal de equipamiento [m³/s]

H_n; Salto Neto [m]

η_t ; Rendimiento de la turbina

η_m ; Rendimiento del multiplicador

η_g ; Rendimiento del generador

η_{tr} ; Rendimiento del transformador

2.2 Viabilidad económica financiera

Corresponde al estudio de la parte económica y financiera, el cual es fundamental para el desarrollo de toda obra civil, se definen los conceptos relacionados con la evaluación técnica económica del proyecto en mención.

2.2.1 Evaluación económica

Conocida también como evaluación social, consiste en comparar los beneficios con los costos que genera un proyecto para la sociedad, es decir, como influye en el bienestar de la población en conjunto.

2.2.2 Evaluación financiera

Se llama también evaluación privada, consiste en determinar la rentabilidad que tiene un proyecto, se la mide mediante la inversión inicial, beneficios futuros y costos generados para materializar el proyecto.

2.2.2.1 Metodología de evaluación financiera

Un proyecto se evalúa financieramente en función al cálculo de los indicadores financieros: VAN, TIR y B/C.

2.2.2.1.1 Valor Actual Neto (V.A.N)

El Valor Actual Neto es la suma actualizada de todos los flujos de caja, es decir de todos los beneficios, inversiones y costos. Se utiliza para medir la rentabilidad que tiene un proyecto y se calcula así:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Ecuación (6)

Donde:

Vt; Flujo de caja o beneficios actuales totales

Io; Inversión

k; Es la tasa de descuento

n; Periodo de evaluación

t; Periodo de tiempo

Los criterios para evaluar el VAN de un proyecto son los siguientes:

- Si el $VAN > 0$ es mayor que cero, la inversión genera ganancias, se acepta el proyecto.
- Si el $VAN < 0$ es menor que cero, la inversión genera pérdidas, se rechaza el proyecto.
- Si el $VAN = 0$ es igual a cero, la inversión no produce perdidas ni ganancias, es indiferente.

2.2.2.1.2 Tasa Interna de Retorno (T.I.R)

Es una tasa de descuento que al aplicarla a un flujo de beneficios netos hace que el valor actual neto (VAN_0) en el año cero sea igual a cero, es decir, que es una tasa de interés de oportunidad para el cual el proyecto será aceptable y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

Ecuación (7)

Donde:

Fn; Flujo de fondos neto

i; Tasa de descuento

n; Periodo de evaluación

ρ ; Tasa de interés mínima

Los criterios para evaluar el TIR en un proyecto son los siguientes:

- Si el $TIR > \rho$ es mayor que la tasa de interés mínima, la inversión es rentable, se acepta el proyecto.
- Si el $TIR < \rho$ es menor que la tasa de interés mínima, la inversión no tiene rentabilidad, se debe rechazar el proyecto.
- Si el $TIR = \rho$ es igual que la tasa de interés mínima, el proyecto es indiferente.

2.2.2.1.3 Relación Costo – Beneficio (B/C)

Es la relación de los costos totales del proyecto (inversión, operación y mantenimiento) con todos los beneficios generados, se la calcula con la siguiente fórmula:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}}$$

Ecuación (8)

Donde:

Bt; Beneficios totales del proyecto

Ct; Costos totales

k; Tasa de descuento

t; Periodo de tiempo

n; Periodo de evaluación

Los criterios para evaluar el índice beneficio-costo (B/C) son los siguientes:

- Si el $B/C > 1$, existe rentabilidad, el proyecto se acepta.
- Si el $B/C < 1$, no existe rentabilidad, el proyecto se rechaza.
- Si el $B/C = 1$, el proyecto es indiferente.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Investigación Aplicada

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto es la investigación aplicada, dado que involucra una relación directa entre la sociedad y la ciencia.

En esta investigación la importancia de las visitas técnicas, estudios, encuestas y enfoques son irrelevantes, pues están encaminadas al mejoramiento o solución de un problema como es el caso de esta disertación, escases de energía eléctrica para la comuna de Quinticusig y la empresa de vinos de mortiño “Perla Andina”.

3.2 Método de análisis básico

La ejecución del análisis básico de esta investigación implica que se realizará tanto estudios de campo, como bibliográficos, además de ensayos de laboratorio de suelos, cuya finalidad es la recopilación de todos los datos posibles, para el desarrollo de este proyecto.

3.2.1 Cualitativo

La investigación cualitativa utiliza diversas técnicas como las entrevistas, encuestas, etc., para lograr recopilar la información necesaria definiendo así la problemática real que se presenta en un determinado sitio.

A demás en la cualitativa no se requiere tener una teoría o concepto previo a la investigación de campo, ya que son los mismos datos recolectados en las visitas de campo los que nos proporciona los antecedentes para el desarrollo de nuestro estudio.

Al ser un proceso de análisis cualitativo será inductivo, demandante al realizar el estudio de la situación real de los moradores de la comuna de Quinticusig juntamente con la empresa de vinos “Perla Andina”.

Es entonces que el nivel de análisis de esta investigación será de tipo cualitativo, ya que, por medio de encuestas realizadas en el sector, reflejan la problemática que tiene la comunidad de Quinticusig y a la empresa de vinos “Perla Andina” al carecer de energía eléctrica en sus viviendas, empresa y lugar de trabajo.

3.2.2 Cuantitativo

La investigación cuantitativa es un proceso sistemático y ordenado, consiste en seguir una serie de pasos lógicos para obtener solución a un problema. Este estudio se emplea para la recolección y análisis de datos de diferentes fuentes.

La investigación cuantitativa esta también relacionada con la realidad la comuna de Quinticusig y la población que trabaja juntamente con la empresa de vinos “Perla Andina”, pero con perspectivas diferentes, pues la importancia de la revisión de conceptos y teorías es fundamental para lograr estructurar la investigación que lleve a resolver la problemática del lugar, definiendo el marco teórico, la metodología y demás técnicas utilizadas.

3.3 Plan de recolección de datos

3.3.1 Estudio de campo

Es un estudio consecuente utilizado para la recolección de datos, que por lo general son nuevos y de fuente principal. Ayudan básicamente a la investigación, cuya finalidad es cumplir con el objetivo del proyecto. Este tipo de estudio permite entender, analizar y comprender la realidad de los hechos haciendo que el investigador tome contacto directo con los problemas reales que puedan presentarse en un determinado lugar.

3.3.2 Investigación Bibliográfica

Es un estudio científico, con el fin investigar, conocer, interpretar y deducir infinidad de conceptos, teorías, fundamentos de diferentes autores relacionados con algún

determinado tema y que se encuentran publicados en libros, artículos, tesis, revistas, informes entre otros. Una investigación bibliográfica hace parte también de una investigación tanto cualitativa como cuantitativa, y se encuentra encaminada a la recolección de información para el desenvolvimiento de un plan, programa o proyecto.

3.4 Demografía

Según el último censo del INEC 2010 la población del cantón Sigchos tiene alrededor de 21944 habitantes en todos sus cantones, siendo el de mayor población la parroquia Sigchos con 7933 personas, para el fin del desarrollo de esta disertación se empleará datos actualizados en base al GAD Municipal de Sigchos (Ver tabla 2).

Tabla 2

Población del cantón Sigchos

PARROQUIA	De 0 a 14 años	De 15 a 64 años	Mayores de 64 años	POBLACIÓN
SIGCHOS	2783	4244	906	7933
CHUGCHILAN	3715	3726	370	7811
INSINLIVI	1251	1604	372	3227
LAS PAMPAS	668	1110	165	1943
PALO QUEMADO	349	572	109	1030
<i>total</i>	8766	11256	1922	21944

Nota: Se presenta la clasificación de la población del cantón Sigchos por edades. Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda INEC 2010.

Tabla 3

Densidad poblacional proyectada

AÑOS	Proyección de la población			Proyección densidad hab/km ²		
	Cantón	Cabecera parroquial	Resto de la parroquia	Cantón	Cabecera parroquial	Resto de la parroquia
2001	20722	7942	12780	16,19	43,25	0,10
2010	21944	7933	14011	17,15	43,20	0,11
2015	23178	8703	14475	18,11	47,39	0,11
2020	24481	9747	14734	19,13	51,99	0,12
2025	25857	10473	15384	20,21	57,03	0,12
2030	27311	11489	15822	21,34	62,56	0,12

Nota: Datos estadísticos del crecimiento poblacional del cantón Sigchos. Fuente: GAD Municipal de Sigchos.

3.4.1 Población de Quinticusig

La población de Quinticusig correspondientes 100 familias que trabajan juntamente con la empresa de vinos “Perla Andina”.

Según datos de encuestas realizadas en el sector de la comuna de Quinticusig, el 59% familias tiene alrededor de 10 habitantes, el 22% tiene 7 habitantes, el 16% tiene 5 habitantes y finalmente el 3% posee 2 habitantes como se puede apreciar en la tabla 4.

Tabla 4

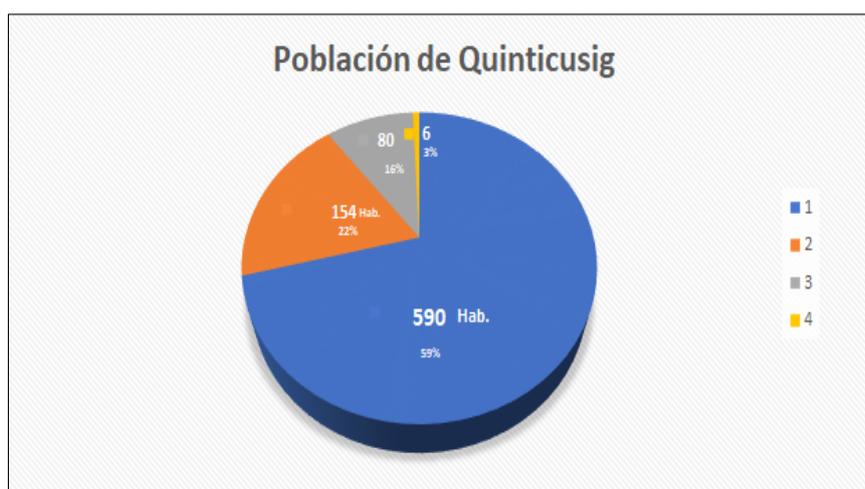
Población de Quinticusig

Población de la comuna Quinticusig			
% Porcentaje	Nro. de Familias	Nro. Personas/Familia	Total, Habitantes
59%	59	10	590
22%	22	7	154
16%	16	5	80
3%	3	2	6
Totales =	100	24	830

Nota: Se presenta la cantidad de familias, el número de personas por familia y el total de habitantes de la comuna de Quinticusig. Fuente: Encuestas comuna de Quinticusig

Figura 19

Número de habitantes de Quinticusig



Nota: Se indica cuatro tipos de familias de 2 a 8 habitantes, cantidad de personas de la comuna Quinticusig y su respectivo porcentaje. Fuente: Encuestas comuna Quinticusig

3.4.2 Muestra

En base a los datos obtenidos al realizar encuestas a la comunidad de Quinticusig se determinó que la población correspondiente a las 100 familias es de 830 habitantes (ver tabla 4).

Para el cálculo de la muestra se utilizará el dato de población total y se la obtendrá mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N}{E^2 * (N - 1) + 1}$$

Ecuación (9)

Donde:

n; Tamaño de la muestra

N; Población total o Universo

E; Error de muestreo (5%)

$$n = \frac{830}{0.05^2 * (830 - 1) + 1}$$

$$n = 270 \text{ hab}$$

Por lo tanto, se determinó una muestra de 270 habitantes.

3.5 Proceso técnico de la ingeniería Civil

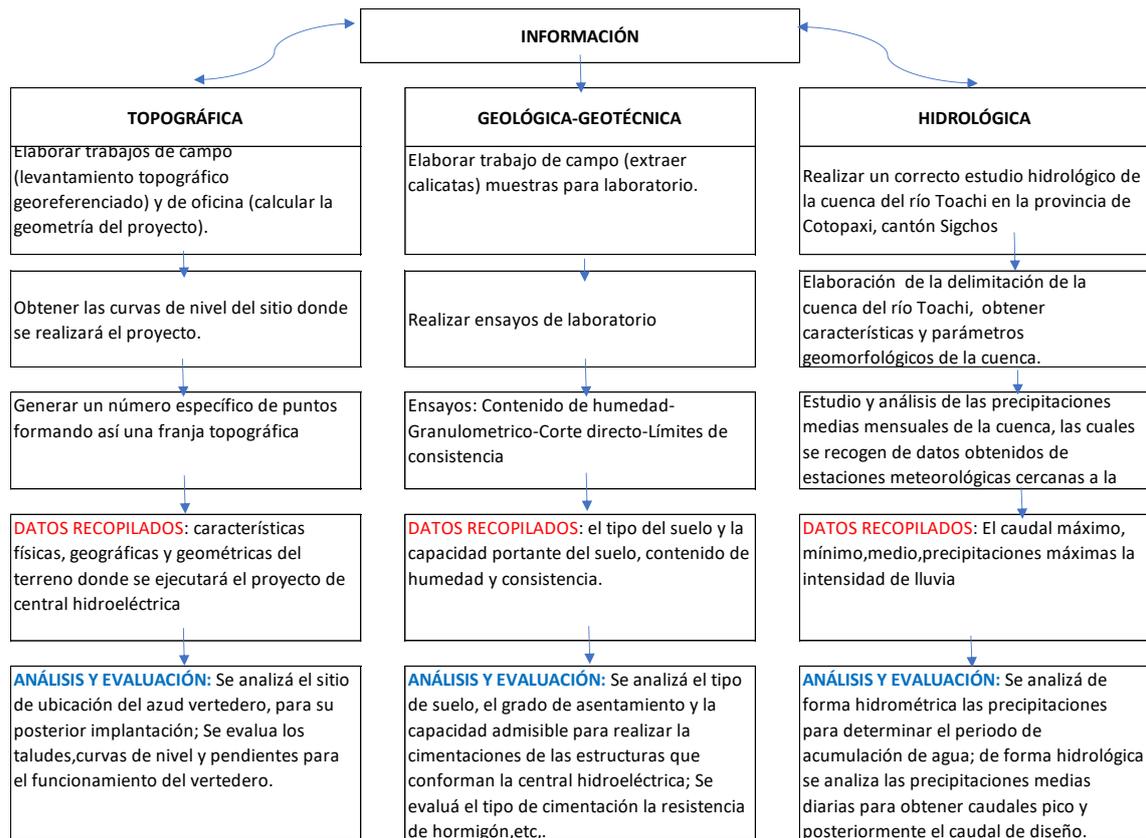
Se refiere a la aplicación de fundamentos teóricos y principios de la ingeniería civil para la planificación, diseño y construcción de una central hidroeléctrica y demás estructuras que la conforman como es el caso de esta disertación.

3.5.1 Análisis y evaluación de la información topográfica, geológica – geotécnica, hidrológica recopilada

Previo al análisis y evaluación se debe realizar estudios de campo y laboratorio para recopilación de datos e información que resulta necesaria para el desarrollo del proyecto (ver figura 20).

Figura 20

Mapa conceptual de análisis y evaluación de los datos recopilados



Nota: Se presenta los objetivos, datos recopilados, el análisis y evaluación de la información obtenida. Elaborado por: Autores

3.5.2 Prediseño para cada alternativa propuesta, de las obras civiles que conforman una central hidroeléctrica

Con los parámetros del río Toachi y sus características principales se procede a realizar la implantación de la central hidroeléctrica, posteriormente se realiza el prediseño de un azud vertedero de hormigón a gravedad, determinando el perfil teórico triangular, construyendo el perfil hidráulico tipo Creager y preliminar.

Consecuentemente se obtiene el perfil constructivo que permita la funcionalidad del azud vertedero, para luego realizar prediseño de los demás elementos que son parte de la central hidroeléctrica.

Cabe mencionar que al momento de realizar los prediseños se debe tomar en cuenta cada una de las dos alternativas propuestas.

Una vez obtenido los prediseños se realizará un análisis de precios unitarios (APU) para obtener los costos referenciales y el presupuesto total necesario para la ejecución de la obra, tanto para la alternativa Nro. 1 y Nro.2.

3.5.3 Diseño definitivo de la alternativa con el mayor rendimiento y beneficio para la central hidroeléctrica

Parte del desarrollo de un proyecto es el exhaustivo estudio de la rentabilidad económica y su estado financiero. Dado que se trata de una central hidroeléctrica que aprovecha el cauce de un río logrando producir energía renovable (Energía hidroeléctrica) la cual ayuda al crecimiento económico, social y medio ambiental (Aranda Usón & Sabina, 2009).

Se realiza un análisis económico-financiero, cuya finalidad es determinar cuál de las alternativas mencionadas anteriormente es más rentable a nivel técnico y económico.

Una vez obtenido la alternativa con mayor rendimiento en cuanto beneficio y costo se ejecuta el diseño definitivo de la mejor alternativa.

CAPÍTULO IV

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BASE PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.

4.1 Recopilación de Información hidrológica

Dando inicio al análisis hidrológico como primer paso ha sido cumplir con visitas técnicas en el sitio de estudio, esto se hace con el fin de obtener datos de la geografía del lugar donde se pretende realizar la implantación de la central hidroeléctrica, aquí se ha tomado los puntos GPS necesarios y mediante la información cartográfica obtenida del portal del IGM (Instituto Geográfico Militar), además de la herramienta de software ArcGIS, se logra modelar la cuenca hidrográfica de nuestro interés y obtener las características geo morfológicas de la misma.

Para dar forma a la cuenca se han utilizado las cartas topográficas de Manuel Cornejo Astorga, Jatun Loma, Sigchos, Pilaló, cuya escala es 1:50000

4.1.1 Ubicación geográfica de la subcuenca hidrológica del río Toachi en el sitio del proyecto

La subcuenca hidrográfica objeto del estudio de este proyecto es la perteneciente al río Toachi, misma que, a su vez, forma parte de la cuenca del río Esmeraldas y pertenece a la región Hidrográfica 1, al nivel Pfafstetter 5 el cual pertenece a la demarcación hidrográfica código 15299, la misma que se localiza al centro del Ecuador dentro de la provincia de Cotopaxi (Cantón Sigchos), como se observa en el mapa de ubicación de la subcuenca (ver anexo Nro.1).

Sus ríos descargan los caudales en el océano Pacífico y responden al régimen climático y a las condiciones físico–geográficas de los páramos y valles interandinos. Además, el régimen hídrico de la cuenca, presenta dos períodos estacionales marcados al interior del año, que corresponden a la estación lluviosa (enero–mayo) y a la estación seca (julio–noviembre). Los meses de transición son junio y diciembre.

La subcuenca del río Toachi está codificada por cinco cuencas hidrográficas que corresponde al nivel Pfafstetter 5, (ver tabla 5).

Tabla 5

Cuencas Pfafstetter nivel 5

NIVEL	CÓDIGO	NOMBRES	ÁREA (Km ²)
1	1	Región hidrográfica 1	124563,83
2	15	Unidad hidrográfica 15	64546
3	152	Cuenca del río Esmeraldas	65205,79
4	1529	Unidad hidrográfica 1529	59675,69
5	15299	Unidad hidrográfica 15299	5308,11

Nota: Se presenta el sistema de codificación Pfafstetter 5, para la descripción topológica de las cuencas. Elaborado por: Autores.

La cuenca hidrográfica del río Toachi se encuentra rodeada por provincias de la costa y sierra ecuatoriana (ver figura 21).

Figura 21

Mapas de las provincias (ubicación)



Nota: Se presenta el mapa de las provincias que rodean al cantón Sigchos. Fuente: Autores.

La ubicación de la cuenca y subcuenca hidrológica del río Toachi se encuentra dentro de la demarcación hidrográfica del río Esmeraldas (ver anexo Nro.2).

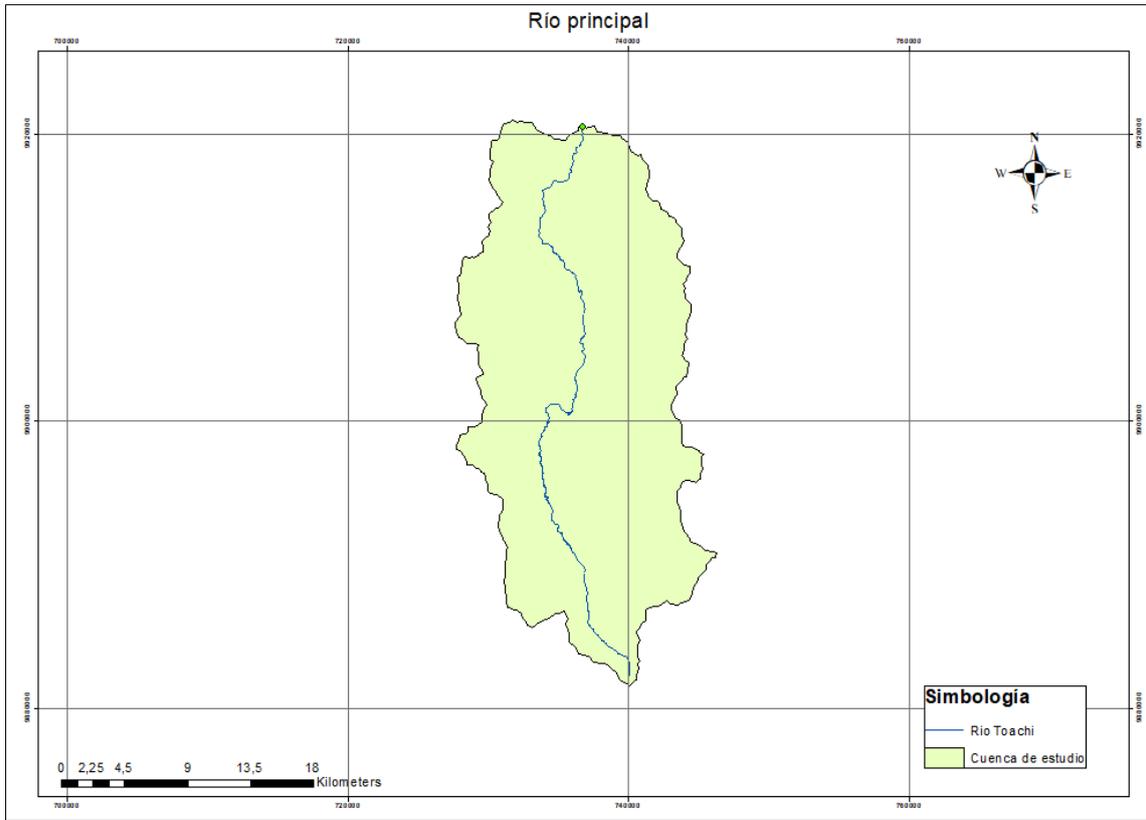
4.1.2 Delimitación de la subcuenca del proyecto utilizando el software ArcGIS 10.3

Como ha sido ya mencionado anteriormente durante el desarrollo de este tema de investigación se utiliza la herramienta de software ArcGIS 10.3, para todo el estudio hidrológico parte esencial de esta disertación, los mapas serán adicionados a este proyecto como anexos sin embargo capturas gráficas de los mismos nos ayudarán a entender de manera gráfica lo que se menciona en los diferentes capítulos.

La delimitación de subcuenca del río Toachi se puede observar en la figura 22.

Figura 22

Delimitación de la subcuenca del río Toachi



Nota: Se presenta la delimitación de la subcuenca de estudio y su cauce principal o de primer orden. Elaborado por: Autores

4.1.3 Cálculo de parámetros de la subcuenca hidrológica delimitada

Los parámetros básicos de geometría de la cuenca han sido obtenidos mediante el modelamiento de la cuenca con ayuda del software ArcGIS 10.3.

4.1.3.1 Parámetros de la cuenca

4.1.3.1.1 Área de drenaje (A)

Técnicamente se define como la proyección horizontal de la línea cumbre que delimita la cuenca hidrográfica. El área de la cuenca de estudio es de: 487.22 Km²

4.1.3.1.2 Perímetro de la cuenca (P)

Se considera como la longitud de la línea divisoria de aguas, que conforma el contorno del área de la cuenca. Cuando se compara cuencas de la misma área, este

parámetro es útil para diferenciar la forma de la cuenca, es decir, si es alargada o redondeada. El perímetro de la cuenca de estudio es de: $P = 116.65 \text{ Km}$

4.1.3.1.3 Longitud del río principal (L)

Este parámetro coincide con la longitud del cauce más largo, y es un criterio muy representativo de la longitud de una cuenca. Puede medirse considerando toda la sinuosidad del cauce o la longitud del eje del mismo.

4.1.3.1.4 Coeficiente de forma (Rf)

Es la relación entre el ancho medio y la longitud del cauce medido entre el punto de interés y el punto más distante de la cuenca. El ancho medio de la cuenca (B) se determina dividiendo el área de la cuenca (A) para la longitud principal del cauce (L). Por lo tanto, el factor de forma se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Rf = \frac{A}{L^2}$$

- Si $Rf > 1$ Forma achatada tiempos cortos (horas, minutos) para formación de avenidas.
- Si $Rf < 1$ Forma alargada Tiempos largos (días, semanas) para formación de avenidas.

4.1.3.1.5 Coeficiente de compacidad (Kc)

Conocido también como el índice de Gravelius, relaciona el perímetro de la cuenca hidrográfica y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual al de la cuenca y está dada por la ecuación:

$$Kc = 0.282 \frac{P}{A^{0.5}}$$

Donde:

P = El Perímetro de la cuenca en [Km]

A = Es el Área de drenaje de la cuenca en [Km²]

- Si Kc tiende a 1 habrá mayor tendencia a concentrar fuertes volúmenes de escurrimiento.
- Un índice mayor o igual a la unidad, más se aproxima a la forma de un círculo, en cuyo caso tendrá mayores posibilidades de producir crecientes mayores en los picos (caudales); mientras más bajo sea Kc mayor será la concentración de agua.

4.1.3.1.6 Índice de alargamiento (La)

Es otro índice de forma de la cuenca, pero a diferencia de los anteriores, ya no muestra la tendencia de la cuenca a ser redonda, sino que su comportamiento a ser una cuenca alargada en relación con su longitud axial y el ancho máximo de la cuenca.

$$La = \frac{Lm}{l}$$

Donde:

La = Índice de alargamiento

Lm = Longitud máxima de la cuenca en [Km]

l = Ancho máximo de la cuenca en [Km]

4.1.3.1.7 Densidad de drenaje

Este parámetro indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y la superficie total de la misma. De otra manera, expresa la capacidad de desalojar un volumen de agua dado. Este parámetro es muy representativo respecto a la topografía de la cuenca en los estudios.

$$Dd = \frac{\sum Li}{A}$$

Donde:

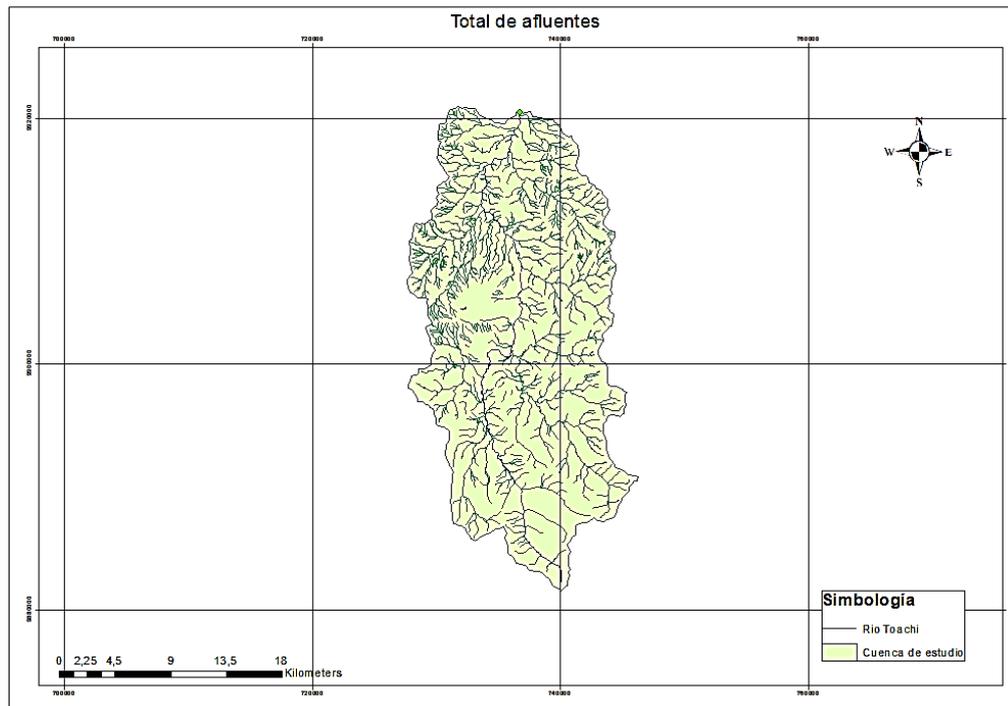
Dd = Densidad de drenaje

$\sum Li$ = Sumatoria de las longitudes de los drenajes que integran la cuenca [Km]

A = Área de la cuenca [Km²].

Figura 23

Total de afluentes de la cuenca



Nota: Se presenta los afluentes de 1er, 2do y 3er orden de la cuenca. Fuente: Autores

4.1.3.1.8 Constante de estabilidad del río

Se define como el inverso de la densidad de drenaje.

$$C = \frac{1}{Dd}$$

Donde:

C = Constante de estabilidad

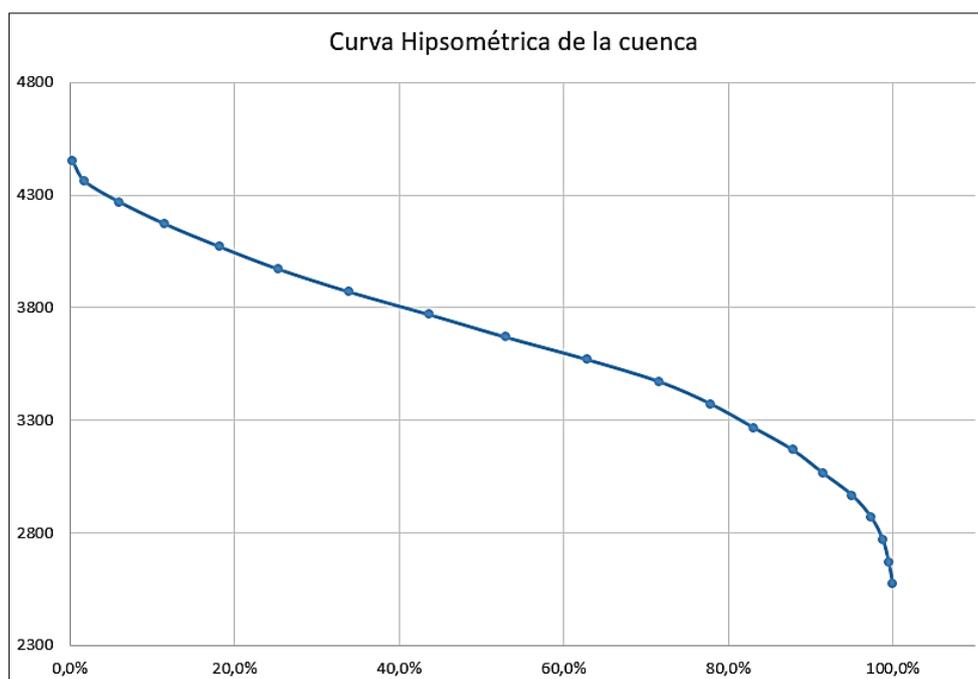
4.1.3.1.9 Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica constituye una curva característica muy importante de la cuenca en estudio. Esta curva representa en el eje de las ordenadas, las elevaciones en metros sobre el nivel del mar y en el eje de las abscisas, el porcentaje del área de la cuenca que queda por encima de la elevación indicada, caracteriza de algún modo el relieve.

La información recopilada para generar la curva hipsométrica (ver figura 24) se encuentra detallada en el anexo Nro.3, el gráfico indica que existe un alto porcentaje de valles profundos, escarpados con alta presencia de quebradas en la cuenca de estudio, como se mencionó anteriormente esto es típico de zonas montañosas de la región sierra, es por tanto que las planicies se muestran en menor porcentaje.

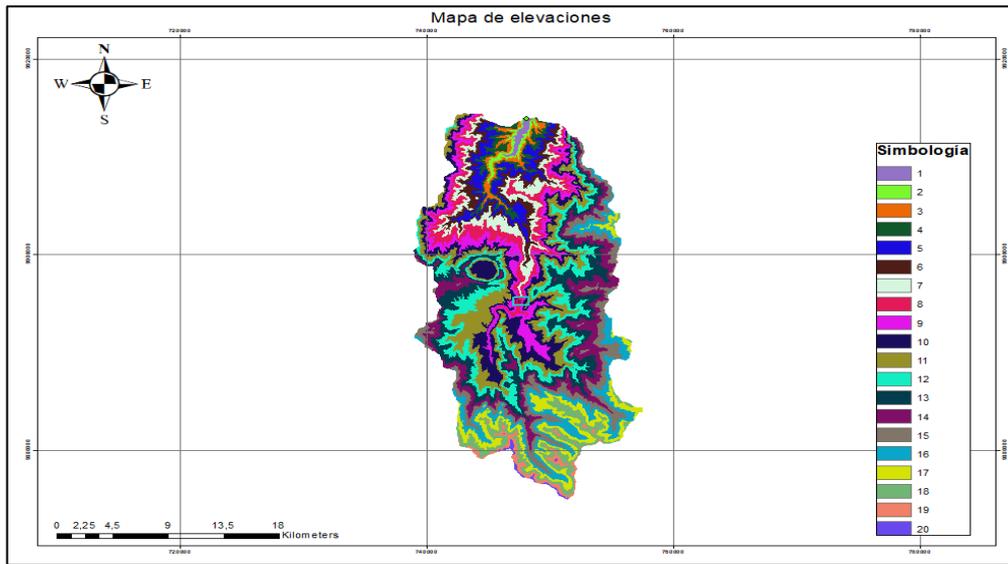
Figura 24

Curva hipsométrica- de frecuencias de altitud



Nota: Se muestra la curva hipsométrica característica de la sub cuenca de estudio;
Elaborado: por los autores

Figura 25
Mapa de elevaciones de la cuenca



Nota: Se muestran los intervalos de elevaciones características para la generación de la curva hipsométrica. Fuente: Autores

4.1.3.1.10 Pendiente media de la cuenca

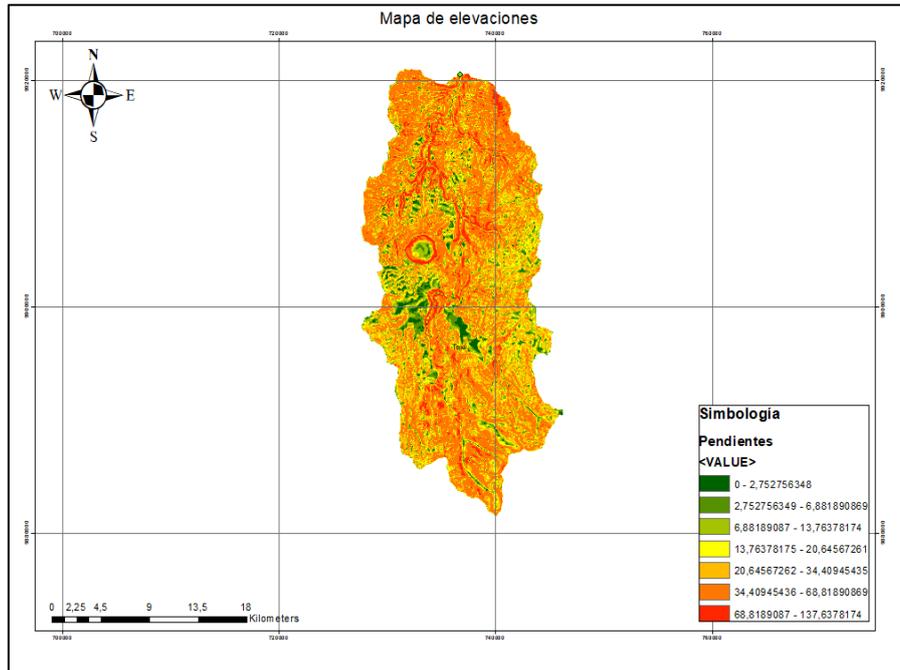
Este parámetro permite establecer la velocidad media con la que se produce la escorrentía superficial y factor que depende en gran medida del tiempo de entrega de la precipitación a los cauces. Los terrenos se pueden clasificar en función de las pendientes (ver tabla 6).

Tabla 6
Clasificación de los terrenos por la pendiente media

PENDIENTE MEDIA (%)	TERRENOS
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Nota: Tipos de terrenos en función a la pendiente media. Fuente: Fundamentos del ciclo hidrológico. Pérez J., 1979.

Figura 26
Mapa de pendientes de la cuenca



Nota: Se presentan las pendientes medias y elevaciones de la cuenca. Fuente: Autores.

4.1.3.1.11 Pendiente media del cauce

Es la diferencia entre la cota superior y la cota inferior del cauce del lecho del río dividido entre la longitud entre esos puntos. La influencia de la configuración topográfica en el proceso de erosión de una cuenca y en la formación de descargas altas, se presenta de acuerdo a los mayores o menores grados de pendiente. Existen varios criterios para definir este parámetro. Para el presente estudio se utilizó la siguiente expresión:

$$I_c = \frac{HM - Hm}{10 L}$$

$$I_c = \frac{4520 - 2520}{10 \cdot 52.34}$$

$$I_c = 3.82$$

Donde:

Ic = Pendiente media del cauce en %

HM y Hm = Altitud máxima y mínima del cauce en [m.s.n.m.]

L = Longitud del cauce en [Km]

4.1.3.2 Resumen de parámetros hidrológicos de la subcuenca delimitada

Los parámetros hidrológicos obtenidos con ayuda del software ArcGIS 10.3 se resumen en la tabla 7.

Tabla 7

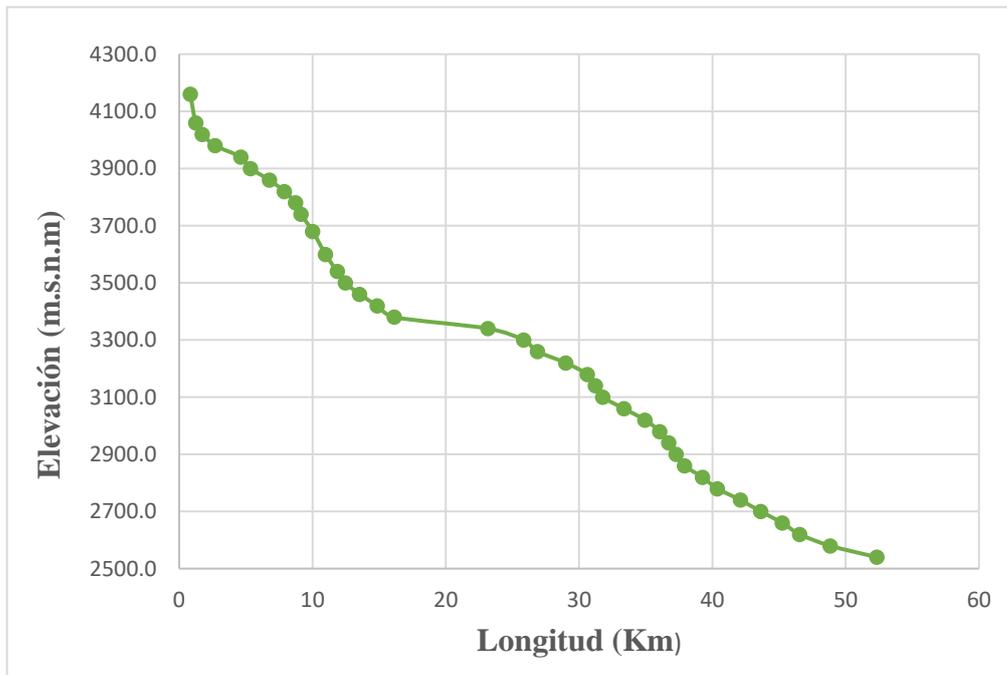
Caracterización fisiográfica de la cuenca de estudio

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Área de la cuenca (A)	487,22	Km ²
Perímetro de la cuenca (P)	116,65	Km
Longitud del río principal (L)	52,34	Km
Cota máxima	4520	m.s.n.m
Cota mínima	2520	m.s.n.m
Pendiente media del cauce	3,86	%
Longitud total de afluentes (Li)	924	Km
Ancho máximo (I)	17,53	Km
Longitud máxima de la cuenca (Lm)	38,99	Km
Coefficiente de forma (Rf)	0,18	
Coefficiente de compacidad (Kc)	0,14	
Índice de alargamiento	2,22	
Densidad de drenaje (Dd)	1,90	Km/Km ²
Constante de estabilidad del río (C)	0,53	Km ² /Km
Elevación media	3783,49	m.s.n.m
Posición y orientación	Sur- Norte	

Nota: Se presenta un resumen de los parámetros de la cuenca hidrográfica determinados.
Fuente: Autores.

Implementando el software ArcGIS 10.3 y la cartografía de la cuenca hidrográfica que se obtuvo del Instituto Geográfico Militar (IGM) en escala 1:50000 se trazará el perfil del río Toachi en el sitio de estudio (ver figura 27).

Figura 27
Perfil longitudinal del río Toachi



Nota: Se indica el perfil longitudinal del río en el sitio de estudio. Fuente: Autores.

4.1.4 Análisis hidrométrico

Es aquel empleado para determinar y calcular volúmenes de agua que pasan por un azud, vertedero, canal y sección del cauce del río. En este análisis se desarrollan estudios hidrológicos e hidráulicos para realizar un adecuado diseño de la central hidroeléctrica y de todos sus elementos hidráulicos que la componen.

En esta etapa se obtienen estaciones meteorológicas e hidrológicas, mismas que serán examinadas con la finalidad de recopilar información hídrica que sea de utilidad para la ejecución del proyecto.

Todos los datos relevantes con el comportamiento del cauce del río Toachi y su paso por el sitio de ejecución del proyecto son reunidos mediante diferentes procedimientos con el fin de hacer énfasis en comprobar si el cauce del río es apto para la implantación de una central hidroeléctrica cuya función es dar energía con una potencia instalada preestablecida anteriormente por los habitantes de la comuna Quinticusig y la empresa de vinos “Perla Andina”.

4.1.4.1 Análisis y evaluación de las precipitaciones medias mensuales y anuales

4.1.4.1.1 Condiciones climáticas y meteorológicas

El cantón Sigchos varía el clima dependiendo de la topografía del lugar, pero predomina el clima ecuatorial de la sierra, es decir, un clima Ecuatorial mesotérmico-semihúmedo.

Figura 28

Condiciones climáticas del cantón Sigchos

Cuadro FA 5	Descripción de información climática
Precipitación	De enero a junio se presentan precipitaciones muy fuertes y prolongadas.
Temperatura	El cantón posee una temperatura media varía entre 9 y 11°C, los extremos absolutos son 0 y 22°C
Piso climático	Los pisos climáticos que se encuentran en el cantón al estar ubicado en el nor-occidente del país y presentar una variación en cuanto a las alturas son: paramo, y subtropical

Nota: Se muestra características climáticas que tiene el cantón Sigchos, precipitación, temperatura y piso climático. Fuente: IGM, 2010. Elaborado por: GAD Sigchos, 2015.

Las estaciones meteorológicas utilizadas para desarrollar el análisis hidrológico se encuentran descritas en el anexo Nro.4.

Según (Andrade & Heredia H, 2013) uno de los parámetros climatológicos más importantes es la precipitación, ya que determina el ciclo hidrológico que tiene el sitio de estudio y su región. Para lograr obtener la configuración de la distribución espacial de las precipitaciones en la zona del proyecto se debe crear un mapa de isoyetas, usando los datos de las precipitaciones medias anuales de las estaciones que están consideradas en el proyecto.

Los valores de las precipitaciones medias anuales calculadas se pueden apreciar en la tabla 8.

Tabla 8*Valores de las precipitaciones anuales de estaciones analizadas*

Estaciones meteorológicas	Prec.Anual	Periodo
PUJILI (4 ESQUINAS)	667,06	1968-1984
COTOPAXI-CLIRSEN	1138,4	1964-2011
PILALO	1373,1	1964-2011
PACHAMAMA-TIXAN	971,24	1964-2000
PUCAYACU	4391,3	1984-1995
SIGCHOS	997,12	1964-2012
ANGAMARCA	667,4	1964-1984
CUSUBAMBA	564,34	1964-2012
PAMPAS DE GUINTZA	591,77	1975-1987
GUANGAJE	880,90	1973-1984
ACCHI	745,06	1977-1986
AZACHE	1876,5	1967-1989
RUMIQUINCHA	643,9	1973-1984
PUJILI	604,05	2007-2009

Nota: Se muestra las precipitaciones anuales para cada estación considerada y su periodo de estimación. Fuente: INAMHI; Elaborado por: Autores.

Existe variantes en las estaciones respecto a las precipitaciones mensuales como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9*Variación estacional de las precipitaciones mensuales*

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	P. anual (mm)
PUJILI (4 ESQUINAS)	38,4	112	100	52,2	44,1	59,1	20,4	20,8	79,8	113	70,2	42,9	753,56
COTOPAXI-CLIRSEN	88,7	113	135	143	118	73,4	48,6	38,5	80,2	103	99,4	115	1155,34
PILALO	208	256	246	205	86	39,6	19,9	21,7	49,8	63,7	84,9	131	1411,02
PACHAMAMA-TIXAN	49,3	139	178	172	76,6	20,5	19,3	18,2	52,6	78,7	90,7	70,6	966,05
PUCAYACU	591	749	761	816	376	173	44	53,9	77,2	124	114	332	4210,53
SIGCHOS	125	134	134	147	90,4	89,1	22,2	15,8	42,4	56,8	120	93,9	1069,36
ANGAMARCA	133	185	157	80,7	58,8	21,8	9,7	9,48	16,1	58,6	64,9	64,5	859,205
CUSUBAMBA	36,3	66,2	70,8	54,2	60,1	70,1	82	57,7	30,7	15,5	10,5	32,3	586,32
PAMPAS DE GUINTZA	83,9	65	63,2	89,9	44,3	16,6	12	17,4	41,4	42,7	48,2	66,3	590,98
GUANGAJE	128	93,8	98,6	130	70,8	28	18,2	26,5	63,3	76,5	69,3	110	912,77
ACCHI	65,3	81,3	96,3	128	115	11,7	18,8	20,6	38,4	68,2	56,3	107	805,53
AZACHE	448	218	262	261	205	88,4	82,5	64,1	87,7	150	121	198	2184,52
RUMIQUINCHA	44,5	61,1	81,9	100	63	26,7	20,7	22,7	63,8	63	55	59,3	661,78
PUJILI	55,8	53,2	84,2	99,7	83,8	38	11,7	23,1	25,8	77,2	55,9	48,7	656,86

Nota: Se presenta las precipitaciones de cada mes del año, a su vez se observa la variación que existe entre las estaciones involucradas. Fuente: Andrade & Heredia h, 2013.

Se puede apreciar que las precipitaciones en esta zona son muy intensas el primer periodo del año de enero a junio. A demás que los meses de febrero marzo y abril tienen la mayor cantidad de lluvia del año.

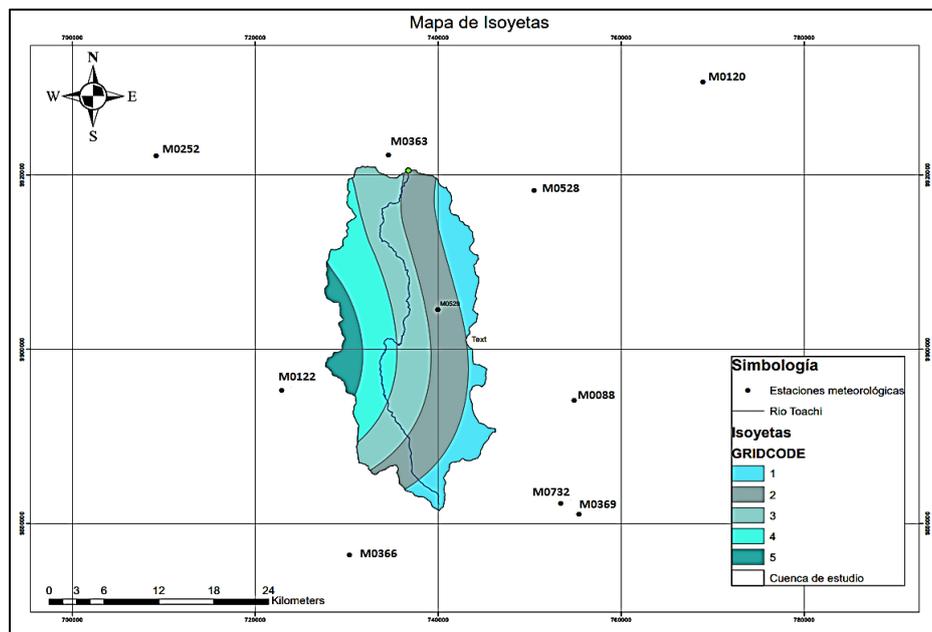
4.1.4.2 Evaluación de parámetros hidrométricos

Para evaluar los parámetros es importante definir los siguientes conceptos:

- Isoyetas. – Son isolíneas utilizadas para representar la precipitación sobre un área explícita estas isolíneas se generan en función a un raster que resulta del producto de la interpolación de los puntos que tienen información de la precipitación de la zona de estudio.
- Datos raster. – Es un conjunto de datos agrupado en filas, columnas, más conocido como celdas, y cada celda representa el área de una región cuyo valor determina las características de esta región.

Para determinar el mapa de isoyetas (ver figura 29) se generan varios datos raster, los cuales se encuentra resumidos en el anexo Nro.5. Con las precipitaciones medias anuales, ayudados por el software ArcGIS 10.3 se obtienen los datos para generar el mapa de isoyetas y la precipitación media que tiene la cuenca el río Toachi (ver anexo Nro.6).

Figura 29
Mapa de Isoyetas



Nota: Mapa de isoyetas de la cuenca de estudio y sus estaciones. Elaborado por: Autores.

Se concluye que la precipitación media anual en la cuenca analizada es de aproximadamente 963.26 mm y en el área de estudio del proyecto 929.10 mm.

A demás en base a datos proporcionados por el CIAP “Centro de Investigaciones Aplicadas” el cantón Sigchos registran precipitaciones de entre los 500mm en los años secos y 1500mm en los años húmedos en zonas medias-altas.

4.1.4.3 Definición de las curvas de duración y variación estacional

4.1.4.3.1 Curva de duración

Es conocida como la relación que existe entre la intensidad y duración, una curva de duración es el resultado de analizar una serie historia de datos ya sean precipitaciones o caudales medios diarios, mensuales o anuales y representan el régimen de caudales medios que tiene la cuenca.

Es por eso que una curva representativa se debe tener una serie histórica de datos buena (Pérez Romo & Vanegas Sandoval, 2016).

En base a una de las estaciones consideradas (M0120) en el proyecto se encontró las siguientes ecuaciones para determinar la intensidad de las lluvias (ver figura 30).

Figura 30

Estaciones, intervalos y ecuaciones para el cálculo de intensidad de lluvia

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0120	COTOPAXI	5<30	$i = 131.025 * T^{0.2373} * t^{-0.5426}$	0.9611	0.9236
		30<120	$i = 292.0283 * T^{0.2067} * t^{-0.7597}$	0.9822	0.9657
		120<1440	$i = 205.8295 * T^{0.1800} * t^{-0.6945}$	0.9807	0.9617

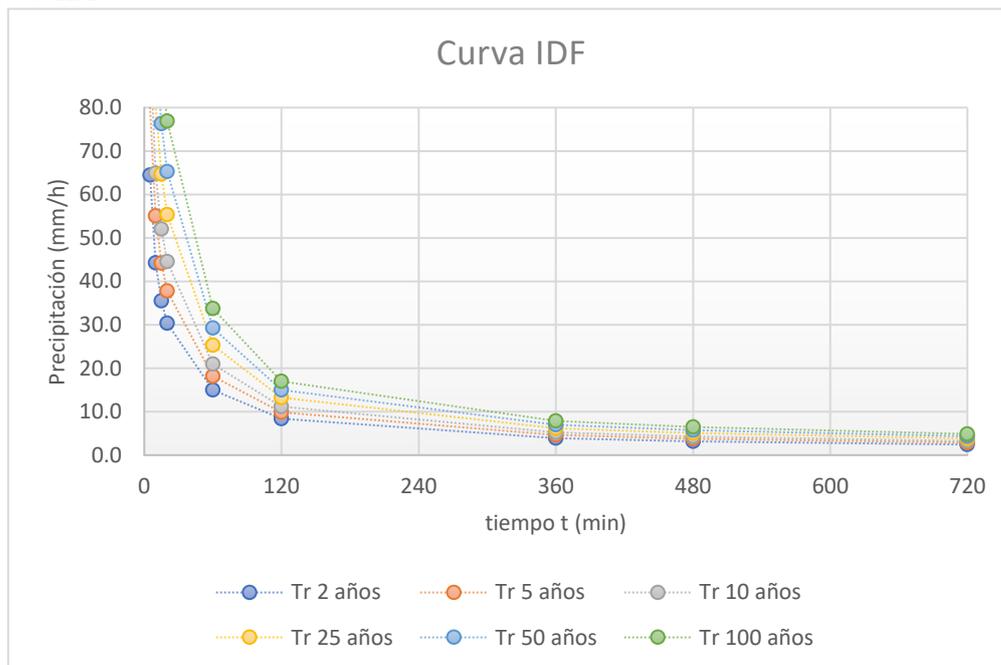
Nota: Se presenta ecuaciones para obtener la intensidad máxima de lluvia. Fuente: Determinación de ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de precipitación (INAMHI, 2015)

Tabla 10*Duración de las lluvias para diferentes periodos de retorno*

Periodo de Retorno T (AÑOS)	Tiempo de duración t (min)									
	5	10	15	20	60	120	360	480	720	1440
2	64.5	44.3	35.5	30.4	15.0	8.4	3.9	3.2	2.4	1.5
5	80.2	55.0	44.2	37.8	18.2	9.9	4.6	3.8	2.9	1.8
10	94.5	64.9	52.1	44.5	21.0	11.2	5.2	4.3	3.2	2.0
25	117.4	80.6	64.7	55.4	25.3	13.2	6.2	5.0	3.8	2.4
50	138.4	95.0	76.3	65.3	29.2	15.0	7.0	5.7	4.3	2.7
100	163.2	112.0	89.9	76.9	33.7	17.0	7.9	6.5	4.9	3.0

Nota: Se presenta el tiempo de duración de las lluvias en función al periodo de retorno.

Fuente: Determinación de ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de precipitación (INAMHI, 2015)

Figura 31*Curva IDF*

Nota: Se presenta la curva IDF para el Cálculo de Intensidades Máximas de precipitación (INAMHI, 2015); *Fuente:* Autores.

Del gráfico del IDF se puede decir que las precipitaciones se acumulan en más del 60% debido a que en los primeros 120 minutos de duración se encuentra en sus valores con mayor intensidad y posteriormente su intensidad disminuye (Andrade & Heredia H, 2013).

4.1.4.3.2 Variación estacional

Es un modelo matemático cuya utilización ayuda a determinar valores de caudales o precipitaciones cuando existe fluctuaciones, es decir, si hay la presencia de movimientos estacionales que generen un incremento o disminución de los valores de la serie de datos considerada.

Con esto se quiere hacer énfasis en que la variación permite saber cómo se encuentra la distribución espacial de las estaciones en la cuenca de estudio, esto a fin de evitar posibles crecidas de agua.

Esta investigación será desarrollada a partir de los estudios de “Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación” & “Cálculo de Intensidades de Lluvia para el Diseño de Obras de Drenaje” del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); (Andrade & Heredia H, 2013).

4.1.5 Cálculo de caudales máximos, medios, de diseño y caudales probabilidad de excedencia

En esta sección del capítulo de esta investigación se realizarán todos los cálculos para determinar los caudales característicos del cauce del río Toachi.

Los datos e información necesaria para este procedimiento serán recopilada de los anuarios del (INAMHI) tomando en cuenta las estaciones hidrológicas consideradas en el sitio de estudio que son alrededor de 36 estaciones (ver anexo Nro.7).

4.1.5.1 Caudales característicos

Son caudales representativos de un cauce o río, entre los que se tiene los siguientes:

- **Caudal medio (Qmed).** -Es la cantidad promedio de agua en (m^3/s) para un periodo determinado de tiempo, puede ser diario, mensual o anual.

- **Caudal máximo característico ($Q_{m\acute{a}x}$).** - Es la cantidad máxima de descarga en (m^3/s) para un periodo determinado que fluye por un cauce. Generalmente el caudal máximo es necesario para desarrollar obras civiles o hidráulicas.
- **Caudal mínimo característico ($Q_{m\acute{i}n}$).** - Es la cantidad mínima de agua en (m^3/s) para mantener satisfecha la demanda de los usuarios del sistema, ya sea de orden sanitario o ecológico.
- **Caudal de sequía (Q_{seq}).** -Es el nivel de cantidad de agua en (m^3/s) que alcanza el cauce de un río principalmente en épocas de sequía o periodos secos.
- **Caudal ecológico (Q_{ec}).** – Es aquel caudal que tiene por objeto mantener el equilibrio ecológico, dando un hábitad adecuado para los animales acuáticos, agua bebible para animales terrestre y humedad para plantas y todo tipo de vegetación. Para caudales menores a $20 m^3/s$, el caudal ecológico esta dado por el 10% del caudal medio mensual.

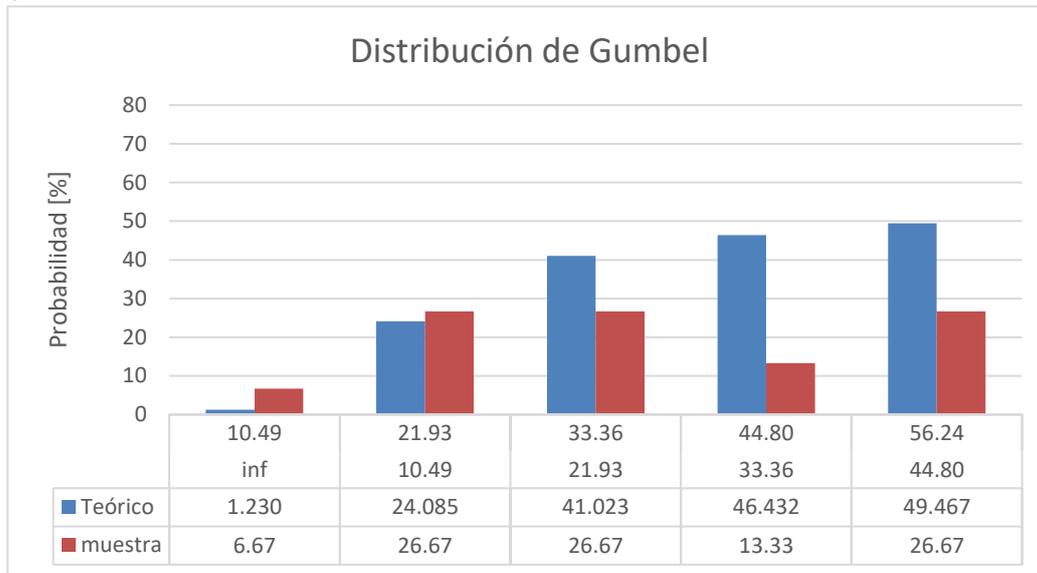
4.1.5.2 Caudales máximos

Dentro del estudio y cálculo de los caudales máximos se tiene información recopilada de varias estaciones hidrológicas, pero con series históricas un poco limitadas, por tal motivo se utilizará las estaciones más representativas.

Se toma datos de la serie histórica de caudales máximos instantáneos de la estación H0166 “Toachi en las Pampas”, para un periodo de (1999-2013).

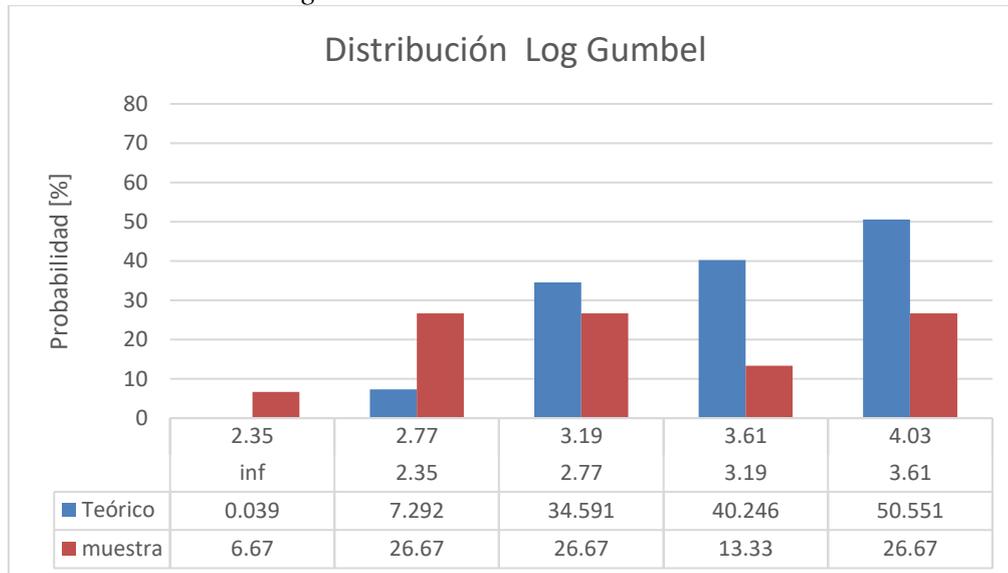
Para determinar los caudales máximos en la cuenca de estudio se aplicó el método estadístico de distribución de Gumbel (ver figura 32) y Log Gumbel (ver figura 33), con un periodo de retorno TR de 25 años.

Figura 32
Gráfico de Distribución de Gumbel



Nota: Se presenta la distribución de Gumbel para valores teóricos, como para la muestra.
Fuente: Autores

Figura 33
Gráfico de Distribución de Log Gumbel



Nota: Se presenta la distribución de Log-Gumbel para valores teóricos, como para la muestra. *Fuente:* Autores

El resumen de los cálculos para determinar los caudales máximos utilizando la distribución de Gumbel Log Gumbel se encuentran detallado en los anexos Nro.8 y Nro.9 respectivamente.

Se observa que la distribución Log-Gumbel tiene un mayor ajuste, por lo tanto, se procede a determinar los caudales máximos para diferentes periodos de duración, mismos que se pueden apreciar en la tabla siguiente:

Tabla 11

Caudales máximos con diferentes periodos de duración

Cuenca	Área [Km ²]	Periodo de Duración (TR) años	CAUDALES MÁXIMOS [m ³ /s]							
			5	10	15	20	25	50	75	100
Cuenca de estudio, río Toachi	487.2		40.8	54.4	63.9	71.6	78.1	102.2	119.4	133.4

Nota: Se presenta los caudales de crecida en función al periodo de retorno correspondiente. Fuente: Andrade & Heredia H, 2013. Elaborado por: Autores.

En base a la tabla 11, se puede deducir que para un periodo de retorno de 50 años se obtendrá un caudal máximo de 102.2 [m³/s], en tanto para un periodo de duración de 100 años se tiene un caudal de 133.4 [m³/s].

4.1.5.3 Caudales medios

Para obtener los caudales medios del río Toachi se analizará la estación de cauces naturales H0166 correspondiente a “Toachi en las Pampas”, a su vez se realizará un relleno de datos aplicando correlaciones entre cuencas cercanas y la estación H0166 como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12*Ecuaciones y coeficientes de correlación lineal para el relleno de datos*

Ecuación:	Coef. correlación
Toachi en las Pampas (H0166) = 1.17*Intag DJ Pamplona (H0150) - 25.02	r = 0.71
Toachi en las Pampas (H0166) = 7.25*San Pedro en Machachi (H0159) - 8.20	r = 0.88
Toachi en las Pampas (H0166) = 3.87*San Pedro en Machachi (H0159) + 1.66	r = 0.70
Toachi en las Pampas (H0166) = 0.57*Toachi AJ Pilatón (H0161) - 1.36	r = 0.92
Toachi en las Pampas (H0166) = 0.32*Toachi AJ Pilatón (H0161) + 2.8	r = 0.95
Toachi en las Pampas (H0166) = 0.42*Toachi AJ Pilatón (H0161) + 2.3	r = 0.96
Toachi en las Pampas (H0166) = 0.47*Toachi AJ Pilatón (H0161) + 0.68	r = 0.97
Toachi en las Pampas (H0166) = 0.55*Toachi AJ Pilatón (H0161) - 4.21	r = 0.92
Toachi en las Pampas (H0166) = 0.465*Toachi AJ Pilatón (H0161) - 2.93	r = 0.91
Toachi en las Pampas (H0166) = 0.4*Toachi AJ Pilatón (H0161) + 3.3	r = 0.98
Toachi en las Pampas (H0166) = 4.6*Teaone DJ Tabiazo (H0172) + 4.4	r = 0.95
Toachi en las Pampas (H0166) = 3.82*Teaone DJ Tabiazo (H0172) + 8.25	r = 0.62
Toachi en las Pampas (H0166) = 8.47*Teaone DJ Tabiazo (H0172) - 10.02	r = 0.93
Toachi en las Pampas (H0166) = 1.26*Teaone DJ Tabiazo (H0172) + 25.7	r = 0.60

Nota: Se presentan las ecuaciones para rellenar los datos de la estación H0166 respecto a las más cercanas. Fuente: Autores, tomado de: Andrade y Heredia H, 2013.

La serie de caudales medios mensuales utilizada es la correspondiente a la estación H0166 “Toachi en las Pampas” con un periodo de tiempo desde 1968 – 2013 como se indica en la siguiente figura (ver figura 34).

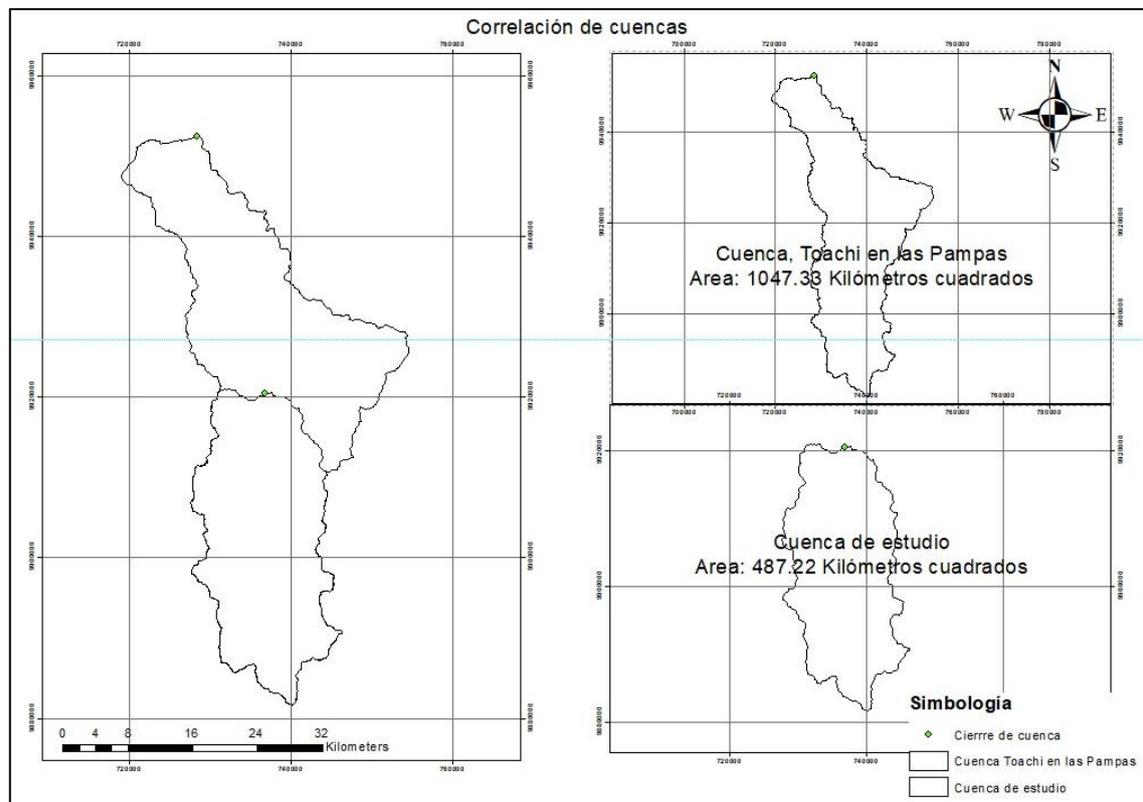
Figura 34*Lista de caudales medios mensuales periodo (1968-2013)*

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Media
1968	12,8	17,7	28,9	26,4	15,6	10,0	8,8	7,0	8,4	13,0	8,0	7,4	13,7
1969	13,7	23,3	33,4	45,4	29,6	25,2	12,7	8,9	8,6	7,8	9,9	14,6	19,4
1970	30,4	48,1	43,3	43,7	40,0	36,7	12,1	8,9	9,7	8,8	10,3	12,4	25,4
1971	23,8	54,3	76,6	50,0	26,6	24,4	15,0	11,4	13,4	16,2	13,8	12,4	28,1
1972	33,0	44,3	49,2	38,8	30,7	26,0	15,9	11,2	9,8	9,7	10,0	16,3	24,6
1973	18,2	27,5	39,4	55,9	39,4	29,5	18,7	14,0	16,0	15,3	12,5	13,1	25,0
1974	16,6	63,2	54,0	36,1	39,0	26,9	15,3	10,9	12,1	21,0	24,8	33,3	29,4
1975	51,6	82,3	72,3	53,7	36,9	29,6	25,5	16,6	15,8	29,4	28,8	16,5	38,2
1976	195,9	80,5	53,0	59,3	43,9	40,4	41,7	12,0	9,5	9,3	10,2	12,5	47,4
1977	20,3	31,7	34,2	34,0	22,9	17,2	12,2	9,6	9,9	12,1	9,6	12,8	18,9
1978	16,6	22,5	32,4	47,6	39,9	15,7	12,7	8,8	8,3	7,3	6,4	9,3	19,0
1979	12,5	15,8	37,1	31,8	21,8	16,8	9,8	8,2	10,3	9,2	6,8	6,7	15,6
1980	11,9	32,8	28,1	48,4	34,4	18,5	9,9	8,0	6,8	7,4	7,9	9,9	18,7
1981	11,6	45,1	57,2	39,0	19,6	11,7	9,7	7,6	7,4	6,6	7,4	7,6	19,2
1982	16,7	37,7	25,4	35,9	46,2	22,8	9,7	8,3	7,4	6,6	7,4	7,6	19,3
1983	44,8	38,2	33,6	39,0	39,8	26,0	15,4	11,7	14,1	12,2	11,9	18,0	25,4
1984	15,6	46,5	45,2	55,2	37,1	23,2	18,3	12,1	13,2	15,6	13,3	18,0	26,1
1985	28,7	25,2	26,7	21,3	20,6	16,4	10,6	15,9	15,8	14,5	14,1	17,5	18,9
1986	32,0	28,9	26,6	51,4	31,5	15,4	10,0	8,7	8,1	10,0	10,4	10,3	20,3
1987	29,1	21,3	26,0	35,4	36,1	17,2	11,6	12,2	9,3	9,0	7,9	8,1	18,6
1988	23,9	32,1	24,2	37,2	43,4	19,0	13,8	13,6	13,2	13,1	13,1	11,2	21,5
1989	39,3	75,2	37,5	40,7	29,8	18,7	16,6	11,5	9,7	10,9	11,8	8,5	25,8
1990	17,7	22,5	20,4	26,2	27,4	11,8	9,4	7,1	5,7	7,6	6,4	7,9	14,2
1991	9,1	19,5	23,0	21,8	28,9	15,5	8,6	7,0	8,4	6,3	7,1	10,8	13,8
1992	27,1	24,6	30,1	34,9	23,5	17,5	12,6	9,7	9,0	10,7	11,9	12,4	18,7
1993	16,6	12,6	18,0	29,3	29,3	15,8	9,3	7,2	6,2	5,9	7,1	8,3	13,8
1994	21,5	49,9	48,6	53,6	37,5	16,2	9,5	7,3	5,8	7,1	7,5	11,2	23,0
1995	13,9	16,1	22,9	38,7	20,1	15,0	13,3	9,4	7,2	6,6	13,0	7,7	15,3
1996	23,9	57,8	62,0	50,0	35,8	16,5	11,6	8,5	7,6	7,0	6,1	5,5	24,4
1997	24,5	25,4	26,4	22,3	38,1	28,2	31,1	11,8	11,9	14,5	32,9	26,4	24,5
1998	24,8	34,8	40,7	61,5	50,1	20,9	13,8	10,4	8,0	6,3	7,5	5,9	23,7
1999	14,1	55,3	44,4	40,7	39,8	21,1	13,4	7,3	11,9	8,1	9,0	8,9	22,8
2000	27,1	56,1	66,8	48,7	42,1	24,9	16,5	9,5	7,7	8,8	5,9	6,2	26,7
2001	14,3	15,7	37,3	45,3	26,8	14,0	11,3	6,6	6,2	5,8	6,1	9,1	16,5
2002	13,4	25,4	39,5	29,1	21,9	15,3	12,9	9,6	6,6	8,2	8,9	14,7	17,1
2003	19,1	21,4	23,0	24,3	22,7	17,9	10,2	7,0	6,7	6,5	7,1	7,4	14,4
2004	24,4	18,9	11,8	23,9	29,8	24,4	18,9	10,9	8,2	7,3	7,7	9,7	16,3
2005	11,8	16,1	19,3	29,7	17,7	9,2	6,5	5,0	5,1	4,7	4,4	5,2	11,2
2006	6,5	35,2	32,6	25,0	23,6	16,8	9,7	6,8	5,8	5,7	9,7	17,0	16,2
2007	21,9	26,2	27,5	38,6	36,1	21,1	11,2	8,9	7,7	9,7	11,3	8,0	19,0
2008	49,0	79,4	75,9	52,8	36,4	26,5	16,9	9,6	9,0	13,7	13,5	10,1	32,7
2009	45,3	53,1	34,5	28,2	26,8	23,2	11,0	6,6	6,3	6,0	8,1	7,7	21,4
2010	8,5	14,2	26,3	43,3	25,1	12,8	11,8	8,6	5,9	6,6	7,3	18,1	15,7
2011	26,8	49,6	40,3	63,4	25,9	14,2	11,3	8,4	7,1	8,5	6,2	9,3	22,6
2012	35,1	46,9	37,9	39,5	36,1	18,7	11,3	8,0	6,0	7,4	10,4	7,6	22,1
2013	18,8	32,9	39,1	37,1	36,7	23,0	11,8	9,0	6,8	7,6	5,3	9,7	19,8
Media=	26,4	37,0	37,7	39,9	31,8	20,2	13,7	9,5	9,0	9,8	10,4	11,5	21,4
Máx=	195,9	82,3	76,6	63,4	50,1	40,4	41,7	16,6	16,0	29,4	32,9	33,3	47,4
Mín=	6,5	12,6	11,8	21,3	15,6	9,2	6,5	5,0	5,1	4,7	4,4	5,2	11,2

Nota: Se presenta los caudales medios mensuales de la estación H0166. Fuente: INAMHI

Se ha tomado en cuenta que se requiere serie de datos en el sitio de captación, por tal motivo se ha hecho transposición de caudales respecto a la estación H0166 “Toachi en las Pampas” con un área de 1047.33 Km² contando con el área la cuenca del lugar de estudio que es de 487.22 Km² y la superficie restante es de 560.11 Km², esto por ser semejantes como se muestra en la figura 35.

Figura 35
Transposición de cuencas



Nota: Se presenta el área de cada una de las cuencas para utilizar el método de transposición. Fuente: Autores

El cálculo del factor de la trasposición de caudales se determina por la siguiente fórmula:

$$F = \frac{Q1}{Q2} = \frac{A1}{A2}$$

Donde:

Q1 = Caudal medio anual de la cuenca 1, con datos conocidos [m³/s]

Q2 = Caudal medio anual de la cuenca 2, con datos desconocidos [m³/s]

A1 = Área de la cuenca Nro. 1 [Km²]

A2 = Área de la cuenca Nro. 2 [Km²]

El factor de transposición de caudales se encuentra la tabla 13.

Tabla 13

Caudal medio para la captación del río Toachi

Sección	Área	Factor área	Qmed
	Km²	(A2/A1)	[m³/s]
Río Toachi	487.22	0.869	18.62

Nota: Se presenta el factor de transposición de caudales. Fuente: Andrade & Heredia H, 2013.

Dado que el $A1 = 560.11 \text{ Km}^2$ y el $A2 = 487.22 \text{ Km}^2$, se determina un factor de transposición adimensional cuyo valor es igual a $F = 0.869$.

Una vez obtenido el factor de transposición de caudales se obtiene la serie de los caudales medios mensuales de la estación determinada en este caso H0166 “Toachi en las Pampas” (ver figura 36).

Figura 36

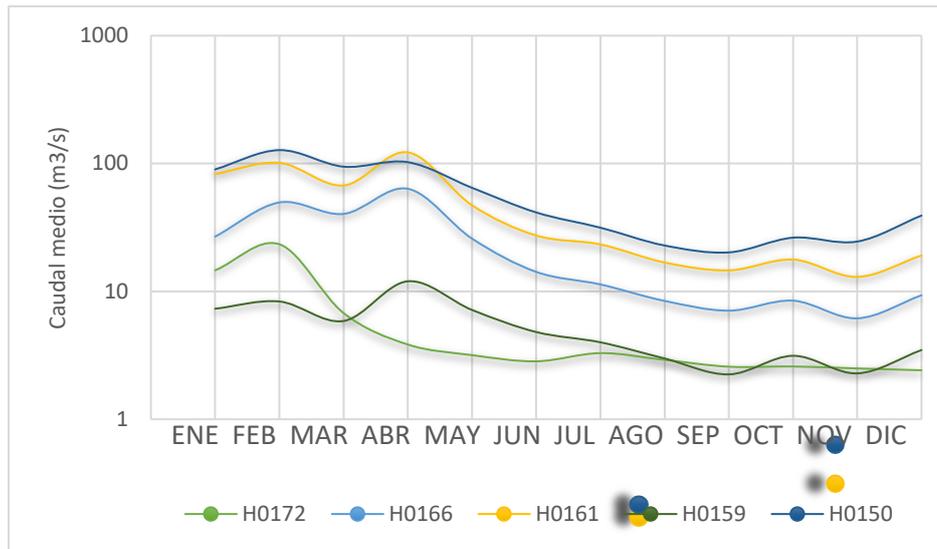
Cálculo de la serie de caudales medios mensuales empleando el método de transposición de caudales

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Media
1968	12,8	17,7	28,9	26,4	15,6	10,0	8,8	7,0	8,4	13,0	8,0	7,4	11,9
1969	13,7	23,3	33,4	45,4	29,6	25,2	12,7	8,9	8,6	7,8	9,9	14,6	16,9
1970	30,4	48,1	43,3	43,7	40,0	36,7	12,1	8,9	9,7	8,8	10,3	12,4	22,0
1971	23,8	54,3	76,6	50,0	26,6	24,4	15,0	11,4	13,4	16,2	13,8	12,4	24,5
1972	33,0	44,3	49,2	38,8	30,7	26,0	15,9	11,2	9,8	9,7	10,0	16,3	21,4
1973	18,2	27,5	39,4	55,9	39,4	29,5	18,7	14,0	16,0	15,3	12,5	13,1	21,7
1974	16,6	63,2	54,0	36,1	39,0	26,9	15,3	10,9	12,1	21,0	24,8	33,3	25,6
1975	51,6	82,3	72,3	53,7	36,9	29,6	25,5	16,6	15,8	29,4	28,8	16,5	33,2
1976	195,9	80,5	53,0	59,3	43,9	40,4	41,7	12,0	9,5	9,3	10,2	12,5	41,2
1977	20,3	31,7	34,2	34,0	22,9	17,2	12,2	9,6	9,9	12,1	9,6	12,8	16,4
1978	16,6	22,5	32,4	47,6	39,9	15,7	12,7	8,8	8,3	7,3	6,4	9,3	16,5
1979	12,5	15,8	37,1	31,8	21,8	16,8	9,8	8,2	10,3	9,2	6,8	6,7	13,5
1980	11,9	32,8	28,1	48,4	34,4	18,5	9,9	8,0	6,8	7,4	7,9	9,9	16,2
1981	11,6	45,1	57,2	39,0	19,6	11,7	9,7	7,6	7,4	6,6	7,4	7,6	16,7
1982	16,7	37,7	25,4	35,9	46,2	22,8	9,7	8,3	7,4	6,6	7,4	7,6	16,8
1983	44,8	38,2	33,6	39,0	39,8	26,0	15,4	11,7	14,1	12,2	11,9	18,0	22,1
1984	15,6	46,5	45,2	55,2	37,1	23,2	18,3	12,1	13,2	15,6	13,3	18,0	22,7
1985	28,7	25,2	26,7	21,3	20,6	16,4	10,6	15,9	15,8	14,5	14,1	17,5	16,4
1986	32,0	28,9	26,6	51,4	31,5	15,4	10,0	8,7	8,1	10,0	10,4	10,3	17,6
1987	29,1	21,3	26,0	35,4	36,1	17,2	11,6	12,2	9,3	9,0	7,9	8,1	16,2
1988	23,9	32,1	24,2	37,2	43,4	19,0	13,8	13,6	13,2	13,1	13,1	11,2	18,7
1989	39,3	75,2	37,5	40,7	29,8	18,7	16,6	11,5	9,7	10,9	11,8	8,5	22,5
1990	17,7	22,5	20,4	26,2	27,4	11,8	9,4	7,1	5,7	7,6	6,4	7,9	12,3
1991	9,1	19,5	23,0	21,8	28,9	15,5	8,6	7,0	8,4	6,3	7,1	10,8	12,0
1992	27,1	24,6	30,1	34,9	23,5	17,5	12,6	9,7	9,0	10,7	11,9	12,4	16,2
1993	16,6	12,6	18,0	29,3	29,3	15,8	9,3	7,2	6,2	5,9	7,1	8,3	12,0
1994	21,5	49,9	48,6	53,6	37,5	16,2	9,5	7,3	5,8	7,1	7,5	11,2	20,0
1995	13,9	16,1	22,9	38,7	20,1	15,0	13,3	9,4	7,2	6,6	13,0	7,7	13,3
1996	23,9	57,8	62,0	50,0	35,8	16,5	11,6	8,5	7,6	7,0	6,1	5,5	21,2
1997	24,5	25,4	26,4	22,3	38,1	28,2	31,1	11,8	11,9	14,5	32,9	26,4	21,3
1998	24,8	34,8	40,7	61,5	50,1	20,9	13,8	10,4	8,0	6,3	7,5	5,9	20,6
1999	14,1	55,3	44,4	40,7	39,8	21,1	13,4	7,3	11,9	8,1	9,0	8,9	19,8
2000	27,1	56,1	66,8	48,7	42,1	24,9	16,5	9,5	7,7	8,8	5,9	6,2	23,2
2001	14,3	15,7	37,3	45,3	26,8	14,0	11,3	6,6	6,2	5,8	6,1	9,1	14,4
2002	13,4	25,4	39,5	29,1	21,9	15,3	12,9	9,6	6,6	8,2	8,9	14,7	14,9
2003	19,1	21,4	23,0	24,3	22,7	17,9	10,2	7,0	6,7	6,5	7,1	7,4	12,5
2004	24,4	18,9	11,8	23,9	29,8	24,4	18,9	10,9	8,2	7,3	7,7	9,7	14,2
2005	11,8	16,1	19,3	29,7	17,7	9,2	6,5	5,0	5,1	4,7	4,4	5,2	9,8
2006	6,5	35,2	32,6	25,0	23,6	16,8	9,7	6,8	5,8	5,7	9,7	17,0	14,1
2007	21,9	26,2	27,5	38,6	36,1	21,1	11,2	8,9	7,7	9,7	11,3	8,0	16,5
2008	49,0	79,4	75,9	52,8	36,4	26,5	16,9	9,6	9,0	13,7	13,5	10,1	28,4
2009	45,3	53,1	34,5	28,2	26,8	23,2	11,0	6,6	6,3	6,0	8,1	7,7	18,6
2010	8,5	14,2	26,3	43,3	25,1	12,8	11,8	8,6	5,9	6,6	7,3	18,1	13,7
2011	26,8	49,6	40,3	63,4	25,9	14,2	11,3	8,4	7,1	8,5	6,2	9,3	19,6
2012	35,1	46,9	37,9	39,5	36,1	18,7	11,3	8,0	6,0	7,4	10,4	7,6	19,2
2013	18,8	32,9	39,1	37,1	36,7	23,0	11,8	9,0	6,8	7,6	5,3	9,7	17,2
Media=	26,4	37,0	37,7	39,9	31,8	20,2	13,7	9,5	9,0	9,8	10,4	11,5	18,6
Máx=	195,9	82,3	76,6	63,4	50,1	40,4	41,7	16,6	16,0	29,4	32,9	33,3	49,1
Mín=	6,5	12,6	11,8	21,3	15,6	9,2	6,5	5,0	5,1	4,7	4,4	5,2	9,8

Nota: Se presenta la serie de caudales medios mensuales multiplicado por el factor de transposición. Fuente: Andrade & Heredia H, 2013.

Figura 37

Caudales medios mensuales para cada estación considerada



Nota: Grafica del régimen hidrológico que presentan las estaciones en base a los caudales medios mensuales. Fuente: Andrade & Heredia H, 2013

De la figura 37 se puede llegar a la conclusión que las estaciones en el sitio de estudio presentan un régimen bimodal, es decir, tiene dos estaciones climáticas lluviosas, la primera de febrero a mayo y la segunda de octubre a diciembre.

A demás que tiene una estación seca bien marcada entre junio-septiembre, cómo es característico de los ríos de la región Interandina.

4.1.1.1 Caudales mínimos

Los caudales mínimos se determinarán por el mismo procedimiento que para caudales medios y máximos, a su vez se utilizara los factores de correlación obtenidos anteriormente.

4.1.6 Análisis hidrológico del sitio de estudio

Los caudales cuya probabilidad de excedencia se determina en base a la serie de caudales medios mensuales y diarios (ver tabla 14).

Tabla 14

Caudales diarios para cada probabilidad de excedencia

Probabilidad de excedencia %	Caudales diarios [m³/s]
5	44.41
10	37.64
15	32.90
20	29.29
25	25.79
30	23.42
35	21.06
40	18.01
45	15.30
50	14.40
55	12.93
60	11.46
65	10.56
70	9.55
75	8.87
80	8.19
85	7.52
90	6.91
95	6.16
100	4.47
Qmed	18.62

Nota: Se presenta la probabilidad de excedencia con incrementos de 5% y su respectivo caudal medio diario. Fuente: Andrade & Heredia H, 2013 elaborado por autores.

Tabla 15

Cuadro de resumen de alternativas de caudales

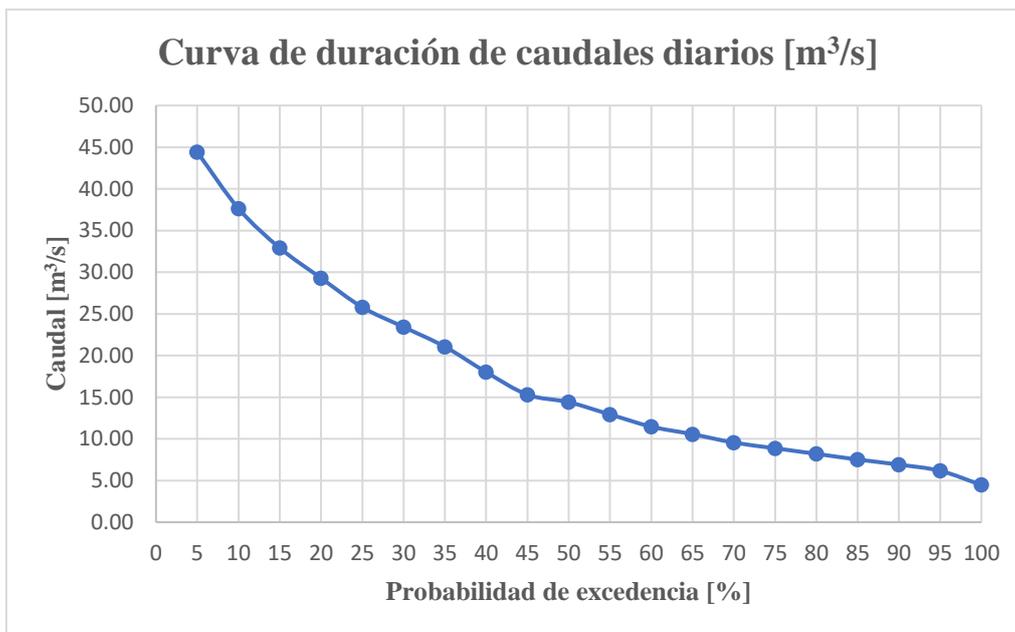
Alternativas de caudal	Q [m ³ /s]
Q80	8.19
Q95	6.16
Qmed	18.62

Nota: Se presenta los caudales para cada una de las alternativas planteadas, además del caudal medio. Fuente: Autores.

Las dos alternativas de caudal con probabilidad de excedencia de 80% y 95% se puede observar en la gráfica de la curva de duración general de caudales (ver figura 38).

Figura 38

Curva de duración de caudales



Nota: Se presenta la curva de duración general de caudales para cada probabilidad de excedencia. Fuente: Andrade & Heredia H, 2013.

De la figura 38 se puede concluir que para la alternativa Nro.1, de generación hidroeléctrica con probabilidad de excedencia del 80% se obtuvo aproximadamente un caudal de $Q_{80} = 8.19[m^3/s]$, mientras que en la alternativa Nro.2 con probabilidad de excedencia del 95% se determinó $Q_{95} = 6.16 [m^3/s]$.

4.1.6.1 Visita Técnica

Consiste en realizar visitas de campo en el sitio de estudio cuya finalidad es obtener información hidrológica real del río donde se realizará la captación, además de ello características generales como la sección transversal de río por medio de la realización de aforos (ver figura 39).

Figura 39

Río Toachi en el sitio de estudio



Nota: Se presenta imágenes de la visita técnica en el sitio de estudio. Fuente: Autores

Durante la visita técnica se pudo observar que el cauce arrastra gran cantidad de materiales coluviales y aluviales, cuyas características presentan condiciones aceptables para realizar una excavación de 5 metros de profundidad, además de ellos se presentan cortes de los taludes $H/V = 1/4$ (Andrade & Heredia H, 2013).

Como se puede observar en las figuras 40 y 41, el río Toachi presenta una crecida en esta zona de captación del proyecto, misma que será analizada en el capítulo respectivo de esta disertación.

Figura 40

Crecida del río Toachi



Nota: Imagen de la crecida del río Toachi registrada durante la visita. Fuente: Autores

Figura 41

Zona de captación de la central hidroeléctrica



Nota: Se presenta imágenes registradas de la zona de captación del proyecto. Fuente: Autores

En base a lo establecido en las visitas técnicas se pudo determinar que existe poca vegetación en la zona de captación, es por eso que la transición hasta llegar al lugar del desarenador estará localizada en la explanada del margen derecho del río Toachi (Andrade & Heredia H, 2013).

Esta zona consta de poca vegetación lo que facilitara el movimiento de tierras, haciendo que el desbroce de dicha capa vegetal sea menos dificultoso (ver figura 42).

Figura 42

Margen derecho zona de transición



Nota: Se presenta el margen derecho de la zona de transición. Fuente: Autores

4.1.6.1.1 Recopilación de datos.

Se procede a reunir información básica del cauce en el sitio de estudio, con los equipos como molinete y herramientas se obtiene la velocidad promedio aproximada que tiene el río.

4.1.6.1.2 Medición del aforo del río.

Para el cálculo del aforo del río se utiliza el método directo de área vs velocidad, el cual consiste en medir la sección transversal del cauce y mediante la rapidez obtenida anteriormente se puede determinar el caudal del río, es decir el volumen de agua que pasa por la sección transversal del río en un determinado tiempo (Gutiérrez Caiza, 2014).

El caudal del aforo se determina por la siguiente ecuación:

$$Q = V * A$$

Ecuación (9)

Donde:

Q = Es el Caudal medido en [m³/s]

V = Es la Velocidad de la corriente de agua en [m/s]

A = Es el Área de la sección transversal del río en [m²]

Lugares para realizar el Aforo:

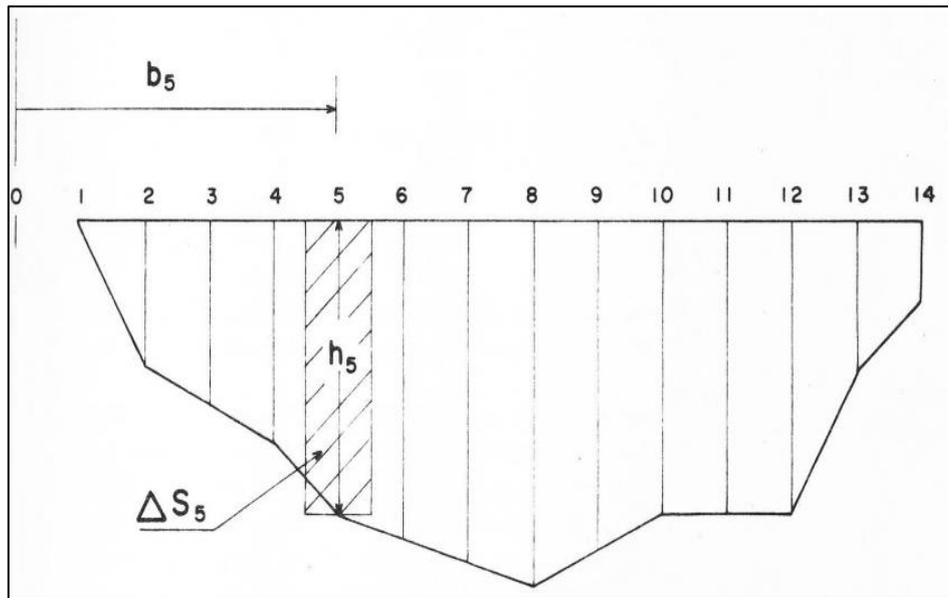
El lugar para realizar el aforo del río debe cumplir los parámetros siguientes:

- El sitio donde se realizará el aforo debe ser un lugar recto, esto debido a que las curvas del río producen cambios en la profundidad dando lugar a sobre elevaciones.
- El sitio de aforo debe ser de fácil acceso.
- Para evitar datos mal medidos el sitio de estudio debe carecer de puntos de control aguas abajo, mismos que puedan producir resaltos o remansos.

Para realizar el aforo se procede a realizar un levantamiento topográfico de la sección transversal del río, midiendo primero el ancho del cauce y posteriormente dividiéndolo en tramos iguales, con la finalidad de obtener diversas secciones del río dependiendo de la profundidad que tenga la vertical (ver figura 43).

Figura 43

Procedimiento para realizar un aforo de un río

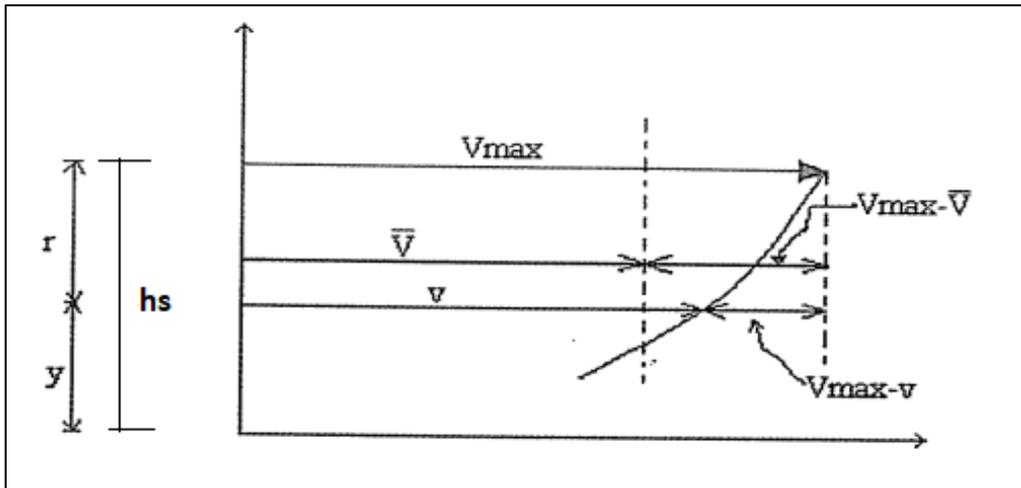


Nota: Se presenta la división por tramos del ancho del cauce para determinar la sección transversal del río. Fuente: SCM (Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología)

En resumen, en un correcto aforo se debe tomar un tramo de longitud recta del río, además de carecer de vórtices y zonas irregulares que de alguna forma afecten la medición de la sección transversal del río.

Figura 44

Distribución de Velocidades (Régimen Permanente)



Nota: Se presenta la parábola de régimen permanente, cuando no existe obstáculos aguas arriba o abajo del punto de aforo. Fuente: (Gutiérrez Caiza, 2014)

A su vez para medir la velocidad, se tienen que tomar en cuenta los siguientes criterios al emplear el uso del molinete:

1. Si la profundidad (h_s) es menor que un metro, $h_s < 1$, se toma una sola medida de la velocidad al 60% de la profundidad, es decir, la velocidad media igual a $V_m = V$ a $0.6 h_s$
2. Si la profundidad (h_s) es mayor que un metro, $h_s > 1$, se toman dos medidas de la velocidad, la primera al 20% de la profundidad y la segunda al 80% de la profundidad. Posteriormente se determina la velocidad promedio entre estas dos, $V_m = (V$ a $0.2 h_s + V$ a $0.8 h_s) / 2$

Para el desarrollo de la investigación de este proyecto se realizarán un total de 6 aforos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16*Cronograma de aforos*

CRONOGRAMA DE AFOROS			
ITEM	DETALLE	FECHA INICIO	FECHA FIN
1	Aforo N°1	23-jul-22	23-jul-22
2	Aforo N°2	30-jul-22	30-jul-22
3	Aforo N°3	7-ago-22	7-ago-22
4	Aforo N°4	13-ago-22	13-ago-22
5	Aforo N°5	20-ago-22	20-ago-22
6	Aforo N°6	27-ago-22	27-ago-22

Nota: Se presenta el cronograma de los aforos que se realizara en el rio Toachi, en el sitio de estudio del proyecto. Fuente: Autores

4.1.6.2 Investigación y evaluación de los datos obtenidos.

Los cálculos de cada uno de los aforos y fichas técnicas se encuentran detallados en el anexo Nro. 10 de la presente disertación.

Se resume los caudales determinados en los aforos se puede observar en la tabla siguiente:

Tabla 17*Tabla de resumen Aforos realizados*

Aforo #	Q [m³/s]
1	4.92
2	4.68
3	5.96
4	5.29
5	5.71
6	5.57
Total =	5.36

Nota: Caudales obtenidos con cada uno de los aforos realizados. Fuente: Autores.

4.1.6.3 Delimitación de la sección transversal del río.

Al realizar los aforos se delimito un ancho del cauce de cinco metros aproximadamente, que para realizar el aforo se dividió en 5 tramos, el área de la sección transversal del río se encuentra especificada en la siguiente tabla:

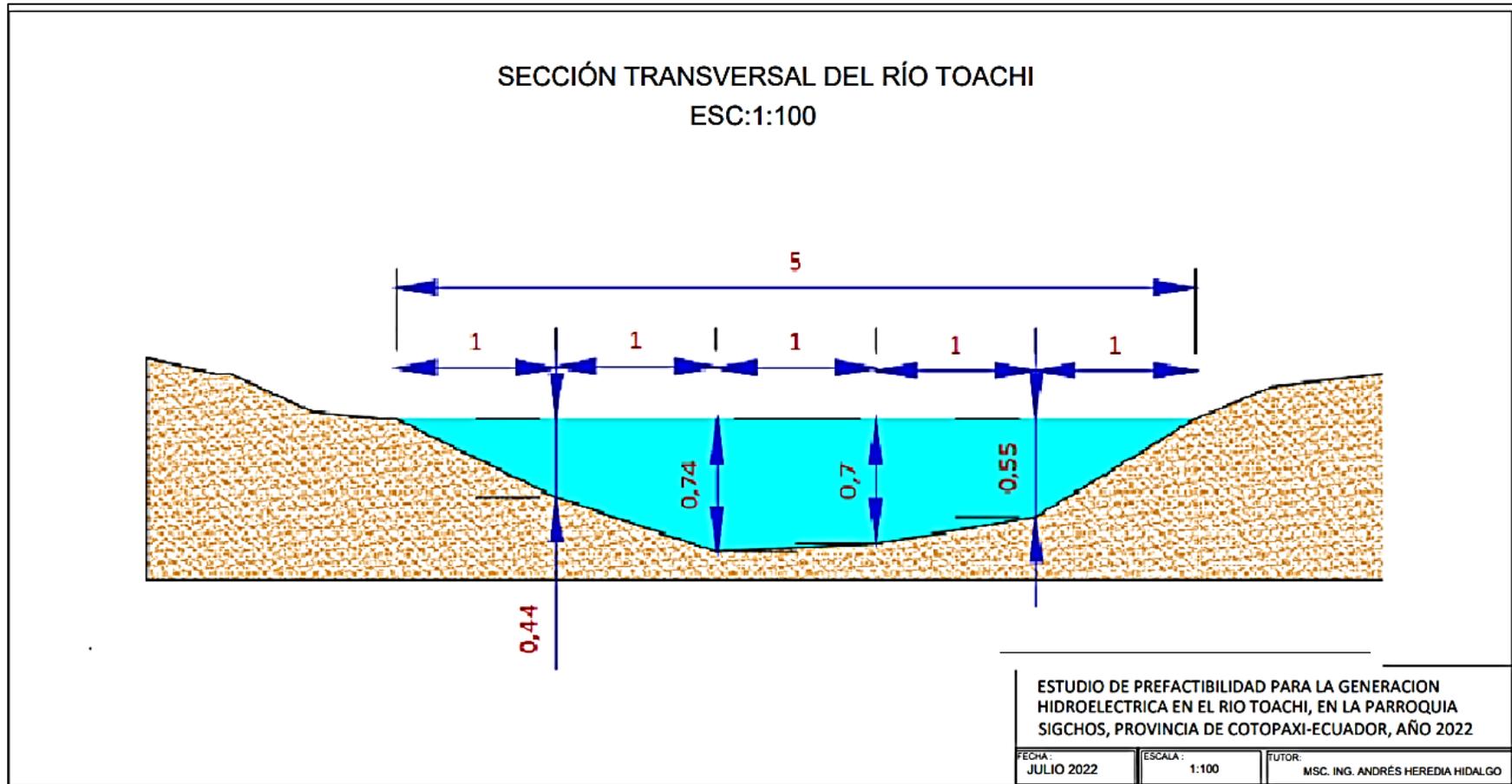
Tabla 18*Cálculo de sección transversal del río*

PUNTO	Dist. Desde la orilla [m]	Prof.[m]	Δx [m]	Área [m ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.00	0.44	1.0	0.44
2	2.00	0.74	2.0	1.48
3	3.00	0.70	3.0	2.1
4	4.00	0.55	4.0	2.2
Sección Transversal del río =				6.22

Nota: Se indica los cálculos para obtener la sección transversal del río. Fuente: Autores

Se concluye que, en base a los cálculos realizados, la sección transversal delimitada obtenida por medio de los aforos es de aproximadamente 6.22 metros cuadrados.

Figura 45
Sección transversal del Río



Nota: Se determina la sección transversal del río obtenida en el sitio de estudio a partir de la realización de aforos. Fuente: Autores

4.1.7 Cálculo de caudal de diseño para la generación de 174 kW

Para determinar el caudal de diseño para generar la electricidad necesaria para satisfacer a los usuarios del sistema se utilizará los caudales Q_{95} y Q_{80} de las alternativas propuestas anteriormente, a su vez también se realizará el cálculo con el caudal obtenido del aforo del río (ver tabla 19).

Tabla 19

Datos para el cálculo potencia instalada de 174kW con diferentes caudales

Caudales Característicos		
$Q_{ec} =$	1.86	m^3/s
$Q_{95} =$	6.16	m^3/s
$Q_{80} =$	8.19	m^3/s
$Q_{med} =$	18.62	m^3/s
$Q_{aforo} =$	5.36	m^3/s

Nota: Se presenta el caudal de cada una de las alternativas del proyecto, el caudal medio y el caudal del aforo en $[m^3/s]$. Fuente: Autores

Para determinar la potencia instalada con cada uno de los caudales empleamos la ecuación (5):

$$P_{inst} = \gamma * Q_e * H_n * \eta_t * \eta_m * \eta_g * \eta_{tr}$$

Donde:

P_{inst} = Potencia Instalada [kW]

γ = Peso específico del agua (9.81 kN/m^3)

Q_e = Caudal de equipamiento [m^3/s]

H_n = Salto Neto [m]

η_t = Rendimiento de la turbina

η_m = Rendimiento del multiplicador

η_g = Rendimiento del generador

η_{tr} = Rendimiento del transformador

Para mayor facilidad del cálculo de la potencia instalada, se reemplaza todos los rendimientos por un factor de eficiencia como se puede observar en la siguiente ecuación:

$$P_{inst} = \gamma * Q_e * H_n * e$$

Ecuación (10)

Donde:

e = Es el factor de eficiencia y es igual al producto de todos los rendimientos.

$$e = H_n * \eta_t * \eta_m * \eta_g * \eta_{tr}$$

Asumimos un factor de eficiencia de 0.85 para obtener el caudal de diseño.

Tabla 20

Cálculo de potencia instalada para diferentes caudales de diseño

γ [kN/m ³]	Qe [m ³ /s]	Hn [m]	P _{inst} [KW]
9.81	6.16	5	256.8
9.81	8.19	5	341.5
9.81	18.62	5	776.3
9.81	5.36	5	223.5
9.81	4.18	5	174.3

Nota: Cálculo de la potencia instalada para distintos caudales de captación, en función al salto neto o altura de muro en el azud vertedero. Fuente: Autores.

De la tabla 20, se concluye que para generar 174 [kW] de electricidad se necesita un caudal de diseño de $Q_D = 4.18$ [m³/s], lo que se cumple satisfactoriamente con el caudal de los aforos $Q_{aforo} = 5.36$ [m³/s] generando una potencia de 223.5 [kW].

Analizando los caudales obtenidos y dado que las dos alternativas planteadas generan 256.8 [kW] para Q_{95} y 341.5 [kW] para Q_{80} , se puede concluir que los dos caudales en cada caso proporcionan mayor electricidad que la solicitada por lo que se utilizará el caudal de cada alternativa para realizar el prediseño de todos los elementos que componen la central hidroeléctrica, excepto el azud vertedero el cual está diseñado

para el caudal máximo de crecida, posteriormente y evaluando la factibilidad de la mejor opción, para llegar a un diseño definitivo.

4.2 Recopilación de información topográfica

Esta fase del proyecto comprende los diferentes trabajos de campo y oficina para determinar la topografía e información necesaria del terreno en el sitio de estudio, esto con el fin de obtener características físicas, geográficas y geométricas para la ejecución de la obra.

4.2.4 Metodología del estudio topográfico

En esta investigación se desarrollará dos métodos de estudio topográfico, el primero corresponde el levantamiento de la planimetría del terreno utilizando estaciones totales y el segundo la georreferenciación con GPS empleando Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite.

4.2.1.1 Trabajo de campo

4.2.1.1.1 Levantamiento topográfico con estación total

Este trabajo reside en medir, tomar y recopilar información topografía necesaria para ejecutar el proyecto.

Consta de equipos topográficos y herramientas como: Estación Total-trípode-primas-cintas-herramienta menor-clavos-spray-manguera

Es importante mencionar que el levantamiento topográfico debe ser realizado por personal técnico especializado (Topógrafo, auxiliar, etc.).

4.2.1.1.2 Georreferenciación con GPS

Este método consiste en asignar coordenadas geográficas a diferentes puntos en el sitio de estudio, con la finalidad de obtener la ubicación exacta georreferenciada del área donde se desarrollará el proyecto y otros lugares de interés, los cuales serán de vital importancia en el prediseño y diseño definitivo de la central hidroeléctrica.

4.2.1.1.1.1 Datos obtenidos con el GPS

Mediante visitas técnicas programadas se procede a recopilar información del sitio de estudio en el área del proyecto con el GPS de precisión, estos datos se encuentran resumidos en el anexo Nro. 11.

4.2.1.1.1.2 Localización de los puntos GPS

Con los datos obtenidos por el sistema de georreferenciación, se procede a ubicar los puntos georreferenciados GPS de las coordenadas geográficas utilizando el Software Google Earth Pro, se adjunta una imagen de la localización de los puntos GPS (ver figura 46).

Figura 46

Puntos GPS en el Sitio del proyecto



Nota: Se presenta los puntos obtenidos con el GPS de precisión en el sitio del proyecto.
Fuente: Autores

4.2.4.1 Trabajo de oficina

Consiste en realizar cálculos y discretizar datos de las características topográficas obtenidas en el sitio de estudio, la información adquirida con el levantamiento topográfico será procesada con la ayuda de un software Civil CAD 3D. El manejo de los datos topográficos servirá para determinar una topografía más exacta con curvas de nivel cada cinco metros con fines de diseño de la central hidroeléctrica.

4.2.4.1.1 Obtención de los puntos topográficos de la estación total

Del levantamiento topográfico realizado en el sitio de estudio se obtuvo alrededor de tres cientos puntos topográficos en la comuna de Quinticusig, con formato PNEZD de las estaciones totales (ver tabla 21).

Donde:

P = Punto

N = Norte

E = Este

Z = Elevación o Cota

D = Descripción

Tabla 21

Puntos topográficos Estación Total

Pto	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	9920502	736658	2535.75	EST1
2	9920505	736659	2535.75	EST2
4	9920403.64	736608.321	2540.27	L
5	9920411.8	736605.429	2541.997	P
6	9920421.22	736605.001	2542.376	L
7	9920428.39	736605.647	2541.266	L
8	9920436.65	736606.551	2540.289	L
9	9920445.58	736608.213	2540.169	L
10	9920453.73	736610.03	2539.507	L

Nota: Puntos obtenidos por medio del levantamiento topográfico con estaciones totales.

Fuente: Autores.

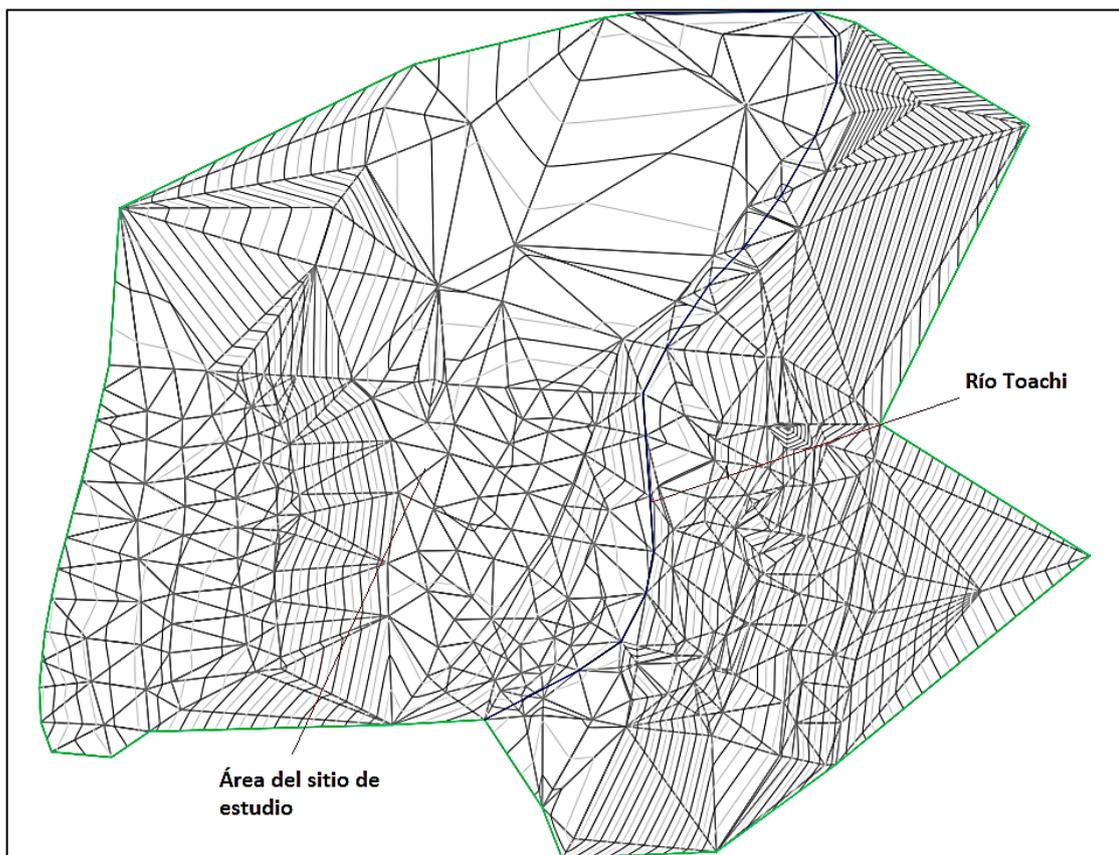
Mediante el levantamiento topográfico se obtuvo alrededor de 300 puntos (ver anexo Nro.12).

Con la ayuda del software Civil 3D se genera una superficie topográfica con curvas de nivel menores cada un metro y mayores cada cinco metros (ver anexo Nro.13).

4.2.4.1.2 Triangulaciones

Las triangulaciones son una metodología topográfica, consiste en formar figuras triangulares a partir de las líneas de levantamiento con estación total, la finalidad de estos triángulos es medir los ángulos que forman, su base y los lados como se muestra en la siguiente figura:

Figura 47
Superficie del terreno triangulada



Nota: Se presenta la planimetría del terreno con la metodología de triangulaciones.
Fuente: Autores.

Este método es uno de los más usados en levantamientos de coordenadas planimétricas, a su vez los vértices forman cuadriláteros determinando así la planimetría del terreno en el sitio de estudio (Machado y otros, 2016).

4.2.4.1.3 Topografía modificada

Con la base de datos de los puntos, obtenida del levantamiento topográfico, se procede a modificar la topografía del terreno en el sitio de estudio con la ayuda del software Civil 3D, cuya finalidad es definir las curvas de nivel en escala 1:1000, misma que se encuentra detallada con la herramienta de geolocalización (ver anexo Nro.14).

4.2.1.1.4 Topografía detallada

Se obtiene una topografía más precisa, con curvas de nivel cada cinco metros para las curvas mayores y las curvas menores cada un metro, con una escala 1:1000 como se muestra en la siguiente figura:

Figura 48
Topografía detallada del sitio de estudio



Nota: Superficie del terreno obtenida del levantamiento topográfico, con curvas de nivel cada cinco metros. Cauce del río Toachi a lo largo del todo el terreno. Fuente: Autores

4.3 Recopilación de información geológica- geotécnica

Se refiere a todos los estudios de investigación geológica-geotécnica, ya sean estos de campo o de laboratorio necesarios para obtener datos del suelo útiles hacia el desarrollo del proyecto.

4.3.1 Metodología del estudio geológico-geotécnico

La metodología aplicada en este proyecto incluye tanto trabajo de campo como de oficina a fin de recopilar información general y características principales que tiene el suelo en el sitio de estudio.

4.3.1.1 Trabajo de campo

Comprende el realizar tareas específicamente en campo para ello se programa algunas visitas técnicas al sitio del proyecto.

4.3.1.1.1 Excavación de calicatas en el sitio de estudio

Radica en extraer muestras in situ, para posteriormente analizarlas en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, campus sur.

Los datos de la ubicación de la calicata se encuentran en la tabla 22.

Tabla 22

Ubicación geográfica de la calicata

Datos Generales Calicata	
Fecha:	9/7/2022
Calicata:	C1
Prof. (m):	1.5
Latitud:	7193906
Longitud:	-78.8730835
Altura:	2511.19

Nota: Se presenta la ubicación donde se realizó la calicata, profundidad, latitud y longitud. Elaborado por: Autores

4.3.1.2 Ensayos de laboratorio

Son estudios que complementan la investigación de campo, así mismo están regulados por normativas específicas correspondientes a ensayos de laboratorio en mecánica de suelos (ver figura 49).

Figura 49

Cronograma de ensayos de laboratorio de suelos

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																	
ITEM	ENSAYO	CANTIDAD	SEMANA 11-15/07/2022					SEMANA 18-22/07/2022					SEMANA 25-29/07/2022				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Contenido de Humedad del suelo	1	■	■													
2	Limites de consistencia (LL y LP)	1			■	■	■	■									
3	Granulometria del suelo	1						■	■	■	■	■					
4	Ensayo de corte directo	2												■	■	■	■

Nota: Se presenta los diferentes tipos de ensayos propuestos para el desarrollo de este proyecto. Fuente: Autores.

4.3.1.2.1 Contenido de humedad

Para obtener el contenido de humedad del suelo se utilizará la normativa ASTM D-2216, posteriormente se determina el porcentaje de humedad de la muestra del suelo, aplicando la ecuación siguiente:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_M} * 100\% = \frac{W_W}{W_S} * 100\%$$

Ecuación (11)

Donde:

W_1 = Masa de Cápsula + M. del suelo Húmeda en [g].

W_2 = Masa de la Cápsula + M. del suelo Seca en [g].

W_M = Masa de la Cápsula en [g].

W_W = Peso del agua en [g].

W_S = Peso del suelo en [g].

W = Contenido de Humedad.

Los resultados del ensayo de laboratorio correspondiente al contenido de humedad se encuentran resumido de manera detallada en el anexo Nro.15.

4.3.1.2.2 Granulométrico

Esta investigación consiste en realizar un análisis de la textura y el tamaño de las partículas del suelo, obteniendo una porción relativa de la muestra entre los diferentes grupos de suelo según su granulometría: (Limos, Gravas, Arenas y Arcillas).

La granulometría del suelo muestra la distribución porcentual en masa de la dimensión de las partículas (ver anexo Nro.16 y Nro.17).

Este ensayo se realiza mediante el proceso de tamizado en base a la normativa ASTM D-422.

Del ensayo granulométrico se obtiene los siguientes diámetros resumidos en la tabla 23.

Tabla 23

Diámetros característicos obtenidos en la curva granulométrica

Diámetros característicos		
D₁₀ =	0.1	mm
D₃₀ =	0.185	mm
D₆₀ =	0.61	mm

Nota: Se observa los valores del diámetro efectivo (D_{10}), el diámetro al 30% (D_{30}) y 60% (D_{60}) del material de la curva granulométrica. Fuente: Autores

Con los datos de los diámetros característicos, se calcula el valor del coeficiente tanto de uniformidad (Cu), como el de curvatura (Cc), para ello se emplea la ecuación (2 y 3) de esta disertación.

Los valores de los coeficientes de uniformidad y curvatura se muestran en la tabla 24.

Tabla 24

Coefficientes de la curva granulométrica

Parámetros de la curva granulométrica		
Coefficiente de uniformidad	Cu =	6.1
Coefficiente de curvatura	Cc =	1

Nota: Se presenta los coeficientes obtenidos del ensayo granulométrico. Fuente: Autores

4.3.1.2.3 Límites de consistencia

Más comúnmente conocidos como límites de Atterberg son contenidos de agua para los cuales el suelo alcanza una determinada consistencia (Juan José, 1975).

Para determinar el límite líquido (LL) en laboratorio se utilizará el método de ensayo de Copa de Casagrande, en tanto el límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) se determina en base a la norma ASTM D-4318 como se puede ver en la figura 50.

Figura 50

Ensayo de Copa de casa grande



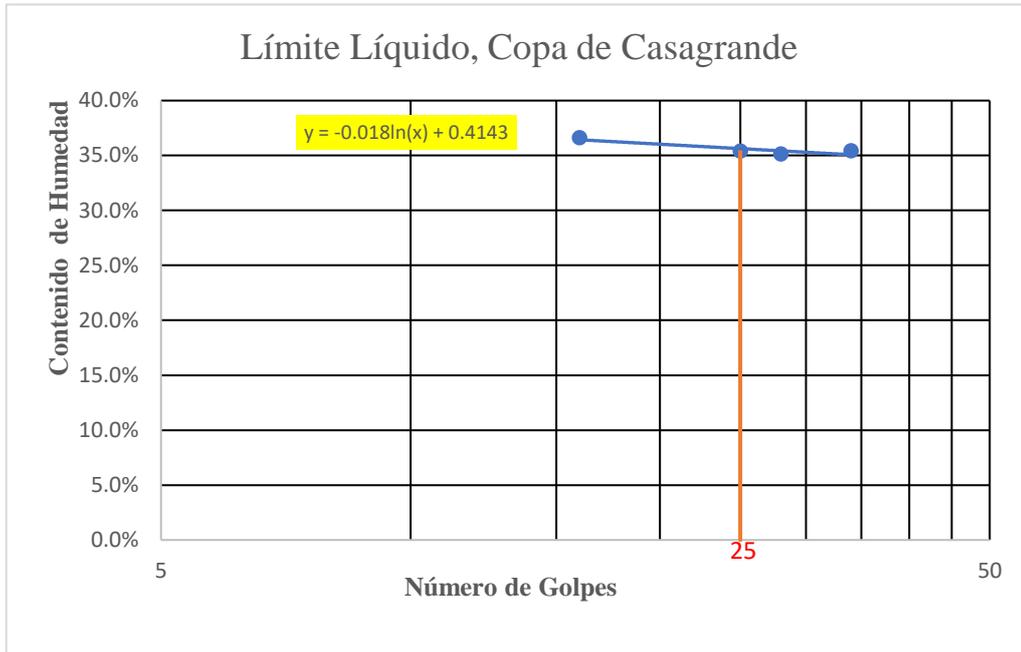
Nota: Fotografía de la realización del ensayo de limite liquido (Copa de Casa Grande). Fecha: 14-jul-2022, Fuente: Autores.

En el ensayo de para determinar el límite líquido se obtuvo los siguientes datos (ver anexo Nro.18).

Se puede observar el gráfico para determinar el límite líquido en escala semilogarítmica (ver figura 51).

Figura 51

Ensayo de Copa de Casa Grande, Límite Líquido (LL)



Nota: Se presenta el contenido de humedad vs el número de golpes del ensayo de Copa de Casagrande y la obtención del límite líquido a los 25 golpes. Fuente: Autores

Con la ecuación de la línea de tendencia de la (figura 51), se obtiene el valor del Límite Líquido (LL).

$$y = -0.018 * \ln(x) + 0.4143$$

$$y = -0.018 * \ln(25) + 0.4143 = 0.3564$$

Por lo tanto, el Límite Líquido es igual a:

$$LL = 35.64\%$$

Los datos y cálculos para determinar el límite plástico en laboratorio se observan en el anexo Nro.19.

Por lo tanto, el contenido de humedad que refleja el límite plástico alcanzado es igual a:

$$LP = 32.58\%$$

El índice de plasticidad será la diferencia entre el límite líquido y el plástico.

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 35.64\% - 32.58\%$$

Se determina un índice de plasticidad igual a:

$$IP = 3.06 \%$$

4.3.1.2.4 Corte directo.

Este ensayo consiste en deslizar una parte de suelo, respecto otra a lo largo de un plano de falla anteriormente establecido y por la acción de fuerzas cortantes aplicadas horizontalmente, a su vez esfuerzos normales ejercidas verticalmente al plano de movimiento (ver figura 52 y 53).

Figura 52

Preparación de muestras ensayo de corte directo



Nota: Fotografía de evidencia la preparación de las muestras que serán ensayadas por Corte Directo. Fecha: 27-Jul-2022 Fuente: Autores.

Figura 53

Realización de ensayo de corte directo



Nota: Fotografía de ensayo de Corte Directo. Fecha: 27-Jul-2022 Fuente: Autores.

Para realizar el ensayo de corte directo se toma información necesaria de la muestra antes del ensayo (ver anexo Nro. 20).

Una vez realizado el ensayo de corte directo se obtuvo los siguientes resultados (ver figura 54).

Figura 54

Resultados del ensayo de corte directo

Esfuerzo Normal σ (kPa)	Fuerza Cortante (N)	D.Horizontal (mm)	Longitud Fija (cm)	Longitud desplazada (cm)	Área corregida (mm ²)	$[\tau]$ Esf. Cortante (N/mm ²)	$[\tau]$ Esf. Cortante (kPa)	Cohesión (kPa)	Ángulo de Fricción $[\phi]$
100,00	1222,00	11,94	10,00	1,19	8806,10	0,14	138,77	63,60	32,85
200,00	1494,50	12,87	10,00	1,29	8713,00	0,17	171,53		
300,00	2345,00	12,47	10,00	1,25	8753,00	0,27	267,91		

Nota: Se presentan los esfuerzos normales y cortantes del ensayo de Corte Directo. Fuente: Autores.

Con los datos de esfuerzo normal y cortante máximo se grafica la envolvente de falla resumidos en la tabla 25, se gráfica la envolvente de falla (ver figura 55).

Tabla 25

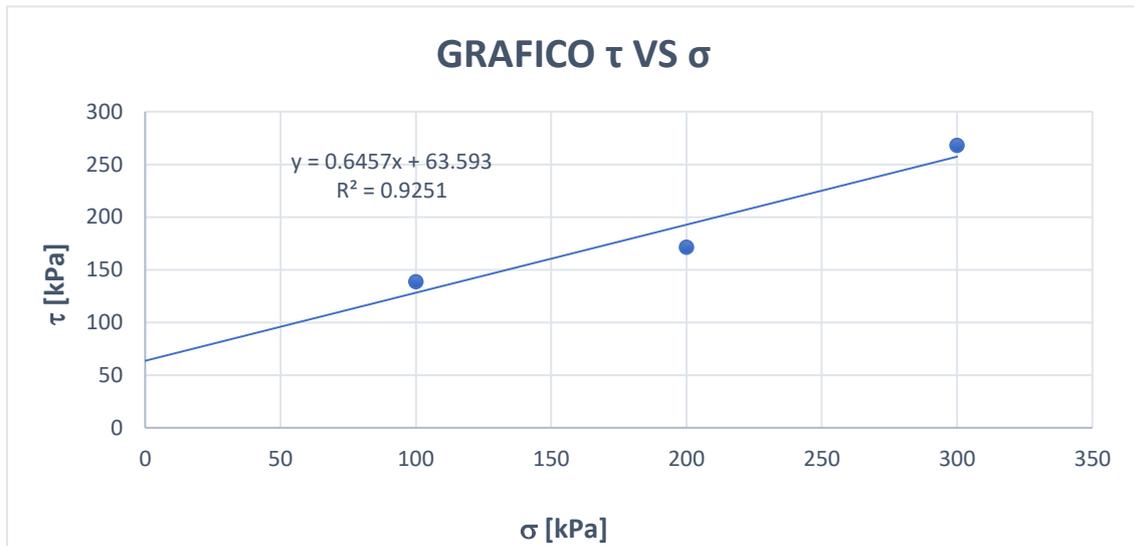
Datos para graficar la envolvente de falla

σ [kPa]	$\tau_{\text{máx.}}$ [kPa]
100	138.77
200	171.53
300	267.91

Nota: Se muestra los esfuerzos normales, cortantes máximos, que intervienen en la envolvente de falla.

Figura 55

Envolvente de falla, Ensayo de Corte Directo



Nota: Se presenta el gráfico del esfuerzo normal [σ], respecto al esfuerzo cortante [τ] del suelo. Fuente: Autores

La ecuación de la envolvente de falla es igual a:

$$\tau = \sigma \tan \varphi + C$$

Ecuación (12)

Donde:

τ = Resistencia del Suelo a un esfuerzo cortante en [kPa].

φ = Ángulo de fricción del suelo en [°].

C = Cohesión del suelo en [kPa].

σ' = Esfuerzo efectivo, cuando existe presión de poros en [kPa].

σ = Esfuerzo Normal en [kPa].

Con la ecuación obtenida de la línea de tendencia del gráfico (figura 57), se iguala a la ecuación 12. Posteriormente se determina el ángulo de fricción y la cohesión del suelo.

$$y = 0.6457 + 63.593$$

$$\tau = \sigma \tan \varphi + C = y = 0.6457x + 63.593$$

$$C = 63.6 \text{ kPa}$$

Para determinar el ángulo de fricción del suelo se utilizará la pendiente de la línea en la envolvente de falla con la ecuación de la recta:

$$y = mx + b$$

$$y = 0.6457 + 23.523$$

$$m = 0.6457$$

$$\varphi = \tan^{-1}(0.6457)$$

$$\varphi = 32.85^\circ$$

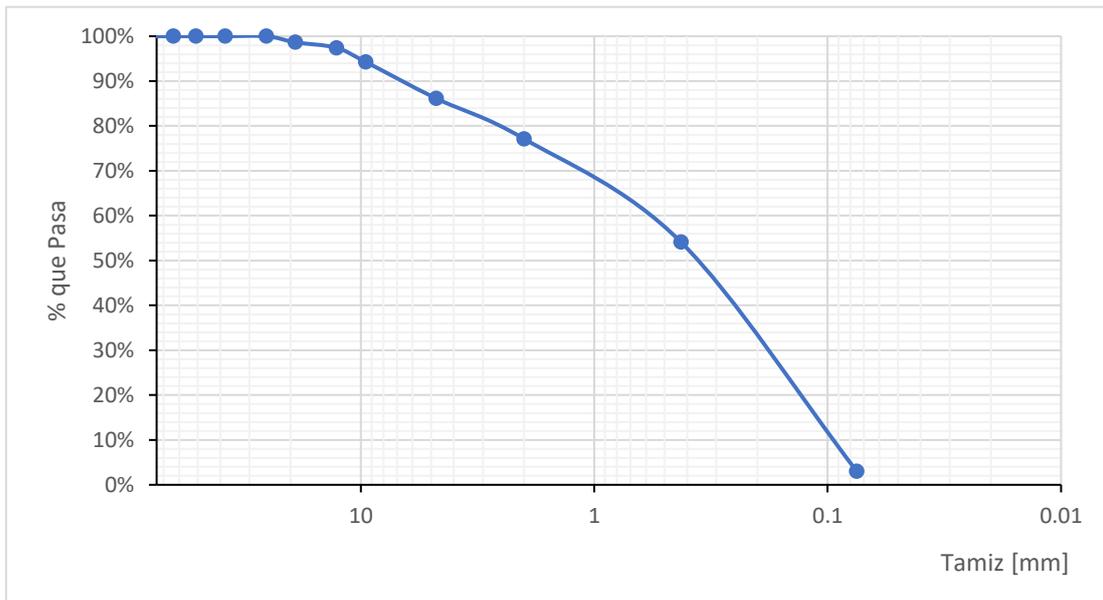
4.3.1.3 Análisis de los resultados obtenidos en laboratorio

Se obtiene un contenido de humedad %H = 24,61% en el sitio de estudio del proyecto, este parámetro será necesario para emplearlo en la clasificación SUCS, que se explicará en el capítulo y sección correspondiente de esta disertación.

En cuanto a la granulometría del suelo en el sitio de estudio se determinó que es poco uniforme y bien graduada, dado que los valores obtenidos en el coeficiente de uniformidad son mayores que seis ($C_u > 6$), así como, también el coeficiente de curvatura ($C_c = 1$)

Esto se puede evidenciar en la curva granulométrica (ver figura 56).

Figura 56
Curva Granulométrica



Nota: Distribución granulométrica del suelo en el sitio de estudio. Fuente: Autores

Los resultados del ensayo de límites de Atterberg reflejan resultados de contenido de humedad igual a:

- Límite Líquido (LL) = 35.64%
- Límite Plástico (LP) = 32.58%
- Índice de Plasticidad (IP) = 3.06%

El ensayo de corte directo del suelo determinó los siguientes resultados:

- Cohesión [C] = 63.6 kPa
- Ángulo de fricción [ϕ] = 32.85°
- Resistencia máxima a un esfuerzo normal de [$\sigma = 300$ kPa]
- Resistencia máxima a un esfuerzo cortante de [$\tau = 267.91$ kPa]

Los esfuerzos normales, cortantes, ángulo de fricción y cohesión obtenidos del ensayo de corte directo serán de suma importancia para determinar la capacidad portante

que tiene el suelo en el sitio de estudio, dado esto se procederá a obtener la carga admisible del suelo previo al diseño de cualquier tipo de cimentación recomendada.

4.3.1.3.1 Esfuerzo Admisible (q_{adm})

Se determina la capacidad admisible del suelo utilizando la ecuación de Meyerhof con sus factores de corrección:

$$q_u = C * N_c * F_{cs} * F_{cd} * F_{ci} + \hat{q} * N_q * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma * B * N_\gamma * F_{\gamma s} * F_{\gamma d} * F_{\gamma i}$$

Ecuación (13)

Donde:

C = Cohesión del suelo [kPa]

q = Sobrecarga de suelo [kPa]

γ = Peso específico del suelo [kg/m³, T/m³, kN/m³]

B = Ancho de la zapata [m]

Df = Cota de desplante [m]

qu = Capacidad de carga última o esfuerzo último del suelo [kPa, T/m²]

qadm = Esfuerzo Admisible del suelo [kPa, T/m²]

Nc, Nq y N γ = Son Factores de capacidad portante del suelo para cimentaciones poco profundas.

Fcs, Fqs, F γ s = Son Factores de corrección por forma.

Fcd, Fqd, F γ d = Son Factores de corrección por profundidad

Fci, Fqi, F γ i = Son Factores de corrección por inclinación.

Las ecuaciones de los factores de corrección por forma, profundidad e inclinación se pueden observar en la figura 57.

Figura 57

Ecuaciones de los Factores de corrección Meyerhof

1.1.- Cálculo de factores de forma, profundidad e inclinación		
$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} * \frac{Nq}{Nc}$ $F_{ci} = F_{qi} = (1 - \frac{\beta}{90^\circ})$	<p>si Df/B<=1</p> $F_{cd} = 1 + 0,4 * \frac{Df}{B}$ $F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan\phi$ $F_{qd} = 1 + 2 \tan\phi * (1 - \text{sen}\phi)^2 * \frac{Df}{B}$	$F_{\gamma s} = 1 - 0,4 * \frac{B}{L}$ $F_{\gamma d} = 1$ $F_{\gamma i} = 1$
	<p>si Df/B>1</p> $F_{cd} = 1 + 0,4 \tan^{-1}(\frac{Df}{B})$ $F_{qd} = 1 + 2 \tan\phi * (1 - \text{sen}\phi)^2 * \tan^{-1}(\frac{Df}{B})$ $F_{\gamma d} = 1$	

Nota: Correcciones por forma, profundidad, inclinación en función a la relación entre profundidad de la cota de desplante y el ancho de la cimentación. Fuente: Brava M. Das, 2015.

El esfuerzo admisible del suelo para diferentes cotas de desplante se muestra en el anexo Nro.21.

4.3.1.4 Obtención de características y propiedades físico mecánicas del suelo

Se determino cada una de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, mediante diferentes ensayos de laboratorio (ver tabla 26).

Tabla 26*Resumen de parámetros físicos y mecánicos del suelo en el sitio de estudio*

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
Contenido de humedad del suelo [%H]	24.61	%
Coefficiente de uniformidad del suelo [Cu]	6.1	
Coefficiente de curvatura del suelo [Cc]	1	
Límite Líquido [LL]	35.64	%
Límite Plástico [LP]	32.58	%
Índice de plasticidad [IP]	3.06	%
Cohesión del Suelo [C]	63.6	kPa
Ángulo de Fricción del suelo [ϕ]	32.85	grados
Resistencia a esfuerzo normal máximo [σ]	300	kPa
Resistencia a esfuerzo cortante máximo [τ]	267.91	kPa
Gravedad específica [Gs]	1.62	
Capacidad admisible del suelo [qadm]	1835.96	kPa
	183.6	T/m ²
Peso volumétrico del suelo [γ_s]	15.81	kN/m ³

Nota: Características y propiedades físico mecánicas que tiene el suelo en la ubicación del proyecto. Fuente: Autores.

4.3.1.5 Clasificación SUCS

Para clasificar el suelo se usará la granulometría del mismo, para este caso empleamos la malla Nro. 4, Nro.40 y Nro. 200 (ver tabla 27).

Tabla 27*Porcentajes granulométricos para clasificación SUCS*

TAMIZ	%Retenido Acumulado	%Que Pasa
N°4	13.88%	86.12%
N°40	45.89%	54.11%
N°200	97.01%	2.99%

Nota: Se presenta las mallas y el porcentaje de suelo retenido, además del suelo que pasa en cada uno de ellas. Fuente: Autores.

Para clasificar el suelo se utiliza la carta de asignación de grupo y nombre del suelo (ver figura 58).

Figura 58

Carta de Asignación de grupo y nombre del suelo para su clasificación

Criterio para asignación de Símbolo de Grupo y Nombre de Grupo utilizando Pruebas de Laboratorio ^A			
SUELOS DE GRANULOMETRIA GRUESA Más del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No.4	Gravas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3^E$
		Menos del 5% de finos ^C	$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3^E$
	Arenas 50% ó más de la fracción gruesa pasa la malla No.4	Gravas con Finos	Finos clasificados como ML ó MH
		Más del 12% de finos ^C	Finos clasificados como CL ó CH
		Arenas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3^F$
		Menos del 5% de finos ^D	$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3^E$
		Arenas con Finos	Finos clasificados como ML ó MH
		Más del 12% de finos ^D	Finos clasificados como CL ó CH

Nota: Se presenta la clasificación SUCS, suelos gruesos (Gravas y Arenas). Fuente: Norma ASTM D 2487 (Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería).

La clasificación del suelo por el nombre y grupo al que pertenece se lo puede observar en la tabla 28.

Tabla 28

Clasificación de suelos

Símbolo de Grupo	Nombre de Grupo ⁸
GW	Grava bien graduada ^F
GP	Grava mal graduada ^F
GM	Grava limosa ^{F,G,H}
GC	Grava arcillosa ^{F,G,H}
SW	Arena bien graduada ¹
SP	Arena mal graduada ¹
SM	Arena limosa ^{F,G,H}
SC	Arena arcillosa ^{F,G,H}

Nota: Se indica el grupo al que pertenece el suelo, el símbolo y nombre de grupo. Fuente: Autores tomado de la Norma ASTM D 2487 (Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería).

Para determinar si es suelo fino se ocupa la malla Nro. 200 y para suelo grueso la Nro. 4 respectivamente.

Dado que en la malla Nro. 200 el porcentaje retenido es mayor al 50%, se llega a la conclusión de que se trata de un suelo de granulometría gruesa (Gravas o Arenas). A su vez la fracción que pasa por el tamiz Nro. 4 es mayor que el 50%, por tanto, se trata de una Arena (S).

En cuanto a la subclasificación se observa que el suelo analizado contiene más del 12% de finos y con la carta de plasticidad se determina si la arena contiene (ML-MH) o (CL - CH).

Es entonces que se llega a la conclusión que el suelo analizado es:

- [SM] = Arena Limosa de Baja Compresibilidad

De los resultados del estudio geológico-geotécnico y todos los ensayos de laboratorio realizados al suelo del sitio del proyecto se encuentran de manera más detallada adjunta a anexos de esta disertación.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN

HIDROELÉCTRICA

5.1 Alternativas de generación hidroeléctrica con nivel de descarga de 80% y 95%

Se tiene presente dos alternativas de generación hidroeléctrica para la primera con nivel de descarga de 80% que tiene un caudal de 8.19 m³/s, y la segunda con nivel de descarga de 95% con un caudal de 6.16 m³/s. Por tal motivo los caudales de cada alternativa será los caudales de diseño de las estructuras que conforman la central hidroeléctrica.

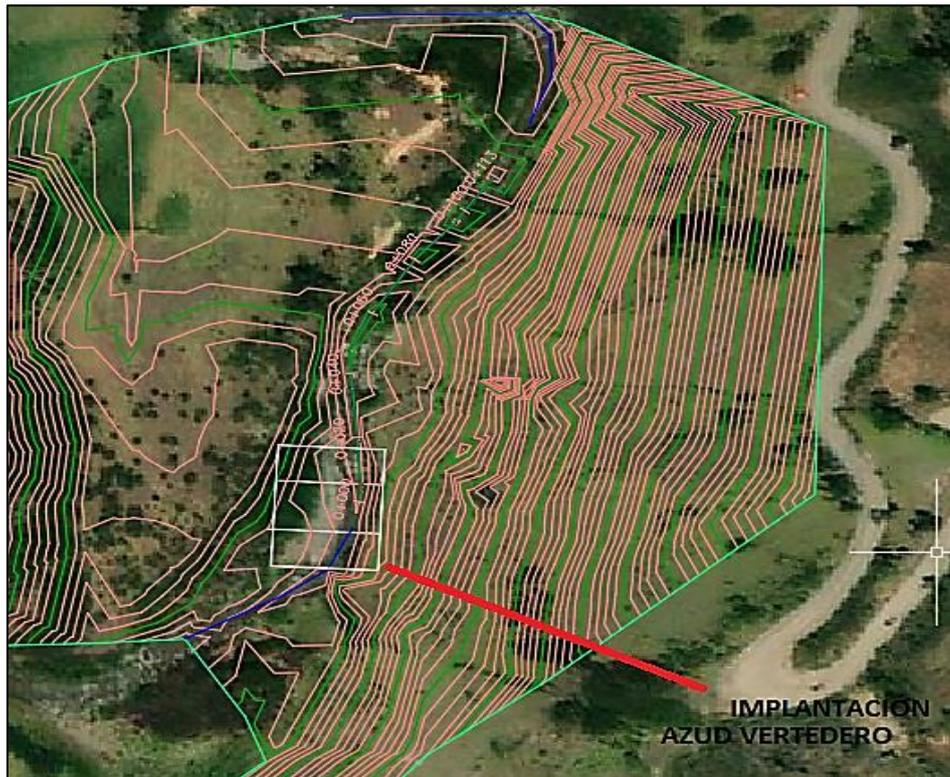
Se realizará un análisis del funcionamiento para cada uno de los caudales, con la finalidad de establecer cuántas turbinas emplear y cuáles funcionarán periódicamente, haciendo que la central hidroeléctrica trabaje con normalidad, logrando satisfacer la necesidad de energía eléctrica demandada por los usuarios de la comunidad en Quinticusig y la empresa de vinos “Perla Andina”.

Dentro de las estructuras que conforman una central hidroeléctrica se encuentran las siguientes:

- **Obras de derivación y captación:** Azud vertedero, rejillas de entrada, rejillas laterales.
- **Obras de conducción:** Tubería forzada o de presión y Tanque de Carga.
- **Obras de Protección:** Rejilla de salida, cuencos de amortiguamiento, enrocados, desarenador, desripiador y escalera de peces.

Para las dos opciones propuestas se considera una altura del muro de captación con aproximadamente cinco metros, por tanto, se realizará implantación de la central hidroeléctrica en la topografía obtenida con precisión a escala 1:1000 y cuyas curvas de nivel se encuentran cada 5 metros para la mayor y 1 metro la menor, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 59
Implantación preliminar del Azud Vertedero

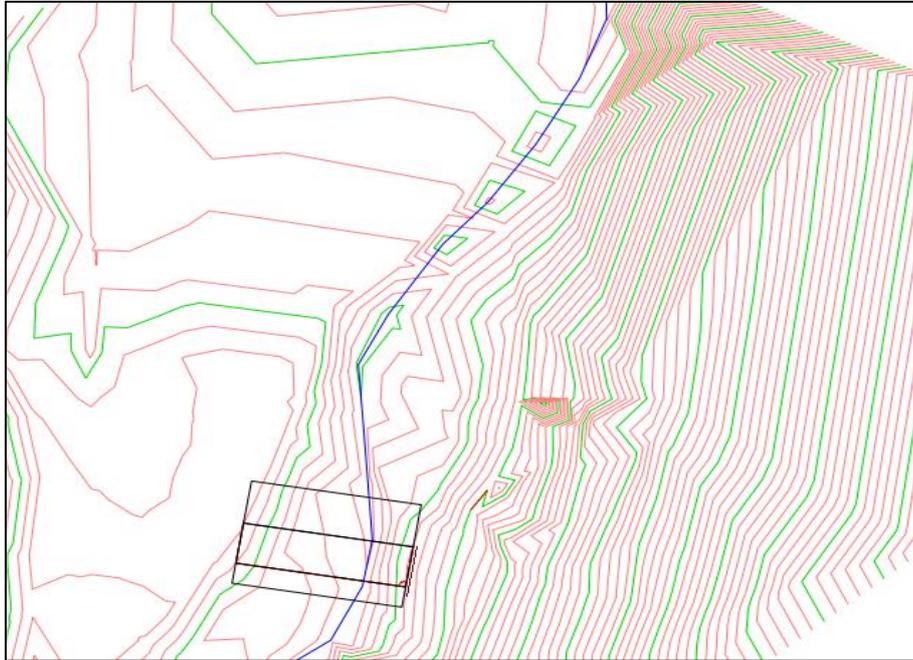


Nota: Se presenta la implantación del azud en el sitio de estudio. Fuente: Autores

En la figura 59 se puede observar una implantación preliminar del azud vertedero, ya que es de suma importancia analizar estratégicamente la localización de esta obra, puesto que esto influye en la cantidad de corte y relleno en volumen del terreno que se necesite para fundar la obra civil in situ.

Para la implantación definitiva se localiza el azud alineado perpendicularmente a la dirección del río y teniendo en cuenta la topografía del sitio de estudio (ver figura 60).

Figura 60
Implantación definitiva del Azud



Nota: Ubicación del azud vertedero, cota de elevación. Fuente: Autores

Analizando la mejor opción para implantar el azud vertedero, se toma en cuenta un poco más arriba de donde inicialmente se encontraba, en este lugar aumenta relativamente un poco el ancho del azud, pero el volumen de corte y relleno de terreno disminuyen significativamente.

Por lo tanto, se coloca el azud en la cota 2511.175 m.s.n.m, además se debe considerar que dentro de las obras civiles preliminares implantadas se tiene una losa de cimentación previo a la construcción del azud vertedero, el azud tipo Creager, un estanque de amortiguamiento o disipación de energía y un enrocado como protección después del estanque.

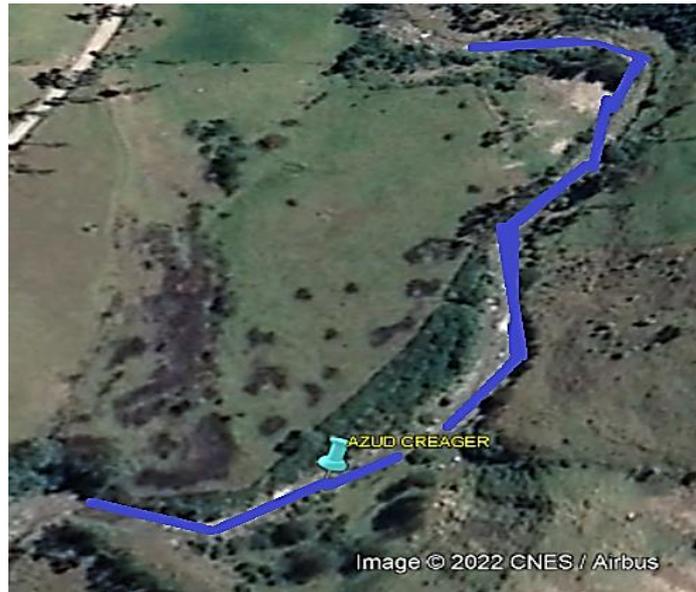
Las coordenadas de la implantación son:

- Latitud: 0°43'10.46"S
- Longitud: 78°52'22.57"O

Con la ayuda del software Google Earth se observa la vista georreferenciada de la ubicación del azud (ver figura 61).

Figura 61

Vista georreferenciada de la ubicación del azud



Fuente: Elaborado por Autores, tomado de Google Earth Pro 2022.

5.2 Prediseño de los elementos que conforman la central hidroeléctrica para las dos alternativas

Esta etapa del proyecto consiste en realizar un diseño previo tomando en cuenta las alternativas propuestas para generar 174 kW de energía eléctrica para la comunidad de Quinticusig y la empresa de vinos “Perla Andina”.

Además, se debe determinar parámetros característicos de cada una de las estructuras prediseñadas.

Dentro de las estructuras que se diseñarán en este proyecto se encuentran:

- Obras de derivación
- Obras de conducción
- Obras de Protección

Para todos los prediseños del presente proyecto se tomarán en cuenta varios parámetros y criterios de diseño, mismos que se encontrarán explicados de manera más específica en el capítulo VIII de esta disertación.

5.2.1 Prediseño de obras de derivación

Dadas las condiciones topográficas, geológicas geotécnicas, e hidrológicas del terreno en el sitio de estudio se provee realizar el prediseño de las siguientes obras de derivación:

- Azud vertedero tipo Creager Liso y escalonado.
- Captación lateral por medio de una rejilla.
- Diseño de un vertedero de pared ancha (Caudal ecológico).
- Desripiador.
- Muros de protección.

Cabe aclarar que en la implantación del azud realizado en la topografía del sitio de estudio se obtuvo información necesaria como el ancho del río o vertedero, así como su cota de inicio.

Previo al diseño del azud vertedero se realizará una losa de cimentación de 0.30m de espesor con todas las especificaciones técnicas de construcción.

5.2.1.1. Azud vertedero:

Consiste en una estructura de control que tiene como objetivo principal elevar el nivel de agua del cauce del río Toachi, para posteriormente derivar un caudal

determinado, aprovechando el recurso hídrico como es este caso para generar electricidad.

Se dimensiona el azud vertedero tomando en cuenta la capacidad máxima, cuya finalidad es la optimización de la estructura frente a fenómenos como la cavitación y la fisuración, es decir, que para estabilizar el azud se utiliza 2/3 del caudal máximo de río Toachi, teniendo en cuenta un periodo de recurrencia de 100 años.

Para realizar el diseño de azud vertedero se procede en un principio a determinar el perfil hidrodinámico tipo Creager según U.S.B.R (Bureau of Reclamation de United States).

Para realizar el prediseño del azud se tiene los datos de la tabla siguiente:

Tabla 29

Datos para el diseño del Azud Tipo Creager

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal máximo de crecida	Q _{máx}	133.4	m ³ /s
Caudal de diseño	Q _{dis}	88.93	m ³ /s
Caudal unitario de diseño	q _d	2.44	m ³ /s/m
Ancho del río	B _{rio}	36.5	m
Altura del paramento	P	5.00	m

Nota: Se presenta el valor del caudal máximo instantáneo, de diseño, a su vez el ancho del río o longitud del vertedero y la altura del azud.

El diseño del azud vertedero sigue los siguientes pasos:

1. Obtención del caudal de diseño [Q_{dis}], considerando 2/3 del Q_{máx}.
2. Determinar el caudal unitario [q_d].
3. Plantear la ecuación general de vertedero según (CHOW, 2004).

$$Q_v = C_o * L * H_o^{3/2}$$

Ecuación (14)

Donde:

Q_v = Caudal del vertedero en [m³/s]

Co = Coeficiente de descarga del vertedero

L = Longitud del vertedero en [m]

Ho = Sobre carga del vertedero por encima de la cresta en [m]

4. Determinar el coeficiente de descarga (Co), ya sea en ábacos de la U.S.B.R (Bureau of Reclamation de United States), o teniendo en cuenta criterios de diseño de varios autores como Bazin Hegly, Konolovac, Gehy, etc.
5. Cálculo de la sobrecarga (Ho) del vertedero por encima de la cresta despejando la ecuación general de vertedero.
6. Se determina las coordenadas de perfil Creager para el diseño del azud del proyecto de central hidroeléctrica mediante la siguiente ecuación

$$y \frac{Azud}{Ho} = -k Azud * \left(x \frac{Azud}{Ho} \right)^{n Azud}$$

Ecuación (15)

7. Con la relación ho/Ho se obtiene los factores de forma (Xc, Yc, R1 y R2) de la cresta aguas arriba del vertedero.
8. Se calcula el radio de curvatura aguas abajo al pie del azud, mediante la siguiente ecuación:

$$R = 10 \frac{(Vc+6.4Ho+16)}{(3.6Ho+54)}$$

Ecuación (16)

Donde:

Vc = Velocidad contraída al pie del vertedero en [m/s].

Ho = Carga de diseño encima de la cresta del vertedero en [m].

R = Radio de curvatura que une el perfil Creager con el vertedero en [m].

5.2.1.2 Rejilla lateral

Se utiliza este tipo de captación lateral debido a las condiciones específicas del proyecto.

La rejilla lateral es una obra civil básicamente compuesta de barrotes que forman una especie de ventana rectangular, su función es la de captar el caudal de diseño del proyecto (Merino Poveda, 2019).

Para el prediseño de la rejilla de captación lateral es se necesita la siguiente información (ver tabla 30).

Tabla 30

Datos necesarios para el prediseño de la captación con rejilla lateral

Ítem	Nombre	Símbolo	Opción 1	Opción 2	Unidad
1	Caudal de demanda	Qd	8,19	6,16	m ³ /s
2	Caudal medio mensual	Qmed	18,62	18,62	m ³ /s
3	Caudal ecológico	Qeco	1,86	1,86	m ³ /s
4	Longitud del vertedero Creager	La	10,00	10,00	m
5	Coefficiente de pérdidas de la rejilla	k	0,85	0,85	
6	Altura del paramento	P	5,00	5,00	m
7	Altura de la rejilla	Hr	1,20	1,20	m
8	Carga dinámica de la rejilla	z	0,50	0,50	m
9	Ancho del río Toachi	Brío	36,50	36,50	m
10	Carga de diseño del azud vertedero	Ho	1,10	1,10	m

Nota: Se presenta la información necesaria para poder realizar el diseño de una captación con rejilla lateral. Fuente: Autores

El prediseño de una captación de agua con rejilla lateral sigue los pasos siguientes:

1. Se determina el caudal de diseño de la rejilla lateral, tomando en cuenta que se debe asegurar el caudal ecológico, es decir, el 10% del caudal medio mensual de $Q_{med} = 18.62 \text{ m}^3/\text{s}$.

2. Se establece un caudal de diseño para la rejilla que asegure el caudal ecológico por tanto se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_{dis} = Q_{80} - Q_{eco}$$

Ecuación (17)

Donde:

Q_{dis} = Caudal de diseño de la rejilla lateral en [m³/s].

Q₈₀ = Caudal con probabilidad de excedencia del 80% en [m³/s].

Q_{eco} = Caudal ecológico igual 10% del caudal medio en [m³/s].

3. Se realiza el cálculo del coeficiente de descarga (C_o) en base a la ecuación propuesta por Bazin:

$$C_o = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H_r} \right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{H_r}{H_r + P} \right)^2 \right]$$

Ecuación (18)

Donde:

H_r = Altura de la rejilla lateral en [m].

P = Altura del paramento aguas arriba del azud vertedero en [m].

C_o = Coeficiente de descarga de la rejilla

4. Posteriormente se obtiene el coeficiente de sumersión (S) en base a la ecuación propuesta por Villemonte:

$$S = \left[1 - \left(\frac{h_n}{H_r} \right)^{3/2} \right]^{0.385}$$

Ecuación (19)

Donde:

Hn = Profundidad corregida por sumersión en [m].

S = coeficiente de sumergencia de la rejilla

5. Se asume un coeficiente k [0.75 a 0.95], también cabe mencionar que la altura de la rejilla (Hr) se debe asumir el valor entre 1m a 1.5m. Con los coeficientes de descarga (Co), de sumergencia (S) se calcula la longitud de la rejilla (Lr), con la siguiente ecuación:

$$Lr = \frac{Qdis}{K * S * Co * Hr^{3/2}}$$

Ecuación (20)

6. Se determina el número de barras de la rejilla (#barras), dependiendo de espaciamiento que se requiera en la rejilla, posteriormente se calcula el número de espacios y en base a eso se predimensiona la rejilla.

$$\#barras = \frac{Longitud\ de\ rejilla}{separación\ entre\ barras}$$

$$\#espacios = \#barras - 1$$

5.2.1.3 Vertedero de Pared Gruesa

Son estructuras hidráulicas fuertes su función principal es controlar los niveles en los ríos y canales, aunque también se utilizan para la medición de caudales.

El vertedero de pared gruesa tiene la particularidad que en su cresta se establece por sí mismo una profundidad al final del flujo de variación suave y esta profundidad es determinada mediante la ecuación general de vertedero (Calero Hidalgo, 2020):

$$Q = m * b * \sqrt{2g} * H^{3/2}$$

Ecuación (21)

Donde:

Q = Caudal del vertedero pared gruesa en [m³/s].

m = Coeficiente de descarga del vertedero.

b = Ancho del vertedero pared ancha en [m].

g = Aceleración de la gravedad en [m/s²].

H = Carga de diseño del vertedero pared ancha en [m].

Por lo tanto, en este proyecto la finalidad del vertedero de pared gruesa es asegurar el caudal ecológico de aproximadamente $Q_{eco} = 2\text{m}^3/\text{s}$, en este caso se plantea el prediseño de esta obra, la cual se implantará en el extremo derecho del azud, este vertedero consta de orificio rectangular que funcionará como exclusiva purga o de emergencia colocando su debida compuerta.

Para predimensionar el vertedero de pared ancha se tiene los datos de la tabla 31.

Tabla 31

Información general para prediseño de Vertedero Pared Gruesa

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal ecológico	Qeco	1,862	m ³ /s
2	Longitud mínima de azud	La	10,00	m
3	Altura del paramento	P	4,75	m
4	Ancho del azud	Brio	36,50	m
5	Gravedad	g	9,81	m/s ²
6	Velocidad aguas arriba	Vr	0,102	m/s

Nota: Se presenta parámetros necesarios para realizar el prediseño de un vertedero pared gruesa. Fuente: Autores.

Para diseñar un vertedero de pared ancha se siguen los siguientes pasos:

- 1) Se obtiene el caudal de diseño que se requiere asegurar o controlar en este caso es el caudal ecológico:

$$Q_{d-p-anch} = Q_{eco}$$

2) Se calcula la carga del vertedero mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{d-p-anch} = 1.7 * La * H^{3/2}$$

Ecuación (22)

Donde:

La = Longitud mínima del azud vertedero en [m].

H = Carga de diseño vertedero pared gruesa en [m].

Q_{d-p-anch} = Caudal de diseño del vertedero pared gruesa en [m³/s].

3) Se determina la profundidad crítica del vertedero.

$$yc = \sqrt[3]{\frac{(Q_{d-p-anch})^2}{La * g}}$$

4) Se verifica las condiciones de vertedero de pared ancha, se determina la forma de las aristas o caras de la cresta del vertedero.

5) Cálculo de coeficiente de descarga mediante la siguiente expresión:

$$m = \frac{1 + 0.26 * \left(\frac{h}{h+a}\right)^2}{\sqrt{2} * \left(\frac{3}{2} + 0.004 * n\right)}$$

Ecuación (23)

Donde:

h = Carga del vertedero pared gruesa en [m].

a = Altura del paramento aguas arriba en [m].

n = Factor en función a tipo de arista redondeada.

6) Se determina un factor de reducción mediante la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_1 = 0.7 + \frac{0.185}{\frac{e}{h}}$$

Ecuación (24)

Donde:

ε_1 = Coeficiente de reducción

e = Espesor del vertedero pared gruesa en [m].

7) Una vez obtenido el coeficiente de descarga (m) y el factor de reducción (ε_1) se determina el ancho del frente del vertedero mediante la siguiente ecuación.

$$b = \frac{Q}{\varepsilon_1 * m * \sqrt{2g} * h^{\frac{3}{2}}}$$

Ecuación (25)

Donde:

b = Ancho del frente del vertedero pared gruesa en [m].

ε_1 = Coeficiente de reducción.

m = Coeficiente de descarga del vertedero pared gruesa.

h = Carga de diseño del vertedero pared gruesa en [m].

g = Aceleración de la gravedad en [m/s²].

5.2.1.5 Desripiador

El desripiador es una obra hidráulica tipo cámara cuya función principal es impedir el paso de partículas o sedimentos que logran pasar a través de la rejilla de captación. Es por eso, que generalmente se ubica después de la rejilla, en el caso de este proyecto se encuentra a continuación de la rejilla lateral. Para el prediseño del desripiador se tiene los siguientes datos (ver tabla 32).

Tabla 32*Información para prediseño de Desripiador*

Ítem	Nombre	Símbolo	Opción 1	Opción 2	Unidad
1	Caudal de captación	Q	6,20	4,20	m ³ /s
2	Longitud de la rejilla	Lrej	7,30	5,20	m
3	Altura de la rejilla	Hrej	1,20	1,20	m
4	Altura de paramento	P	5,00	5,00	m
5	Corrección de carga por sumersión	z	0,20	0,10	m
6	Gravedad	g	9,81	9,81	m/s ²
7	Coefficiente de descarga	Co	2,07	2,07	
8	Coefficiente de sumersión	S	0,462	0,462	
9	Altura del lumbral de la rejilla	y1	2,400	2,400	m

Nota: Se presenta datos previos al diseño del desripiador. Fuente: Autores.

Para diseñar un desripiador se debe seguir los pasos siguientes:

- 1) Se determina el ancho del vertedero de salida del desripiador con la ecuación general de vertedero sumergido:

$$b_{des} = \frac{Qd}{S * Co * H^{3/2}}$$

Ecuación (26)

Donde:

Qd = Caudal de diseño desripiador en [m³/s].

bdes = Ancho del desripiador en [m].

Co = Coeficiente de descarga

S = Coeficiente de sumersión

- 2) Cálculo de la longitud del desripiador mediante la ecuación 28, previo a este paso se debe determinar el calado contraído y posteriormente el conjugado, para que en función de ambos determinar la longitud del resalto la cual será la mínima necesaria para el desripiador.

Para determinar el calado contraído se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_{rej} + Y = d_1 + \frac{q^2}{2g * d_1^2}$$

Ecuación (27)

Donde:

H_{rej} = Altura de la rejilla lateral en [m].

Y = Corrección de la carga por sumersión en [m].

q = Caudal unitario del desripiador en [m³/s/m; m²/s].

g = Aceleración de la gravedad en [m/s²].

d₁ = Calado contraído en [m].

$$L_{desr} = 2.5 * [1.9(d_2) - d_1]$$

Ecuación (28)

- 3) Se determina el ancho del canal del desfogue y su compuerta, se debe asegurar velocidades altas que arrastren los sedimentos del canal de limpieza, comprobando que la gradiente del río Toachi sea mayor a la del canal de limpieza.
- 4) A su vez se obtiene el tiempo de vaciado de cámara desripiador.
- 5) En cuanto a las transiciones, se las hace de forma gradual con la finalidad de obtener pérdidas de carga mínimas, la transición es el paso de una sección a

otra del desripiador, la longitud del desripiador se calcula con la siguiente ecuación:

$$Lt_{desr} = \frac{b_1 - b_2}{2 * \tan (12,5^\circ)}$$

Donde:

b₁ = Ancho del vertedero en [m].

b₂ = Ancho del canal de limpieza en [m].

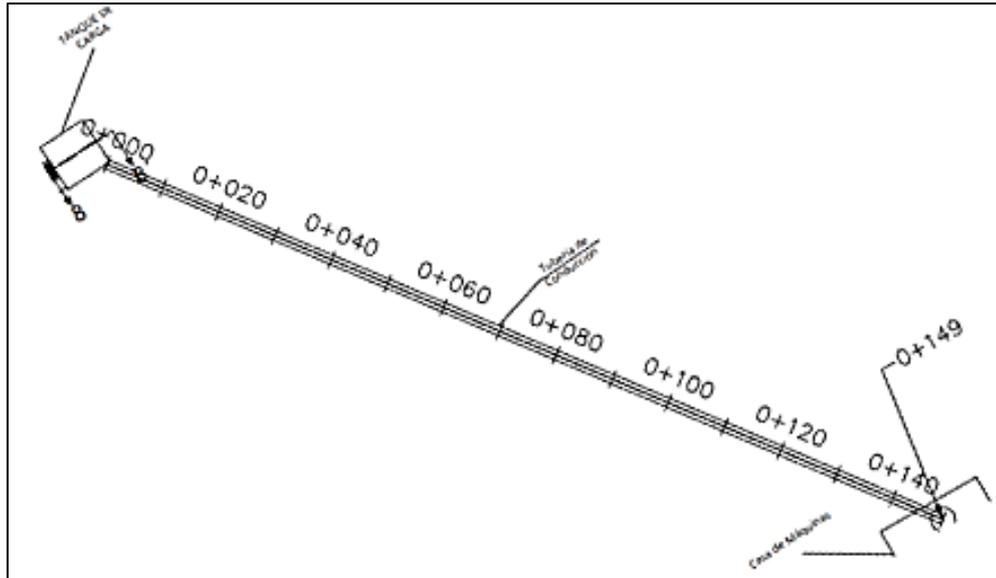
5.2.2 Prediseño de obras de conducción

Dentro del diseño de la central hidroeléctrica para la empresa “Perla Andina” en el cantón Sigchos se considera el predimensionamiento de la tubería de conducción, misma que estará forzada a presión, para lo cual se considera el uso de material PVC, desde el tanque de carga ubicado después del vertedero de salida del desarenador en la cota 2514.925 m.s.n.m hasta los generadores en la casa de máquinas en la cota 2508.22 m.s.n.m, latitud 0°43'5.65"S, longitud 78°52'20.88"O.

La conducción se realizará de aproximadamente de 135 metros como se observa en la siguiente figura:

Figura 62

Ubicación Tubería de conducción



Nota: Se presenta la longitud de conducción hasta la casa de máquinas. Fuente. Autores

5.2.2.1 Tubería de conducción

Este conjunto de elementos cilíndricos permite transportar el caudal de generación desde el tanque de carga hacia la casa de máquinas.

Existe gran variedad de materiales para tubería, como acero, hormigón, PVC, GRP, etc. La conducción del caudal de generación hacia la casa de máquinas se la realiza mediante tubería en material GRP, este material es muy versátil y pueden adquirir diámetros de longitudes superiores a los 1000mm.

La información para predimensionar la tubería de conducción se observa en la tabla 33.

Tabla 33

Datos para el prediseño de la tubería de conducción.

Ítem	Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal 80%	Q 80%	6,19	m ³ /s
2	Caudal 95%	Q95%	4,16	m ³ /s
3	Densidad del agua	p	1000	kg/m ³
4	Viscosidad del agua	μ	0,001005	Pa*s
5	Rugosidad absoluta	ε	0,0000015	m
6	Longitud de la tubería	L	118,36	m

Nota: Se muestra información general para realizar el prediseñar la tubería de conducción Fuente: Autores.

El diseño de la tubería de conducción se determina de acuerdo a lo siguiente:

1. La determinación del diámetro requiere de un análisis económico donde la tubería tenga el menor costo posible para la menor pérdida de carga, por tanto, se podrá obtener la mayor potencia.
2. Se obtiene la potencia mediante la ecuación 29 propuesta por (Sviatoslav Krochin):

$$N = \frac{Q * (H - hf) * e}{102}$$

Ecuación (29)

Donde:

N = potencia en [kW].

Q = caudal en [m³/s]

H = Altura bruta de la caída en [m].

hf = Pérdida hidráulica en [m].

e = Eficiencia

3. Considerando que a menor diámetro menor costo de la tubería, consecuentemente, los costos de amortización serán menores y se determinan mediante:

$$a = \frac{C * r (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1}$$

Ecuación (30)

Donde:

C = Costo inicial de la obra de conducción.

r = Interés expresado como tanto por uno.

n = Número de años en que se paga la deuda.

a = Valor de la amortización.

4. Sin embargo, de lo anteriormente mencionado las variables que intervienen en la determinación iterativa por relación potencia vs amortización toma en cuenta eficiencia, costos de mantenimiento futuros, costos de energía futuros, costo de mano de obra futuros, etc. Estos datos en general son supuestos y la aproximación al diámetro óptimo se puede ver afectada y arrojar un valor incierto, por tanto, se plantea una alternativa empírica así tenemos que según Mannesman Röhren Werke el diámetro está dado por la ecuación 31 y 32:

Para altura de caída $H < 100$ m.

$$D = (0.052 Q^3)^{\frac{1}{7}}$$

Ecuación (31)

Para altura de caída $H > 100$ m.

$$D = \left(\frac{0.052 Q^3}{H} \right)^{\frac{1}{7}}$$

Ecuación (32)

Donde:

Q = Caudal de generación en $[m^3/s]$.

D = Diámetro de la tubería en $[mm]$.

H = Altura de caída en $[m]$.

La altura de caída se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H = h + h_1$$

Ecuación (33)

Donde:

h = Caída bruta en [m].

h₁ = Sobre presión debido al golpe de ariete [m].

para determinar la sobre presión ocasionada por el golpe de ariete se usa la siguiente ecuación:

$$h_1 = 0.15 \frac{L * v}{t}$$

Ecuación (34)

Donde:

L = Longitud de la tubería en [m].

v = Velocidad del agua en [m/s].

t = Tiempo de cierre de la válvula de la turbina en segundos

$$t > \frac{L}{500}$$

5. Cálculo de pérdidas por fricción, para determinar las perdidas, se requiere determinar la velocidad de flujo, el número de Reynolds, y el factor de fricción de Darcy con estos datos obtenidos usaremos la ecuación de Darcy Weisbach para obtener la totalidad de pérdidas en función de la velocidad, la longitud de la tubería y el diámetro de la misma
6. El cálculo de la velocidad de flujo se obtiene mediante la ecuación del caudal:

$$Q = V * \frac{\pi * D^2}{4}$$

Ecuación (35)

Despejando:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Donde:

Q = Caudal de garantía en [m³/s].

D = Diámetro de la tubería en [mm].

V= Velocidad de flujo en [m/s].

7. El número de Reynolds, mismo que es de utilidad para encontrar el factor de fricción se expresa mediante la ecuación:

$$Re = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

Ecuación (36)

Donde:

D = Diámetro de la tubería en [mm].

V= Velocidad de flujo en [m/s].

μ = Viscosidad del agua

ρ = Densidad del agua [kg/m³]

8. Para la obtención del factor de fricción de Darcy se lo lleva a cabo mediante un proceso iterativo hasta obtener la siguiente igualdad determinada por Colebrook – White para flujo turbulento liso:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \text{Log}_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

Ecuación (37)

Donde:

ε = Rugosidad absoluta del material en [mm].

Re= Número de Reynolds

D = Diámetro de la tubería en [mm].

9. O a su vez se lo puede determinar mediante el uso de las aproximaciones de la ecuación de Colebrook, en este caso la aproximación de Swamee – Jain que se usa para obtener f directamente para una tubería circular de flujo completo:

$$f = \frac{0.25}{\log_{10} \left(\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

Ecuación (38)

Donde:

ε = Rugosidad absoluta del material en [mm].

Re= Número de Reynolds

D = Diámetro de la tubería en [mm].

Existen diferentes rugosidades de la tubería de conducción en función al tipo de material que tenga el tubo o tubería (ver tabla 34).

Tabla 34

Datos de rugosidad para el diseño de la tubería de conducción.

Material	ε (mm)
Acero Comercial	0,0460
Fundición asfaltada	0,1220
Hierro forjado	0,0500

Hierro fundido	0,2500
Hierro galvanizado	0,1500
Madera ensamblada	0,3050
PVC, plástico, cobre, latón, vidrio	0,0015

Nota: Se muestra los valores de rugosidad absoluta de materiales, usados en la tubería de conducción. Fuente: (Soteldo, 1994).

10. Se determinan las pérdidas por fricción mediante la ecuación de Darcy

Weisbach se expresa a continuación:

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación (39)

Donde:

f = Factor de fricción de Darcy

L = Longitud en [m].

D = Diámetro de la tubería en [m].

V = Velocidad de flujo en [m/s].

g = Aceleración de la gravedad en [m/s²].

5.2.3 Prediseño de obras de protección

Para las obras civiles de protección en el río Toachi para la central hidroeléctrica “Perla andina”, se tendrá en cuenta dadas las condiciones topográficas del sitio de estudio al ser río de montaña, las obras civiles que se consideran diseñar serán:

- Estanque o cuenco disipador de energía al pie del azud vertedero.
- Enrocado al pie de la disipación.
- Diseño de desarenador
- Escalera de protección piscícola
- Tanque de carga.

- Casa de máquinas.

5.2.3.1 Cuenco de amortiguamiento o estanque de disipación:

Es una obra hidráulica construida con la finalidad de disipar la energía cinética del agua, estos dispositivos se colocan al pie del vertedero en la parte inferior.

Para realizar el prediseño del colchón de agua, más conocido como cuenco de disipación de energía se tiene los datos de la tabla siguiente:

Tabla 35

Datos para prediseño de estanque de amortiguamiento

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Profundidad crítica aguas abajo del azud	hcr	0.85	m
2	Profundidad contraída	hc	0.24	m
3	Profundidad normal del río	yn	1.09	m
4	Velocidad contraída	Vc	10.15	m/s
5	Gravedad	g	9.81	m/s ²

Nota: Se presenta información básica para predimensionar el cuenco de disipación de energía al pie del azud vertedero. Fuente: Autores

El diseño de un estanque de amortiguamiento o cuenco disipador de energía sigue los pasos siguientes:

1. Con la velocidad contraída (Vc) y la profundidad generada por la misma velocidad se determina el número de Froude (Fr) mediante la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{Vc}{\sqrt{g * hc}}$$

Ecuación (40)

Donde:

Fr = Número de Froude

Vc = Velocidad contraída al pie del azud vertedero en [m/s].

hc = Profundidad contraída aguas abajo del azud vertedero en [m].

2. Una vez determinado el número de Froude (Fr), se establece el tipo de estanque amortiguador o cuenco disipador de energía se pretende diseñar el tipo de USBR.
3. La profundidad contraída (hc) se convierte en primera conjugada (y1) del resalto hidráulico y con el número de Froude se calcula la segunda conjugada (y2), mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{y2}{y1} = 0,5 * [\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1]$$

Ecuación (41)

Donde:

y1 = Primera conjugada del resalto hidráulico en [m].

y2 = Segunda conjugada del resalto hidráulico en [m].

4. Posteriormente se compara la profundidad normal del río (yn) tiene que ser mayor que la segunda conjugada (y2), para que el resalto no sea desplazado. Si esta condición no se cumple se asume un valor el cual se debe profundizar el cuenco de disipación de energía.

5.2.3.2 Enrocado:

Es una estructura civil cuyo objetivo principal es proteger que el cauce del río no erosione. Hasta que la velocidad del flujo se encuentre a niveles que el río pueda soportar, por lo general son construidas con piedra bola o basílica y se encuentra localizados posteriormente al zampeado de disipación de energía.

Para el prediseño del enrocado de protección se presenta la siguiente información (ver tabla 36).

Tabla 36

Datos prediseño de enrocado

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del río Toachi	Brio	36,5	m
2	Caudal máximo (Periodo de 100 años)	Qmáx	133,44	m ³ /s
3	Calado de entrada del enrocado	Yn	1,09	m
4	Profundidad aguas abajo del cuenco	ds	2,09	m
5	Calado normal del río	ho	1,09	m
6	Diámetro medio de las partículas lecho del río	dm	0,5	m
7	Caudal unitario de diseño	q	2,437	m ² /s

Nota: Se muestra la información básica para realizar el prediseño del enrocado de protección. Fuente: Autores.

El diseño del enrocado sigue los siguientes pasos:

1. Se determina un factor de seguridad del enrocado que depende del diámetro medio de las partículas en el lecho del río, mediante la formula siguiente:

$$FB = 1.76 * \sqrt{dm}$$

Ecuación (42)

Donde:

FB = Factor de seguridad del enrocado.

dm = Diámetro medio de las partículas en el lecho del río [mm].

2. Se calcula la profundidad aguas abajo del cuenco dissipador de energía mediante la ecuación siguiente (OLADE, 1985):

$$\frac{ds}{[1.75 - 2.25]} = h = 1.34 * \left(\frac{q^2}{FB}\right)^{1/3}$$

Ecuación (43)

Donde:

ds = Profundidad aguas abajo del cuenco dissipador [m].

q = Caudal unitario de diseño [m²/s].

3. Se determina el espesor del enrocado encontrando la diferencia entre la profundidad aguas abajo del cuenco dissipador y el calado normal del río mediante la ecuación 44.

$$dr = ds - yn$$

Ecuación (44)

Donde:

dr = Espesor del enrocado en [m].

yn = Calado normal del río Toachi en [m].

5.2.3.3 Escalera de protección piscícola

Son estructuras hidráulicas que permiten el paso libre de los peces desde aguas abajo hacia aguas arriba. En el Ecuador el CONELEC desde hace años atrás solicita la construcción de una escalera de peces para facilitar el paso libre del caudal ecológico, lo cual debe suceder sin intervención humana.

Cuando se diseñan Azud vertederos sobre el cauce del río se debe considerar la construcción de una escalera de protección piscícola, cuya finalidad sea la mitigación del impacto ambiental (Champutiz, 2013).

Según (Champutiz, 2013), existen varios tipos de escalera de peces en función a las diferentes especies de peces, a los cauces y a tipo de aprovechamiento hídrico.

En el caso de los ríos de montaña se tiene escalera de tanques sucesivos como:

- Escalera de Artesas

- Vertederos Sucesivos

En este proyecto se considerará el diseño de una escalera de peces tipo cubeta, es decir, una escalera con fondo de escalera en cada escalón como si fueran vertederos sucesivos. Se realiza el prediseño de la estructura con los datos de la tabla 37.

Tabla 37

Información general para el prediseño de la Escalera de Peces

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de conducción	Q_{con}	2.00	m^3/s
2	Caudal de diseño	Q_{d-esc}	0.2	m^3/s
3	Desnivel entre el fondo de escalones	H_{esc}	1	m
4	Base del escalón	b_{esc}	1	m
5	Aceleración de gravedad	g	9.81	m/s^2
6	Altura del dentellón a la salida del escalón	h_{salida}	0.5	m
7	Coefficiente rugosidad de Manning	n_{horm}	0.015	
8	Pendiente de la escalera de peces	i_{esc}	0.001	m/m
9	Espesor de la pared	e_p	0.2	m

Nota: Se muestran datos necesarios para realizar el prediseño de la escalera de protección piscícola. Fuente: Autores.

Para diseñar una escalera de protección piscícola se debe seguir lo siguiente:

- 1) Se debe considerar que el caudal de diseño será igual al 10% del caudal de conducción:

$$Q_{dis-e-peces} = 10\% * Q_{conducción}$$

- 2) Se asume el ancho o base del escalón b_{esc} de (1-2m), posteriormente se determina el calado crítico y normal de la escalera de peces mediante las siguientes ecuaciones:

$$Y_{c-esc} = \left(\frac{Q_{dis-esc}}{b_{esc} * \sqrt{g}} \right)^{2/3}$$

Ecuación (45)

Donde:

Y_{c-esc} = Calado crítico de la escalera de peces en [m].

$Q_{dis-esc}$ = Caudal de diseño de la escalera de peces en [m³/s].

b_{esc} = Ancho o base del escalón en [m].

g = Aceleración de la gravedad en [m/s²].

$$Q_{dis-esc} = \frac{Y_n * b_{esc}}{n_{horm}} * \left[\frac{Y_n * b_{esc}}{b_{esc} + (2 * Y_n)} \right]^{\frac{2}{3}} * i^{1/2}$$

Ecuación (46)

Donde:

n_{horm} = Coeficiente de rugosidad de Manning del hormigón

Y_n = Altura normal del río en [m].

b_{esc} = Ancho o base del escalón en [m].

i = pendiente de la escalera de peces en [m/m].

- 3) Se verifica las siguientes condiciones de funcionamiento óptimo, en el caso de no cumplir se redimensiona el desnivel entre el fondo de los escalones (H_{esc}) y la base del escalón (b_{esc}).

- 1era condición:

$$0.15 < \frac{Y_{c-esc}}{H_{esc}} < 0.93$$

- 2da condición:

$$\frac{H_{esc}}{Y_{c-esc}} < 15$$

- 3era condición:

$$\frac{b_{esc}}{Y_{c-esc}} > 1.5$$

- 4) Se determina los parámetros hidráulicos de la cubeta, como el coeficiente de descarga (μ) mediante la ecuación 47, y el factor de reducción (ϵ_1) con la

ecuación 48, asumiendo que cada escalón funciona como un vertedero de pared gruesa.

Coefficiente de descarga:

$$\mu = 1.02 - \frac{1.015}{\frac{H}{r} + 2.08} + \left[0.04 * \left(\frac{H}{r} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{r}{P_{esc}}$$

Ecuación (47)

Donde:

μ = Coeficiente de descarga vertedero pared gruesa.

H = Carga de diseño del vertedero pared gruesa en [m].

P_{esc} = Desnivel entre el fondo de escalones en [m].

r = radio de la cresta redondeada del vertedero pared ancha en [m].

Factor de reducción del vertedero pared gruesa:

$$\varepsilon_1 = 0.70 + \frac{0.185}{\frac{e}{H}}$$

Ecuación (48)

Donde:

ε_1 = Factor de reducción vertedero pared ancha en [m].

e = Espesor de la pared gruesa de vertedero en [m].

5) Se obtiene la carga de diseño del vertedero de pared gruesa con la ecuación general del vertedero.

$$Q = \varepsilon_1 * \mu * \sqrt{2g} * H^{3/2}$$

Se reemplaza el coeficiente de descarga (μ) y el factor de reducción (ε_1) en la ecuación general del vertedero.

$$Q = \left\{ 0.7 + \left[\frac{0.185}{\frac{e}{H}} \right] \right\} * \left\{ 1.02 - \frac{1.015}{\frac{H}{r} + 2.08} + \left[0.04 * \left(\frac{H}{r} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{r}{P_{esc}} \right\} * \{ \sqrt{2g} * H^{\frac{3}{2}} \}$$

6) Se determina los calados contraído y conjugado, así como el colchón de agua mediante las siguientes ecuaciones:

- Colchón de agua:

$$Y_{c-agua} = 1.0 * D^{0.22} * (H_{esc} + h_{salida})$$

Ecuación (49)

- Calado contraído:

$$Y_1 = 0.54 * D^{0.425} * (H_{esc} + h_{salida})$$

Ecuación (50)

- Calado conjugado:

$$Y_2 = 1.66 * D^{0.27} * (H_{esc} + h_{salida})$$

Ecuación (51)

Donde:

Y_{c-agua} = Altura del colchón de agua en [m].

Y_1 = Calado contraído escalera de peces en [m].

Y_2 = Calado conjugado escalera de peces en [m].

H_{esc} = Desnivel entre el fondo de escalones en [m].

h_{salida} = Altura del dentellón a la salida del escalón en [m].

D = Factor que relaciona el calado crítico de la escalera y la sumatoria entre el desnivel entre el fondo de escalones y la altura del dentellón a la salida del escalón, se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{(Y_{c-esc})^3}{(h_{salida} + H_{esc})^3}$$

7) Se verifica que la relación entre el calado conjugado y el crítico sea mayor o igual a 2.5.

$$Y_2 \geq 2.5 * Y_c$$

$$\frac{Y_2}{Y_c} \geq 2.5$$

- 8) Se determina la longitud del chorro de la escalera de peces (L_A) mediante la siguiente ecuación:

$$L_A = 4.3 * D^{0.27} * (H_{esc} + h_{salida})$$

Ecuación (52)

- 9) Se calcula la longitud restante de la cubeta de la escalera de peces (L_B) mediante la siguiente ecuación:

$$L_B = 0.8 * Y_{c-esc}$$

Ecuación (53)

- 10) Con los datos de la longitud del chorro y la restante de la cubeta, se obtiene la longitud total del escalón de la escalera de peces (ver ecuación 54).

$$LT_{esc} = L_A + L_B$$

Ecuación (54)

- 11) Finalmente se determina las pérdidas de energía de la escalera de peces, para ello se debe considerar la energía aguas arriba y aguas abajo mediante la ecuación de Bernoulli:

- Energía total aguas arriba:

$$E_{T0} = H_{esc} + h_{salida} + h + \frac{v_2^2}{2g}$$

- Energía total aguas abajo:

$$E_{T2} = Y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

- Perdida de energía:

$$\%_{perdidas} = \frac{E_{T0} - E_{T2}}{E_{T0}} * 100\%$$

La velocidad de acercamiento se determina de la siguiente ecuación:

$$v_2 = \frac{Q_{dis-esc}}{b_{esc} * H}$$

5.2.3.4 Desarenador

Son estructuras hidráulicas cuya función principal es sedimentar las partículas que de alguna forma logran pasar por el desripador, para ello se debe disminuir la velocidad de flujo dentro del desarenador aumentando la sección transversal de la cámara sedimentadora. El desarenador es muy importante en proyectos hidroeléctrico ya que las partículas arrastradas generan desgaste y son perjudiciales para las turbinas (Merino Poveda, 2019).

Según (OLADE, 1985), existen dos tipos de desarenadores: de lavado intermitente y de lavado continuo; esta clasificación está básicamente basada en función de los sedimentos que arrastra el desarenador y lava de forma continua. Para el proyecto de la central hidroeléctrica para la empresa “Perla Andina” se considera realizar el diseño de un desarenador de lavado intermitente dado que este tipo de desarenadores almacena los sedimentos y luego los expulsa.

El diseño de un desarenador de lavado intermitente contiene los siguientes elementos:

- Transición en la entrada
- Cámara Sedimentadora
- Canal de limpieza
- Esclusa de lavado y compuerta

Para el prediseño del desarenador se utiliza los siguientes datos (ver tabla 38).

Tabla 38

Información General para el diseño del desarenador

Ítem	Nombre	Símbolo	Opción 1	Opción 2	Unidad
1	Caudal de conducción	Q_{con}	6,20	4,20	m ³ /s
2	Caudal de diseño desarenador	$Q_{dis-desa}$	4,13	2,80	m ³ /s
3	Diámetro máximo de las partículas	d	0,25	0,25	mm
4	Espesor de las paredes	b_p	0,30	0,30	m
5	Número de cámaras	N	2,00	2,00	
6	Pendiente longitudinal desarenador	i_{desa}	0,03	0,03	m/m

Nota: Datos necesarios para el prediseño de un desarenador de lavado intermitente.
Fuente: Autores.

Para diseñar un desarenador se siguen los siguientes pasos:

- 1) Se determina el caudal de diseño consideran 2/3 de caudal de conducción para cada una de las alternativas propuestas:

$$Q_{dis-desa} = \frac{2}{3} * Q_c$$

- 2) Cálculo de la velocidad de flujo dentro del desarenador, se encuentra en función al diámetro de las partículas a decantarse, la velocidad se obtiene mediante la ecuación propuesta por Camp:

$$v = a * \sqrt{d}$$

Ecuación (55)

Donde:

v = Velocidad de flujo en el tanque desarenador en [m/s]

d = Diámetro de las partículas a decantarse en el desarenador [mm].

a = Constante en función del diámetro de las partículas

La constante a se obtiene en base a la siguiente tabla:

Tabla 39*Valores de la constante (a) para calcular velocidad de diseño (Vd)*

Constante (a)	Diámetro de las partículas d [mm]
51	< 0.1
44	0.1 a 1.0
36	> 1.0

Nota: Se presenta los valores del factor en función al diámetro de la partícula que se considera decantar en el desarenador. Fuente: (CEPIS, 2005).

- 3) Se determina el área del desarenador, y posteriormente se calcula el ancho y el calado del desarenador, asumiendo una relación entre el ancho y el calado de 1.5 a 2.0 mediante la siguiente ecuación:

$$A_d = \frac{Q_{dis-desa}}{Vd}$$

Ecuación (56)

Donde:

A_d = Área del desarenador en [m²].

Q_{dis-desa} = Caudal de diseño del desarenador en [m³/s].

Vd = Velocidad de diseño del desarenador en [m/s].

$$\frac{Bd}{hd} = [1.5 - 2.0]$$

Remplazando la relación entre el ancho y el calado del desarenador en la ecuación 56 se obtiene lo siguiente:

$$A_d = [1.5 - 2.0] * hd^2$$

- 4) Se determina la longitud del desarenador, para ello se considera un factor k de importancia de la obra el cual varía de 1.2 a 1.5. Para calcular la longitud del desarenador se aplica la siguiente ecuación:

$$L = \frac{k * hd * Vd}{Vs}$$

Ecuación (57)

Donde:

k = Es el factor de importancia de la obra.

hd = Calado del desarenador en [m].

Vd = Velocidad de diseño del desarenador en [m/s].

Vs = Velocidad de sedimentación de las partículas en [m/s].

- 5) Se determina el ancho total del desarenador mediante la siguiente ecuación:

$$Bt = 2Bd + 2bp$$

Ecuación (58)

Donde:

Bt = Ancho total del desarenador en [m].

Bd = Ancho del desarenador en [m].

bp = Ancho de la pared del desarenador en [m].

- 6) Cálculo del frente del vertedero de salida del desarenador, considerando que la carga de diseño del vertedero no exceda los 0.30m y que el coeficiente de descarga es igual a 1.8.

$$Q_{dis-desa} = Co * b_{vert-desa} * H^{3/2}$$

Ecuación (59)

Donde:

C_o = Coeficiente de descarga del vertedero de salida (Desarenador).

b_{vert-desa} = Ancho del frente del vertedero de salida en [m].

H = Carga de diseño de vertedero de salida en [m].

7) Obtención de la velocidad de flujo del desarenador en [m/s] mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q_{dis-desa}}{A} = \frac{Q_{dis-desa}}{b_{vert-desa} * H}$$

Ecuación (60)

8) Cálculo de la longitud de la transición y de longitud total del desarenador teniendo en cuenta dimensiones constructivas, considerando un ángulo de transición de 12.5°.

$$L_t = \frac{B_t - B'}{2 * \tan \alpha} \leq \frac{1}{3} * L_T$$

Ecuación (61)

Donde:

B_t = Ancho total del desarenador en [m].

B' = Ancho canal de limpieza en [m].

α = Ángulo de transición en [°].

L_T = Longitud total del desarenador en [m].

$$L_T = L_{t_{const}} + L_{const}$$

Ecuación (62)

9) Para diseñar el orificio del desarenador se procede a calcular los volúmenes de sedimentos y de agua limpia en el desarenador, para posteriormente determinar el tiempo de vaciado de la cámara desarenadora, se debe obtener

previamente la altura por encima del orificio (h_f), el calado inicial de la cámara desarenadora (h_i), y la altura de los sedimentos (h_s):

$$h_s = \frac{2}{3} * L_{const} * i_{desa}$$

$$h_i = h_d + h_s + \frac{h_o}{2} = h_f + 0,5h_o$$

$$V_d = B_d * L_{const} * h_d$$

Ecuación (63)

Donde:

V_d = Volumen de agua limpia en el desarenador en [m³].

h_d = Calado del desarenador en [m].

B_d = Ancho del desarenador en [m].

L_{const} = Longitud constructiva del desarenador en [m].

$$V_m = \frac{B_d * L_{const} * h_s}{2}$$

Ecuación (64)

Donde:

V_m = Volumen de sedimentos en [m³].

h_s = Altura de sedimentos en [m].

10) Se diseña el canal de limpieza asumiendo el ancho, y aplicando la ecuación de

Manning:

$$Q_{dis} = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * i_{canal-limp}^{1/2}$$

Ecuación (65)

5.2.3.5 Tanque de Carga

El tanque de carga es la obra hidráulica ubicada posteriormente al desarenador, y es responsable de actuar como un reservorio de agua para mantener presurizado el flujo del caudal que será conducido hacia la casa de máquinas, para su posterior paso por las turbinas las cuales permiten la generación hidroeléctrica deseada, hay que tomar en cuenta que este tanque de carga requiere de flujo constante para mantener su nivel máximo durante todo el tiempo de generación hidroeléctrica. En nivel máximo constante de agua debe ser suficiente para evitar el ingreso de aire indeseado a la tubería de conducción presurizada.

Para el prediseño del tanque de carga se utiliza la información de la tabla 40.

Tabla 40

Datos para el diseño del tanque de carga.

Ítem	Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal 80%	Q 80%	6,19	m ³ /s
2	Caudal 95%	Q95%	4,16	m ³ /s
3	Ancho del canal de acercamiento	bc	2.00	m
4	Velocidad de flujo del agua	v	2.00	m/s
5	Diámetro óptimo de la tubería	D	1,50	m
6	Velocidad de flujo en la tubería	v 80%	3,50	m/s
7	Velocidad de flujo en la tubería	v 95%	2,35	m/s
8	Pendiente del canal	i _c	0,02	m/m

Nota: Se observa todos los parámetros que se utiliza en el prediseño de un tanque de carga. Fuente: Autores

El diseño del tanque de carga se determina de acuerdo a lo siguiente:

1. La determinación de los parámetros de entrada al tanque de reserva, dado el ancho del canal de aproximación determino la profundidad del flujo mediante la ecuación de continuidad de flujo.

$$h = \frac{Q}{bc * v}$$

Ecuación (66)

Donde:

Q = Caudal al 80% o 95% de garantía en [m³/s].

v = Velocidad de flujo en [m/s].

bc = Ancho del canal de aproximación en [m].

2. La determinación de la altura de carga mínima, para evitar el ingreso de aire por medio de vórtices hacia la tubería de conducción se obtiene mediante las siguientes consideraciones:

En condiciones normales la velocidad en la tubería varía entre:

$$2 \frac{m}{s} = V = 8 \frac{m}{s}$$

Para evitar la formación de vórtices se debe cumplir que:

$$h_{min} > 0.5 D \left(\frac{V}{(2D)^{0.5}} \right)^{0.55}$$

Donde:

D= Diámetro de la tubería a presión en [m].

V= Velocidad dentro de la tubería a presión en [m/s].

h_{min}= Altura mínima en [m].

3. La determinación del volumen mínimo de diseño del tanque de presión para mantener la tubería presurizada y mantener la altura de carga mínima, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V_{min-req} = \frac{0.693 A * V_0^2}{i * g}$$

Ecuación (67)

Donde:

A = Sección transversal del canal en [m²].

i = Pendiente del canal en [m/m].

g = Aceleración de la gravedad en [m/s²].

V_o = Velocidad de flujo en el canal en [m/s].

4. Se requiere determinar las pérdidas de carga a la entrada de la rejilla, elemento responsable de mantener limpio el tanque de carga, para el diseño se requiere considerar el tipo de turbina para determinar el espaciamiento entre barrotes, de acuerdo a Sacolav para turbinas de hélice la separación estará entre 50mm y 200 mm, las pérdidas se obtienen mediante la siguiente ecuación:

Cálculo de la pérdida de entrada (Kirshmer):

$$hf = B \left(\frac{t}{s} \right)^{\frac{4}{3}} (V^2/2g) \sin A$$

Ecuación (68)

Donde:

t = grueso del barrote en [m].

s = separación entre barrotes en [m].

V = velocidad de acercamiento en [m/s].

B = Coeficiente de forma de sección transversal = 1.83

A = Angulo de entrada en [°].

5.2.3.6 Casa de máquinas

La casa de máquinas se ubica al final de la tubería de conducción donde llega todo el caudal de generación, la casa de máquinas es el sitio donde se adecua el espacio donde se contengan los equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos. En este espacio se

ubican las turbinas hidráulicas que conjuntamente con los generadores permiten la transformación de la energía potencial y cinética en energía eléctrica, además se ubican los controladores electrónicos de compuertas y válvulas, y sensores útiles para el funcionamiento de la planta eléctrica.

Es importante considerar en la ubicación de la casa de máquinas que, no puede situarse en sitios de inundación del río, la capacidad portante del suelo sobre el cual se pretende construir esta estructura este adecuado para soportar la carga necesaria, considerando además que las turbinas y generadores pueden provocar vibraciones que pueden afectar al desempeño de la estructura, es importante ubicar la casa de máquinas cercana al río ya que, se deberá entregar el caudal de generación nuevamente al río, por tanto, la dirección del cauce natural y la descarga del caudal deben estar coordinadas para no generar contraflujos ni erosiones innecesarias y nada deseables.

5.2.3.6.1 Turbina hidráulica

La turbina hidráulica es una turbo máquina ubicada al final de la conducción, dentro de la denominada casa de máquinas, que permite transformar la energía potencial y cinética del flujo del agua, en energía eléctrica, mediante, la rotación de un eje acoplado a un generador eléctrico, cabe mencionar que este método para obtener energía limpia es muy eficaz, ya que su eficiencia puede llegar incluso al 90%. Las turbinas hidráulicas se describen por sus partes que en general contienen una tubería de entrada, distribuidor, rodete, eje rotor y difusor o tubería de salida. Una vez determinados las variables hidrológicas, y topográficas, se tienen en claro que caudal se puede aprovechar para generación, en nuestro caso podremos aprovechar un caudal con el 80% de garantía de $6.19 \text{ m}^3/\text{s}$, o $4.16 \text{ m}^3/\text{s}$ para un 95%, para el caso de la implantación sobre la topografía, se utilizará la primera opción ya que tiene mayor caudal.

Calculando las pérdidas de carga, se logra determinar una altura de caída de agua de 5m, con estos datos primordiales se procede a elegir el tipo más apropiado de turbina para generación.

5.2.3.6.2 Tipos de turbina hidráulica

La clasificación preponderante separa a las turbinas según el grado de reacción, clasificándolas en turbina hidráulica de acción y turbina hidráulica de reacción diferenciándolas por el modo de transformar la energía contenida en el flujo del agua, en las turbinas de acción la presión permanece constante en todo el rodete, por lo tanto, la presión que el rodete absorbe es igual a cero, en consecuencia, el grado de reacción de estas turbinas es nulo.

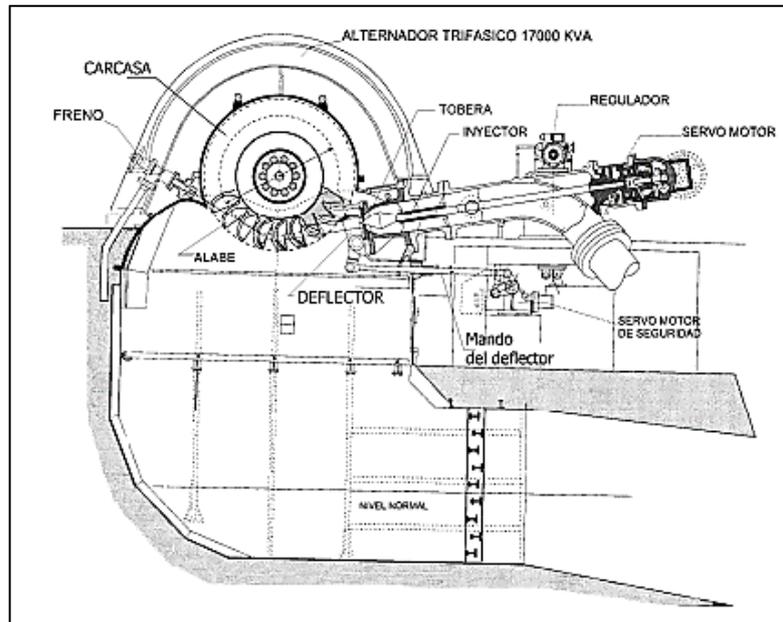
5.2.3.6.3.1 Turbina hidráulica de acción.

A esta clasificación pertenecen las turbinas Pelton, Turgo, y Banki como las más representativas. Esta turbomáquina funciona por medio de la acción de chorros de agua a altas velocidades, estos chorros de agua se logran gracias a la conducción del agua a través de tubos con diámetros pequeños acelerando el flujo hasta alcanzar una velocidad máxima, que será expulsado mediante una tobera, direccionado a mover un alabe anclado a un rotor, y así generando movimiento circular constante.

Se puede observar las partes principales de una turbina Pelton en la figura 63.

Figura 63

Partes principales de una turbina Pelton de eje horizontal

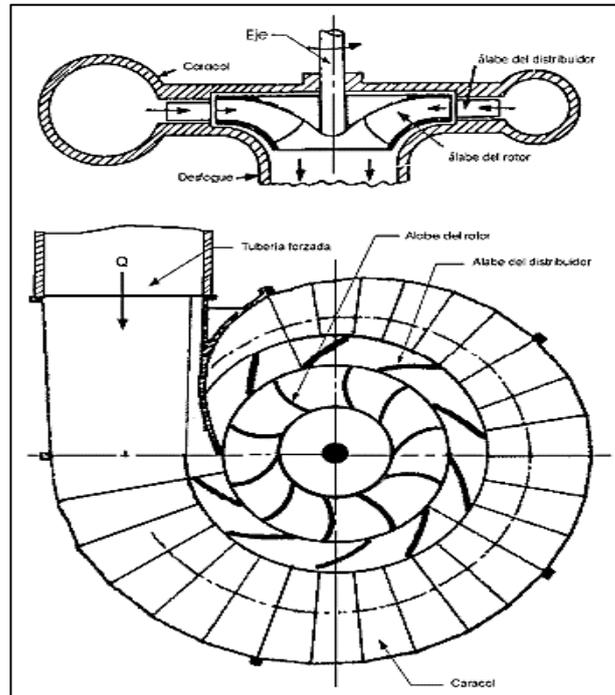


Nota: Se presenta los componentes internos de una turbina Pelton. Fuente: (Gardea Villegas, 1992).

5.2.3.6.3.2 Turbina hidráulica de reacción

Esta turbo máquina funciona mediante el ingreso del flujo por un conducto de alimentación en forma espiral, conocido como caracol, este flujo es dirigido mediante álabes hacia el rodete móvil, con la ayuda del distribuidor, que regula el caudal dependiendo de la potencia que se pretende entregar. A partir de la entrada del flujo al caracol la presión del fluido disminuye mientras que la velocidad aumenta a lo largo de los álabes fijos y los álabes móviles del rodete, por tanto la velocidad relativa no es constante, mientras que el flujo viaja por el interior del rodete reduce su momento angular generando un momento torsión al rodete lo que hace girar al eje, una vez el flujo abandona el rodete por el tubo difusor que lo conduce hacia el canal de desagüe llegando a una presión igual a la atmosférica. Estas turbinas pueden contar con el eje en sentido vertical, generalmente usados en centrales grandes o medianas, o a su vez pueden contar con un eje horizontal utilizado en pequeñas centrales (ver figura 64).

Figura 64
Turbina de reacción de eje vertical



Nota: Componentes de una turbina de reacción entrada de caracol. Fuente: (Gardea Villegas, 1992).

CAPÍTULO VI

ELABORACIÓN DE PRESUPUESTO Y CRONOGRAMAS

En este capítulo consiste en obtener un documento que detalle el precio de la construcción del proyecto antes de iniciarlo, para ello se realizará el presupuesto de obra con costos reales y actualizados utilizando análisis de precios unitarios (APU) de cada uno de los rubros del plan.

6.1 Presupuesto referencial de la obra

El presupuesto del proyecto: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, AÑO 2022, tomando en cuenta el diseño definitivo y sin considerar IVA es de: 2' 443.900,19 dos millones cuatrocientos cuarenta y tres mil novecientos dólares y 19/100 centavos.

A continuación, se desglosa el presupuesto por cada obra diseñada (ver tabla 41).

Tabla 41

Presupuesto de las obras consideradas en el proyecto

Ítem	Descripción	Precio total
1	Obras Preliminares	\$ 5.849,83
2	Movimientos de Tierras	\$ 215.183,12
3	Obras de Captación	\$ 474.883,62
4	Obras de derivación y protección (Desripador y Desarenador)	\$ 1.163.475,23
5	Tanque de carga	\$ 54.104,57
6	Tubería de Conducción	\$ 9.996,40
7	Acero de refuerzo estructural Fy=4200 kg/cm ²	\$ 390.365,37
8	Obras Arquitectónicas	\$ 52.360,00
TOTAL =		\$ 2.366.218,14

Nota: Se presenta el precio de las obras diseñadas para la construcción de la central hidroeléctrica en el río Toachi. Fuente: Autores.

El resumen del presupuesto referencial se encuentra de manera más detallada en los anexos de esta disertación (ver anexo Nro. 24).

Cabe mencionar que originalmente se consideró dos alternativas, las cuales sus obras se encuentran predimensionadas en el capítulo V, correspondiente al prediseño de los elementos que conforman la central hidroeléctrica para ambas alternativas, sin embargo al diseñar la segunda alternativa con un caudal de conducción igual a $Q_{\text{conduccion-95\%}} = 4.2 \text{ m}^3/\text{s}$ se tiene una altura de caída muy pequeña para generar la potencia requerida por los usuarios, por lo tanto, no se tomó en cuenta realizar el presupuesto de esta opción, sino el diseño definitivo para realizar la cotización del proyecto.

6.2 Cronogramas

Un cronograma es una forma de programar las actividades que se va a realizar, en el caso de este proyecto sirve para el control y desarrollo de cada uno de los rubros, con la finalidad de construir el proyecto de la manera más eficiente.

6.2.1 Cronograma de actividades

Consiste en detallar los tiempos en que se desarrollará cada actividad del proyecto, para ejecutar la construcción de la obra se estimó un periodo de un año, es decir, alrededor de 48 semanas laborables, desde el inicio hasta el final de la obra (ver anexo Nro. 25).

6.2.2 Cronograma Valorado

En este cronograma se encuentra detallado como se van cumpliendo los tiempos del proyecto en base al presupuesto obtenido anteriormente, mostrando el flujo económico o el capital que será necesario en determinado tiempo.

Así mismo un cronograma valorado se utiliza para el control del proyecto, cuando el cronograma de obra está bien llevado el porcentaje del flujo económico coincide con el porcentaje de actividades realizadas (Andrade D. , 2021).

El cronograma de actividades y valorado se puede se presentan en el anexo Nro.

26.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LAS ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

El presente capítulo de esta disertación tiene como objetivo principal realizar un estudio financiero de este proyecto, el cual consiste en cuantificar el monto de las inversiones que se necesitan para que la obra se construya y entre en operación.

Es por eso que resulta importante definir los ingresos y egresos, es decir, que se analiza el proyecto tomando en cuenta los costos de construcción, operación y mantenimiento de la obra, a su vez también se debe considerar los ingresos que produce.

7.1 Evaluación Económica y Financiera de cada alternativa del proyecto

La finalidad de la evaluación financiera de este proyecto hidroeléctrico es determinar la rentabilidad y viabilidad del mismo.

Dentro del análisis de factibilidad de inversión del proyecto existen dos parámetros que se deben considerar como:

- El Flujo de caja anual
- Rentabilidad financiera

El Flujo de caja se obtiene sumando los ingresos y restando los egresos para determinar el ingreso actual neto considerando disminuir el costo de financiamiento, es decir, el capital. Este parámetro indica si el proyecto está en la capacidad de generar ingresos para cubrir los costos de operación, mantenimiento y cubrir el financiamiento.

La Rentabilidad financiera toma todos los resultados arrojados en los años de estudio y los transporta a una sola cifra, esta evaluación se verifica en los índices (VAN) y (TIR).

7.1.1 Costos de Operación y Mantenimiento

Son aquellos que necesita el proyecto para su eficiente funcionamiento, para este caso se analizado obras similares de pequeñas centrales hidroeléctricas.

Según (Loachamín Larrága & Reinoso Acurio, 2020), los costos de operación y mantenimiento se obtienen de calcular un porcentaje del costo total de la obra. Esto se realiza en base a la experiencia como ingenieros civiles para fundamentar con criterio dichos valores (ver tabla 42).

Tabla 42

Porcentajes de Gastos en Operación y Mantenimiento

Ítem	Descripción	Valor
1	Costos de mantenimiento y reparación anual de la central hidroeléctrica	2% de la tarifa por cada kW instalado (¢USD/kWh)
2	Costos de operación Anual	1% de la tarifa por cada kW instalado (¢USD/kWh)
3	Administración	0.5% de la tarifa por cada kW instalado (¢USD/kWh)
TOTAL, GASTOS ANUALES =		3.5% de la tarifa por cada kW instalado (¢USD/kWh)

Nota: Se muestra los costos de operación y mantenimiento del proyecto. Fuente: Valdiviezo, 2017, Tomado de Loachamín Larrága & Reinoso Acurio, 2020, pp-178.

7.1.2 Beneficios por venta de energía

Según (Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), 2022), la tarifa para la generación de energía es 0.092 USD/kWh y mediante la resolución de ARCERNNR-009/2022 del 14 de abril, se determinó que la tarifa nacional promedio del servicio eléctrico se mantiene en el año 2022.

Para establecer cuantos son los ingresos por venta de energía de la central hidroeléctrica se debe calcular la energía que genera la turbina Kaplan obtenida en 8.2.3.6.3 Elección de la turbina.

La energía generada se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E = P * t$$

Ecuación (69)

Donde:

E = Energía Generada Anualmente por la central hidroeléctrica en [kWh]

P = Potencia Instalada de la Central hidroeléctrica en [kW]

t = Tiempo en horas.

Para determinar la energía producida anualmente es importante mencionar que el diseño de la central hidroeléctrica se la hizo considerando el caudal con probabilidad de excedencia del 80%, es decir, $Q_{80\%}$, por lo tanto, la planta operará durante 10 meses al año y los 2 restantes se realizará limpieza y mantenimiento de las obras. Es entonces que el tiempo en horas será igual a 7200h.

$$E = 250 * 7200 = 1'800.000 kWh$$

Los beneficios por venta de energía se calculan con la ecuación siguiente:

$$B_{v-energía} = E * C$$

Ecuación (70)

Donde:

B_{v-energía} = Beneficios por venta de energía en [USD].

E = Energía generada en [kWh].

C = Tarifa para la generación de energía en [USD/kWh].

$$B_{v-energía} = 1'800.000 kWh * 0.092 \frac{USD}{kWh}$$

$$B_{v-energía} = 165.600 USD$$

Se resume el cálculo de los ingresos por venta de energía en la tabla 43.

Tabla 43

Ingresos por venta de energía y sus parámetros

Ítem	Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
1	Potencia Instalada	P	250,0	kW
2	Energía Generada	E	1800000	kWh
3	Horas de trabajo Anualmente	t	7200	H
4	Tarifa de venta de energía	C	0,092	USD/kWh
5	Ingresos Anuales	B _{v-energía}	\$165.600,00	USD

Nota: Se muestra los parámetros determinados al encontrar los beneficios que genera la construcción de energía. Fuente: Autores.

En cuanto a los gastos generados por la central hidroeléctrica diseñada son (ver tabla 44).

Tabla 44

Egresos de la central hidroeléctrica

Egresos	Anual	% de tarifa
Mantenimiento y reparación anual	3.312,00	2% de la tarifa
Costos de operación	1.656,00	1% de la tarifa
Administración	828,00	0,5% de la tarifa
Total, egresos =	5.796,00	3,5% de la tarifa

Nota: Se muestra todos los egresos generados anualmente por el proyecto. Fuente: Autores.

Como se señaló en el marco teórico los índices para la evaluación financiera son el (VAN), (TIR) y el factor beneficio costo (B/C).

7.1.3 Análisis del Valor Actual Neto (V.A.N)

Para la evaluación del VAN se considera los siguientes aspectos:

- ❖ Si el $VAN > 0$ es mayor que cero, la inversión genera ganancias, se acepta el proyecto.
- ❖ Si el $VAN < 0$ es menor que cero, la inversión genera pérdidas, se rechaza el proyecto.

- ❖ Si el VAN = 0 es igual a cero, la inversión no produce pérdidas ni ganancias, es indiferente.

7.1.4 Análisis de la Tasa Interna de Retorno (T.I.R)

Los criterios para evaluar el TIR en un proyecto son los siguientes:

- ❖ Si el TIR $> \rho$ es mayor que la tasa de interés mínima, la inversión es rentable, se acepta el proyecto.
- ❖ Si el TIR $< \rho$ es menor que la tasa de interés mínima, la inversión no tiene rentabilidad, se debe rechazar el proyecto.
- ❖ Si el TIR = ρ es igual que la tasa de interés mínima, el proyecto es indiferente.

7.1.5 Análisis del costo beneficio (B/C)

Los criterios para evaluar el índice beneficio-costo (B/C) son los siguientes:

- ❖ Si el B/C > 1 , existe rentabilidad, el proyecto se acepta.
- ❖ Si el B/C < 1 , no existe rentabilidad, el proyecto se rechaza.
- ❖ Si el B/C = 1, el proyecto es indiferente

Se considera una vida útil del proyecto de 30 años, con una depreciación del 5% anual. El flujo de caja considerando la evaluación financiera sin proyecto y con proyecto (ver anexos Nro. 27 y 28).

Tabla 45*Indicadores de viabilidad Financiera del Proyecto*

Indicadores Económicos	Unidad	Sin Financiamiento	Con Financiamiento
Inversión Inicial	USD	2.366.218,14	2.366.218,14
Tasa de descuento	%	3,0	3,0
Valor Actual Neto (VAN)	USD	2.493.459,67	847.868,05
Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	3,4	9,0
Índice Costo/Beneficio (B/C)		1,1	1,79
Recuperación de la inversión	años	27,0	12,0

Nota: Se presenta el resumen de resultados de los indicadores financieros; Fuente: Autores.

De la tabla 45 se puede concluir que los indicadores financieros, como el VAN, TIR, e índice B/C muestran una rentabilidad en cuanto a la ejecución del proyecto.

En la tabla 46 se puede evidenciar la sensibilidad del flujo económico que tiene la obra.

Tabla 46*Indicadores de sensibilidad del Flujo económico del Proyecto en el río Toachi*

Variación	Inversión	VAN	B/C	TIR
-4,0%	\$2.318.893,78	\$5.310.750,45	2,22	3,30%
-3,0%	\$2.295.231,60	\$5.267.527,20	1,23	16%
-2,0%	\$2.318.893,78	\$3.170.658,07	6,62	15%
-1,0%	\$2.342.555,96	\$2.450.850,47	5,06	14%
0,0%	\$2.366.218,14	\$3.837.377,05	1,57	3%
1,0%	\$2.389.880,32	\$1.429.348,34	2,90	11%
2,0%	\$2.413.542,50	\$1.065.219,36	2,14	9%
3,0%	\$2.437.204,68	\$ 769.452,80	1,53	7%
4,0%	\$2.460.866,87	\$ 614.404,86	1,04	4%

Nota: Se presenta la variación que existe en el flujo de caja, tomando en cuenta la inversión inicial y la tasa de descuento; Fuente: Autores

CAPÍTULO VIII

DISEÑO DEFINITIVO DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE.

En este capítulo se realiza el diseño definitivo de la alternativa más favorable, anteriormente se menciona dos opciones de generación hidroeléctrica en esta disertación. Por tanto, se evalúa los prediseños del capítulo V, se determina que el diseño final definitivo es con la alternativa más eficiente en este caso es la del caudal de diseño de 80% de probabilidad de excedencia con $Q_{80\%}=8.2 \text{ m}^3/\text{s}$, dado que para el caudal con nivel de garantía de 95% es menor y a su vez la altura de caída es pequeña para generar la potencia instalada de 174kW que demandan los usuarios.

Para el diseño definitivo se utilizan dimensiones constructivas, cuya finalidad es la optimización de las estructuras que conforman la central hidroeléctrica.

8.1.1 Metodología

Empleando la investigación aplicada y los estudios propuestos, se utiliza el prediseño de las obras hidráulicas que conforman la central hidroeléctrica para la opción más eficiente que se predimensiona en el capítulo V de esta disertación.

8.1.1.1 Resumen de predimensionamientos de los elementos que conforman la central hidroeléctrica

Previo al diseño definitivo se realiza el resumen de todos los prediseños de las obras hidráulicas de:

- Derivación y captación
- Conducción
- Protección

Mismos que se encuentra resumidos en las siguientes tablas de resumen:

8.1.1.1.1 Obras de derivación

El prediseño del azud se realiza considerando 2/3 del caudal máximo de 133.4 m³/s, a su vez se estima la altura del azud es de 5m y el ancho del río de 36.5m, posteriormente se calculan diferentes parámetros durante el predimensionamiento (ver tabla 47).

Tabla 47

Resumen del prediseño de un azud vertedero tipo Creager

Parámetros obtenidos en el prediseño del azud vertedero		
Caudal de diseño (Qd) =	88.93	m ³ /s
Caudal unitario de diseño (qd) =	2.44	m ² /s
Coeficiente de descarga vertedero (Co) =	2.18	
Carga (H) =	1.09	m
Carga de diseño (Ho) =	1.10	m
Altura de la Presa (P) =	5.0	m
Altura del dentellón (Hdent) =	3.0	m
Ancho del río (Brio) =	36.5	m
Carga de velocidad de acercamiento (ho) =	0.010	m
Factor para determinar perfil Creager (n azud) =	1.865	
Factor para determinar perfil Creager (k azud) =	0.5	
Radio de curvatura aguas arriba en la cresta del azud (R1/Ho) =	0.525	
Radio de curvatura aguas arriba en la cresta del azud (R2/Ho) =	0.23	
Radio de curvatura aguas arriba en la cresta del azud (R2-R1)/Ho =	0.295	
Coordenadas (Xc/Ho) =	0.28	
Coordenadas (Yc/Ho) =	0.125	
Energía específica de sección (E1) =	6.1	m
Energía específica de sección (Eo) =	6.11	m
Velocidad de diseño (Vo) =	0.4	m/s
Velocidad contraída (Vc) =	10.15	m/s
Profundidad contraída (yc) =	0.24	m
Radio curvatura aguas abajo del perfil Creager =	3.67	m
Espesor losa de cimentación (d) =	0.75	m

Nota: Valores de todos los parámetros obtenidos en el prediseño del azud vertedero Creager. Fuente: Autores.

Para este proyecto se propone la utilización de una captación lateral, esta rejilla es predimensionada en el capítulo V, se hace prediseño para cada una de las alternativas propuestas, obteniendo dimensiones y demás parámetros resumidos en la tabla 48.

Tabla 48

Resumen de prediseño de Rejilla Lateral

Parámetros obtenidos del prediseño de la rejilla			
Caudal de diseño Q_{80} =	6.16	m^3/s	
Caudal de diseño Q_{95} =	8.19	m^3/s	
Caudal medio mensual (Q_{med})=	18.62	m^3/s	
Caudal ecológico (Q_{eco}) =	1.86	m^3/s	
Longitud del vertedero Creager (L_a) =	10.00	m	
coeficiente de pérdidas de la rejilla $k = [0.7 \text{ a } 0.95]$ =	0.85		
Altura del paramento aguas arriba del azud (P)=	5.00	m	
Altura de la rejilla, Valor asumido (H_r) =	1.20	m	
Longitud de la rejilla para Q_{80} (L_r)=	7.24	m	
Longitud de la rejilla para Q_{95} (L_r)=	5.18	m	
Carga dinámica de la rejilla, asumido (z)=	0.10	m	
Ancho del río Toachi, sitio de estudio (B_{rio}) =	36.50	m	
Carga de diseño del azud vertedero (H_o) =	1.10	m	

Nota: Valores obtenidos en el prediseño de la captación lateral con rejilla. Fuente: Autores.

El prediseño del vertedero de pared gruesa se realiza tomando en cuenta que debe asegurar el caudal de uso actual o ecológico para cualquiera de las dos alternativas propuestas anteriormente. Los resultados del predimensionamiento del vertedero de pared gruesa para cada una de las opciones se encuentran en la tabla 49.

Tabla 49

Resumen de prediseño de Vertedero Pared Gruesa

Ítem	Nombre	Símbolo	Altern.1	Altern.2	Unidad
1	Caudal de diseño vertedero	Q_{dis}	6.20	4.20	m^3/s
2	Coeficiente de velocidad	k	0.95	0.95	
3	Altura del paramento aguas arriba	H	4.6	4.6	m
4	Gravedad	g	9.81	9.81	m/s^2
5	Ancho del vertedero pared ancha	B	13.00	9.00	m
6	Carga de diseño del vertedero	h	0.427	0.33	m

Nota: Valores de parámetros determinados durante el prediseño del vertedero de pared gruesa. Fuente: Autores.

Para el predimensionamiento del desripiador se utiliza el caudal de diseño de la rejilla lateral para cada una de las alternativas establecidas, puesto que esta obra se coloca después de la rejilla, se considera el diámetro de las partículas que se requieren decantar en el caso de centrales hidroeléctricas es de $d = 0.5\text{mm}$. Durante el prediseño se obtiene distintos parámetros que se encuentra resumidos en la tabla 50.

Tabla 50
Resumen de prediseño de Desripiador

Ítem	Nombre	Símbolo	Altern.1	Altern.2	Unidad
1	Caudal de diseño	$Q_{\text{dis-rej}}$	6,20	4,20	m^3/s
2	Ancho del desarenador	B_{des}	11,0	9,00	m
3	Pendiente desripiador	i_d	0,03	0,03	m/m
4	Velocidad de sedimentación	V_s	0,027	0,027	m/s
5	Diámetro máximo de las partículas	d_p	0,25	0,25	mm
6	Ancho del canal de limpieza	$b_{\text{desr-limp}}$	2,00	2,00	m
7	Coefficiente rugosidad de Manning	n_{horn}	0,015	0,015	
8	Pendiente desripiador	i_d	0,03	0,03	m/m
9	Volumen cámara desripiador	V_t	868,56	473,63	m^3
10	Ancho del desarenador	B_{des}	11,0	9,00	m
11	Coefficiente de descarga orificio	C_d	0,60	0,60	
12	Calado por encima del orificio	h_{norif}	2,310	2,013	m
13	Base del orificio canal	$b_{\text{desr-limp}}$	2,00	2,00	m
14	Altura orificio (apertura compuerta)	$h_{d\text{-comp-limp}}$	1,00	1,00	m
15	Caudal a evacuar	$Q_{\text{dis-lavado}}$	3,51	5,28	m^3/s
16	Ancho del canal de limpieza	$b_{\text{desr-limp}}$	2,00	2,00	m
17	Coefficiente rugosidad de Manning	n_{horn}	0,02	0,02	0,00
18	Pendiente canal desripiador	i_{desr}	0,03	0,03	m/m
19	Densidad del líquido	d	1000,00	1000,00	kg/m^3
20	Calado en el canal	$h_{n\text{-limp}}$	0,37	0,48	m
21	Esfuerzo cortante crítico	t_o	8,04	9,77	kg/m^2
22			1,64	2,00	lb/ft^2
23	Diámetro de partículas que entran en el desripiador	d_{desr}	0,50	0,50	mm
24	Diámetro de partículas que son removidas con esfuerzo cortante	$d_{\text{esf-cort}}$	70,00	100,00	mm

Nota: Valores de parámetros obtenidos en el prediseño del desripiador. Fuente: Autores

8.1.1.1.2 Obras de conducción

Estas obras conducen el agua a presión desde el tanque de carga hasta la casa de máquinas donde están ubicadas las turbinas. Se realiza el prediseño de 140 metros de tubería, a continuación, se indica los resultados de los parámetros y dimensiones de la sección transversal de la tubería de conducción (ver tabla 51).

Tabla 51

Resumen del prediseño de la tubería de conducción

Ítem	Nombre	Símbolo	Altern.1	Altern.2	Unidad
1	Caudal de diseño tubería	Q_{dis-t}	6.2	4.2	m ³ /s
2	Densidad del agua	ρ	1000	1000	kg/m ³
3	Viscosidad del agua	μ	0.001005	0.001005	Pa*s
4	Rugosidad Absoluta	ε	0.0000015	0.0000015	m
5	Longitud de tubería	L	118.357	118.357	m
6	Diámetro Óptimo	D	1.43	1.21	m
7	Velocidad de flujo	V	3.508	3.713	m/s
8	Número de Reynolds	Re	5236540.75	4434167.57	
9	Factor de fricción de Darcy	f	0.00910581	0.00928388	
10	Pérdidas por fricción	hf	0.44950976	0.66712592	m
11	Potencia generada	N	235.30	152.6	kW

Nota: Valores de todos los parámetros obtenidos en el prediseño de la tubería de conducción. Fuente: Autores.

8.1.1.1.3 Obras de protección

El prediseño de las obras de protección abarca el dimensionamiento del estanque de amortiguamiento o cuenco disipador de energía, enrocado de protección teniendo en cuenta el caudal máximo de crecida del azud vertedero.

Para predimensionar el estanque de amortiguamiento se realiza cálculos previos obteniendo el número de Froude (Fr), para determinar el tipo de cuenco USBR que se requiere para disipar la energía, se obtienen varios parámetros y dimensiones mismos que se encuentran resumidos en la tabla 52.

Tabla 52*Resumen de prediseño de Cuenco dissipador de energía*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud del cuenco	Lc	10,00	m
2	Profundidad del cuenco	e	1,50	m
3	Velocidad contraída	Vc	10,15	m
4	Profundidad contraída	d1	0,24	m
5	Profundidad conjugada	d2	2,20	m
6	Espesor de la losa del cuenco	δ	0,80	m
7	Número de Froude	Fr	6,61	
8	Longitud del resalto	LR	9,62	m
9	Altura normal del río	Yn	1,09	m

Nota: Valores de los parámetros calculados en el diseño del estanque de amortiguación o cuenco dissipador de energía. Fuente: Autores.

El enrocado de protección se predimensiona tomando en cuenta el ancho del río de 36.5m el caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años y la altura normal del río, a partir de eso se obtiene la velocidad la cual sirve para que por medio de ábacos determinar el diámetro medio de las rocas que se utiliza en el enrocado. Se realiza varios cálculos de diferentes parámetros y dimensiones del enrocado que se encuentran resumidos en la tabla 53.

Tabla 53*Resumen de prediseño de enrocado*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del río Toachi	Brio	36,5	m
2	Caudal máximo (Periodo de 100 años)	Qmáx	133,4	m ³ /s
3	Calado de entrada del enrocado	Yn	1,09	m
4	Altura del enrocado	d _{enroca}	1,00	m
5	Longitud del enrocado	L _{enroca}	4,00	m
6	Profundidad aguas abajo del cuenco	ds	2,09	m
7	Calado normal del río	ho	1,09	m
8	Diámetro medio de las partículas lecho del río	dm	0,5	m
9	Caudal unitario de diseño	q	2,437	m ² /s

Nota: Valores de parámetros determinados durante el prediseño del enrocado. Fuente: Autores.

La escalera de protección piscícola es importante para que las especies de peces puedan cruzar un obstáculo como es el caso de este proyecto un azud vertedero, esta escalera se predimensiona asumiendo un ancho de 1m para el canal artificial, posteriormente se calculan varios parámetros y dimensiones de la escalera de peces los cuales se encuentra resumidos en la tabla 54.

Tabla 54

Resumen de prediseño de Escalera de peces

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de conducción	Q_{con}	2,00	m^3/s
2	Caudal de diseño	Q_{d-esc}	0,2	m^3/s
3	Desnivel entre el fondo de escalones	H_{esc}	1	m
4	Base del escalón	b_{esc}	1	m
5	Gravedad	g	9,81	m/s^2
6	Altura del dentellón a la salida del escalón	h_{salida}	0,5	m
7	Coefficiente rugosidad de Manning	n_{horm}	0,015	
8	Pendiente de la escalera de peces	i_{esc}	0,001	m/m
9	Espesor de la pared	e_p	0,2	m
10	Calado crítico escalera de peces	Y_{c-esc}	0,16	m
11	Calado normal escalera de peces	Y_n	0,3	m
12	Carga vertedero pared gruesa	H	0,21	m
13	Colchón de agua	Y_{c-agua}	0,35	m
14	Calado contraído	Y_1	0,07	m
15	Calado Conjugado	Y_2	0,4	m
16	Longitud del chorro de salida de la cubeta	L_A	1,1	m
17	Longitud restante de la cubeta	L_B	0,2	m
18	Longitud total del escalón	L_T	1,3	m
19	Energía Total aguas arriba	E_{T0}	1,6	m
20	Energía Total aguas abajo	E_{T2}	0,4	m
21	Coefficiente de descarga Cubeta	μ	0,8	
22	Coefficiente de reducción	ε_1	0,9	

Nota: Valores de parámetros determinados durante el diseño de la escalera de protección piscícola. Fuente: Autores.

Para asegurar el funcionamiento de la escalera de peces existen condiciones que se deben cumplir (ver tabla 55).

Las condiciones de la tabla 55 se encuentran resumidas en el capítulo V, sección

5.2.3.3 Prediseño de escalera de peces en la presente disertación

Tabla 55

Condiciones de funcionamiento de la escalera de peces

Ítem	Condiciones	Símbolo	Valor	Evaluación
1	$0.15 < y_{c-esc}/H_{esc} < 0.93$	y_{c-esc}/H_{esc}	0,2	OK
2	$H_{esc}/y_{c-esc} < 15$	H_{esc}/y_{c-esc}	5,0	OK
3	$b_{esc}/y_{c-esc} > 1.5$	b_{esc}/y_{c-esc}	6,3	OK

Nota: Se presenta la evaluación de las condiciones de funcionamiento de la escalera de peces. Fuente: Autores.

El predimensionamiento de las obras de protección como el desarenador y tanque de carga en este caso si se utiliza el caudal de generación hidroeléctrica para cada alternativa propuesta.

Para prediseñar el desarenador se toma en cuenta el diámetro de la partícula que se requiere decantar, la velocidad de diseño y de sedimentación de las partículas, así mismo se considera dimensionar un desarenador con dos cámaras de sedimentación de lavado intermitente. Durante el prediseño de esta obra se determina varias dimensiones y parámetros (ver tabla 56).

Tabla 56*Resumen de prediseño del desarenador*

Ítem	Nombre	Símbolo	Alt.1	Alt.2	Unidad
1	Caudal de conducción	Q_{con}	6,20	4,20	m^3/s
2	Caudal de diseño desarenador	$Q_{dis-desa}$	4,13	2,80	m
3	Velocidad Horizontal de la partícula	V_d	0,25	0,25	m/s
4	Velocidad de sedimentación de la partícula	V_s	2,70	2,70	cm/s
		V_s	0,027	0,027	m
6	Diámetro máximo de las partículas	d	0,25	0,25	mm
7	Espesor de las paredes	b_p	0,30	0,30	m
8	Número de cámaras	N	2,00	2,00	
9	Pendiente longitudinal desarenador	i_{desa}	0,03	0,03	m/m
10	Área del desarenador	A_d	16,53	11,20	m^2
11	Calado del desarenador	h_d	3,32	2,73	m
12	Ancho del desarenador	B_d	4,98	4,10	m
13	Longitud del desarenador	L_{desa}	43,04	35,40	m
14	Número de cámaras	N	2,00	2,00	
15	Ancho total de desarenador	B_t	11,00	9,00	m
16	Espesor de las paredes	b_p	0,30	0,30	m
17	Longitud del desarenador	L_{const}	43,00	36,00	m
18	Frente de vertedero (desarenador)	$b_{vert-desa}$	13,97	10,00	m
19	Longitud de la transición	L_t	20,00	15,00	m
20	Longitud Total (desarenador)	L_T	63	51	m
21	Velocidad del vertedero desarenador	V	0,986	0,933	m/s
22	Altura del orificio	h_o	1,00	1,00	m
23	Ancho del orificio	b_o	1,00	1,00	m
24	Altura por encima del orificio	h_f	4,18	3,45	m
25	Altura de sedimentos	h_s	0,86	0,72	m
26	Calado inicial de la cámara	h_i	4,68	3,95	m
27	Volumen de agua limpia	V_d	710,93	403,20	m^3
28	Volumen de sedimentos	V_m	92,08	53,12	m^3
29	Volumen Total	V_T	803,01	456,32	m^3
30	Longitud canal de limpieza	$L_{canal-limp}$	14,47	10,50	m
31	Ancho canal limpieza	$b_{canal-limp}$	1,00	1,00	m
32	Velocidad de flujo	V_n	5,94	4,73	m/s
33	Calado canal limpieza	y_n	1,04	0,77	m

Nota: Se presentan los valores de todos los parámetros obtenidos durante el prediseño del desarenador. Fuente: Autores

El Tanque de carga se constituye de un vertedero de excedentes, canal de limpieza y una rejilla de entrada para evitar que los posibles sedimentos se acumulen y lleguen a las turbinas. Este tanque genera un volumen de reserva de agua para el inicio de operaciones y para la correcta continuidad de las mismas, evitando el ingreso de burbujas de aire que son perjudiciales para el turbinado. Las dimensiones y demás características se encuentran resumidas en la tabla 57.

Tabla 57
Resumen de prediseño de Tanque de carga

Ítem	Nombre	Símbolo	Alt.1	Alt.2	Unidad
1	Caudal de diseño del tanque	Q_{dis-t}	6,2	4,2	m ³ /s
2	Ancho del canal de acercamiento	bc	2	2	m
3	Velocidad de flujo del agua	v	2	2	m/s
4	Diámetro óptimo de la tubería	D	1,5	1,2	m
5	Velocidad de flujo en la tubería	V_{tub}	3,51	3,71	m/s
6	Pendiente del canal	i_{canal}	0,02	0,02	m/m
7	Profundidad del canal de conducción	hc	1,55	1,05	m
8	Altura mínima de presión	hmin	1,11	1,14	m
9	Volumen mínimo de reserva	$V_{min-req}$	134,90	102,09	m ³
10	Coeficiente de forma sección transversal	B	1,83	1,83	
11	Espesor del barrote de la rejilla	t	8	8	mm
12	Separación entre barros	s	100	100	mm
13	Velocidad de acercamiento	V_a	2	2	m/s
14	Ángulo de entrada en la rejilla	A	50	50	°
15	Ancho del tanque	Bt	6,20	5,00	m
16	Altura del tanque	Ht	3,50	4,00	m
17	Pérdidas por fricción	hf	0,00985	0,00985	m
18	Longitud del tanque de carga	Lt	6,20	5,00	m

Nota: Se presenta los valores de parámetros del tanque de carga obtenidos previo al diseño definitivo. Fuente: Autores.

Todos los detalles del cálculo, ecuaciones utilizadas, se encuentran especificados paso a paso en el capítulo V, sección 5.2 correspondiente al prediseño de los elementos que conforman la central hidroeléctrica para las dos alternativas.

8.1.1.2 Cálculo de coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad es un parámetro que indica la resistencia de un flujo que tiene un vertedero, además influyen en el comportamiento del modelo hidráulico y su capacidad de transporte en base a la sección transversal del canal representando la rugosidad que presenta un cauce (CHOW, 2004) , El coeficiente de rugosidad de Manning se determina en el sitio de captación del río en el fondo del cauce.

Para calcular este coeficiente a partir del reconocimiento de varios factores primordiales que afecten la rugosidad del cauce, planteando la ecuación propuesta por Cowan (CHOW, 2004) , proponiendo lo siguiente:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Ecuación (71)

Donde:

n₀ = Valor básico para un canal recto, uniforme y liso.

n₁ = Valor para corregir el efecto de las rugosidades superficiales

n₂ = Valor de variaciones de tamaño y forma, de sección transversal del canal.

n₃ = Valor de las obstrucciones del canal.

n₄ = Valor de la vegetación y condiciones de flujo del canal

m₅ = Factor de corrección por efectos de meandros o sinuosidades en el canal.

Los valores **n₁**, **n₂**, **n₃**, **n₄**, y **m₅**, se los obtiene de la figura 65.

Figura 65*Valores para cálculo de coeficiente de rugosidad*

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Nota: Se indica diferentes condiciones del canal para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning. Fuente: (CHOW, 2004).

Tomando en cuenta las condiciones del canal y su descripción se determina el coeficiente de rugosidad de Manning (ver tabla 58).

Tabla 58*Tabla de resumen coeficiente de rugosidad de Manning*

Condiciones del canal	Descripción del canal	Cálculo coeficiente (n)	Valor
Material involucrado	Grava fina	n0 =	0.024
Grado de irregularidad	Moderado	n1 =	0.01
Variaciones en sección transversal	Ocasionalmente alternante.	n2 =	0.005
Efecto de obstrucciones	Apreciable	n3 =	0.025
Vegetación	Alta	n4 =	0.018
Efectos por Meandros	Apreciable	m5 =	1.15
		n =	0.094

Nota: Valor del coeficiente de rugosidad de Manning calculado. Fuente: Autores.

De la tabla 58 se puede concluir que el coeficiente de rugosidad de Manning en el fondo del cauce del río Toachi en el sitio de estudio es de $n = 0.094$.

8.2 Diseño de elementos de la central hidroeléctrica “Perla Andina” en el río Toachi

El diseño consiste en dimensionar de manera constructiva todas las obras hidráulicas que conforman la central hidroeléctrica. Cabe mencionar que para el dimensionamiento definitivo se toman en cuenta los criterios de diseño para cada una de las estructuras.

8.2.1 Obras de derivación

En parte de la disertación se diseñan de manera definitiva las obras de derivación y captación.

8.2.1.1 Azud Vertedero

8.2.1.1.1 Criterios de diseño

- a) El Azud vertedero tipo Creager debe tener una sección transversal trapezoidal que brinde estabilidad a las estructuras. Según (Guamán Sánchez, 2018) la sección transversal trapezoidal genera mayor estabilidad geotécnica y resistencia estructural del canal.
- b) El perfil Creager se encuentra sometido a una presión casi nula en todos sus puntos (Eras, 2016) .
- c) El perfil Creager disminuye la separación de la lámina de agua en contacto con el vertedero y cuando pasa el caudal de diseño, la presión se iguala a la atmosférica, logrando generar estabilidad en la estructura. Además de ello dando lugar a la llamada Presa sin vacíos y sin presión (Loachamín Larrága & Reinoso Acurio, 2020).
- d) Cuando se construye un azud en el cauce de un río se origina una diferencia de energía, tanto aguas arriba, como abajo en el pie del vertedero haciendo que el material del cauce se erosione y poniendo en riesgo la estructura. Se debe considerar obras de disipación de energía y

protección en el pie del vertedero. Estas obras dependen de algunos factores tales como la altura del nivel de agua respecto al lecho del río, del caudal, de las condiciones hidráulicas del río, del tipo de material que hay en el cauce. (OLADE, 1985).

- e) Para la disipación de energía se utiliza el resalto hidráulico tomando en cuenta que este no sea desplazado y más bien este sumergido, pues este resulta económico en todo tipo de diseño. (OLADE, 1985).
- f) El perfil Creager considera 2/3 del caudal de diseño igual a 133.4 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, logrando un flujo estable y un funcionamiento óptimo de la estructura, cuya finalidad es evitar el perfil vacío y la aparición del fenómeno conocido como cavitación, que desestabiliza y en el peor de los casos fisuran la obra civil (Andrade & Heredia H, 2013).
- g) Para determinar la sobre carga (H_o) del vertedero por encima de la cresta se empleará la ecuación general de vertedero (CHOW, 2004).

$$Q_v = C_o * L * H_o^{3/2}$$

Ecuación (72)

Donde:

Q_v = Caudal del vertedero en [m³/s].

C_o = Coeficiente de descarga del vertedero.

L = Longitud del vertedero en [m].

H_o = Carga de diseño del vertedero por encima de la cresta en [m]

- h) Se debe considerar que para facilitar los cálculos es importante mencionar que el caudal utilizado en la ecuación general de vertedero debe ser unitario (qd), debido a que se encuentra en función al coeficiente de descarga del vertedero (C_o) como se muestra en la siguiente ecuación:

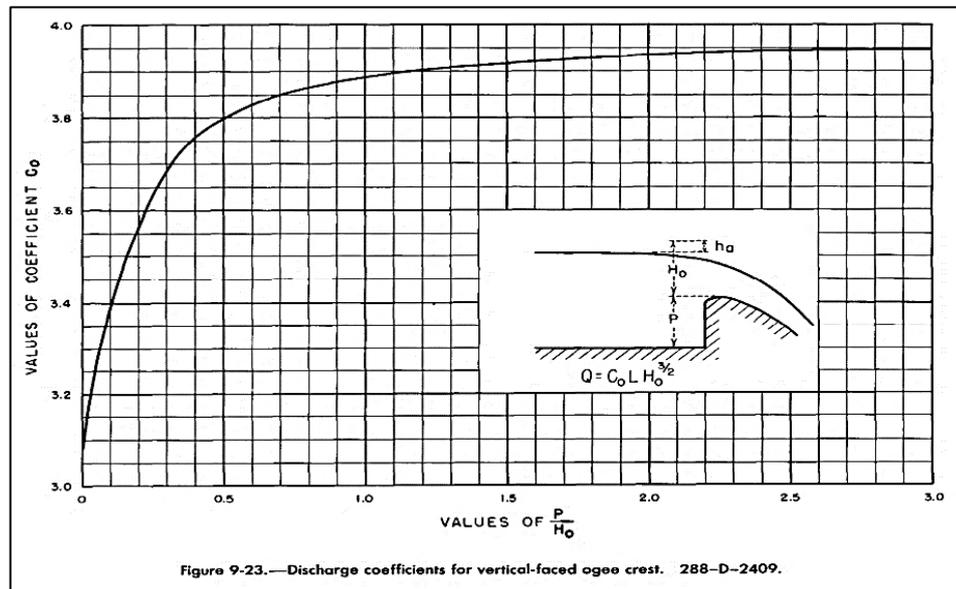
$$qd = C_o * H_o^{3/2}$$

Ecuación (73)

- i) Para determinar el coeficiente de descarga (C_o) del vertedero se empleará los ábacos propuestos por U.S.B.R OF DESIGN OF SMALL DAMS de la Bureau of Reclamation, se evalúa el valor del paramento (P) respecto a la carga de diseño del vertedero (H_o), es decir, P/H_o (Krochin, 1986), (ver figura 66).

Figura 66

Abaco para determinar coeficiente de descarga (C_o)



Nota: Se presenta el ábaco para determinar coeficiente de descarga (C_o). Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987), discharge coefficient, pp 370.

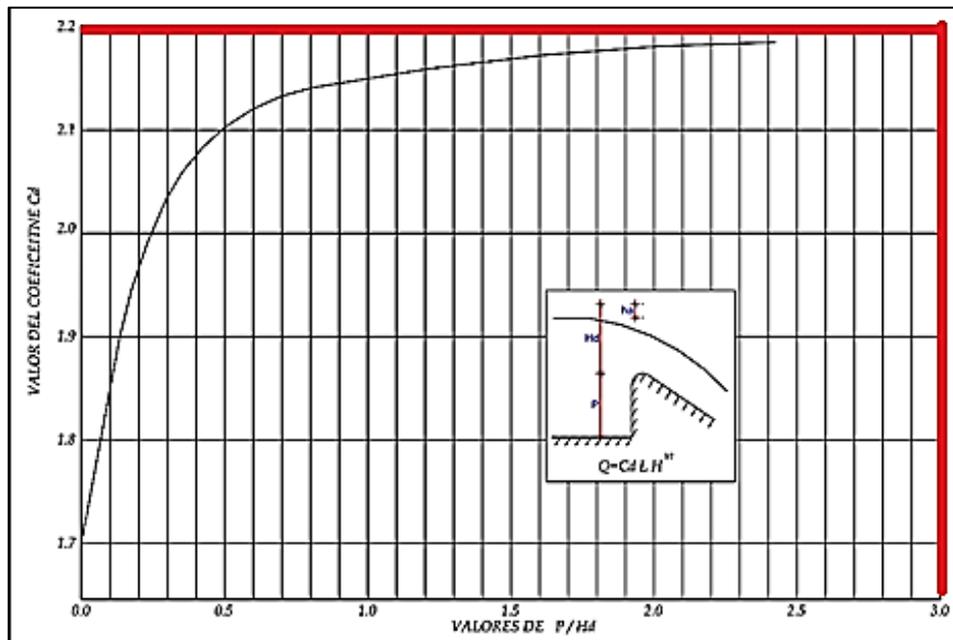
- j) Es importante anotar que la figura anterior para determinar coeficiente de descarga (C_o) del vertedero se encuentra en unidades del sistema ingles

[ft^{1/2}/s], para lo cual se requiere realizar una conversión al sistema internacional [SI] (Andrade & Heredia H, 2013).

- k) Para determinar el coeficiente de descarga se considera un ábaco que se encuentre con sus unidades en sistema internacional [SI], cabe mencionar que la primera interacción será con el máximo valor de relación P/Ho como se observa en la siguiente figura:

Figura 67

Ábaco para determinar coeficiente de descarga sistema internacional (SI)



Nota: Se presenta un ábaco para determinaren sistema internacional (Co) Fuente: (Proaño Prócel, 2013)

- l) Para determinar el coeficiente de descarga existen algunas ecuaciones en función de P/Ho, donde P es la altura del paramento vertical aguas arriba y Ho es la sobrecarga de la cresta o carga de diseño sobre el vertedero Creager (Proaño Prócel, 2013). Para diseñar el azud vertedero de este proyecto utilizaremos las ecuaciones de Gehy (1982) que son las siguientes:

- Si $0 \leq \frac{p}{Ho} \leq 0.5$ entonces $Co = -2.025 * \left(\frac{P}{ho}\right)^2 + 1.8 * \left(\frac{P}{Ho}\right) + 1.704$

- Si $0.6 \leq \frac{P}{H_o} \leq 2.5$ entonces $C_o = -0.034 * \left(\frac{P}{H_o}\right)^2 + 0.145 \left(\frac{P}{H_o}\right) + 2.031$
- Si $\frac{P}{H_o} \geq 2.5$ Entonces $C_o = 2.18$.

m) Para el diseño del Perfil Creager se debe considerar las coordenadas dadas por OFIZEROFF para carga unitaria de diseño ($H_o=1m$), Si la carga (H_o) es diferente se corrige las coordenadas anteriormente mencionadas multiplicando (H_o) por las abscisas y ordenadas (OLADE, 1985), cómo se observa en la figura siguiente:

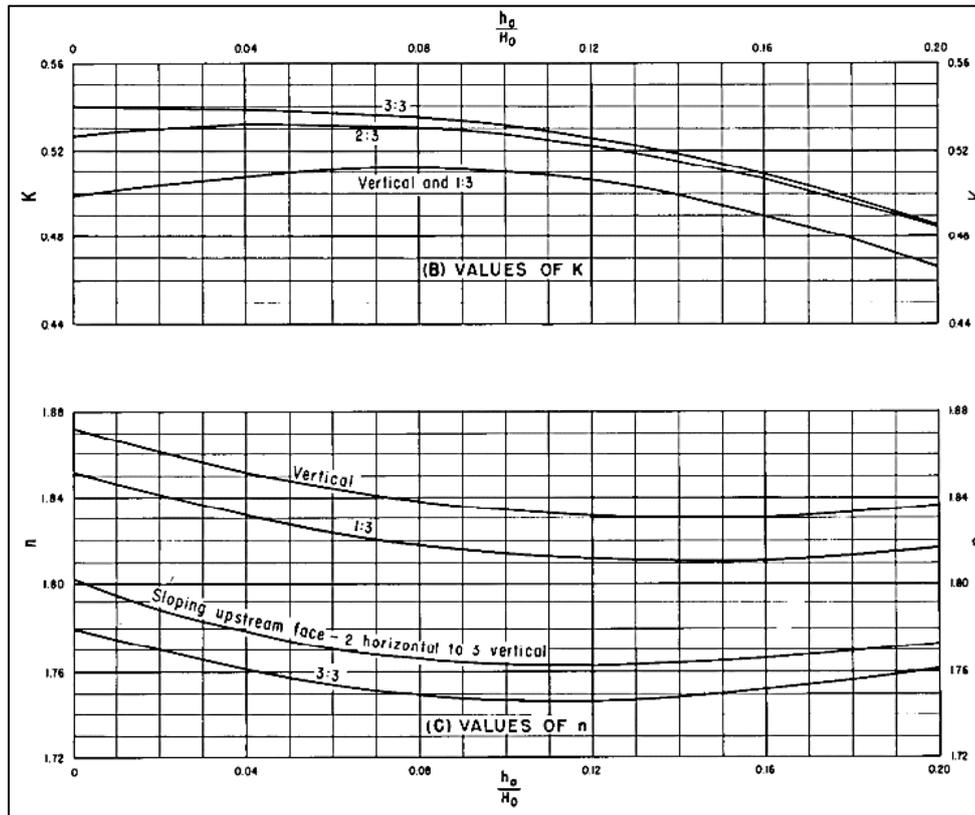
Figura 68*Coordenadas del Perfil Creager -OFIZEROFF para $H_o=1m$*

Coordenadas Perfil Creager- OFIZEROFF $H_o=1m$		Coordenadas Perfil Creager- OFIZEROFF $H_o=4m$	
X/HDIS	Y/HDIS	X corregido	Y corregido
0.0	0.126	0.00	0.504
0.1	0.036	0.40	0.144
0.2	0.007	0.80	0.028
0.3	0.000	1.20	0.000
0.4	0.006	1.60	0.024
0.5	0.027	2.00	0.108
0.6	0.060	2.40	0.240
0.7	0.100	2.80	0.400
0.8	0.146	3.20	0.584
0.9	0.198	3.60	0.792
1.0	0.256	4.00	1.024
1.1	0.321	4.40	1.284
1.2	0.394	4.80	1.576
1.3	0.475	5.20	1.900
1.4	0.564	5.60	2.256
1.5	0.661	6.00	2.644
1.6	0.764	6.40	3.056
1.7	0.873	6.80	3.492
1.8	0.987	7.20	3.948
2.0	1.235	8.00	4.940
2.1	1.369	8.40	5.476
2.2	1.508	8.80	6.032
2.3	1.653	9.20	6.612
2.4	1.894	9.60	7.226
2.5	1.96	10.00	7.840
2.6	2.122	10.40	8.488
2.7	2.289	10.80	9.156
2.8	2.462	11.20	9.848

Nota: Se presenta las coordenadas OFIZEROFF para carga unitaria $H_o=1m$ y corregido para un $H_o=4m$.

- n) Para el diseño del perfil Creager por medio de cálculos se determina la carga de acercamiento (h_o) que genera la velocidad de diseño (V_d), posteriormente con la relación (h_o/H_o) entre la carga de acercamiento (h_o) y la carga de diseño (H_o) se obtiene los factores (n_{azud}) y (k_{azud}) mediante ábacos proporcionados por la U.S.B.R OF DESIGN OF SMALL DAMS de la Bureau of Reclamation (Bureau of Reclamation, 1987).

Figura 69
Valores de k y n para el diseño de un Perfil Creager



Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987), Factor for definition napped-shaped crest profile. Pp.366

- o) Con los factores n y k obtenidos se diseña el perfil Creager considerando la siguiente ecuación:

$$\frac{y_{Azud}}{H_0} = -k_{Azud} * \left(\frac{x_{Azud}}{H_0} \right)^{n_{Azud}}$$

Ecuación (74)

Donde:

H_0 = Carga de diseño ejercida sobre la cresta del azud [m]

k_{Azud} = Factor de forma del perfil Creager.

n_{Azud} = Factor de forma del perfil Creager.

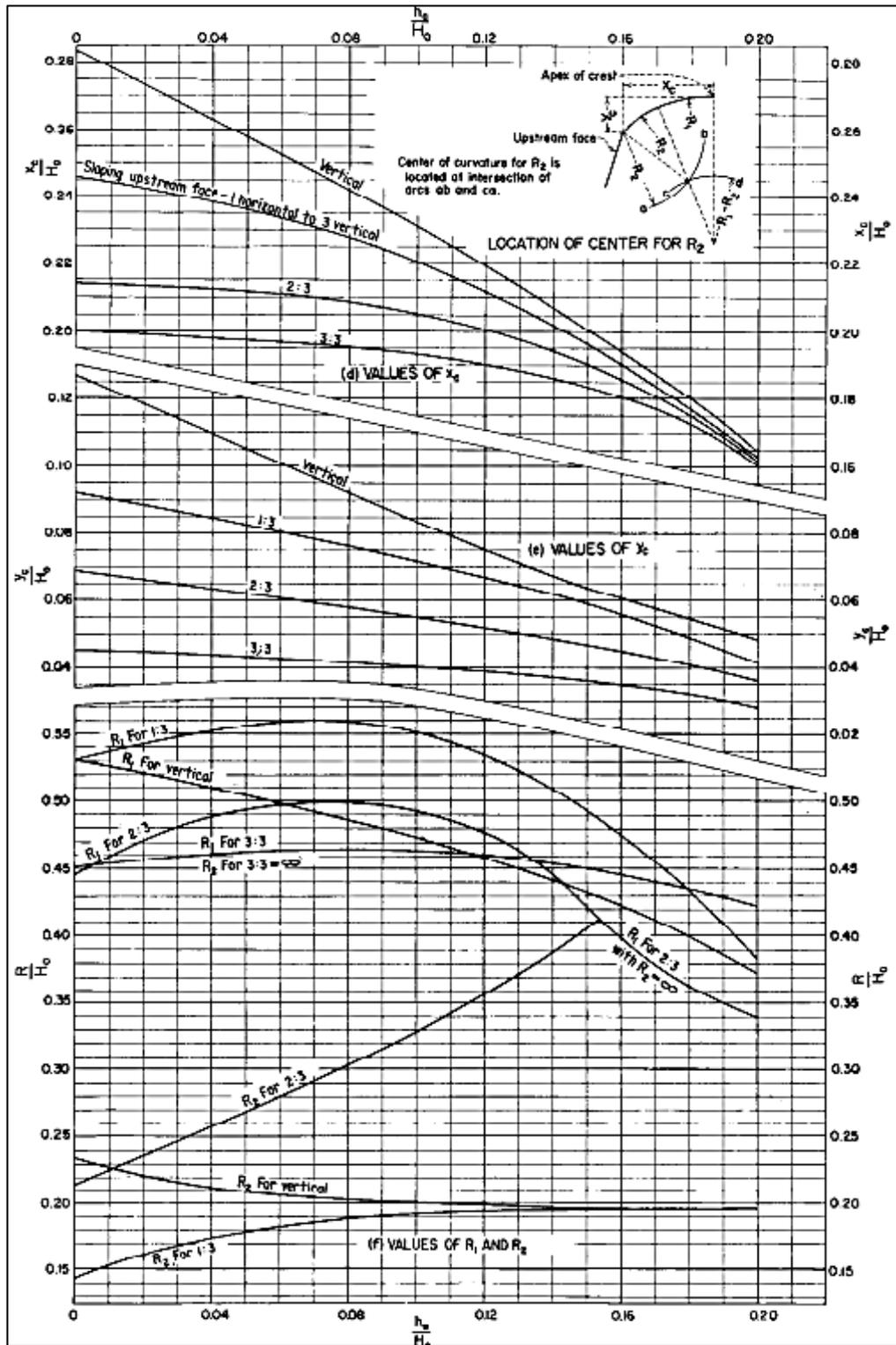
x_{Azud} = Coordenada en x del perfil Creager.

y_{Azud} = Coordenada en y del perfil Creager.

p) El perfil Creager debe considerar que existen curvaturas en la cresta aguas arriba, para esto resulta necesario determinar las distancias X_c y Y_c , además de los radios de curvatura R_1 , R_2 en función de la inclinación del paramento, es decir, si el paramento es vertical o tiene una correlación de inclinación 1:2 o 1:3, esto se realiza de igual forma como en la gráfica anterior se utiliza la relación (h_o/H_o) como se muestra en la figura 70. (Bureau of Reclamation, 1987).

Figura 70

Factores de forma de la cresta del Perfil Creager (X_c , Y_c , R_1 y R_2)



Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987), Factor for definition napped-shaped crest profile. Pp.367.

- q) Para determinar la longitud mínima del vertedero, se encuentra la relación L_a/P , que depende del tipo de suelo sobre el que estará cimentado el azud vertedero, L_a es la longitud mínima de la presa vertedero y P es la altura del paramento aguas arriba, se utilizan los criterios de (*Krochin, citado por Loachamín Larraga & Reinoso Acurio, 2020, pp 51*).

Tabla 59

Valores de L_a/P Según el material del río

Material del río	Relación L_a/P
Arcilla	2.75-3.00
Franco arcilloso	2.50-2.75
Limo y arena	2.25-2.50
Grava y canto rodado	2.00-2.25

Fuente: Krochin, citado por Loachamín Larraga & Reinoso Acurio, 2020, pp 51.

- r) Con la finalidad de empotrar el azud vertedero con el macizo rocoso del cauce se debe considerar el diseño de un dentellón en el pie del paramento aguas arriba y se lo dimensiona en base a la siguiente ecuación (Loachamín Larraga & Reinoso Acurio, 2020).

$$H_{dent} = [0.5 - 1.0] * P$$

Ecuación (75)

Donde:

P = Altura del paramento del azud aguas arriba [m]

H_{dent} = Altura del dentellón [m]

- s) Un Perfil Creager en el pie del azud vertedero generalmente se presenta una curvatura, misma que une el paramento aguas abajo con el fondo del río, para determinar el radio de curvatura R se utiliza la ecuación dada por (*Bureau of Reclamation*).

$$R = 10 \frac{(Vc+6.4Ho+16)}{(3.6Ho+54)}$$

Ecuación (76)

Donde:

Vc = Velocidad contraída al pie del vertedero [m/s]

Ho = Carga de diseño encima de la cresta del vertedero [m]

R = Radio de curvatura que une el perfil Creager con el vertedero [m]

- t) El cálculo de la velocidad al pie del azud se obtiene mediante el criterio de conservación de la energía, donde la energía del azud (E_{azud}) será la igual aguas abajo, se considera un 10 % de pérdidas frente a la carga ejercida por la velocidad contraída al pie del vertedero y se calcula con la siguiente ecuación (Andrade & Heredia H, 2013):

$$P + Ho + \frac{V1^2}{2g} = Ho_{cont} + 1.1 * \frac{(Vc)^2}{2g}$$

Ecuación (77)

Donde:

P = Altura del paramento aguas arriba del azud [m].

Ho = Carga de diseño que actúa sobre la cresta del azud [m].

V1 = Velocidad de diseño o acercamiento aguas arriba del azud [m/s].

g = Gravedad [m/s²].

Vc = Velocidad contraída al pie del vertedero [m/s].

Ho_{cont} = Carga generada por la velocidad contraída al pie del azud [m].

8.2.1.1.2 Dimensionamiento del Azud

Se diseña el azud vertedero de manera definitiva, para lo cual es necesario información relevante que se encuentra en la tabla 60.

Tabla 60

Información para el diseño del azud vertedero

DATOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL AZUD VERTEDERO		
Caudal máximo TR 100 años (Q _{máx})=	133.44	m ³ /s
Caudal de diseño (Q _d) =	88.96	m ³ /s
Caudal unitario de diseño (q _d) =	2.44	m ² /s
Altura de la Presa (P) =	5.00	m
Ancho del río (B _{rio}) =	36.5	m

Nota: Datos recopilados para el dimensionamiento del azud vertedero. Fuente: Autores

Coefficiente de descarga (Co):

Se obtiene el valor máximo de la relación altura del azud y la carga de diseño del azud vertedero (P/Ho) en la figura 80, por lo tanto, Co =2.2 y Ho=1.10m.

P = Altura del paramento del azud aguas arriba [m].

Ho = Carga de diseño del azud [m].

Con la relación P/Ho = 5m/1.10m =4.55

Se aplica las ecuaciones planteadas por Gehy (1982):

Si $\frac{P}{H_o} \geq 2.5$ Entonces $C_o = 2.18$.

$$qd = C_o * H_o^{3/2}$$

$$H_o = \left(\frac{2.44}{2.18} \right)^{\frac{2}{3}} = 1.1m$$

$$1.1 = H + \frac{\left(\frac{133.4}{36.5(H+5)} \right)^2}{2(9.81)} =$$

$$H = 1.09m$$

Con los valores de la carga de diseño del azud y la carga de $H= 1.09m$, $H_o=1.10m$, se determina la carga de acercamiento (h_o):

$$h_o = \frac{V_o^2}{2g} = \frac{\left(\frac{133.4}{36.5(1.09 + 5)}\right)^2}{2(9.81)} =$$

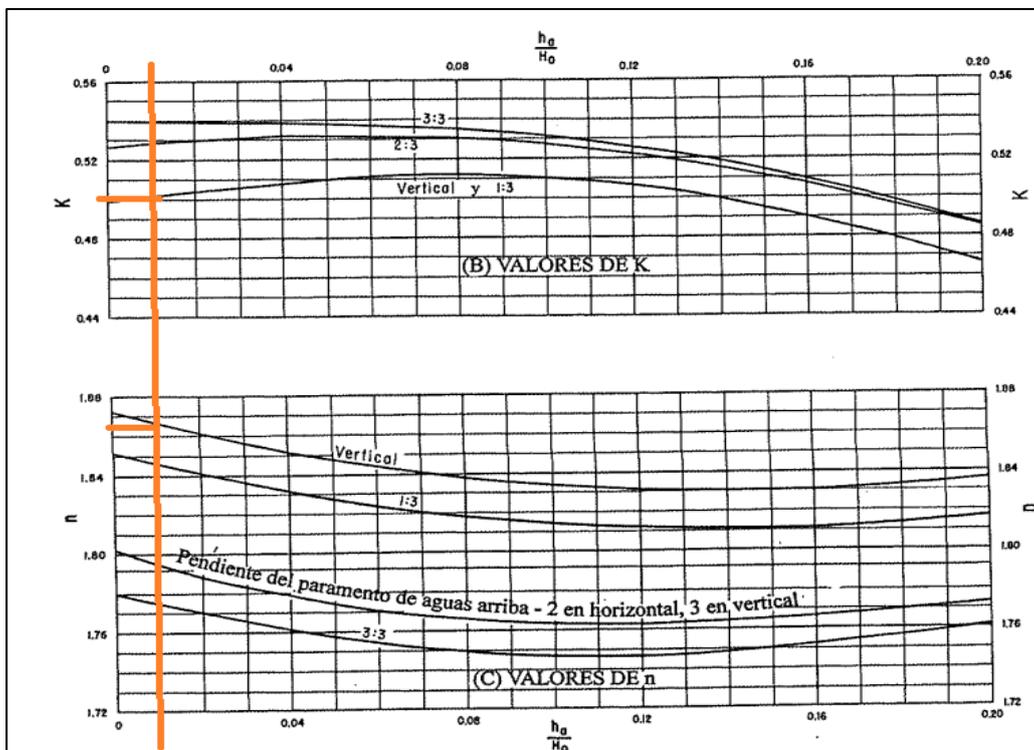
$$h_o = 0.008m, V_o=V_d=0.40m/s, h_o/H_o=0.01$$

$h_o = h_a$ = Profundidad generada por la velocidad de acercamiento en [m].

$V_o=V_d$ = Velocidad de acercamiento o diseño en [m/s].

La relación $h_o/H_o = 0.01$ se utiliza para determinar el factor n y k del azud en la siguiente figura:

Figura 71
Abaco para dimensionamiento Azud Factor n y k



Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987)

Por lo tanto, $n_{azud} = 1.865$; $k_{azud} = 0.50$

Con los valores de n y k se determina el perfil Creager mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{y_{azud}}{H_0} = -k_{Azud} * \left(\frac{x_{azud}}{H_0} \right)^{n_{Azud}}$$

Tabla 61

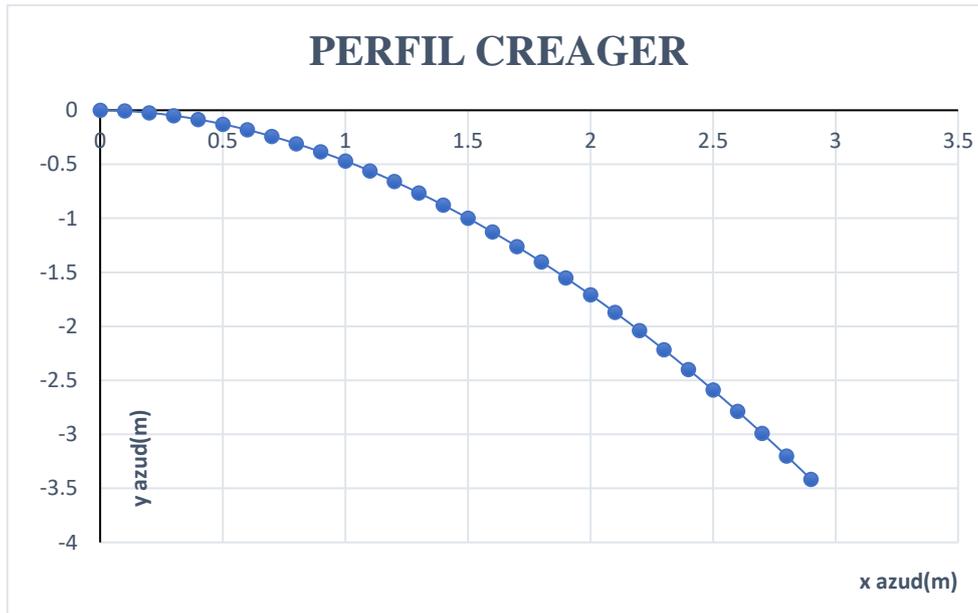
Coordenadas Para determinar el Perfil Creager OFIZEROFF

Punto	X Azud(m)	Y azud(m)
1	0	0
2	0.1	-0.006398943
3	0.2	-0.023309297
4	0.3	-0.0496523
5	0.4	-0.084908294
6	0.5	-0.128732229
7	0.6	-0.180867408
8	0.7	-0.241110474
9	0.8	-0.309293688
10	0.9	-0.385274719
11	1	-0.468930231
12	1.1	-0.560151611
13	1.2	-0.658841968
14	1.3	-0.764913954
15	1.4	-0.87828814
16	1.5	-0.998891759
17	1.6	-1.126657727
18	1.7	-1.261523863
19	1.8	-1.403432256
20	1.9	-1.552328738
21	2	-1.708162462
22	2.1	-1.870885532
23	2.2	-2.040452699
24	2.3	-2.216821098
25	2.4	-2.399950021
26	2.5	-2.589800724
27	2.6	-2.786336254
28	2.7	-2.989521299
29	2.8	-3.199322058
30	2.9	-3.41570612

Nota: Se muestra las coordenadas para obtener el Perfil Creager. Fuente: Autores

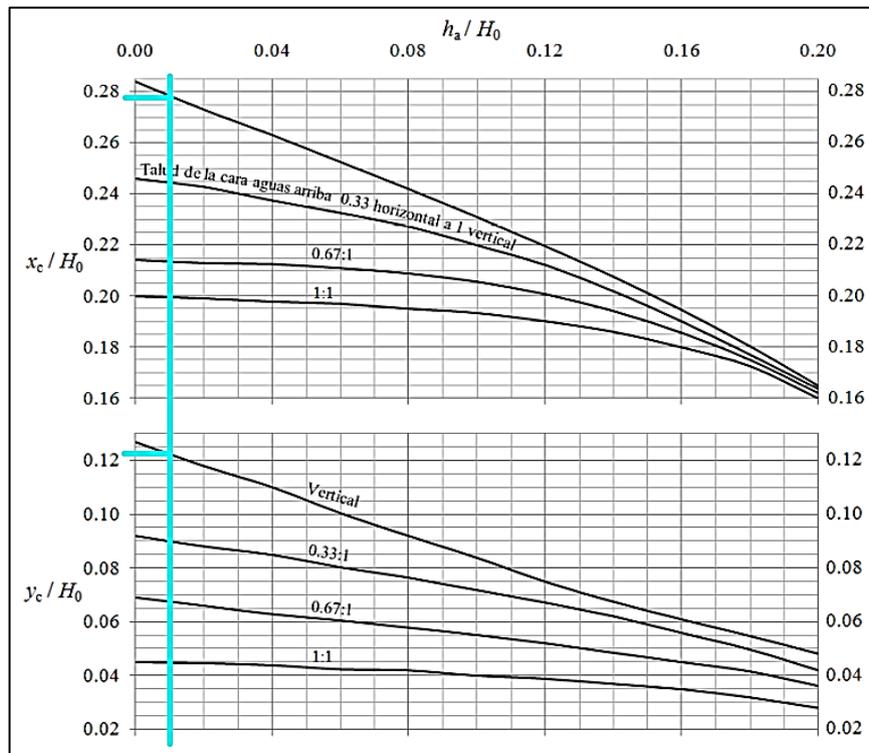
Una vez determinadas las coordenadas del perfil Creager se procede graficar (ver figura 72).

Figura 72
Gráfico del Perfil Creager



Nota: Se presenta el perfil Creager obtenido mediante las coordenadas de la tabla 80.
Fuente: Autores.

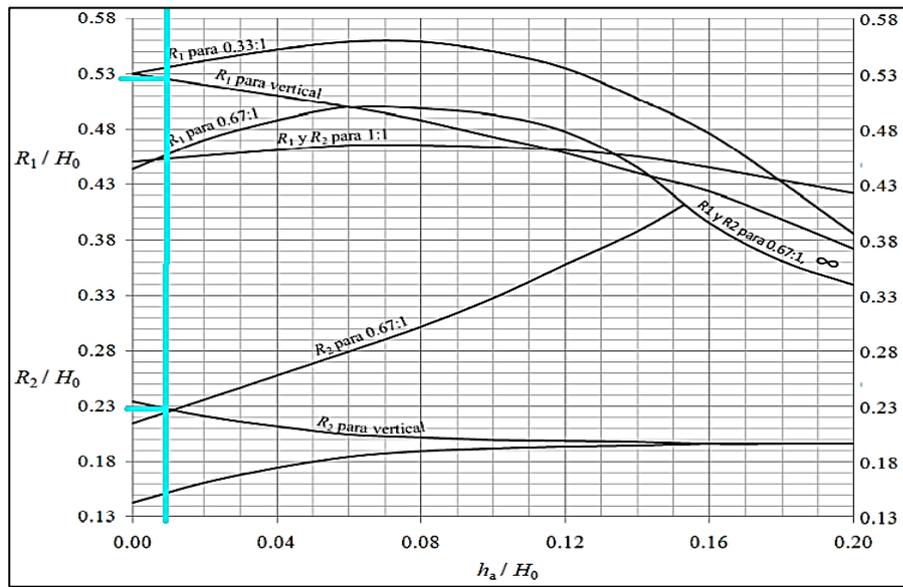
Figura 73
Valores para X_c/H_0 y Y_c/H_0



Nota: Se presenta el ábaco para determinar las distancias X_c y Y_c aguas arriba sobre la cresta del azud. Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987).

Figura 74

Valores de R_1/H_0 y R_2/H_0 para el diseño de un Perfil Creager según criterios USBR



Nota: Se presenta el ábaco para determinar radios de curvatura R_1 y R_2 aguas arriba de la cresta del azud. Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987).

$$X_c/H_0 = 0.28; Y_c/H_0 = 0.125; R_1/H_0 = 0.525; R_2/H_0 = 0.23$$

$$X_c = 0.31; Y_c = 0.14; R_1 = 0.58; R_2 = 0.253$$

Energía total del azud:

$$E_1 = P + H + h_o = 5\text{m} + 1.09\text{m} + 0.008\text{m} = 6.1\text{m}$$

$$E_o = E_1 + V_o^2/2g = 6.1\text{m} + (0.4\text{m/s})^2/2(9.81\text{m/s}^2) = 6.11\text{m}$$

$$E_o = y_c + \frac{\left(\frac{qd}{yc}\right)^2}{2g * \phi^2} = y_c + \frac{\left(\frac{2.44}{yc}\right)^2}{2 * 9.81 * 0.95^2}$$

$$E_{\text{azud}} = P + H_o + h_o = 5\text{m} + 1.1\text{m} + 0.008 = 6.11\text{m}$$

$$E_{\text{azud}} = y_c + 1.1 * \frac{\left(\frac{qd}{yc}\right)^2}{2g} = y_c + 1.1 * \frac{\left(\frac{2.44}{yc}\right)^2}{2 * 9.81}$$

Carga generada por la velocidad contraída al pie del vertedero ($y_c=hc$):

$$y_c = 0.24\text{m}; V_c = 10.15\text{m/s}$$

Radio de curvatura al pie del vertedero:

$$R = 10 \frac{(V_c + 6.4H_o + 16)}{(3.6H_o + 54)}$$

$$R = 10 \frac{(10.15 + 6.4 * (1.1) + 16)}{(3.6 * (1.1) + 54)}$$

$$R = 3.67\text{m}$$

Para la longitud mínima del azud vertedero se tiene la siguiente tabla:

Tabla 62

Cálculo de Longitud mínima del azud

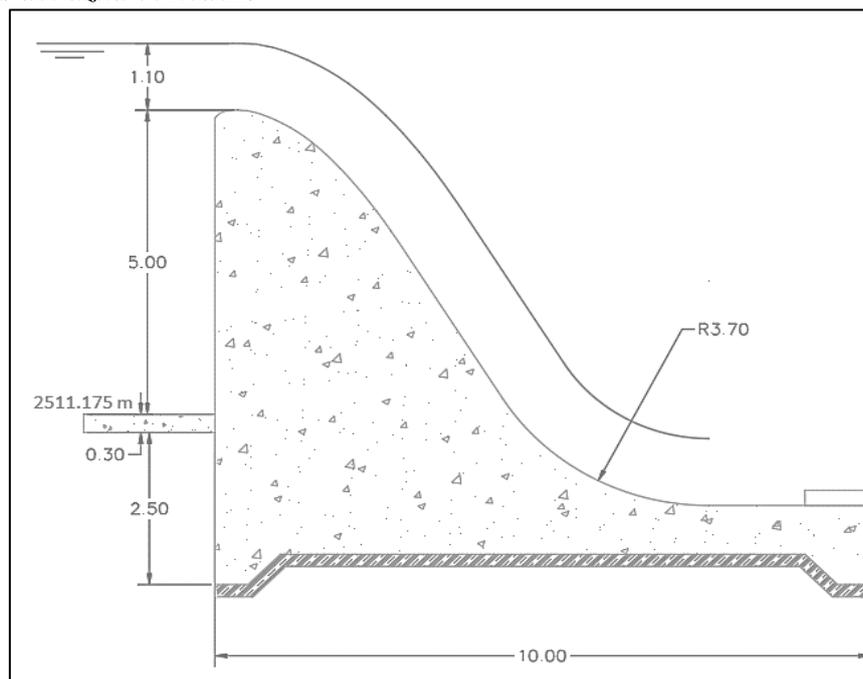
Material del río	Relación La/P
Arcilla	2.75-3.00
Franco arcilloso	2.50-2.75
Limo y arena	2.25-2.50
Grava y canto rodado	2.00-2.25

Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987)

$$La/P = 2, \text{ por lo tanto, } La = 2P = 2 * 5\text{m} = 10\text{m}$$

Figura 75

Dimensiones del azud vertedero



Nota: Se presenta las dimensiones del diseño del azud vertedero. Fuente: Autores

8.2.1.1.3 Resumen de resultados

Se indica las dimensiones definitivas al diseñar un azud vertedero tipo Creager en la tabla 63.

Tabla 63

Resultados de los dimensionamientos del azud vertedero

Dimensiones del azud vertedero tipo Creager		
Altura del azud o paramento aguas arriba (P) =	5.00	m
Cota inicio =	2511.175	m.s.n.m
Cota fin =	2509.675	m.s.n.m
Longitud mínima del azud (La)=	10.0	m
Carga de Diseño (Ho)	1.10	m
Carga de velocidad de diseño (ho)=	0.01	m
Radio de curvatura aguas abajo al pie del azud [R] =	3.70	m
Altura del dentellón (Hdent)=	2.50	m

Fuente: Autores

8.2.1.2 Rejilla Lateral

8.2.1.2.1 Criterios de diseño

- Por las condiciones del terreno para el proyecto de central hidroeléctrica “Perla Andina” se propone un diseño de captación con rejilla lateral, debido a que el sitio de captación posee márgenes del río casi rectos y no tienen socavación (Loachamín Larrága & Reinoso Acurio, 2020).
- Se instala en una de las orillas en uno de los muros de ala, y debe sobresalir de la cara del muro para facilitar su limpieza y que al taparse esto no afecte su funcionamiento (Merino Poveda, 2019).
- Para facilitar el proceso constructivo de la rejilla lateral se debe establecer guardar una distancia prudente aguas arriba del azud cuya finalidad es tener el espacio suficiente para colocar una ataguía (*García, 2000, citado por Merino Poveda, 2019, pp 58*).
- Para propósitos de un diseño eficiente se tomará en cuenta los caudales de cada alternativa propuesta $Q_{80} = 8.19 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{95} = 6.16 \text{ m}^3/\text{s}$,

adicionalmente se considera restar el caudal ecológico por medio de las siguientes ecuaciones:

$$Q_{rej} = Q_{80} - Q_{eco}$$

Ecuación (78)

Donde:

Q_{rej} = El caudal de diseño de la rejilla en [m³/s].

Q₈₀ = Caudal de demanda con nivel de garantía de 80% en [m³/s].

Q₉₅ = Caudal de demanda con nivel de garantía de 95% en [m³/s].

Q_{eco} = Caudal ecológico en [m³/s].

- e) Para el diseño de la rejilla se requiere la captación del caudal ecológico (Q_{eco}) igual al 10% del caudal medio mensual Q_{med} = 18.62 m³/s, dado que este es menor a 20 m³/s.
- f) Los barrotes de la rejilla lateral deben ser lo suficientemente fuertes para resistir troncos y otros materiales gruesos que flotan en el río durante las crecientes (OLADE, 1985). Estos pueden ser de acero o hormigón.
- g) El diseño de la rejilla lateral comienza determinando la longitud libre de la rejilla más conocido como el ancho libre de la rejilla en función a la ecuación general de vertedero de pared delgada (CHOW, 2004).

$$Q_v = c_o * L * H_o^{3/2}$$

Ecuación (79)

Donde:

Q_v = El caudal de diseño del vertedero en [m³/s].

C_o = coeficiente de descarga del vertedero.

L = Es la longitud del vertedero en [m].

H_o = Es el calado sobre el vertedero en [m].

- h) En la rejilla lateral el nivel más bajo o caudal mínimo funciona como vertedero y la carga necesaria viene del remanso producido por el azud generando un pequeño desnivel entre las dos superficies de agua (Krochin, 1986).
- i) El diseño de la rejilla lateral está expuesto a varios factores específicos que influyen directamente en el coeficiente de descarga, estos factores son tales como efectos producidos por la obstrucción de la rejilla y la sumergencia (Merino Poveda, 2019).
- j) Teniendo en cuenta los factores de obstrucción y sumergencia para el diseño de la rejilla lateral se empleará la siguiente ecuación:

$$Q_{rej} = K * S * C_o * L_r * H_r^{\frac{3}{2}}$$

Ecuación (80)

Donde:

Q_{rej} = Caudal de diseño de la rejilla lateral en [m³/s].

K = Coeficiente de pérdidas por obstrucción.

S = Coeficiente de sumergencia de la rejilla.

C_o = Coeficiente de descarga de la rejilla.

L_r = Longitud o ancho de la rejilla en [m].

H_r = Altura de la rejilla en [m].

- k) Según (Merino Poveda, 2019) se determina el coeficiente de descarga considerando la altura del paramento aguas arriba del azud vertedero (P) y asumiendo la altura de la rejilla lateral (H_r), para calcular el coeficiente

de descarga de la rejilla se utilizará la ecuación propuesta por Bazin como se indica a continuación:

Bazin:

$$C_o = \left(1.794 + \frac{0.0133}{Hr}\right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{Hr}{Hr + P}\right)^2\right]$$

Ecuación (81)

- 1) Según (Krochin, 1986) se debe considerar un criterio de corrección por sumersión al diseñar la rejilla lateral para ello se determina el coeficiente de sumersión (S) mediante la ecuación propuesta por Bazin y Villemonte:

Factor de corrección por sumersión (Hn):

$$Hn = Hr - z$$

Bazin:

$$S = 1.05 * \left[1 + 0.2 \left(\frac{Hn}{P2}\right)\right] * \sqrt[3]{\frac{z}{Hr}}$$

Ecuación (82)

Donde:

Hn = Profundidad de corrección por sumersión en [m].

P2 = Altura al umbral de la rejilla lateral en [m].

z = Variación de carga asumida de [0.1-0.5]m

Hr = Altura de la rejilla en [m].

Villemonte:

$$S = \left[1 - \left(\frac{Hn}{Hr}\right)^2\right]^{0.385}$$

Ecuación (83)

Donde:

Hn = Profundidad de corrección por sumersión [m].

Hr = Altura de la rejilla [m].

- m) Según (Merino Poveda, 2019) el dintel que sostiene los barrotes es considerado como una viga de hormigón armado, que debe soportar el empuje del agua durante las crecidas, por lo que será más costosa una rejilla muy alta y ancha.
- n) Se debe considerar una inclinación del muro donde se encuentre la rejilla, dado que la rejilla se ubica en dirección al cauce haciendo que la longitud hacia los terrenos altos respecto al sitio de captación se acorte.
- o) La altura del azud debe ser la suma total de la altura del umbral desde el fondo del cauce más la altura de los barrotes de la rejilla, de esta manera también afectará en la economía del proyecto las dimensiones finales de la rejilla de captación (Merino Poveda, 2019).
- p) Una vez determinado la longitud de la rejilla (Lr) sin ninguna obstrucción se determina el número de espaciamientos que tiene la rejilla en función al porcentaje de obstrucción y la separación que existe entre barrotes, para un diseño conservador se considera una obstrucción de 10% a 40%.

$$nb = \frac{Lr * f}{Sb}$$

Ecuación (84)

Donde:

nb = Número de barrotes de la rejilla lateral.

L_r = Longitud de la rejilla sin considerar obstrucción [m].

S_b = Separación entre barrotes [m].

f = Porcentaje de obstrucción de la rejilla [%]

- q) Se calcula cuantos espacios (ns) requiere el diseño de la rejilla considerando el número de barrotes (nb) obtenido anteriormente, con la ecuación siguiente:

$$ns = nb - 1$$

Ecuación (85)

Donde:

ns = Número de espaciamentos requeridos a lo largo de la rejilla.

nb = Número de barrotes de la rejilla lateral.

- r) Para el diseño de la rejilla lateral con dimensiones reales se considera entonces el porcentaje de obstrucción, el número de espaciamentos y de barrotes mediante la siguiente ecuación:

$$L_c = [L_r + (nb * t)]$$

Ecuación (86)

Donde:

L_{rej} = Longitud o Ancho real de la rejilla lateral en [m].

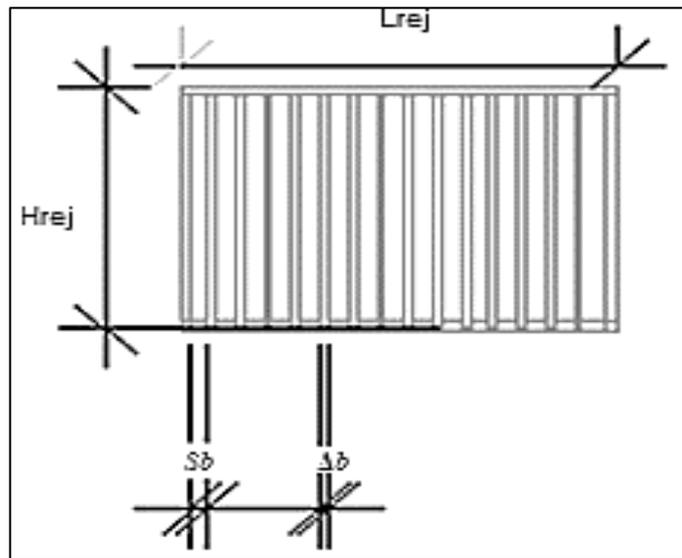
nb = Número de barrotes en la rejilla.

t = Espesor de cada uno de los barrotes en la rejilla en [m].

- s) Para el diseño se sugiere asumir un ancho del barrote (Δb) no menor a los 10 centímetros, y el espaciamiento (S_b) entre barrotes por lo menos el doble que el espesor del barrote como se muestra en la siguiente figura:

Figura 76

Esquema de Rejilla lateral (Espacios y espesor)



Nota: Se presenta el esquema de una captación con rejilla lateral, dimensiones, espaciamientos y espesor de los barrotes. Fuente: (Merino Poveda, 2019)

- t) Constructivamente la rejilla se va conformando colocando barrotes de altura (H_{rej}) y espesor (t) sobre una barra de longitud (L_{rej}) por lo tanto se debe considerar recubrimiento de las paredes de la rejilla igual a dos veces el espesor, por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$L_{rej} = L_c + 2t$$

Ecuación (87)

Donde:

L_{rej} = Es el largo de la rejilla lateral con recubrimiento [m].

L_c = Es el largo de la rejilla sin recubrimiento. [m].

t = Espesor de cada barrote de la rejilla[m]

8.2.1.2.2 Dimensionamiento de la rejilla

Se diseña de forma definitiva la captación con rejilla lateral, por esta razón es necesario recopilar información que sea importante para el dimensionamiento de la rejilla, estos datos se encuentran resumidos en la tabla 64.

Tabla 64

Información necesaria para el diseño de la captación con rejilla lateral

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Q_{80}	8,2	m^3/s
2	Caudal medio mensual	Q_{med}	18,62	m^3/s
3	Caudal ecológico	Q_{eco}	1,86	m^3/s
4	Longitud del vertedero Creager	La	10	m
5	coeficiente de pérdidas de la rejilla [0.7 a 0.95]	k	0,85	
6	Altura del paramento aguas arriba	P	5	m
7	Altura de la rejilla, Valor asumido	Hr	1,2	m
8	Carga dinámica de la rejilla, asumido	z	0,2	m
9	Ancho del río Toachi, sitio de estudio	$B_{río}$	36,5	m
10	Carga de diseño del azud vertedero	Ho	1,1	m

Nota: Datos usados para el diseño de la rejilla lateral. Fuente: Autores.

Caudal de diseño de la rejilla (Q_{rej}):

$$Q_{rej1} = [8.2 - 1.86]m^3/s = 6.34 m^3/s$$

Coefficiente de descarga (C_o):

Bazin:

$$C_o = \left(1.794 + \frac{0.0133}{1.20}\right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{1.20}{1.00 + 5.00}\right)^2\right] = 2.28$$

Konovalov:

$$C_o = \left[0.407 + \frac{0.045Hr}{1.2 + 5.0}\right] * \left[1 + 0.55 * \left(\frac{1.2}{1.0 + 5}\right)^2\right] * 2 * 9.81 = 1.86$$

Se utiliza el valor del coeficiente de descarga C_o promedio igual a 2.1

Coefficiente de sumersión (S):

$$H_n = H_r - z = 1m - 0.2m = 0.80m$$

Villemonte:

$$S = \left[1 - \left(\frac{0.8}{1.2} \right)^{3/2} \right]^{0.385} = 0.445$$

Bazin:

$$S = 1.05 * \left[1 + 0.2 \left(\frac{0.8}{5} \right) \right]^3 \sqrt{\frac{0.2}{1.2}} = 0.479$$

Se calcula el coeficiente de sumersión promedio mediante la siguiente ecuación:

$$S_p = \left(\frac{0.445 + 0.479}{2} \right) = 0.462$$

Longitud de la rejilla sin considerar el factor de obstrucción:

$$C_o = 2.1; S = 0.462; k=0.85$$

$$\frac{Q_{rej}}{K * S * C_o * H_r^{3/2}} = L_r$$

$$\frac{6.34}{0.85 * 0.462 * 2.1 * 1.2^{3/2}} = L_r = 5.91m$$

Número de barras dentro de la rejilla:

Diseño conservador obstrucción = 30% entonces $f=0.30$

$$L_{r1} = 5.91 m; L_{r2} = 4.02m; S_b = 0.20cm$$

$$nb = \frac{L_r * f}{S_b}$$

$$nb = \frac{5.91m * 0.30}{0.20m} = 8.87 = 9 \text{ Barrotes}$$

Número de espacios de la rejilla:

$$ns = nb - 1$$

$$ns = 9 - 1 = 8$$

Longitud real de la rejilla (Lrej):

$$Sb = 0.20m; t = 0.10m$$

$$Lrej = [Lr + (nb * t)]$$

$$Lrej = [5.91m + [(9 * 0.10m)]] = 6.81m$$

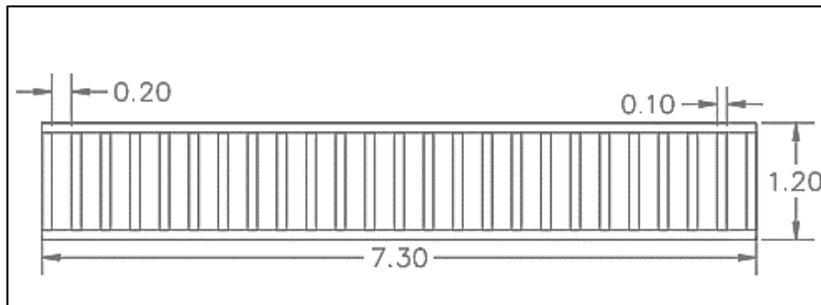
Longitud constructiva:

$$Lrej1 = Lrej + 2\Delta b + Sb$$

$$Lrej_{1-1} = 6.81m + 2 * 0.10m + 0.20m = 7.21 = 7.30m$$

Figura 77

Dimensiones de la captación con rejilla lateral



Nota: Se presenta las dimensiones definitivas del ancho, altura de la rejilla lateral, el espesor de cada uno de los barrotes y su debido espaciamiento. Fuente: Autores

8.2.1.2.3 Resumen de resultados

Una vez que se realiza el diseño definitivo se resumen los resultados del dimensionamiento de la captación con rejilla lateral en la tabla siguiente:

Tabla 65*Resultados de los dimensionamientos de la rejilla lateral*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Altura de la rejilla	Hrej	1,20	m
2	Longitud de la rejilla	Lrej	7,30	m
3	Espaciamiento entre barrotes de la rejilla	Sb	0,20	m
4	Espesor de cada barrote de la rejilla	t	0,10	m
5	Área de la rejilla	Arej	8,76	m ²
6	Velocidad de flujo de la rejilla	Vrej	0,93	m/s

Nota: Se indica las dimensiones de la captación con rejilla lateral. Fuente: Autores

8.2.1.3 Vertedero de pared gruesa

8.2.1.3.1 Criterios de diseño

- a) Para diseñar el vertedero de pared gruesa se considera un caudal de diseño que sea el caudal ecológico, es decir, el 10% del caudal medio mensual, el mismo que asegure la vida natural:

$$Q_{dp} = Q_{eco} = 10\%Q_{med}$$

- b) Se determina la carga del vertedero mediante la ecuación general de vertedero pared ancha que es la siguiente:

$$Q_{dp} = 1.7 * La * H^{3/2}$$

Ecuación (88)

Donde:

La = Longitud mínima del azud vertedero en [m].

H = Carga de diseño vertedero pared gruesa en [m].

Q_{dp} = Caudal de diseño del vertedero de pared gruesa en [m³/s].

- c) El caudal de captación entonces será igual a la diferencia entre el caudal con nivel de garantía de 80% y el caudal ecológico, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{cap} = Q_{80\%} - Q_{eco}$$

d) Para que un vertedero sea de pared gruesa se considera las siguientes condiciones:

i. El espesor de la pared es mayor o igual a 3 veces la carga de diseño:

$$e \geq 3h$$

ii. Contracción de fondo completa cuando:

$$\frac{w}{yc} \geq 3.5$$

iii. Contracción lateral nula, por lo tanto, $B=b$

iv. Velocidad de llegada nula o menor a 0.3m/s

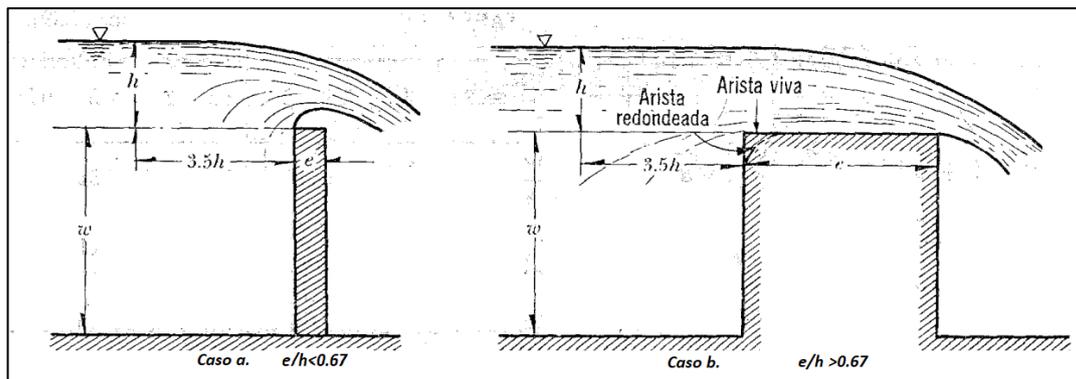
v. Umbral horizontal, perpendicular al cauce del río, paramento vertical.

vi. Lámina en caída libre.

e) Según (Soteldo, 1994), existen varias formas de vertedero de pared gruesa las cuales varían en función del espesor de la cresta del vertedero, como se muestra en la siguiente figura

Figura 78

Formas del vertedero pared gruesa



Nota: Vertederos de pared ancha; Caso a. [$e/h < 0.67$] funciona como pared delgada; Caso b. [$e/h > 0.67$] es netamente vertedero de pared gruesa. Fuente: (Soteldo, 1994).

- f) Si el vertedero de pared gruesa es rectangular, considera la ecuación para vertederos rectangulares:

$$Q_{dp} = \varepsilon_1 * C * b * h^{3/2}$$

Ecuación (89)

Donde:

Q_{dp} = Caudal de diseño de vertedero pared ancha en [m³/s].

b = Ancho del frente del vertedero en [m].

h = Carga de diseño vertedero pared gruesa en [m].

C = Coeficiente de descarga del vertedero.

ε₁ = factor de reducción del vertedero pared gruesa.

- g) El coeficiente de reducción depende de la relación que existen entre el espesor de la pared gruesa y la carga de diseño:

- Si la relación es igual hasta $(e/h) = 3$, entonces:

$$\varepsilon_1 = 0.7 + \frac{0.185}{\frac{e}{h}}$$

- Si la relación es mayor a $(e/h) > 3$, hasta, $(e/h) = 10$, por lo tanto, el coeficiente de reducción es:

$$\varepsilon_1 = 0.75 + \frac{0.10}{\frac{e}{h}}$$

- h) Si se considera el diseño del vertedero de pared gruesa cuyas aristas sean vivas en la cresta, se determina coeficiente de descarga por medio de la siguiente ecuación:

$$C = \left(\frac{1 + 0.26 * \left(\frac{h}{h+a} \right)^2}{\sqrt{2} * \left(\frac{3}{2} + 0.004n \right)^{3/2}} \right)$$

Ecuación (90)

Donde:

h = Carga de diseño del vertedero pared gruesa [m].

a = Altura del paramento del vertedero pared gruesa [m].

e = Espesor de la pared gruesa del vertedero [m].

g = Gravedad [m/s²].

yc = Calado o tirante crítico del vertedero pared gruesa [m].

n = La relación entre el espesor del vertedero y el calado crítico.

$$n = \frac{e}{y_c}$$

- i) Dado que las ecuaciones propuestas por Gibson para determinar el factor de reducción ε_1 , limitan una relación e/h de igual a 10, para determinar el coeficiente de descarga se plantea la siguiente ecuación:

$$C = \mu * \frac{2}{3} * \sqrt{2g}$$

Ecuación (91)

- j) Para determinar el factor μ , se aplica la ecuación propuesta por (Rehbock, 1929):

$$\mu = 0.312 + 0.09 * \frac{h}{w} + \sqrt{0.30 - [0.01 * \left(5 - \frac{h}{r}\right)^2]}$$

Donde:

h = Carga de diseño en [m].

w = Altura paramento vertical vertedero en [m].

r = Radio de la cresta redondeada en [m].

- k) Según (Soteldo, 1994), para determinar el factor μ se debe cumplir las siguientes condiciones:

$$\frac{h}{w} \leq 1$$

$$w > r > 0.2m$$

$$\frac{h}{r} \leq \left[6 - \left(\frac{20 * r}{w + 3 * r} \right) \right]$$

- 1) Se determina el ancho del frente del vertedero utilizando el caudal de captación y el coeficiente de descarga obtenido anteriormente:

$$B = \frac{Q_{cap}}{\mu * \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * h_0^{3/2}}$$

8.2.1.3.2 Dimensionamiento de vertedero de pared gruesa

Consiste en dimensionar de manera constructiva el vertedero considerando la alternativa más favorable, es decir, el diseño definitivo del vertedero de pared gruesa.

8.2.1.3.2.1 Vertedero Caudal ecológico

Caudal de diseño:

Se determina el caudal de diseño conforme a lo establecido es los criterios mencionados anteriormente.

$$Q_{dp} = Q_{eco} = 0.10 * \frac{18.62m^3}{s} = 1.86 m^3/s$$

Para fines de diseño y facilidad de los cálculos se considera un caudal ecológico de 2 m³/s.

$$Q_{dp} = Q_{eco} = 2 m^3/s$$

Carga de diseño:

Se estima que el vertedero de pared gruesa la longitud es igual a la del azud, por lo tanto, L = La = 10m.

Se determina la carga con la siguiente ecuación:

$$Q_{dp} = 1.7 * La * H^{3/2}$$

$$H = \left(\frac{2}{1.7 * 10} \right)^{2/3} = 0.24m$$

Con la relación e/h se determina el coeficiente de descarga C:

$$\frac{e}{h} = \frac{10m}{0.24m} = 41.7$$

Por lo tanto, se aplica la siguiente ecuación para determinar coeficiente de descarga:

$$C = \mu * \frac{2}{3} * \sqrt{2g}$$

$$\mu = 0.312 + 0.09 * \frac{h}{w} + \sqrt{0.30 - [0.01 * \left(5 - \frac{h}{r}\right)^2]}$$

$$\mu = 0.312 + 0.09 * \frac{0.24m}{4.70m} + \sqrt{0.30 - \left[0.01 * \left(5 - \frac{0.24m}{0.24m}\right)^2\right]} = 0.682$$

Caudal de captación:

Se determina el caudal de captación para cada una de las alternativas, es decir, Q₈₀ y Q₉₅.

$$Q_{cap} = Q_{80\%} - Q_{eco}$$

$$Q_{cap1} = 8.2 - 2 = 6.2 \frac{m^3}{s}$$

Cálculo del frente el vertedero pared gruesa:

$$Q_{cap} = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2g} * B * ho^{\frac{3}{2}}$$

$$B = \frac{Q_{cap}}{\frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2g} * ho^{3/2}}$$

$$B = \frac{6.2}{\frac{2}{3} * 0.682 * \sqrt{2 * 9.81} * 0.24^{3/2}} = 27m$$

B = 27m, teniendo en cuenta que el ancho del azud es 36.5m y el frente del vertedero es muy grande por lo que asumimos la carga de diseño igual a ho = 0.40m

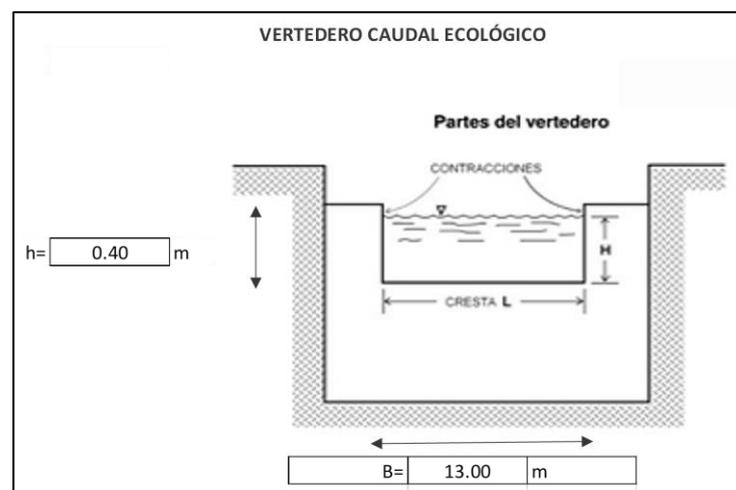
$$\mu = 0.312 + 0.09 * \frac{0.40m}{4.70m} + \sqrt{0.30 - \left[0.01 * \left(5 - \frac{0.4m}{0.25m} \right)^2 \right]} = 0.647 = 0.65$$

$$B = \frac{6.2}{\frac{2}{3} * 0.65 * \sqrt{2 * 9.81} * 0.40^{3/2}} = 12.8m = 13m$$

Las dimensiones del vertedero de pared gruesa se pueden observar en la figura 79

Figura 79

Esquema Vertedero Pared Gruesa



Nota: Se presenta el ancho del frente del vertedero de pared gruesa y la carga de diseño
Fuente: Autores.

Cabe mencionar que el vertedero de pared gruesa tiene una esclusa de emergencias para cuando los sedimentos se acumulen y requiera limpieza.

8.2.1.3.2 Esclusa de purga o emergencia

Se plantea el diseño de orificios en el fondo del vertedero de pared gruesa con compuertas para que cuando se abran funcione como una esclusa de purga o de emergencia en caso de crecidas.

La compuerta se caracteriza por que el agua sale a presión a gran velocidad vaciando el vertedero.

Esclusa de emergencia:

Al igual que en el desripador se usará un orificio rectangular, sus parámetros se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{esc} = C_o * A_o * \sqrt{2g * \left(w - \frac{h_o}{2}\right)}$$

Ecuación (92)

Donde:

C_o = Coeficiente de descarga orificio rectangular

A_o = Área del orificio en [m²]

Q_{esc} = Caudal desalojado por la esclusa de emergencia en [m³/s]

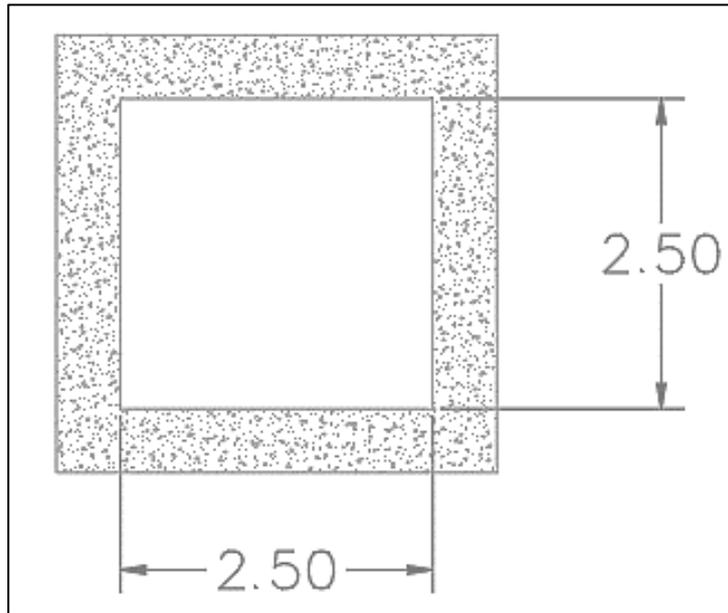
Se asume que el alto del orificio es $h_o = 2.5\text{m}$, por lo tanto, el área del orificio es de $A_o = 6.25\text{m}^2$

$$Q_{esc} = 0.6 * 6.25 * \sqrt{2 * 9.81 * \left(4.75 - \frac{1.1}{2}\right)} = 6.59 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Dado que el caudal desalojado es $6.6\text{m}^3/\text{s}$, y el de captación es $6.2 \text{m}^3/\text{s}$, por tanto, el área del orificio será la misma que se estimó anteriormente, debido a que no existe mucha diferencia entre caudales.

Figura 80

Dimensiones orificio de esclusa de emergencias



Nota: Se muestran las dimensiones de la esclusa de purga del vertedero de pared gruesa.
Fuente: Autores.

8.2.1.3.2.3 Compuerta

Según (Krochin, 1986), para diseñar una compuerta se debe establecer una relación de a/H mayor y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{med} = k * e * a * b * \sqrt{2g * (H + \frac{v^2}{2g} - ea)}$$

Ecuación (93)

Donde:

a = Abertura de la compuerta [m].

b = Ancho de la compuerta [m].

v = Velocidad del río aguas arriba [m/s].

H = Altura del paramento aguas arriba [m].

k = Coeficiente de velocidad se asume de 0.95 a 0.97.

e = Relación entre la abertura de la compuerta y la altura del paramento $e = a/H$.

Para dimensionar la compuerta de la esclusa de purga se requiere recopilar la información necesaria para el diseño de esta obra, estos datos se encuentran resumidos en la tabla 66.

Tabla 66

Información general para dimensionar la esclusa de emergencias

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal medio mensual	Q _{med}	18.62	m ³ /s
2	Coefficiente de velocidad	k	0.95	
3	Apertura de la compuerta	a	2.5	m
4	Altura del paramento aguas arriba	H	5.0	m
5	Gravedad	g	9.81	m/s ²
6	Velocidad del río aguas arriba	V _r	0.142	m/s

Nota: Se presentan datos para diseñar una compuerta de la esclusa de purga. Fuente: Autores

Se dimensiona la compuerta empleando la siguiente ecuación:

$$b = \frac{Q_{med}}{k * e * a * \sqrt{2g * (H + \frac{v^2}{2g} - ea)}}$$

Tabla 67

Valores de a/H para determinar el factor e

$\frac{a}{H}$	e
0,00	0,611
0,10	0,615
0,15	0,618
0,20	0,620
0,25	0,622
0,30	0,625
0,35	0,628
0,40	0,630
0,45	0,638
0,50	0,645
0,55	0,650
0,60	0,660
0,65	0,675
0,70	0,690
0,75	0,705
0,80	0,720
0,85	0,745
0,90	0,780
0,95	0,835
1,00	1,000

Nota: Se muestran valores de la relación a/H. Fuente: (Krochin, 1986).

$$\frac{a}{H} = \frac{2.5m}{5m} = 0.5$$

Se obtiene un $e = 0.645$

$$b = \frac{18.62}{0.95 * 0.645 * 2.50 * \sqrt{2 * 9.81 * [5 + \frac{0.142^2}{2 * 9.81} - (0.645 * 2.5)]}} = 1.50m$$

Por lo tanto, las dimensiones de la compuerta de la esclusa de purga son de $b_c=2.50m$ por $h_c=2.50m$.

8.2.1.3.3 Resumen de resultados

Una vez realizado el diseño definitivo se resume el resultado del dimensionamiento del vertedero de pared gruesa, considerando que tiene una esclusa de emergencia con su debida compuerta. Estas dimensiones se encuentran en la tabla 68.

Tabla 68

Dimensiones del vertedero de pared gruesa

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del vertedero pared ancha	B	13,00	m
2	Carga de diseño del vertedero	h	0,40	m
3	Altura del orificio	ho	2,50	m
4	Ancho del orificio	bo	2,50	m
5	Área de orificio	Ao	6,25	m ²
6	Ancho de la compuerta	b _{comp}	2,50	m
7	Apertura de la compuerta	a	3,000	m
8	Altura del paramento aguas arriba	H	4,6	m

Nota: Se presentan dimensiones constructivas del vertedero pared gruesa. Fuente: Autores.

8.2.1.5 Desripiador

8.2.1.5.1 Criterios de diseño

- a) Se diseña un desripiador cuya finalidad es retener las partículas sólidas que alcanzan a pasar por la captación con rejilla lateral entre los barrotes para que piedras y otro material no entren en la conducción.
- b) Según (OLADE, 1985), es necesario considerar velocidades relativamente bajas en el desripiador y a su vez el paso hacia el canal debe hacerse mediante un vertedero sumergido.
- c) Según (Andrade & Heredia H, 2013) el ancho del desripiador se lo diseña considerando una transición que une la captación con rejilla lateral, el desripiador y el desarenador.
- d) El desripiador más conocido como cámara de sedimentación debe considerar sedimentar los materiales sólidos que pasan por su lecho, es decir, retener rocas y otros materiales, para posteriormente realizar limpiezas periódicas mediante un canal de desfogue con una gradiente suficiente para conseguir una velocidad de lavado alta (Krochin, 1986).
- e) El desripiador al igual que el desarenador consta de varios elementos los cuales son:
 - Vertedero Sumergido;
 - Canal de limpieza desripiador;
 - Orificio de Lavado;
 - Vertedero de excedentes.
- f) Según (Krochin, 1986), entre la rejilla de entrada y el vertedero de salida puede formarse un resalto sumergido, para que el vertedero funcione

adecuadamente conviene que el ancho del desripador sea igual al menos a la longitud del resalto.

- g) Es importante considerar la limpieza del fondo del desripador mediante una compuerta y su canal respectivo, posteriormente se lleva los sedimentos al río Toachi, hacia aguas abajo del azud (Loachamín Larrága & Reinoso Acurio, 2020).
- h) Se debe diseñar el canal con una pendiente fuerte entre 2% y 4%, para asegurar el arrastre de sedimentos.
- i) Se debe evitar los ángulos rectos durante el proceso constructivo de la estructura, uniendo las paredes con curvas suaves que converjan hacia la compuerta de manera que las piedras no se queden en las esquinas.
- j) Tomando en cuenta el paso de piedras grandes por el canal de limpieza del desripador, se debe diseñar para un ancho cuya velocidad de flujo no debe ser menor a 2m/s.
- k) Según (Andrade & Heredia H, 2013), estructuralmente el vertedero sumergido al final del desripador no debe tener mucha altura, ya que constructivamente la base estaría sobredimensionada o excesivamente ancha para soportar la carga lateral del agua, lo que en términos económicos no es conveniente.
- l) Se debe considerar el diseño de un vertedero de excedentes a un costado de la cámara, cuyo objetivo principal sea evacuar el agua en exceso, que se encuentre al ingreso del desripador. Para optimizar el diseño este vertedero se tendrá en cuenta 2/3 el caudal de captación (Krochin, 1986).

$$Q_{dis-rej} = C * M * b_{vert-exc} * h_{vert-exc}^{3/2}$$

Ecuación (94)

Donde:

$Q_{\text{dis-rej}}$ = Caudal de captación de la rejilla [m^3/s].

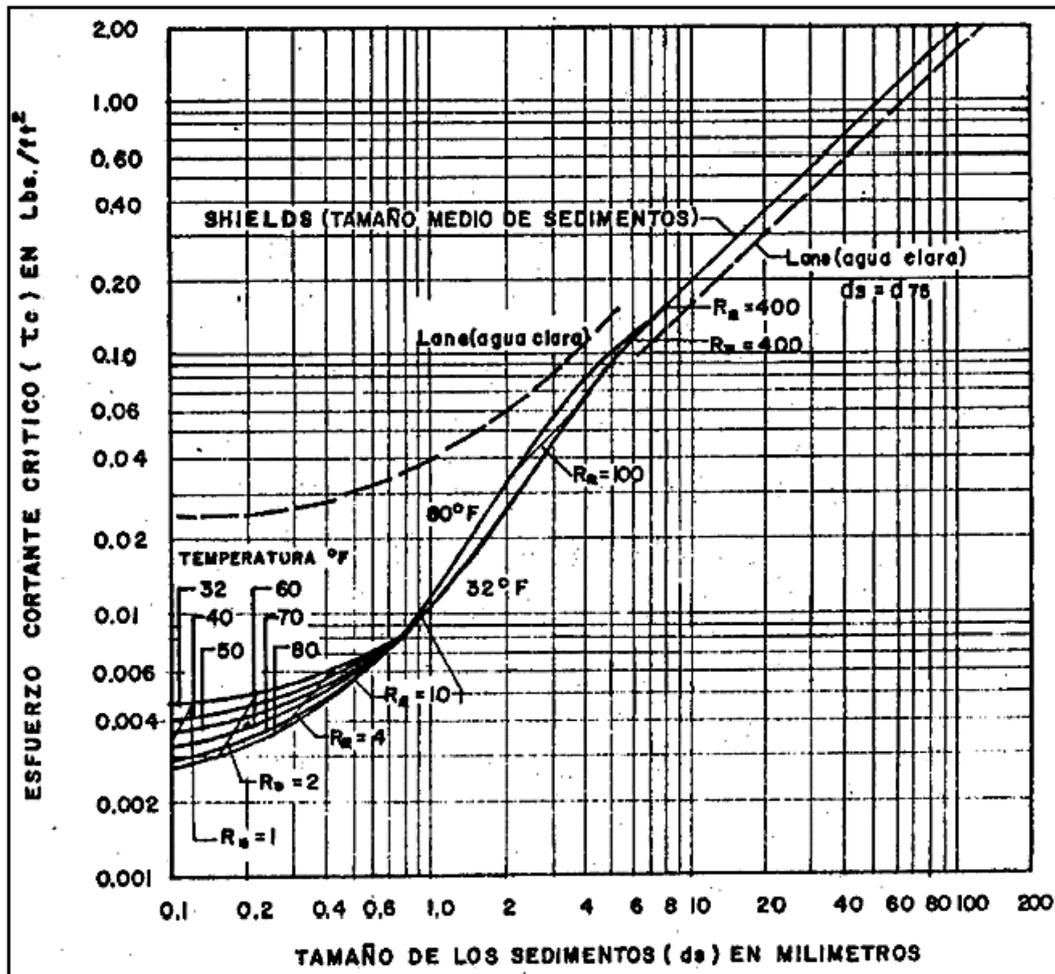
C = coeficiente de contracción actúa cuando el chorro pasa sobre el vertedero.

M = Coeficiente de descarga del vertedero.

m) Para el análisis de la velocidad de arrastre de las partículas dentro del canal de limpieza, se considera la relación entre el esfuerzo cortante crítico y el diámetro de las partículas arrastradas mediante el ábaco propuesto por Shields (Andrade & Heredia H, 2013).

Figura 81

Variación de Esfuerzo cortante crítico y diámetro de las partículas de arrastre



Nota: Se presenta el gráfico para determinar la resistencia al corte de las partículas que arrastra el canal de lavado. Fuente: (Andrade & Heredia H, 2013).

n) Dado que el desripiador es cámara que almacena agua y sedimentos, es importante considerar en el diseño una compuerta de evacuación que al igual forma como en el desarenador se debe calcular el tiempo de vaciado mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{dis-lav} = C_d * A_o * \sqrt{2g * h_{d-comp-limp}}$$

Ecuación (95)

Donde:

$Q_{dis-lav}$ = Caudal de lavado de la cámara desripiador en [m³/s].

C_d = Coeficiente de descarga del orificio.

A_o = Área del orificio en [m²].

$h_{d-comp-limp}$ = Altura de la compuerta de limpieza en [m].

o) Para determinar el ancho del desripiador se utilizará la misma ecuación usada al obtener la longitud de la rejilla lateral, con la diferencia que en este caso no se tomara en cuenta la obstrucción de los barrotes que tiene la reja y por esta razón se elimina el factor k de la ecuación siguiente (Ortíz Flórez, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, 2011):

$$b_{desr} = \frac{Q_{dis-desr}}{S * C_o * H^{3/2}}$$

Ecuación (96)

Donde:

$Q_{dis-desr}$ = Caudal de diseño del desripiador en [m³/s].

b_{desr} = Ancho del desripiador en [m].

- p) La longitud del desripiador se determina considerando que debe ser por lo menos igual a la longitud del resalto hidráulico que se forma en la reja de entrada y la longitud del azud vertedero (OLADE, 1985).
- q) En el cálculo de la longitud del desripiador es importante mencionar que se estima la colocación necesaria para una transición entre la rejilla y el vertedero de salida del desripiador esta transición se logra mediante la aplicación de la siguiente ecuación (Merino Poveda, 2019):

$$L_t = \frac{b_1 - b_2}{2 * \tan (12.5^\circ)}$$

Ecuación (97)

Donde:

L_t = Longitud de la transición del desripiador [m].

b₁ = Ancho nominal del desripiador igual al ancho de la rejilla lateral [m].

b₂ = Ancho del canal de transición [m].

8.2.1.5.2 Dimensionamiento del desripiador

Para realizar el diseño definitivo del desripiador es necesario recopilar datos útiles para dimensionar la estructura, esta información se encuentra resumida en la tabla 69.

Tabla 69

Información general para dimensionar el desripiador

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Q _{dis-rej}	6.20	m ³ /s
2	Ancho del desarenador	B _{des}	11	m
3	Pendiente desripiador	id	0.03	m/m
4	Velocidad de sedimentación	V _s	0.027	m/s
5	Diámetro máximo de las partículas	dp	0.25	mm

Nota: Se presenta el resumen de los datos necesarios para diseñar un desripiador. Fuente: Autores

El caudal de diseño corresponde al caudal de diseño de la rejilla lateral, adicionalmente se asume una pendiente del 3% para que asegure el arrastre de sedimentos. el ancho del desarenador es de 11m.

En cuanto a la longitud del desarenador se asume 42m para mantener la ubicación del desarenador, cuya finalidad es mantener la pendiente de la cámara desarenadora y dar la velocidad necesaria para arrastrar los sedimentos.

Asumiendo la longitud del desripiador se calcula el calado de la cámara mediante la siguiente ecuación:

$$L_{desr} = \frac{k * hd' * Vd}{Vs}$$

Ecuación (98)

Donde:

k = Factor de importancia de la obra entre 1.2 a 1.5

hd' = Calado de la cámara desripiador en [m].

Vd = Velocidad horizontal de la partícula en [m/s].

Vs = Velocidad de sedimentación en [m/s].

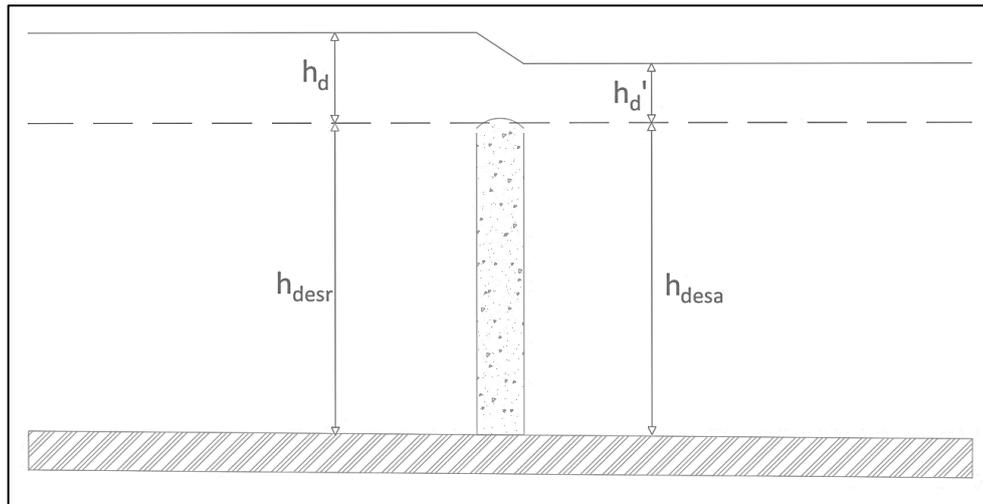
8.2.1.5.2.1 Vertedero sumergido:

Según (Andrade & Heredia H, 2013), el vertedero sumergido marca el final del desripiador e el inicio del desarenador, por tal motivo resulta importante mantener la misma cota aguas abajo.

El esquema del vertedero sumergido se observa en la figura siguiente:

Figura 82

Esquema geométrico del vertedero sumergido en el desripiador



Nota: se muestra el vertedero sumergido que se forma en la transición entre el desripiador y el desarenador. Fuente: Autores.

La carga h_d' representa la altura aguas abajo medida sobre el vertedero, este parámetro es calculado previamente en el desarenador.

$$h_d' = 0.43m$$

En tanto, la carga h_d se asumirá teniendo en cuenta que el flujo de agua desciende levemente a pasar por el vertedero. Posteriormente se comprobará si la carga H es adecuada para que $h_d' = 0.43m$.

$$h_d = 0.50m$$

Coefficiente de sumergencia:

$$Q_{dis-rej} = \varepsilon_d * C_{od} * b_{des} * h_d^{3/2}$$

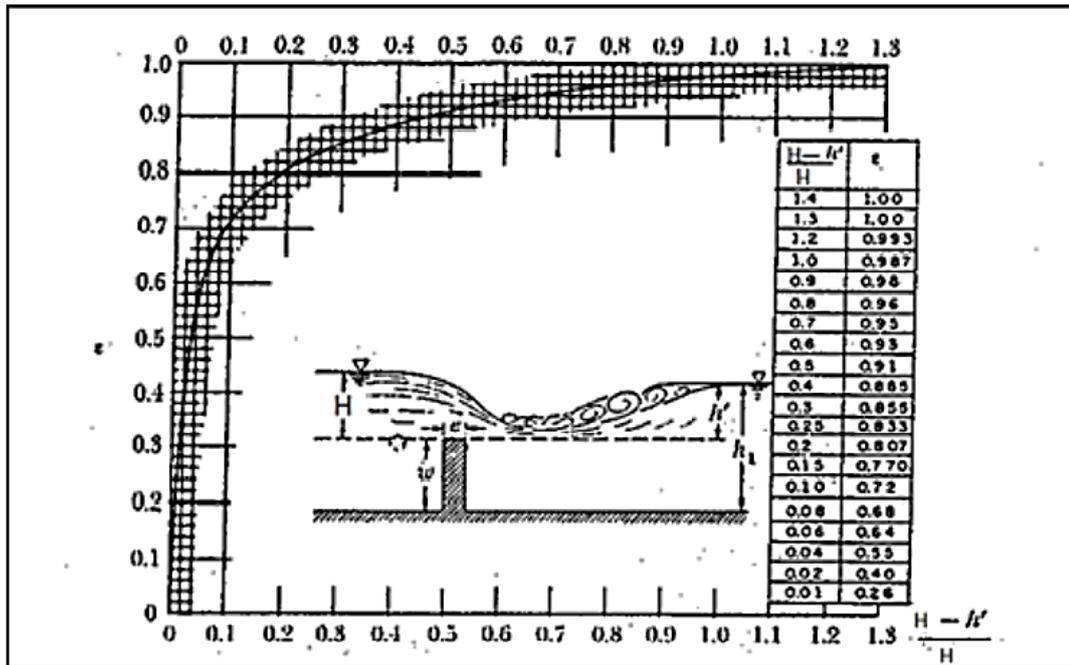
Para el coeficiente de descarga del desripiador tomamos $C_{od} = 2$ recomendado por (Krochin, 1986).

$$6.2 = \varepsilon_d * 2.0 * 11 * 0.50^{3/2}$$

$$\varepsilon_d = 0.797 = 0.80$$

Figura 83

Coefficientes ϵ para vertederos de pared gruesa, con descarga sumergida según (F. Domínguez 1959).



Nota: Se muestra un ábaco para encontrar la carga del vertedero sumergido Fuente: (Soteldo, 1994).

De la figura 83, ingresando con el valor de $\epsilon_d = 0.797$, se obtiene que:

$$\frac{hd - hd'}{hd} = \frac{0.50m - 0.43m}{0.50m} = 0.14$$

$$\frac{H - 0.43m}{H} = 0.14$$

Por lo tanto, el valor de $H = 0.50m$

Se comprueba si el dimensionamiento del vertedero es sumergido mediante la siguiente expresión:

$$hd' = hd - 0.14hd' = 0.50m - 0.14 * (0.43m) = 0.43m$$

8.2.1.5.2.2 Canal de limpieza

El canal de limpieza al igual que en el desarenador, tiene como objetivo principal desalojar los sedimentos que se encuentran en el fondo del desripiador, para esto resulta indispensable determinar la velocidad de arrastre de las partículas en el desripiador.

Esta velocidad se encuentra en función del diámetro máximo de las partículas a decantar, la pendiente del canal y el calado del canal de limpieza.

Según (Andrade & Heredia H, 2013), el primer paso es comprobar el arrastre para la situación más crítica que presente la estructura, es decir, cuando el canal de limpieza debe evacuar un caudal igual al presente en el desripiador.

$$Q_{canal-limp} = Q_{dis-rej} = 6.2 \text{ m}^3/s$$

Para dimensionar el canal de limpieza asumiremos los datos de la tabla siguiente:

Tabla 70

Información para diseñar el canal de limpieza desripiador

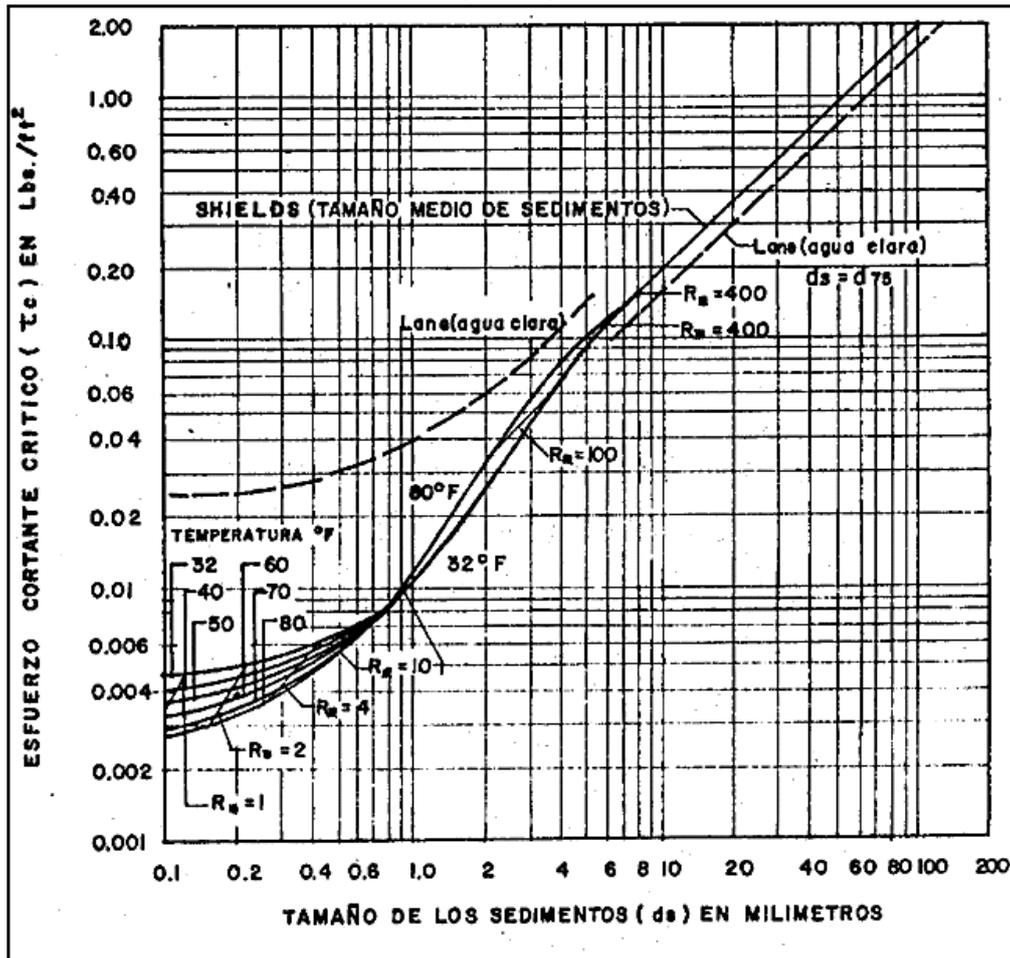
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del canal de limpieza	$b_{desr-limp}$	2.00	m
2	Coefficiente rugosidad de Manning	n_{horm}	0.015	
3	Pendiente desripiador	id	0.03	m/m

Nota: Datos generales para dimensionar el canal de limpieza del desripiador. Fuente: Autores.

Para determinar la capacidad de arrastre de sedimentos que tiene el desripiador aplicamos el diagrama de Shields, que relaciona el esfuerzo cortante crítico, con el tamaño de los sedimentos como se muestra en la siguiente figura:

Figura 84

Variación de esfuerzo cortante crítico en función del tamaño de los sedimentos



Nota: En este gráfico se obtiene el esfuerzo cortante mediante el diámetro de la partícula que se va a decantar en el desarenador como por ejemplo $d=0.5\text{mm}$ Fuente: (Universidad de Piura, s.f.).

Lámina de agua en el canal

Se procede a calcular la laminada agua en el canal (h_{canal}) mediante la ecuación de Manning:

$$Q_{\text{canal}} = \frac{1}{n_{\text{norm}}} * A_c * Rc^{\frac{2}{3}} * id^{1/2}$$

Ecuación (99)

$$Q_{canal} = \frac{1}{0.015} * (b_{desr-limp} * h_{n-canal}) * \left(\frac{b_{desr-limp} * h_{n-canal}}{b_{desr-limp} + 2 * h_{n-canal}} \right)^{\frac{2}{3}} * id^{0.5}$$

$$6.2 = \frac{1}{0.015} * (2.0 * h_{n-canal}) * \left(\frac{2.0 * h_{n-canal}}{2.0 + 2h_{n-canal}} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.03^{0.5}$$

$$h_{n-canal} = 0.54m$$

Esfuerzo crítico:

Se calcula el esfuerzo cortante crítico en función del calado anteriormente determinado mediante la siguiente ecuación:

$$\tau_o = \delta * Rh * id$$

Ecuación (100)

Donde:

τ_o = Esfuerzo crítico del flujo [kg/m²; lb/ft²]

δ = Densidad del agua en [kg/m³]

R_h = Radio hidráulico del canal de limpieza desripiador en [m].

id = Pendiente del desripiador en [m/m].

$$Rh = \frac{2.0m * 0.54m}{2.0m + 2 * 0.54m} = \frac{1.08m^2}{3.08m} = 0.351m$$

$$\tau_o = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.351m * 0.03 = 10.52 \frac{kg}{m^2}$$

Dado que el diagrama de Shields mostrado en la figura 97, se encuentra en unidades inglesas se procede a convertir el esfuerzo cortante crítico calculado anteriormente.

$$\tau_o = 2.15 \frac{lb}{ft^2}$$

Con el valor de $\tau_o = 2.15 \text{ lb/ft}^2$ ingresamos al gráfico, se concluye que la capacidad de arrastre del canal de limpieza excede los 100mm de diámetro de las partículas y para el caso del río Toachi en el sitio de estudio las partículas que entran en el desripiador alcanzan hasta los 50mm, por tal motivo el canal arrastra el 100% de los sedimentos.

Por tanto, se puede decir que el funcionamiento del canal de limpieza es normal respecto al esfuerzo cortante crítico, pero se tiene que considerar que cuando el nivel de agua disminuye, el volumen de sedimentos se reduce y, por tanto, la capacidad de arrastre de sedimentos tiene el canal bajo.

Es por eso que resulta necesario calcular la velocidad mínima de flujo en el canal de limpieza y el tiempo de vaciado del desripiador.

A demás es importante mencionar que la velocidad mínima de flujo del canal de limpieza se presenta cuando el desripiador se encuentra operando al límite de vaciado.

8.2.1.5.2.3 Orificio de lavado del desripiador

Según (Andrade & Heredia H, 2013), para determinar el tiempo de vaciado del desripiador es necesario asumir que la compuerta de lavado esta sumergida como se explica en los criterios de diseño, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{dis-lav} = C_d * A_o * \sqrt{2g * h_{d-comp-limp}}$$

Para determinar el tiempo de vaciado del desripiador se emplea datos de la siguiente tabla:

Tabla 71*Datos para calcular el tiempo de vaciado del desripiador*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Volumen cámara desripiador	Vt	541.20	m ³
2	Ancho del desarenador	B _{des}	11.0	m
3	Coefficiente de descarga orificio	Cd	0.60	
4	Calado por encima del orificio	h _{norif}	2.070	m/s
5	Base del orificio canal	b _{desr-limp}	2.00	m
6	Altura orificio (apertura compuerta)	h _{d-comp-limp}	1	m

Nota: Información necesaria para dimensionar el orificio de lavado del Desripiador.

Fuente: Autores.

Con los datos de la tabla 71, se determina el tiempo de vaciado del desripiador, para esto se debe realizar cálculos previos de los volúmenes presentes en el desripiador.

Volumen de agua limpia (Vd):

Se lo calcula en base a la siguiente ecuación:

$$V_d = B_{des} * L_{const} * h_{des}$$

$$V_d = 11m * 42m * 0.54m = 249.48m^3$$

Volumen muerto desripiador (Vm):

$$V_m = B_{des} * L_{const} * (h_s + 0.5 * h_o)$$

$$V_m = 11m * 42m * (0.84m + 0.5 * (1m)) = 619.08m^3$$

Volumen total (Vt):

$$V_t = V_d + V_m$$

$$V_t = 249.48 + 619.08 = 868.56m^3$$

Para el cálculo del tiempo de vaciado es importante mencionar las siguientes expresiones:

$$Q_{des} = C_o * A_o * \sqrt{2gh_i}$$

Donde:

Q_{des} = Caudal desalojado por el orificio en [m³/s].

Co = Coeficiente de descarga del orificio.

Ao = Área del orificio en [m²].

g = Aceleración de la gravedad en [m/s²].

hi = Profundidad normal del orificio en [m].

$$h_i = h_c + h_s + h_{d'} + h_d$$

Donde:

hc = Altura del canal del desripiador en [m].

hs = Altura de sumersión en [m].

hd' = Altura aguas abajo del vertedero sumergido en [m].

hd = Altura aguas arriba del vertedero sumergido en [m].

$$V_{des} = Q_{des} * \Delta t$$

Donde:

Vdes = Volumen desalojado por el orificio del desripiador en [m³].

Δt = Tiempo en [s].

$$V_{res} = V_t - V_{des}$$

Donde:

Vres = Volumen residual del desripiador en [m³].

$$h_{res} = h_i - \frac{V_{des}}{L_{des} * B_{des}}$$

Donde:

hres = Altura residual del desripiador en [m].

Se determina el tiempo de vaciado del desripiador, incrementando intervalos de tiempo de 5 segundos (ver anexo Nro. 30).

Se tiene que el tiempo de vaciado es aproximadamente de $t = 91.51$ segundos, es decir, $t = 1,5$ minutos.

En cuanto al caudal de lavado es de $Q_{lav} = 3.51 m^3/s$, con una velocidad mínima de flujo de $V_{des} = 1.75 m/s$.

Con fines del diseño del desripiador se comprobará la capacidad de arrastre de las partículas, los valores calculados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 72

Comprobación de arrastre de partículas para $Q_{d-lav} = 3.49 m^3/s$

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal a evacuar	$Q_{dis-lavado}$	3.51	m^3/s
2	Ancho del canal de limpieza	$b_{desr-limp}$	2.00	m
3	Coefficiente rugosidad de Manning	n_{horm}	0.015	
4	Pendiente canal desripiador	i_{desr}	0.030	m/m
5	Densidad del líquido	d	1000	kg/m^3
6	Calado en el canal	h_{n-limp}	0.37	m
7	Esfuerzo cortante crítico	t_o	8.04	kg/m^2
			1.64	lb/ft^2
8	Diámetro de partículas que entran en el desripiador	d_{desr}	0.50	mm
9	Diámetro de partículas que son removidas con esfuerzo cortante	$d_{esf-cort}$	0.70	mm

Nota: Se presenta un resumen de los cálculos de la comprobación de arrastre de partículas del desripiador. Fuente: Autores.

8.2.1.5.2.4 Vertedero de excedentes

El vertedero de excedentes es una de las estructuras del desripiador, generalmente se encuentra ubicado junto al canal de limpieza a lado de la compuerta. Este vertedero tiene la particularidad de que el caudal excedente se junta con el caudal descargado de lavado, en dirección al río Toachi.

Se considera $2/3$ del caudal de captación para el diseño de esta estructura, como se menciona anteriormente en los criterios de diseño, esto con la finalidad de optimizar el diseño del vertedero de excedentes (Andrade & Heredia H, 2013).

$$Q_{dis-vert} = \frac{2}{3} * Q_{dis-rej}$$

$$Q_{dis-vert} = \frac{2}{3} * 6.20 = 4.13 \text{ m}^3/\text{s}$$

Al diseñar el vertedero de excedentes del desripiador se recopila datos para el dimensionamiento que se encuentran resumidos en la tabla 73.

Tabla 73

Información para diseño de vertedero de excedentes (Desripiador)

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño rejilla	$Q_{dis-rej}$	6.20	m^3/s
2	Caudal de diseño vertedero	Q_{d-vert}	4.13	m
3	Ancho de vertedero de excedentes	$b_{vert-exc}$	8.00	m

Nota: Datos necesarios para dimensionar el vertedero de excedentes. Fuente: Autores

Para el diseño del vertedero de excedentes o aliviadero, se utilizará la ecuación general de vertederos siguiente:

$$Q_{d-vert} = \varepsilon * m * b_{vert-exc} * h_{vert-exc}^{3/2}$$

Ecuación (101)

Donde:

Q_{d-vert} = Caudal de diseño del vertedero de excedentes (desripiador) en $[\text{m}^3/\text{s}]$.

$b_{vert-exc}$ = Ancho del vertedero de excedentes en [m].

$h_{vert-exc}$ = Altura del vertedero de excedentes en [m].

ε = Coeficiente de contracción lateral del vertedero.

m = Coeficiente de descarga.

Según (Calero Hidalgo, 2020), el coeficiente de contracción lateral se asume un valor igual a, $\varepsilon = 0.93$.

Este coeficiente también se lo puede determinar en función a un factor k_d que se le asume un valor de 0.90 y se obtiene mediante la siguiente ecuación (Krochin, 1986):

$$\varepsilon = 0.4 * \left(\frac{1 - kd^{\frac{5}{2}}}{1 - kd} \right)$$

$$\varepsilon = 0.4 * \left(\frac{1 - 0.90^{\frac{5}{2}}}{1 - 0.90} \right) = 0.926 = 0.93$$

Según (Krochin, 1986), el coeficiente de descarga (m) se asume un valor de 2.

$$m = 2$$

Según (Andrade & Heredia H, 2013), por lo general se diseñan vertederos de excedentes con un ancho de 8 a 10m, para obtener valores de carga menores a 0.60m, en base a las recomendaciones dadas por la Normativa de diseño del Dr. Marco Castro.

$$b_{vert-exc} = 8m$$

$$4.13 = 0.93 * 2 * 8 * h_{vert-exc}^{3/2}$$

$$h_{vert-exc} = \left(\frac{4.13}{2 * 0.93 * 8} \right)^{2/3}$$

$$h_{vert-exc} = 0.43m$$

8.2.1.5.3 Resumen de resultados

Una vez diseñado el desripador y sus demás componentes se resumen el resultado de sus dimensiones en la siguiente tabla:

Tabla 74

Dimensiones Vertedero sumergido del desripador

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Carga aguas abajo vertedero	hd'	0.43	m
2	Carga aguas arriba vertedero	hd	0.5	m
3	Ancho del desarenador	B _{des}	11.00	m
4	Coefficiente de sumergencia	e _d	0.797	
5	Relación carga aguas arriba y abajo	(hd-hd') /hd	0.14	

Nota: Se presenta el valor de las cargas en el vertedero sumergido. Fuente: Autores

Los resultados del dimensionamiento del canal de limpieza en el desripiador se resumen en la tabla 75.

Tabla 75

Dimensiones canal de limpieza (Desripiador)

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal a evacuar	$Q_{\text{dis-lavado}}$	6.20	m^3/s
2	Ancho del canal de limpieza	$b_{\text{desr-limp}}$	2.00	m
3	Coefficiente rugosidad de Manning	n_{horm}	0.015	
4	Pendiente canal desripiador	i_{desr}	0.030	m/m
5	Densidad del líquido	d	1000	kg/m^3
6	Calado en el canal	$h_{\text{n-limp}}$	0.54	m

Nota: Valores de parámetros del canal de limpieza del desripiador. Fuente: Autores

Se resumen el resultado del diseño de un vertedero de excedentes en el desripiador (ver tabla 76).

Tabla 76

Dimensiones vertedero excedentes (Desripiador)

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño vertedero	$Q_{\text{d-vert}}$	4.13	m
2	Ancho de vertedero de excedentes	$b_{\text{vert-exc}}$	8.00	m
3	Calado del vertedero excedentes	$h_{\text{vert-exc}}$	0.50	m

Nota. Se muestran las dimensiones de vertedero de excedentes del desripiador. Fuente: Autores.

Se resumen los resultados del diseño del orificio del desripiador y el tiempo de lavado del mismo en la tabla 77.

Tabla 77*Dimensiones orificio de lavado y tiempo de vaciado de desripiador*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Volumen cámara desripiador	Vt	868.56	m ³
2	Ancho del desarenador	B _{des}	11.0	m
3	Coefficiente de descarga orificio	Cd	0.60	
4	Calado por encima del orificio	h _{norif}	2.31	m
5	Base del orificio canal	b _{desr-limp}	2.00	m
6	Altura orificio (apertura compuerta)	h _{d-comp-limp}	1.00	m
7	Caudal de lavado	Q _{dis-lavado}	3.51	m ³ /s
8	Velocidad de flujo	V _{d-flujo}	1.75	m/s
9	Tiempo de vaciado	t _{va-desr}	91.51	s
			1.53	min

Nota: Se presenta valores de los parámetros obtenidos en el dimensionamiento del orificio de lavado del desripiador. Fuente: Autores.

8.2.2 Obras de conducción

8.2.2.1 Tubería conducción

8.2.2.1.1 Criterios de diseño

- a) Para suplir la necesidad de conducir el caudal de agua de generación desde el tanque de carga hacia la casa de máquinas requerimos de la tubería de conducción, misma que se diseñará para los requerimientos de esta obra.
- b) Como primera idea se sostuvo la implementación de una tubería de PVC, sin embargo, de acuerdo al caudal que se requiere transportar las tuberías de PVC comercialmente llegan hasta un diámetro de 800mm.
- c) Se descarta el uso de material PVC, debido a que el diámetro de la tubería que existe en el mercado no abastece al caudal de diseño de este proyecto. Es por esa razón que se adopta, la tubería de material GRP (Poliéster reforzado con fibra de vidrio), debido a sus menores costos comparados con el acero se cree que es una alternativa efectiva de acuerdo a lo

económico y a la gran variedad de diámetros que se pueden obtener de este material.

- d) La tubería cuenta con un espesor mínimo de 6mm, y con un coeficiente de rugosidad de Manning $n = 0.009$
- e) La presión que soporta la tubería es de 0.5 MPa, la misma que cumple a cabalidad con el requerimiento de 5m de columna de agua que se traducen en 0.05 MPa.
- f) En cuanto a la elección del diámetro de la conducción según criterio económico. Se deben considerar dos aspectos fundamentales:
 - i. A mayor diámetro de tubería, menores serán las pérdidas de carga y mayor es la potencia a obtener.
 - ii. A menor diámetro más económico es el costo de la tubería, por tanto, los valores de amortización serán menores.
- g) Para diseñar la tubería de conducción es necesario realizar cálculos iterativos para varios diámetros tomando en cuenta las velocidades admisibles, se establecen los costos y se identifican las pérdidas de carga para cada diámetro.
- h) Para identificar la opción más eficiente económicamente hablando, deberá cumplir con el mínimo de amortización, y el mínimo de pérdidas hidráulicas, siendo este diámetro el más económico.

i) La determinación del diámetro requiere de un análisis económico donde la tubería tenga el menor costo posible para la menor pérdida de carga, por tanto, se podrá obtener la mayor potencia.

j) El diseño de la tubería de conducción se determina de acuerdo a lo siguiente:

I. La potencia se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$P = \gamma * Q_e * H_n * e$$

Ecuación (102)

Donde:

P = Potencia requerida en [kW].

γ_{agua} = Peso específico del agua [kg/m³; N/m³].

Q_e = caudal de generación de energía en [m³/s].

H_n = Altura bruta de la caída en [m].

H = Altura del paramento aguas arriba en [m].

h_f = Pérdida hidráulica en [m].

e = eficiencia

La altura bruta de caída se calcula en base a la siguiente ecuación.

$$H_n = H - h_f$$

II. Considerando que a menor diámetro menor costo de la tubería, consecuentemente, los costos de amortización serán menores y se determinan mediante:

$$a = \frac{C r (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1}$$

Donde:

C = costo inicial

r = interés expresado como tanto por uno

n = número de años en que se paga la deuda

k) Sin embargo, de lo anteriormente mencionado las variables que intervienen en la determinación iterativa por relación potencia vs amortización toma en cuenta eficiencia, costos de mantenimiento futuros, costos de energía futuros, costo de mano de obra futuros, etc. Estos datos en general son supuestos y la aproximación al diámetro óptimo se puede ver afectada y arrojar un valor incierto, por tanto, se plantea una alternativa empírica así tenemos que según Mannesman Röhren Werke el diámetro está dado por:

Para altura de caída $H < 100$ m

$$D = (0.052 Q^3)^{\frac{1}{7}}$$

Para altura de caída $H < 100$ m.

$$D = \left(\frac{0.052 Q^3}{H} \right)^{\frac{1}{7}}$$

Donde:

h_1 = sobre presión debido al golpe de ariete en [m].

$$h_1 = 0.15 \frac{L * V}{t}$$

L = longitud de la tubería en m.

V = velocidad del agua en m/s

t = tiempo de cierre de la válvula de la turbina en segundos

$$t > \frac{L}{500}$$

Tabla 78

Dimensiones de las tuberías GRP

Diámetros nominales en (mm) de tubería material GRP			
300	700	1300	2600
350	800	1400	2800
400	900	1500	3000
450	1000	1600	
500	1100	1700	
600	1200	1800	

Nota: Se presenta cada una de las dimensiones que tiene la tubería GRP, para tuberías de conducción. Fuente: (PAVCO, 2020).

l) Para determinar las pérdidas por fricción, se requiere realizar el cálculo de la velocidad de flujo, el número de Reynolds, y el factor de fricción de Darcy con estos datos obtenidos se aplicará la ecuación de Darcy Weisbach para obtener la totalidad de pérdidas en función de la velocidad, la longitud de la tubería y el diámetro de la misma.

m) Se debe considerar que la velocidad de flujo para este material no debe superar los 4m/s. El cálculo de la velocidad de flujo se obtiene mediante la ecuación del caudal:

$$Q = V * A = V * \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación (103)

Despejando:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Donde:

Q = Caudal de garantía en [m³/s].

D = Diámetro de la tubería en [m].

V= Velocidad de flujo en [m/s].

n) El número de Reynolds nos será de utilidad para encontrar el factor de fricción se expresa mediante la ecuación:

$$Re = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

Ecuación (104)

Donde:

D = Diámetro de la tubería en [m].

V= Velocidad de flujo en [m/s].

μ = Viscosidad del agua en [kg/m*s; Pa/s].

ρ = Densidad del agua en [kg/m³].

m) Para la obtención del factor de fricción de Darcy se lo lleva a cabo mediante un proceso iterativo hasta obtener la siguiente igualdad determinada por Colebrook – White para flujo turbulento liso:

$$\frac{1}{\sqrt[2]{f}} = -2 * \text{Log}_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt[2]{f}} \right)$$

Ecuación (105)

Donde:

ε = Rugosidad absoluta del material en [m]

Re= Número de Reynolds

D = Diámetro de la tubería en [m]

- n) O a su vez se lo puede determinar mediante el uso de las aproximaciones de la ecuación de Colebrook, en este caso la aproximación de Swamee – Jain que se usa para obtener f directamente para una tubería circular de flujo completo:

$$f = \frac{0.25}{\log_{10} \left(\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

Ecuación (106)

Donde:

ε = Rugosidad absoluta del material en [m].

Re= Número de Reynolds

D = Diámetro de la tubería en [m].

La rugosidad absoluta depende del material de la tubería (ver tabla 79).

Tabla 79

Rugosidades absolutas según el material de la tubería de conducción

Material	ε (mm)
Acero Comercial	0,0460
Fundición asfaltada	0,1220
Hierro forjado	0,0500
Hierro fundido	0,2500
Hierro galvanizado	0,1500
Madera ensamblada	0,3050
PVC, plástico, cobre, latón, vidrio	0,0015

Nota: Valores de rugosidad absoluta de materiales; Fuente: (Soteldo, 1994).

- o) Considerando el diseño planteado para la conducción, se desprecian las pérdidas locales debido al trazado en línea recta y sin variaciones horizontales ni verticales, por tanto, se determinan las pérdidas por

fricción mediante la ecuación de Darcy Weisbach se expresa a continuación:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación (107)

Donde:

f = Factor de fricción de Darcy

L = Longitud en [m].

D = Diámetro de la tubería en [m].

V = Velocidad de flujo en [m/s].

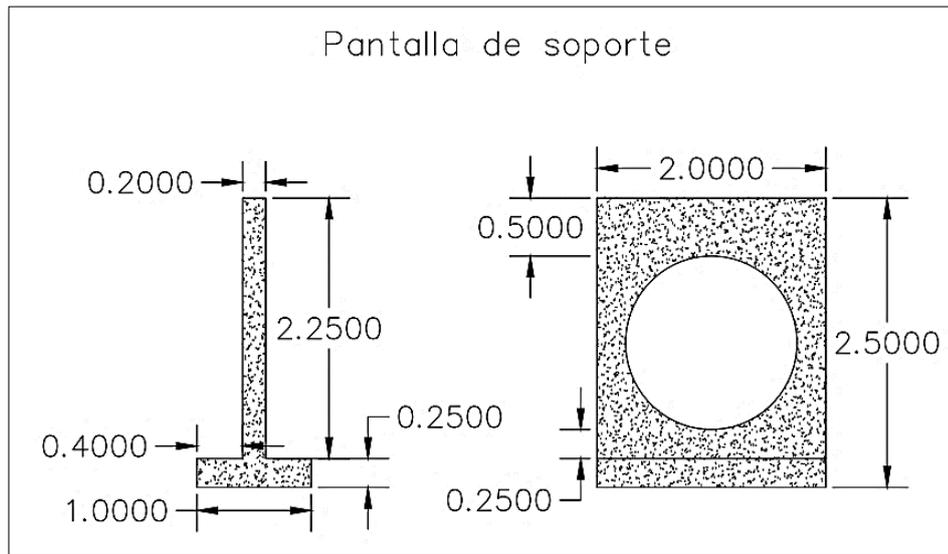
g = Aceleración de la gravedad en [m/s²]

- p) La colocación de la tubería supone el corte y relleno mínimos del terreno para generar una línea continua y sin cambios de dirección para lo cual se prevé la colocación de la tubería sobre una cama de arena, la tubería será colocada sobre el terreno de modo que para su estabilización vamos a requerir el uso de apoyos intermedios cada 20m, los cuales serán pantallas de hormigón.
- q) Los anclajes o apoyos son estructuras de hormigón que recubren a la tubería con el fin de evitar movimientos laterales de la misma, por tanto, deberán ser diseñados para soportar las fuerzas que requiere la tubería, generalmente son ubicados donde existen cambios de dirección, pendiente o sección, debido a que la tubería será colocada directamente sobre una cama de arena, los requerimientos de los anclajes se reducen debido a que el mismo terreno soportará las fuerzas ejercidas por la

conducción, por tal motivo los anclajes para nuestro caso servirán únicamente como estabilizadores y guías para la tubería.

Figura 85

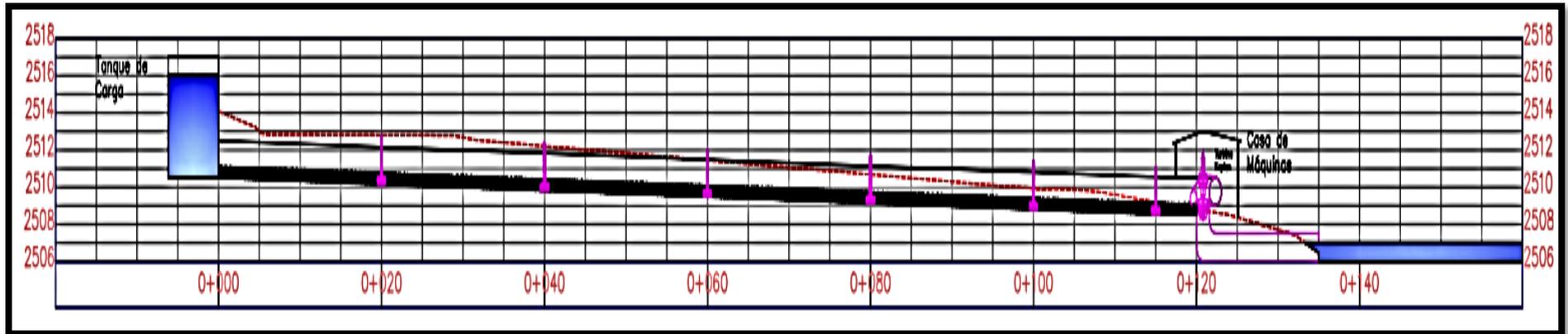
Pantalla de soporte de anclaje (Tubería de Conducción)



Nota: Se muestra el corte longitudinal y transversal de la pantalla de soporte, empleada en el anclaje de la tubería de conducción. Fuente: Autores.

Figura 86

Perfil Turbina de reacción de eje vertical



Nota: Se presenta el perfil longitudinal de la conducción de la tubería desde el tanque de carga, hasta la turbina de reacción en la casa de máquinas.

Fuente: Autores.

8.2.2.1.2 Dimensionamiento de tubería Forzada

Previo al diseño de la tubería de conducción se recopila información necesaria para dimensionar la tubería, estos datos se encuentran resumidos en la tabla 80.

Tabla 80

Datos para dimensionamiento de la tubería de conducción

ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal 80%	$Q_{80\%}$	6,20	m^3/s
2	Densidad del agua	ρ	1000	kg/m^3
3	Viscosidad del agua	μ	0,001005	$Pa*s$
4	Rugosidad absoluta	ε	0,0000015	m
5	Longitud de la tubería	L	118,36	m

Nota: Información para dimensionar la tubería de conducción tipo GRP Fuente: Autores.

Obtención del diámetro óptimo:

$$D = (0.052 * Q^3)^{\frac{1}{7}}$$

$$D = (0.052 * 6.2^3)^{\frac{1}{7}} = 1.43m$$

$$D = (0.052 * 4.2^3)^{\frac{1}{7}} = 1.21m$$

Para el diseño definitivo se utiliza la alternativa Nro.1 con $Q_{80\%}$ se determinó un diámetro óptimo de $D=1.43m$. Por lo tanto, se considera un diámetro óptimo constructivo de $D_1 = 1.50m$.

Cálculo de la velocidad de flujo:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$V_1 = \frac{(4) * (6.2m^3/s)}{(\pi) * (1.50m)^2} = 3.51 \frac{m}{s}$$

Se obtiene una velocidad de flujo de $V_1=3.51m/s$.

Determinación del número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{3.51 \frac{m}{s} * 1.50 m * 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.001005 Pa * s}$$

Se convierte las unidades de la viscosidad:

$$1Pa*s= 1kg/m*s$$

$$Re_1 = \frac{3.51 \frac{m}{s} * 1.50 m * 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.001005 \frac{kg}{m * s}} = 5238805.97$$

El número de Reynolds es mayor a 4000 por lo que se concluye que el flujo es turbulento.

Factor de fricción por Darcy:

$$f = \frac{1.325}{Ln \left(\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

$$f_1 = \frac{1.325}{Ln \left(\left(\frac{0.0000015}{3.7 * 1.50} \right) + \left(\frac{5.74}{5238805.97^{0.9}} \right) \right)^2} = 0.0090015$$

Cálculo de pérdidas por fricción

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$hf_1 = 0.0090015 * \frac{118.36 m}{1.50 m} * \frac{\left(3.51 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.45m$$

Potencia requerida:

$$P = \gamma * Q_e * H_n * e$$

$$P = \gamma * Q_e * (H - hf) * e$$

$$P = 9.81 \frac{kN}{m^3} * 6.20 \frac{m^3}{s} * (5m - 0.45m) * 0.85$$

$$P_1 = 235.2 kW$$

Dado que el diseño definitivo es con la primera alternativa cuyo caudal es de 6.20m³/s, se tiene una potencia de 235.2 kW, ya que analizando la alternativa Nro.2 se llega a la conclusión de que la potencia instalada genera 152 kW con un caudal de 4.20m³/s y esto no satisface la necesidad de los usuarios.

8.2.2.1.3 Resumen de resultados

Posterior al diseño de la tubería de conducción con material GRP, se resumen los resultados de las dimensiones en la tabla 81.

Tabla 81

Dimensiones de la tubería de conducción

ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud de la tubería	L _{tub}	118.36	m
2	Diámetro óptimo	D	1.50	m
3	Velocidad de flujo	V	3.51	m/s
4	Pérdidas por fricción	Hf	0.45	m
5	Potencia generada	P	235.30	kW

Nota: Parámetros obtenidos del dimensionamiento de la tubería de condición Fuente: Autores.

8.2.3 Obras de protección

8.2.3.1 Estanque de amortiguamiento o Cuenco disipador de energía

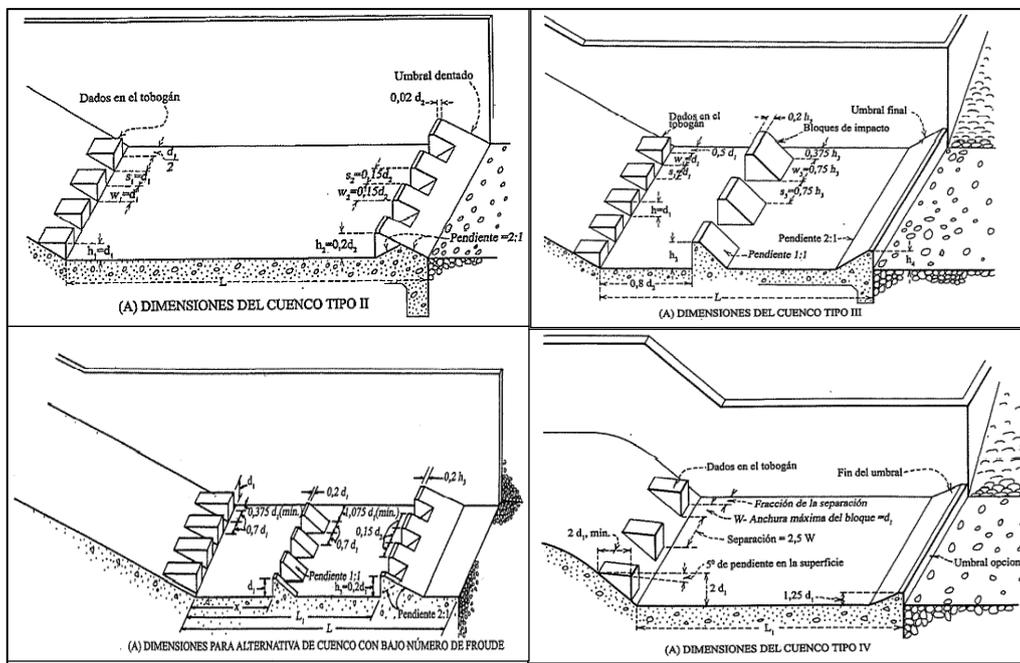
8.2.3.1.1 Criterios de diseño

a) Según (Bureau of Reclamation, 1987) para diseñar el cuenco amortiguador o estanque de amortiguamiento encargado de la disipación de energía aguas abajo del azud vertedero, se deben tomar en cuenta el tipo de USBR que se va a considerar en el diseño, para ello se determina el número de Froude (Fr) en base a esto recomienda lo siguiente:

- Si el número de Froude es bajo o menor a 1.7 USBR Tipo I.
- Si el número de Froude (Fr) está entre 2.5 y 4.5 USBR Tipo IV.
- Si el número de Froude (Fr) es mayor a 4.5 USBR Tipo II o III.

Figura 87

Tipos de Cuencos Disipadores de energía USBR



Nota: Dimensiones de los estanques disipadores de energía en función del tipo de USBR.
Fuente: Elaborado por los autores tomado de (Bureau of Reclamation, 1987).

- b) Según (Loachamín Larrága & Reinoso Acurio, 2020), en el cuenco de disipación se conoce la profundización al pie del cauce del perfil hidrodinámico USBR hasta que el resalto sea ligeramente sumergido.
- c) Según (Calero Hidalgo, 2020) se debe considerar el diseño de la losa de cimentación del cuenco disipador de energía, especificando el espesor en función a la velocidad contraída (V_c) y la carga generada por la velocidad (yc) mediante la siguiente ecuación:

$$\delta_{LOSA} = 0.15 * V_c * \sqrt{yc}$$

Ecuación (108)

Donde:

δ_{LOSA} = Espesor de la losa de cimentación del zampeado en [m]

- d) Resalto hidráulico es la disipación de energía relacionada con transformación de un flujo supercrítico a un subcrítico, en consecuencia, la aplicación de la disipación de energía se da en los vertederos tipo Creager tratando de evitar el desplazamiento del resalto y mediante medidas constructivas que el resalto se inicie en la profundidad contraída o que sea sumergido por un pozo o cuenco de disipación (Calero Hidalgo, 2020).
- e) La longitud del cuenco amortiguador está dada en función al número de Froude en consideración al tipo de USBR que se dispone diseñar. Se determina por medio de ábacos de la (Bureau of Reclamation, 1987).

- f) Con la carga generada por la velocidad contraída se determina la profundidad de la segunda conjugada por medio de la ecuación básica de resalto hidráulico (Bureau of Reclamation, 1987):

$$\frac{d2}{d1} = 0,5 * [\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1]$$

Ecuación (109)

Donde:

d1 = Profundidad contraída en [m].

d2 = Profundidad conjugada en [m].

Fr = Número de Froude

- g) Se debe considerar en el diseño del estanque amortiguador más conocido como zampeado, profundizar el nivel cuyo objetivo principal es sumergir el resalto, esto quiere decir, que se debe adicionar una altura al calado normal del río para que sea mayor a la segunda conjugada del resalto hidráulico como se indica en la siguiente inecuación (OLADE, 1985):

$$d2 < yn + e$$

Donde:

d2 = Profundidad conjugada en [m].

e = Altura que se debe profundizar para un resalto sumergido en [m].

yn = Calado o profundidad normal del río [m].

- h) El profundizamiento actúa en el diseño del cuenco amortiguador como un pozo de disipación de energía evitando que el cauce erosione y la obra civil se destruya. Para fines del diseño se debe determinar la longitud de estanque de amortiguamiento o cuenco disipador de

energía mediante la ecuación propuesta por Pavlousky (OLADE, 1985):

$$LR = 2.5 * [1.9d2 - d1]$$

Ecuación (110)

Donde:

LR = Longitud del resalto o cuenco disipador de energía en [m].

d1 = Profundidad contraída en [m].

d2 = Profundidad conjugada en [m].

8.2.3.1.2 Dimensionamiento del estanque amortiguador de disipación de energía

Para el diseño del estanque disipador de energía se resumen los siguientes datos recopilados en la siguiente tabla:

Tabla 82

Información general para el diseño del Zampeado o Pozo de disipación

Datos generales para el diseño del zampeado (pozo de disipación)		
Profundidad contraída (yc)=	0.24	m
Velocidad contraída (Vc)=	10.15	m/s
Profundidad al inicio del resalto o 1era conjugada (d1) =	0.24	m
Gravedad (g)=	9.81	m/s ²

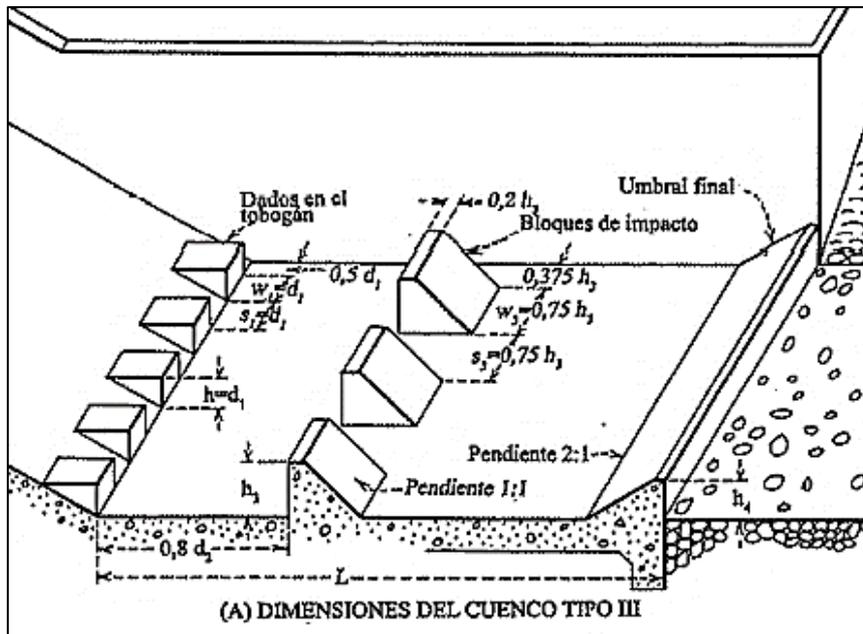
Nota: Datos necesarios para el dimensionamiento del estanque de disipación de energía, más comúnmente llamado Zampeado. Fuente: Autores.

Cálculo de número de Froude (Fr):

$$Fr = \frac{Vc}{\sqrt{g * yc}} = \frac{10.15m/s}{\sqrt{\frac{9.81m}{s^2} * 0.24m}} = 6.61$$

Fr = 6.61 >1 flujo super crítico, por lo tanto, se diseña un cuenco de disipación tipo USBR III considerado para números de Froude (Fr) mayores a 4.5, (ver figura 88).

Figura 88
Dimensiones del cuenco USBR tipo III

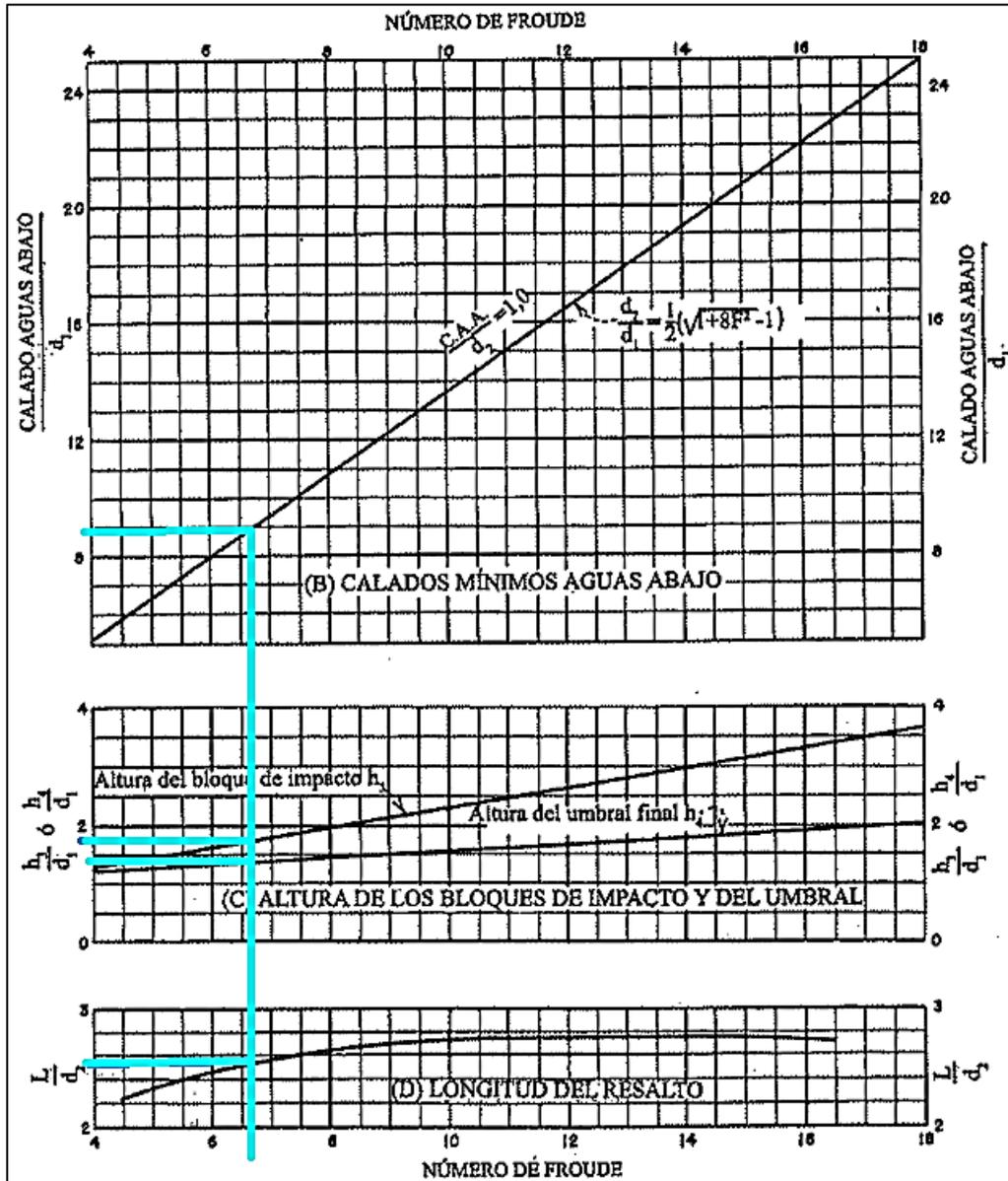


Nota: Se muestra el tipo de estanque disipador de energía. Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987)

Para determinar las características de este estanque tipo USBR se emplean ábacos (ver figura 89).

Figura 89

Características de un Cuenca Amortiguado tipo USBR tipo III



Nota: Se muestra un ábaco para determinar las características de un cuenco amortiguador para números de Froude (Fr) mayores a 4.5 y velocidad contraída menor o igual a 18m/s.
Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987)

$$L/d_2 = 2.75; L = 2.75 * 2.13\text{m} = 5.9\text{m} \quad \text{Longitud del cuenco}$$

Mediante la ecuación básica del resalto se obtiene d_2 :

$$\frac{d_2}{d_1} = 0,5 * [\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1] = 0,5 * 0,24\text{m} * [\sqrt{1 + 8 * 6,6^2} - 1]$$

$$d_2 = 2,13\text{m}$$

Resalto sumergido:

$$y_n + e > d_2$$

Donde:

e = Profundización del estanque de amortiguación en [m].

y_n = Calado normal aguas abajo del azud vertedero en [m].

Por lo tanto, para que el resalto sea sumergido se profundizará 1.5m.

$$(1,10\text{m} + 1,5\text{m}) > (2,13\text{m})$$

$$2,6\text{ m} > 2,13\text{ m} \quad \text{entonces} \quad \mathbf{Resalto Sumergido}$$

Longitud del resalto:

$$LR = 2,5 * (1,92d_2 - d_1)$$

$$LR = 2,5 * [1,92 * (2,13\text{m}) - (0,24\text{m})] = 9,62\text{m} = 10\text{m}$$

El espesor de la losa de cimentación en el cuenco de disipación es igual a:

$$\delta_{LOSA} = 0,15 * Vc * \sqrt{yc} = 0,15 * 10,15 * \sqrt{0,24} = 0,75\text{m} = 0,80\text{ m}$$

Se resumen los dimensionamientos de las características del cuenco y sus bloques de impacto (ver tabla 83).

Tabla 83

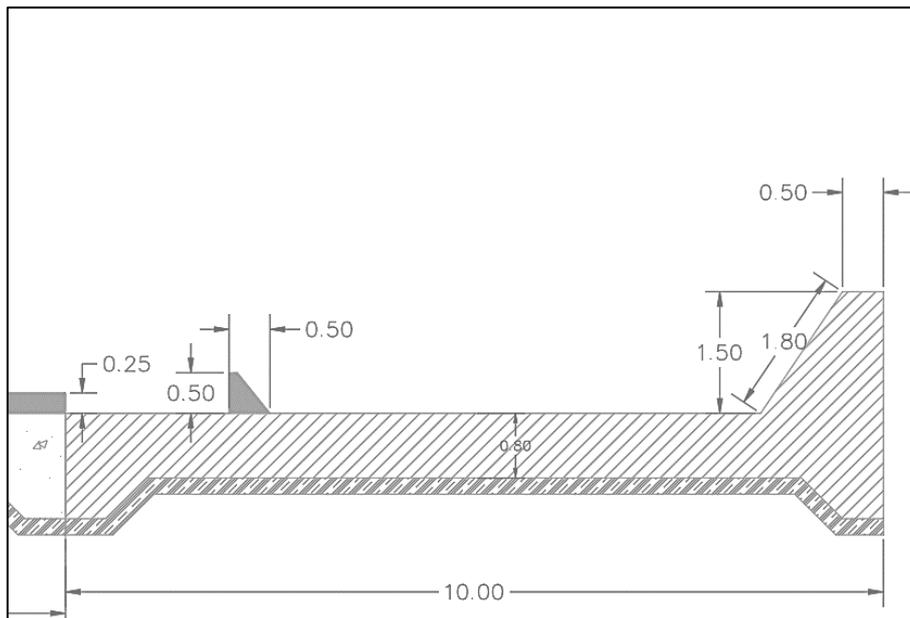
Dimensiones de los bloques de impacto y del umbral del Cuenco Amortiguador

Dimensiones bloques de impacto del cuenco dissipador de energía		
Altura del 1er bloque de impacto (h1) =	0.25	m
Altura del 2do bloque de impacto (h3) =	0.5	m
Altura del 3er bloque de impacto (h4) =	1.5	m
Espaciamiento 1er bloque (s1) =	0.25	m
Espaciamiento 2do bloque (s2) =	2	m
Espaciamiento 3er bloque (s3) =	0.8	m
Ancho 1er bloque de impacto al filo de pared(w1) =	0.125	m
Ancho 1er bloque de impacto (w2) =	0.25	m
Ancho 2do bloque de impacto (w3) =	0.5	m
umbral dentado		
	0.02d1=	0.01 m
Pendiente 2:1		
	2H=	1 m
	1V=	0.5 m

Nota: Se muestra las dimensiones de los bloques de impacto en el diseño del estanque de amortiguamiento. Fuente: Autores.

Figura 90

Dimensiones diseño de estanque de amortiguamiento



Nota: Se muestra un estanque de amortiguamiento con sus dimensiones. Fuente: Autores

8.2.3.1.3 Resumen de resultados

El resultado del diseño definitivo del estanque disipador de energía se encuentra resumido en la tabla 84.

Tabla 84

Resumen de diseño Cuenco disipador de energía

Cuenco disipador de energía (Zampeado)	
Longitud del cuenco (Lc) =	10.00 m
Profundidad del cuenco [e]=	1.50 m
Velocidad contraída (Vc) =	10.15 m
Profundidad de la primera conjugada (d1) =	0.24 m
Profundidad de la segunda conjugada (d2) =	2.20 m
Espesor de la losa de cimentación del azud (d losa) =	0.80 m
Dimensiones bloques de impacto del cuenco disipador de energía	
Altura del 1er bloque de impacto (h1) =	0.25 m
Altura del 2do bloque de impacto (h3) =	0.50 m
Altura del 3er bloque de impacto (h4) =	1.50 m
Espaciamiento 1er bloque (s1) =	0.25 m
Espaciamiento 2do bloque (s2) =	2.00 m
Espaciamiento 3er bloque (s3) =	0.80 m
Ancho 1er bloque de impacto al filo de pared(w1) =	0.125 m
Ancho 1er bloque de impacto (w2) =	0.25 m
Ancho 2do bloque de impacto (w3) =	0.50 m
umbral dentado	
	0.02d1= 0.01 m
Pendiente 2:1	
	2H= 1 m
	1V= 0.5 m

Fuente: Autores

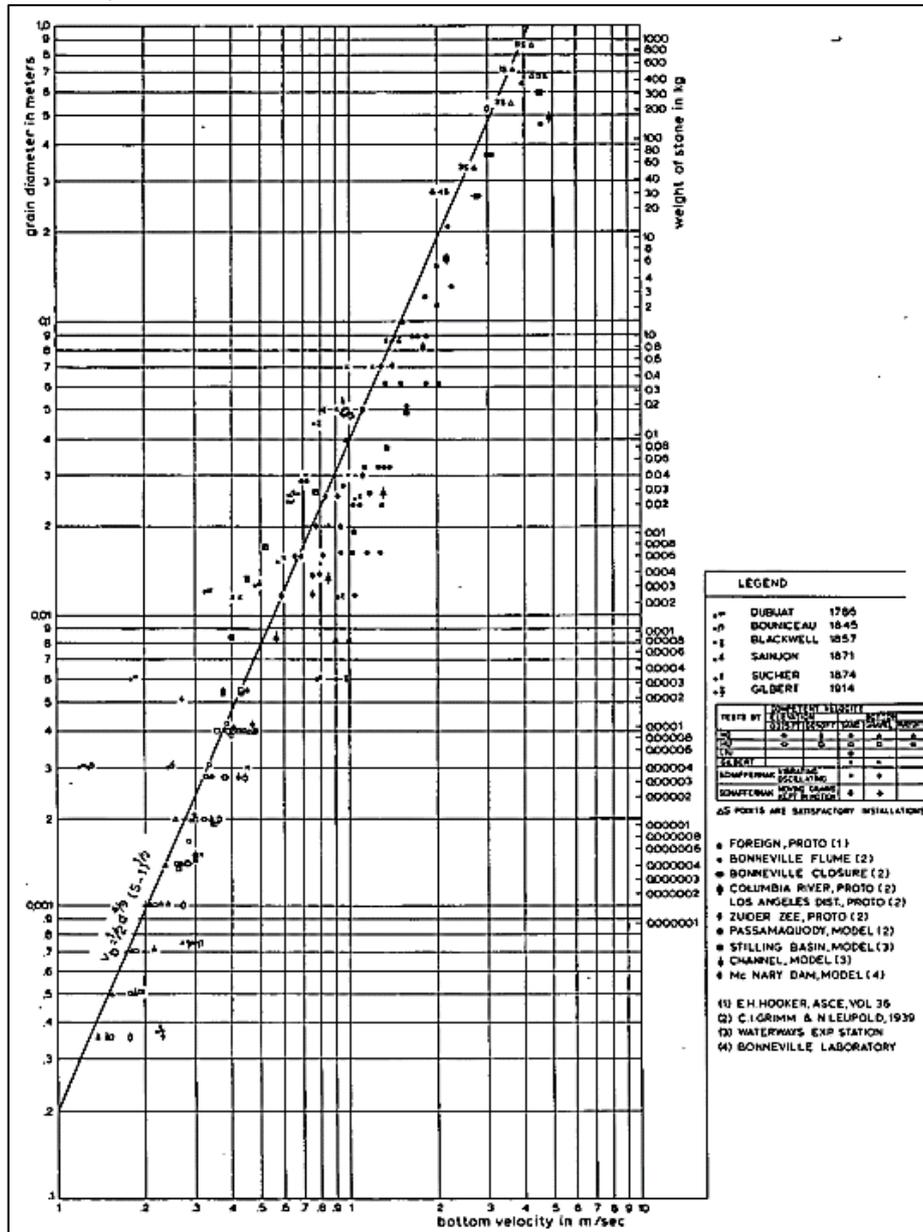
8.2.3.2 Enrocado

8.2.3.2.1 Criterios de diseño

- a) Se considera el diseño de un enrocado el cual cumple con la función de reducir la velocidad y socavación aguas abajo del azud vertedero, para ello se construyen estructuras de hormigón ciclópeo, piedra bola o basílica (Andrade & Heredia H, 2013).
- b) Un diseño de enrocado convencional se basa en el diámetro de las rocas que se van utilizar en la construcción de la estructura.

c) Otro de los parámetros que se deben considerar en el diseño de un enrocado es la velocidad de flujo aguas abajo del azud. En función al diámetro efectivo y peso específico del enrocado determinado por medio de ábacos, como se muestra en la figura siguiente: (Andrade & Heredia H, 2013).

Figura 91
Peso y diámetro efectivo del enrocado



Nota: Se muestra un ábaco en el cual se determina el diámetro efectivo de la roca para construir el enrocado, su peso específico en función a la velocidad. Fuente: (Discharge measurement structures, 1975)

- d) Se debe considerar también la disponibilidad de canteras de roca dentro de la zona del proyecto, con la finalidad que la obra no se encarezca debido al transporte.
- e) Se diseña el enrocado al margen del río en forma definitiva, es decir, de manera permanente, dando una vida útil del enrocado, evitando cualquier deslizamiento posterior.
- f) Es importante que bajo el enrocado se coloque un filtro, cuya finalidad es evitar la pérdida de materiales por la acción hidrodinámica que se genera, considerando que los materiales más finos son los que tienden a perderse (Andrade & Heredia H, 2013).
- g) Con el calado aguas abajo al inicio del enrocado, se calcula la velocidad de flujo del enrocado aguas abajo del azud vertedero mediante la siguiente ecuación:

$$V_r = \frac{Q_{max}}{B_{rio} * h}$$

Ecuación (111)

Donde:

Q_{máx} = Caudal máximo de crecida para 100 años [m³/s].

B_{rio} = Ancho del río [m].

h = Calado al inicio del enrocado [m].

- h) Para asegurar su estabilidad la velocidad de flujo en el enrocado se considera a 2/3 de la velocidad calcula aguas abajo del azud vertedero.
- i) Según (OLADE, 1985), se debe calcular la profundidad aguas abajo del colchón de disipación de energía o zampeado en función al tamaño del

diámetro medio de las partículas que se encuentren en el lecho del río por medio de la ecuación **18-20**.

- j) La longitud del enrocado se considera de [1.5 a 2.0] la profundidad aguas abajo del cuenco de disipación de energía (d_s) y depende de la profundidad normal del lecho del río (y_n) y el espesor del enrocado (d_r) mediante la siguiente expresión (OLADE, 1985).

$$L_{enrocado} = [1.5 \text{ a } 2.0] * (y_n + d_r)$$

Ecuación (112)

Donde:

Y_n = Calado normal al inicio del enrocado o profundidad normal del río en [m].

d_r = Espesor del enrocado [m].

8.2.3.2.2 Dimensionamiento del enrocado

Para el diseño definitivo se recopilan los datos que intervienen en el dimensionamiento del enrocado de protección en la siguiente tabla:

Tabla 85

Información para diseño de Enrocado

DATOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL ENROCADO		
Ancho del río Toachi (Brio)=	36.5	m
Caudal máximo río Toachi (Periodo de 100 años)	133.4	m ³ /s
Calado de entrada del enrocado (calado normal del río) Y_n =	1.09	m

Nota: Se presenta los datos necesarios para diseñar el enrocado. Fuente: Autores

Se calcula la velocidad del río Toachi en el sitio de estudio:

$$V_r = \frac{Q_{max}}{B_{rio} * y_n} = \frac{133.4 m^3/s}{36.5 m * 1.09 m} = 3.35 m/s$$

Dado que la velocidad ya se disipo en el pie del vertedero y velocidad del enrocado es constante, para obtener un resultado más representativo considerando los 2/3 de la velocidad de entrada al enrocado (Andrade & Heredia H, 2013).

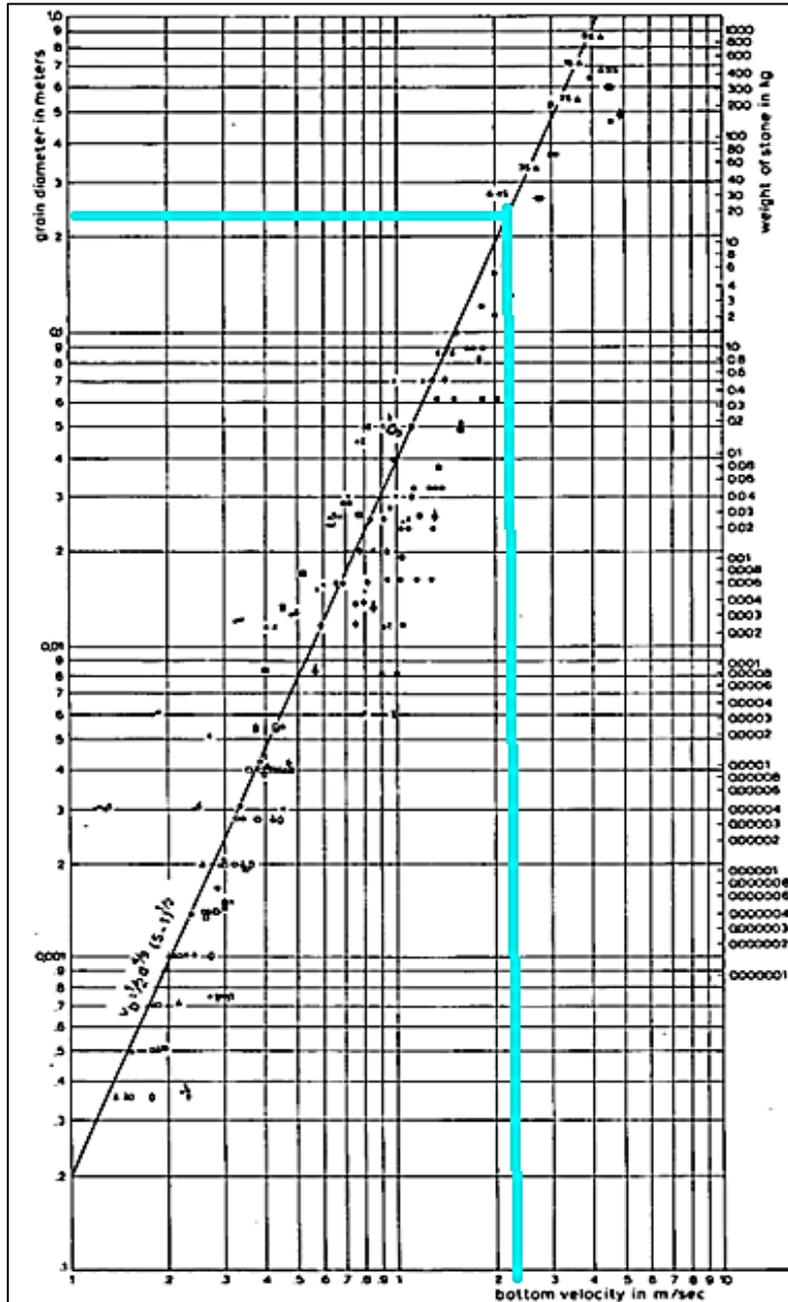
$$V_d = \frac{2}{3} * V_r = \frac{2}{3} * (3.35m/s) = 2.24m/s$$

Con la velocidad de diseño se determina el diámetro efectivo del enrocado y su peso, mediante ábacos de la (Discharge measurement structures, 1975).

Se determina el diámetro de la partícula de enrocado (ver figura 92).

Figura 92

Lectura de diámetro efectivo y peso del enrocado



Nota: Se muestra la lectura del diámetro efectivo y peso del enrocado a diseñar después del zampeado. Fuente: (Discharge measurement structures, 1975).

Según el ábaco de la figura 92, se obtuvo un diámetro efectivo del enrocado de 0.27m y un peso de cada piedra es de aproximadamente 20kg.

Dado que constructivamente del enrocado es acumular una piedra encima de otra sobre el lecho del río para proteger que el cauce erosione, el espesor del enrocado es tomado como dos veces el diámetro efectivo, por lo tanto, el enrocado es igual a 0.54m. Para el diseño del enrocado asumiremos 1.0m de espesor de manera constructiva.

Considerando que en el lecho del río Toachi existe un diámetro medio de las partículas 50 milímetros tenemos lo siguiente:

$$FB = 1.76 * \sqrt{dm} = 1.76 * \sqrt{50} = 12.45$$

$$h = 1.34 * \left(\frac{q^2}{FB}\right)^{\frac{1}{3}} = 1.34 * \left(\frac{2.44^2}{12.45}\right)^{\frac{1}{3}} = 1.048m$$

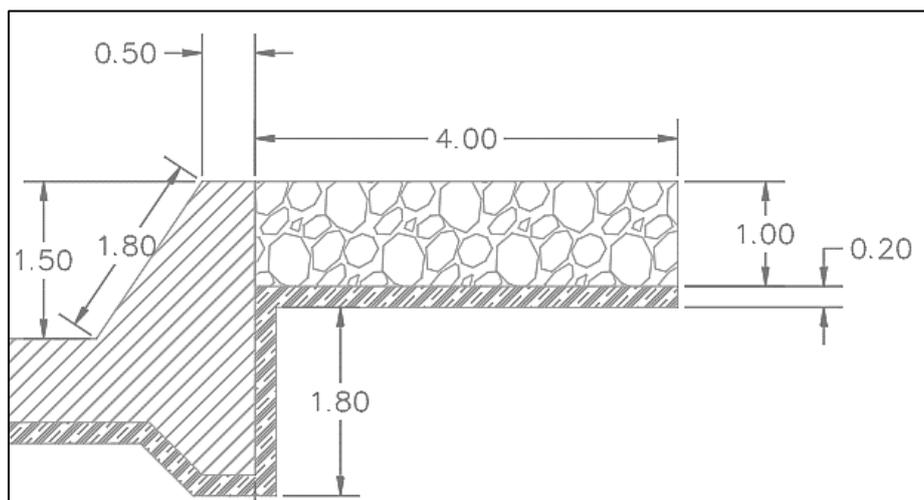
$$ds = 2 * h = 2 * 1.048m = 2.09m$$

$$dr = ds - yn = 2.09m - 1.09m = 1.0m$$

$$L_{enroca} = 1.75 * ds = 1.75 * 2.09m = 3.66m = 4m$$

Figura 93

Dimensiones del diseño de Enrocado río Toachi



Nota: Se presenta la altura de enrocado y su longitud. Fuente: Autores

8.2.3.2.3 Resumen de resultados

El diseño definitivo del enrocado de protección se encuentra resumido en la tabla 86.

Tabla 86

Resultados del diseño de enrocado

Enrocado sobre el río Toachi		
Espesor o altura de enrocado (dr)=	1.00	m
Longitud de enrocado río Toachi (L_{enroca})=	4.00	m
Profundidad aguas abajo del cuenco disipador (ds)=	2.10	m
(calado normal del río) Y_n =	1.10	m

Nota: Se muestra los resultados del diseño del enrocado de protección. Fuente: Autores

8.2.3.3 Desarenador

8.2.3.3.1 Criterios de diseño

- a) En proyectos hidroeléctricos sin desarenadores las partículas sólidas son arrastradas hacia las turbinas por el agua, esto particularmente genera desgaste dando como resultado la disminución del rendimiento y vida útil de las turbinas. Llegando a tener casos de reparaciones y mantenimiento de 3 a 4 veces al año, con un decrecimiento en su función del 10% al 50% (Merino Poveda, 2019).
- b) Se considera el diseño del desarenador en base al diámetro de la partícula que se desea sedimentar, se puede obtener la velocidad de flujo dentro del Desarenador mediante la ecuación propuesta por Camp:

$$v = a\sqrt{d}$$

Donde:

V = Velocidad de flujo en el desarenador [cm/s].

a = Constante en función del diámetro de la partícula.

d = Diámetro de la partícula a sedimentar [mm].

Tabla 87

Valor de la constante en función del diámetro de la partícula, (diseño definitivo).

a	d(mm)
51	< 0.10
44	0.10 a 1.0
36	>1.0

Nota: Se presenta la constante a para determinar la velocidad de diseño del desarenador.
Fuente: (ÁLAMO, 2008).

- c) Se plantea el diseño de un desarenador de lavado intermitente con dos cámaras de sedimentación para la central hidroeléctrica del río Toachi en este proyecto, este tipo de desarenador se caracteriza por almacenar sedimentos en el fondo, para después evacuarlos por medio de un canal de limpieza en el menor tiempo posible, logrando satisfacer la necesidad de volumen de agua captada y volumen de sedimentos arrastrados a la cámara.
- d) Los desarenadores con dos cámaras evitan que la operación de la central hidroeléctrica se detenga, puesto que mientras la una cámara sedimentadora se encuentra en mantenimiento, la otra funcionará con completa normalidad permitiendo la generación continua de energía (Andrade & Heredia H, 2013).
- e) Para el diseño de sedimentador con doble cámara se procederá a dimensionar una sola cámara, para replicar los resultados en la segunda.
- f) El desarenador se compone de varias estructuras como:
- Cámara de desarenación;
 - Orificio de limpieza;
 - Canal de limpieza;
 - Vertedero de salida;
 - Transición de entrada y salida;
 - Vertedero de excedentes

- g) El desarenador se diseña con la finalidad de que las partículas que vienen desde la captación suspendidas en el agua se decanten, por esta razón se debe considerar disminuir la velocidad de flujo en la entrada de la obra civil, aumentando su sección mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{dis - desa} = A_d * V_d$$

Ecuación (113)

$Q_{dis-desesa}$ = Caudal de diseño del desarenador [m^3/s].

A_d = Área del desarenador [m^2].

V_d = Velocidad de diseño en función al diámetro de la partícula a decantar [m/s].

- h) Según (Krochin, 1986), para facilitar el lavado concentrado de las partículas hacia el centro resulta conveniente que el fondo no sea horizontal y más bien que tenga caída. La pendiente transversal usualmente escogida está entre 1:5 y 1:8.
- i) Para el diseño del desarenador es importante considerar una pendiente longitudinal fuerte de al menos de 3%, para que los sedimentos caigan en el canal de limpieza.
- j) Según (Krochin, 1986), para el dimensionamiento del desarenador se considera el valor máximo del diámetro de la partícula es de 0.25mm, dado que este es el normalmente admitido cuando se trata de centrales hidroeléctricas.
- k) Se debe tener en cuenta que la velocidad de flujo en el desarenador debe ser baja, es decir, menor a 0.5m/s. La velocidad de flujo del desarenador se puede obtener en función al máximo diámetro de la partícula que se pretende decantar como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 88

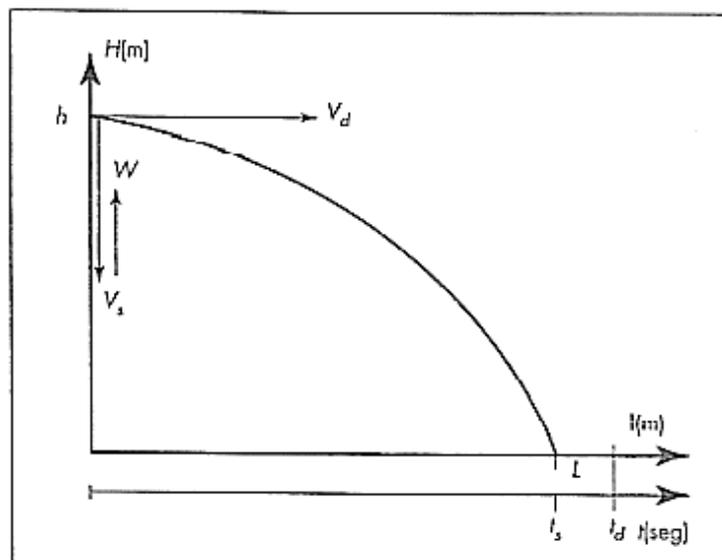
Velocidades de sedimentación según Arkhangelski

VELOCIDADES DE SEDIMENTACION	
d en mm.	W en cm/s
0,05	0,178
0,10	0,692
0,15	1,560
0,20	2,160
0,25	2,700
0,30	3,240
0,35	3,780
0,40	4,320
0,45	4,860
0,50	5,400
0,55	5,940
0,60	6,480
0,70	7,320
0,80	8,070
1,00	9,44
2,00	15,29
3,00	19,25
5,00	24,90

Nota: Se muestra las velocidades de sedimentación en función al diámetro de la partícula a decantar; Fuente: (Krochin, 1986)

Figura 94

Esquema del proceso de sedimentación



Nota: Se muestra un diagrama del proceso de sedimentación en el tiempo; Fuente: (Ortíz Flórez, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, 2011)

- l) El tiempo de decantación t_d es el tiempo que la partícula se demora en alcanzar la longitud del desarenador, y t_s es el tiempo que se demora la partícula en llegar al fondo con la diferencia que no se desplaza posteriormente (Ortíz Flórez, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, 2011).
- m) Para el diseño del desarenador se considera la relación que existe entre el ancho/profundidad varia de 1.5 a 2.0, con esta relación $r = B_d/h_d$ se puede determinar el calado de la cámara del desarenador conociendo con anterioridad la sección del desarenador (Krochin, 1986).
- n) Cuando el fondo de la cámara se encuentra llena de sedimentos genera una superficie rugosa, haciendo que el flujo tenga turbulencia o corrientes transversales que causan un empuje dinámico (u) el cual se obtiene mediante la ecuación propuesta por Sokolov:

$$u = 0.152 V_s$$

Ecuación (114)

Donde:

V_s = Velocidad de sedimentación [m/s].

- o) La longitud del desarenador está directamente relacionado al tiempo de decantación de la partícula (t_s) mediante la siguiente expresión:

$$t_s = \frac{h}{V_s'}$$

V_s' es la velocidad efectiva de sedimentación y se obtiene de la expresión:

$$V_s' = V_s - u$$

- p) Para determinar la longitud necesaria de la cámara, se considera aplicar la siguiente expresión que se encuentra en función al empuje sensorial:

$$L = \frac{V_d * h_d}{V_s - u}$$

Ecuación (115)

Donde:

hd = Calado de la cámara del desarenador [m].

- q) La anterior ecuación se puede transformar en función de la velocidad de decantación de las partículas sólidas, la velocidad horizontal de las partículas y el calado de la cámara. En el valor de empuje sensorial se considera el valor de la constante k y esta varía según la importancia de la obra de 1.2 a 1.5 (Ortíz Flórez, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, 2011).

$$L = \frac{k * hd * Vd}{Vs}$$

- r) Al inicio y final del desarenador se realiza una transición la cual asegure la distribución uniforme de las velocidades, en distintas secciones transversales y longitudinales. Se debe considera un ángulo de divergencia suave no mayor a $12^{\circ}30'$ y de ser posible las paredes curvas tangentes en todo punto a la dirección del agua (Krochin, 1986).
- s) Para determinar la longitud de la transición ya sea al inicio o al final se aplica la siguiente ecuación:

$$Lt = \frac{BT - B'}{2 * \tan\alpha} \leq \frac{1}{3} * Ldesa$$

Ecuación (116)

Donde:

BT = Ancho del desarenador (2 cámaras) en [m].

B' = Ancho del canal de salida en [m].

α = Ángulo de divergencia en [°].

- t) Se debe considerar el diseño de un vertedero de excedentes al final de la cámara desarenadora con la finalidad de permitir el paso de agua sin sedimentos en suspensión, se estima que la velocidad en este vertedero de salida es de

aproximadamente 1m/s para evitar la decantación y la carga sobre el vertedero no debe ser mayor a 0.30m (Andrade & Heredia H, 2013).

- u) Para la recolección de sedimentos se estima un canal de limpieza de 1m x1m, para la central hidroeléctrica “Perla Andina”
- v) El proceso de limpieza de la cámara con base en el criterio de salida de caudal por medio de un orificio rectangular. El control de este caudal se logra mediante la apertura de una compuerta de limpieza del desarenador a una altura de 1m (Andrade & Heredia H, 2013).
- w) Se considera el diseño de un canal de limpieza con compuerta, su finalidad es recoger los sedimentos y caudales de los canales de recolección. El canal debe tener una pendiente elevada de 2% al 6%, que aseguren velocidades de flujo de 3 a 5m/s.
- x) El canal de limpieza se debe dirigir al cauce natural más próximo, se colocará al final un enrocado cuya finalidad es evitar la erosión y socavación del cauce que dañan a la estructura.

8.2.3.3.2 Dimensionamiento del desarenador

Existe datos necesarios para dimensionar el desarenador, esta información recopilada se encuentra resumida en la tabla siguiente:

Tabla 89

Información general para diseño de Desarenador

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de conducción	Q_{con}	6,20	m ³ /s
2	Caudal de diseño desarenador	$Q_{dis-des}$	4,13	m ³ /s
3	Diámetro máximo de las partículas	d	0,25	mm
4	Espesor de las paredes	b_p	0,30	m
5	Número de cámaras	N	2,00	
6	Pendiente longitudinal desarenador	i_{desa}	0,03	m/m

Nota: Se encuentra datos generales para el dimensionamiento del desarenador; Fuente: Autores.

Velocidad de flujo del desarenador (Vf):

Se determina la velocidad de flujo del Desarenador por medio de la ecuación de Camp:

$$vf = a\sqrt{d}$$
$$vf = 44\sqrt{0.25} = 22 \frac{cm}{s} = 0.22 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto, se diseñará con una velocidad de diseño (Vd) =0.25m/s.

Área de la cámara desarenadora (Ad):

Este parámetro se calcula en función al caudal de diseño y la velocidad horizontal de la partícula (Vd) mediante la siguiente expresión:

$$Q_{dis-desa} = Ad * Vd$$
$$Ad = \frac{Q_{dis-desa}}{Vd}$$
$$Ad = \frac{4.13m^3/s}{0.25m/s} = 16.53m^2$$

Profundidad del desarenador (hd):

Para determinar la profundidad del calado del desarenador y el ancho de la cámara desarenadora, se utiliza una relación anchos vs profundidad [r], r es igual a 1,5.

$$r = 1.5 = \frac{Bd}{hd}$$
$$Bd = 1.5hd$$

Con el área obtenida anteriormente se calcula el calado del desarenador.

$$Ad = Bd * hd = 1.5hd^2$$
$$hd = \sqrt{\frac{16.53m^2}{1.5}} = 3.32m$$

Ancho de la cámara desarenadora (Bd):

$$Bd = 1.5hd$$

$$Bd = 1.5 * 3.32m = 4.98m = 5m$$

Longitud necesaria desarenador:

Una vez determinado el ancho de la cámara desarenadora y su calado de agua, se calcula la longitud necesaria mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{k * hd * Vd}{Vs}$$

El valor de k oscila entre 1.3 y 1.5, dependiendo de la importancia de la obra, dado que el proyecto es una central hidroeléctrica para la industria y para fines domésticos en la comunidad de Quinticusig, por lo tanto, se asigna un valor de k = 1.4.

$$L = \frac{1.4 * 3.32 * 0.25}{0.027} = 43.03m$$

Constructivamente se tiene entonces:

$$L_{const} = 43m$$

Ancho del desarenador para dos cámaras (Bt):

Dado que los cálculos de los parámetros determinados están para una sola cámara, se obtiene el ancho total de las dos cámaras mediante la siguiente ecuación:

$$Bt = 2Bd * 2bp$$

Donde:

Bt = Ancho total del desarenador dos cámaras en [m].

Bd = Ancho desarenador una sola cámara en [m].

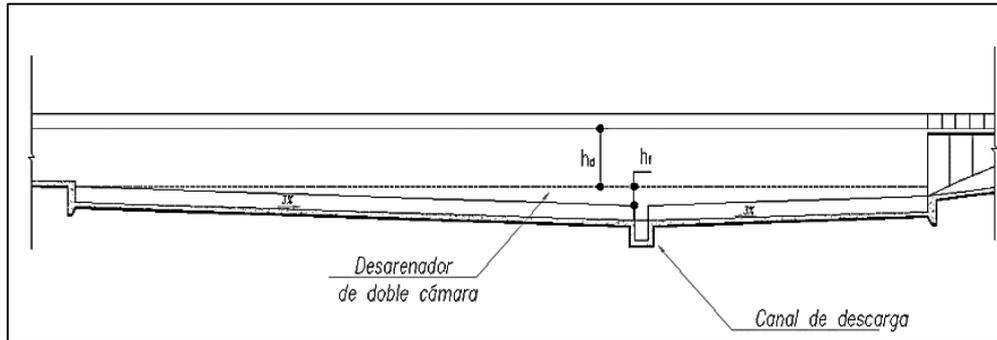
bp = Espesor de las paredes del desarenador en [m].

$$Bt = 2 * (5m) * 2 * (0.30m) = 10.6m$$

$$Bt_{const} = 11m$$

Figura 95

Parámetros hidráulicos del desarenador



Nota: Se presenta las profundidades y parámetros hidráulicos de un desarenador. Fuente: (Andrade & Heredia H, 2013).

Se establece una pendiente del 3% para garantizar que el canal de limpieza trabaje de manera eficiente, eficaz y con velocidad el desarenador.

Se puede ver tres alturas en el gráfico anterior, mismas que corresponden a:

- h_f = Profundidad al canal de descarga provocada por la pendiente [m].
- h_s = Profundidad de sumersión [m].
- h_d = calado de agua del desarenador [m].
- h_T = Profundidad total con la que se trabaja para obtener la cota de salida de agua en la conducción [m].

8.2.3.3.2.1 Vertedero de salida:

Para determinar el ancho del frente del vertedero se aplica la ecuación utilizada para calcular el caudal que pasa sobre un vertedero:

$$Q_{dis-desa} = C_o * b_{vert-desa} * H^{3/2}$$

Obtenido el caudal de captación que pasara por encima del vertedero $Q = 6.2\text{m}^3/\text{s}$, se establece que para optimizar el diseño se utiliza 2/3 del caudal de condición, $Q_{conducción} = 6.2\text{m}^3/\text{s}$, por lo tanto, $Q_{dis-desa} = 4.13\text{m}^3/\text{s}$.

La carga sobre el vertedero menor a 0.30m, si se asume un coeficiente de descarga $C_o = 1.8$ según (Krochin, 1986), la velocidad de flujo debe ser menor a 1 m/s.

$$b_{vert-desa} = \frac{Q_{dis-desa}}{C_o * H^{3/2}}$$

$$b_{vert-desa} = \frac{4.13}{1.8 * 0.30^{3/2}} = 13.97m = 14m$$

Velocidad de flujo vertedero de salida:

$$V = \frac{Q_{dis-desa}}{b_{vert-desa} * H} = \frac{4.13}{14 * 0.30} = 0.983m/s$$

Por lo tanto, la velocidad es menor que 1 m/s, si cumple.

8.2.3.3.2 Transición de salida

Como se mencionó en los criterios de diseño del desarenador la transición del río Toachi en la zona del proyecto empleará un ángulo de transición de 12.5° , con la finalidad de asegurar velocidades uniformes.

En cuanto al diseño del desarenador del río Toachi se plantea una sola transición a la salida y el desripiador funcionará como transición en la entrada (Andrade & Heredia H, 2013).

$$L_t = \frac{BT - B'}{2 * \tan \alpha} \leq \frac{1}{3} * L_{desa}$$

Para fines del diseño se asume un ancho de 2m a la salida de la transición del desarenador.

Con el ancho total del desarenador y el ángulo de transición se obtiene la longitud de la transición a la salida del desarenador.

$$L_t = \frac{10.56m - 2m}{2 * \tan (12.5^\circ)} = 19.30m$$

Constructivamente la longitud de la transición es $L_t = 20m$, además analizando la condición es menor que $1/3$ (63m), por tanto, $20m < 21m$ por lo tanto cumple.

Con las dimensiones necesarias determinadas del desarenador, es de suma importancia calcular la capacidad de arrastre y sedimentación que tiene el desarenador. El volumen del desarenador considerando una sola cámara se divide en dos tipos de volúmenes, el primero cuya finalidad es destinar agua clarificada al desarenador (V_d), el segundo corresponde al volumen muerto de sedimentos que retiene un depósito de sólidos (V_m) (Andrade & Heredia H, 2013).

Se calcula por las siguientes ecuaciones:

Volumen de agua clara desarenador (V_d):

$$V_d = Bd * L_{const} * hd$$

Ecuación (117)

Donde:

V_d = Volumen de agua clarificada desarenador en [m^3].

Bd = Ancho del desarenador en [m].

hd = Profundidad o calado del desarenador en [m].

L_{const} = Longitud del desarenador en [m].

$$V_d = 4.98m * 43m * 3.3m = 710.93m^3$$

Volumen muerto de sedimentos desarenador (V_m):

$$V_m = \frac{Bd * L_{const} * hs}{2}$$

Donde:

hs = Altura de sedimentos del desarenador en [m].

V_m = Volumen muerto de sedimentos en [m^3].

Altura o profundidad de los sedimentos (hs):

$$hs = \frac{2}{3} * L_{const} * i_{desa}$$

$$hs = \frac{2}{3} * 43m * 0.03 = 0.86m$$

$$Vm = \frac{4.98m * 43m * 0.86m}{2} = 92.08m^3$$

Volumen Total del desarenador (Vt):

$$Vt = V_d + Vm$$

$$Vt = 710.93m^3 + 92.08m^3 = 803.01m^3$$

8.2.3.3.2.3 Orificio de lavado

Se plantea el diseño de orificios en el fondo del desarenador con compuertas para que cerrando las cámaras de admisión se abran las de limpieza.

La compuerta de limpieza se caracteriza por que el agua sale a presión a gran velocidad arrastrando la mayor parte de sedimentos depositados en el fondo. Dado que se plantea un desarenador de doble cámara esto genera mayor eficiencia, puesto que mientras la una cámara se encuentra realizando limpieza la otra se encuentra en operación, brindando a los usuarios del sistema energía eléctrica sin suspensión con un nivel de garantía preestablecido (Andrade & Heredia H, 2013).

La compuerta de limpieza se abrirá cada vez que se requiera el lavado de la cámara del desarenador, al abrirse queda un orificio conectado al canal de descarga que viene desde el desarenador, por esta razón para diseñar el desalojo de los sedimentos por medio del orificio se hace aplicando la formula general de orificios (Soteldo, 1994):

$$Q_{lav-des} = C_o * A_o * \sqrt{2g * H_T}$$

Ecuación (118)

Donde:

$Q_{\text{lav-desa}}$ = Caudal de lavado en $[m^3/s]$.

C_o = coeficiente de descarga del orificio.

A_o = Área del orificio en $[m^2]$.

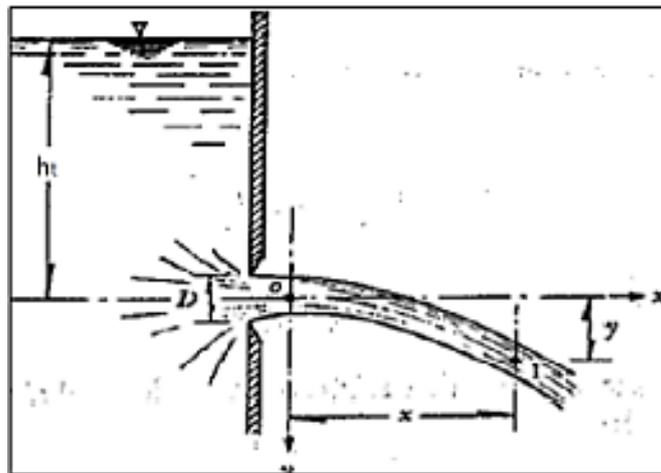
g = Aceleración de la gravedad $[m/s^2]$.

H_T = Altura total del desarenador $[m]$.

Según (Soteldo, 1994), para un orificio de lavado rectangular, el coeficiente de descarga C_o es igual a 0.60. En cuanto al calado inicial del orificio se toma desde el centro de gravedad del orificio rectangular hasta la lámina de agua en la cámara del desarenador como se muestra en la siguiente figura:

Figura 96

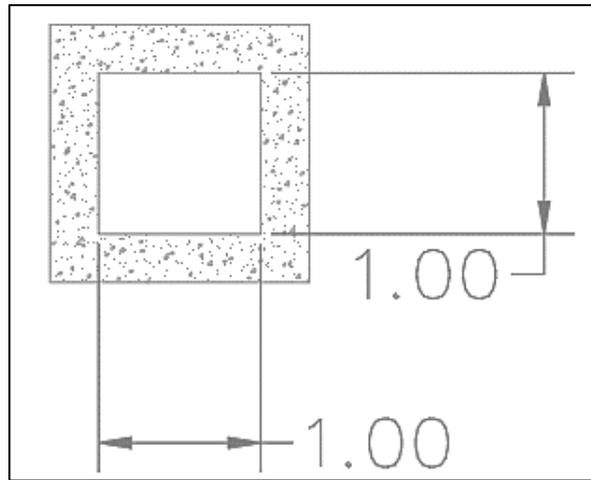
Esquema de un orificio rectangular



Nota: Se presenta la configuración de un orificio rectangular; Fuente: (Soteldo, 1994).

Figura 97

Dimensiones del orificio de lavado del Desarenador



Nota: Se presenta las dimensiones del orificio de lavado. Fuente: Autores

Se considera calcular el tiempo de vaciado del desarenador por el orificio de lavado, para lo cual se recopila datos resumidos en la tabla 90.

Tabla 90

Información general para dimensionar el vaciado del desarenador

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Volumen Total de la Cámara	V_T	803.01	m^3
2	Coefficiente de descarga del orificio	C_o	0.60	
3	Calado por encima del orificio	h_f	4.18	m
4	Base del orificio	b	1.00	m
5	Altura del orificio	h	1.00	m
6	Base del desarenador	B_d	4.98	m

Nota: Se muestra datos generales para diseñar el orificio de vaciado del desarenador; Fuente: Autores

Al igual que el desripiador con los datos de la tabla 110, se determina el tiempo de vaciado del desarenador realizando cálculos previos.

Calado inicial de la cámara:

$$h_i = h_f + \frac{h_o}{2}$$

$$h_i = 4.18m + \frac{1.0m}{2} = 4.68m$$

El caudal desalojado por la compuerta de limpieza se determina mediante la ecuación general de orificios rectangulares:

$$Q_{des} = C_o * A_o * \sqrt{2g * h_i}$$

$$Q_{des} = 0.60 * 1 * \sqrt{19.62 * 4.68} = 5.749 \frac{m^3}{s}$$

El volumen desalojado se determina de la siguiente expresión:

$$V_{des} = Q_{desa} * \Delta t$$

Donde:

V_{des} = Volumen desalojado del desarenador en [m³].

Δt = Intervalo de tiempo en [s].

Posteriormente se obtiene el calado residual del orificio de lavado mediante la siguiente ecuación:

$$h_{res} = h_i - \frac{V_{des}}{L_{desa} * B_{desa}}$$

Finalmente se calcula el volumen residual mediante la siguiente expresión:

$$V_{res} = V_T - V_{des}$$

Para determinar el tiempo de vaciado del desarenador, se estudia el volumen y el caudal que se desaloja fuera de la estructura en un tiempo determinado, con fin en el análisis de este proyecto se establece intervalos de tiempo de cada 2 segundos hasta que el volumen residual se encuentre en cero, es decir, se haya vaciado.

Se realiza el cálculo del tiempo de vaciado, incrementando intervalos de tiempo de 2 segundos (ver anexo Nro.31).

Del anexo Nro. 31 se puede concluir que el tiempo de vaciado de la cámara desarenadora es de 80 segundos o 1.33 minutos.

8.2.3.3.2.4 Canal de limpieza:

Una vez diseñado el orificio de limpieza, se considera la construcción de un canal para la evacuación de sedimentos del desarenador, para su diseño se establece una pendiente mínima del 2% para control de la velocidad de flujo, asegurando que las partículas sólidas de sedimentos se queden en el fondo.

Para el diseño del canal de limpieza del desarenador se utiliza la información recopilada y resumida en la tabla 91.

Tabla 91

Datos generales para el diseño del Canal de limpieza

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Q_{dis}	6,20	m^3/s
2	Coefficiente de rugosidad de Manning	n	0,015	
3	Pendiente para el canal	$I_{canal-limp}$	0,02	m/m
4	Ancho del canal salida desarenador	$b_{desa-limp}$	1,00	m

Nota: Se presenta el caudal de diseño y demás parámetros para diseñar el canal de limpieza del desarenador; Fuente: Autores.

$$Q_{dis} = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * I_{canal-limp}^{1/2}$$

$$6.2 = \frac{1}{0.014} * (1.0 * yn) * \left[\frac{(1 * yn)}{(1 + 2yn)} \right]^{\frac{2}{3}} * 0.02^{1/2}$$

$$yn = 1.29m$$

Área:

$$An = bc * yn = 1.0m * 1.29m = 1.29m^2$$

Velocidad de flujo:

$$Vn = \frac{Qdis}{An} = \frac{6.2m^3/s}{1.29m^2} = 4.78m/s$$

Caudal Unitario:

$$q = \frac{Qdis}{bc} = \frac{6.2}{1.0} = 6.2m^3/s$$

Profundidad Crítica:

$$hcr = \sqrt[3]{\frac{(q)^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{6.2^2}{9.81}} = 1.97m$$

Para el canal de limpieza se asume un ancho constructivo de 1.0m que asegure un flujo supercrítico en el canal, además de ello presentar dimensiones tan grandes, ya que esto afectaría económicamente.

8.2.3.3 Resumen de resultados

Una vez diseñado el desarenador se detalla cada uno de los dimensionamientos en la siguiente tabla:

Tabla 92

Dimensiones de cámara desarenadora

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Área del desarenador	Ad	16.53	m ²
2	Calado del desarenador	hd	3.320	m
3	Ancho del desarenador	Bd	4.98	m
4	Número de cámaras	N	2.00	
5	Ancho total de desarenador	Bt	11.00	m
6	Espesor de las paredes	b _p	0.30	m
7	Longitud del desarenador	L	43.0	m

Nota: Se muestran los resultados del diseño de la cámara desarenador doble; Fuente: Autores.

La siguiente información corresponde al resumen del diseño definitivo del vertedero de salida en el desarenador, los resultados de los dimensionamientos se encuentran resumidos en la tabla 93.

Tabla 93*Dimensiones vertedero de salida del desarenador*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Frente de vertedero (desarenador)	$b_{\text{vert-desa}}$	14.0	m^2
2	Longitud de la transición	Lt	20.00	m
3	Longitud Total (desarenador)	LT	63.00	m
4	Velocidad del vertedero desarenador	V	0.986	m/s

Nota: Se muestra los resultados del diseño del vertedero de salida y transición en el Desarenador. Fuente: Autores.

Se resumen los resultados obtenidos en el diseño del orificio de lavado para el desarenador, estas dimensiones se pueden observar en la tabla 94.

Tabla 94*Dimensiones orificio de Lavado*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Altura del orificio	ho	1.0	m
2	Ancho delo orificio	bo	1.000	m
3	Altura por encima del orificio	hf	4.18	m
4	Altura de sedimentos	hs	0.860	m
5	Calado inicial de la cámara	hi	4.680	m

Nota: Se presentan los resultados del diseño de un orificio de lavado en el desarenador de cámara doble. Fuente: Autores.

Los volúmenes presentes en el desarenador se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 95*Volúmenes del desarenador*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Volumen de agua limpia	Vd	710.933	m^3
2	Volumen de sedimentos	Vm	92.079	m^3
3	Volumen Total	VT	803.013	m^3

Nota: Se muestra los volúmenes de agua y sedimentos que expulsa el desarenado de doble cámara; Fuente: Autores

A continuación, se muestra el resumen del diseño para el canal de limpieza del desarenador en la tabla 96.

Tabla 96*Dimensiones del canal de limpieza*

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud canal de limpieza	$L_{\text{canal-limp}}$	14.5	m
2	Ancho canal limpieza	$b_{\text{canal-limp}}$	1.00	m
3	Velocidad de flujo	V_n	4.95	m/s
4	Calado canal limpieza	y_n	1.04	m

Nota: Se presenta los resultados del diseño del canal de limpieza en el desarenador;
Fuente: Autores

8.2.3.4 Escalera de peces

8.2.3.4.1 Criterios de diseño

a) Como ya se mencionó anteriormente, la escalera de peces es una estructura diseñada para que los peces puedan superar la existencia de un obstáculo en río, estas obras por lo general deben cumplir lo siguiente (Barrera Luna & Sanunga Cando, 2021):

- La entrada, trayectoria y ubicación de fácil acceso para los peces;
- Salidas seguras sin turbulencia;
- El diseño debe considerar el tipo de especies, hacer una estructura franqueable para los peces considerados;
- El diseño debe asegurar su funcionamiento durante crecidas del río.

b) El caudal que corra por la escalera de peces debe ser igual al 10% del caudal conducción que circula por el río Toachi para mantener condiciones naturales de vida, el cual corresponde al caudal ecológico:

$$Q_{d-esc-pep} = Q_{eco} = 10\% * Q_{conduccion}$$

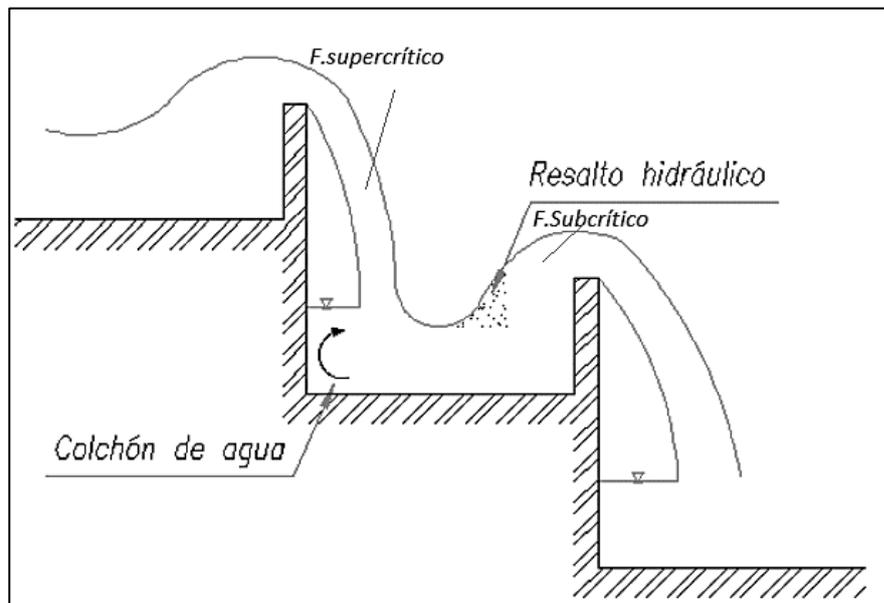
c) El canal que conforma la escalera de protección piscícola se encuentra configurado por escalones tipo cubetas prismáticas, como canal con fondo

de escalera, su objetivo principal es la disipación de energía y el control de la velocidad de flujo mediante la implantación de escaleras en el fondo del canal, además de un colchón de agua (Andrade & Heredia H, 2013).

- d) Según (Calero Hidalgo, 2020), el flujo de una escalera de peces desde una pared vertical será caída libre, formándose en el pie una especie de resalto estable, generalmente ocurre cuando los caudales son bajos y las profundidades pequeñas, como se indican en la siguiente figura:

Figura 98

Esquema del canal con fondo de escalera (Disipación por Cubetas)



Nota: Escalera de peces, disipación de energías por cubetas resalto estable. Fuente: (Andrade & Heredia H, 2013)

- e) Se debe asegurar que el flujo subcrítico se encuentre dentro de la cubeta, por esta razón es importante dimensionar el canal con fondo de escalera para que cumplan las siguientes condiciones:

I. Lamina vertiente de agua esta ventilada totalmente cuando:

$$0.15 < \frac{y_{c-esc}}{H_{esc}} < 0.93$$

Donde:

y_{c-esc} = Calado o profundidad crítica del escalón [m].

H_{esc} = Desnivel entre el fondo de escalones [m].

- II. Dado en la escalera de peces las cubetas tienen forma prismática rectangular, por lo tanto, se cumple lo siguiente:

$$\frac{H_{esc}}{y_{c-esc}} < 15$$

$$\frac{b_{esc}}{y_{c-esc}} > 1.5$$

Donde:

b_{esc} = Base del escalón [m]

- III. La profundidad mínima requerida aguas abajo, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$y_2 \geq 2.5 * y_{c-esc}$$

Donde:

y_2 = Profundidad mínima aguas abajo [m].

- f) Según (Soteldo, 1994), para el cálculo de los demás parámetros de la escalera de peces se utilizará los fundamentos de vertedero de pared gruesa.

- g) Para determinar el caudal que fluye por encima del vertedero de pared gruesa se lo hace en base a la siguiente expresión:

$$Q_{dis} = \frac{2}{3} * \mu_r * \varepsilon * b * \sqrt{2g} * H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q_{dis} = Caudal de diseño de vertedero pared gruesa [m³/s].

μ_r = Coeficiente de corrección para cresta circular.

ε = Coeficiente de reducción para vertederos de pared gruesa (Soteldo, 1994).

b = Ancho del vertedero [m].

g = Gravedad [m/s²].

H = Carga del vertedero de pared gruesa [m].

El coeficiente de reducción se obtiene mediante la ecuación de Gibson:

$$\varepsilon = 0.7 + \frac{0.185}{\frac{e_p}{H}}$$

Donde:

e_p = Espesor de la pared gruesa [m].

H = Carga sobre la cresta del vertedero pared gruesa [m].

ε = Coeficiente de reducción Gibson.

- h) Para el cálculo del coeficiente de corrección para cresta circular se aplica la ecuación propuesta por Kreamer:

$$\mu_r = 1.02 - \frac{1.015}{\frac{H}{r} + 2.08} + \left[0.04 * \left(\frac{H}{r} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{r}{H_{esc}}$$

Ecuación (119)

Donde:

r = Radio de cresta circular del vertedero [m].

h = Carga sobre la cresta del vertedero [m].

i) Según (CHOW, 2004), las dimensiones de la cubeta se aplicarán cálculos del vertedero en caída recta, los cuales se encuentran en función a las profundidades o calados que este flujo genera, y para calcular estos parámetros se aplican las ecuaciones siguientes:

- Calado de la cubeta bajo la napa (colchón de agua).

$$Y_{c-agua} = 1.0 * D^{0.22} * (H_{esc} + h_{salida})$$

- Calado contraído de la cubeta.

$$Y_1 = 0.54 * D^{0.425} * (H_{esc} + h_{salida})$$

- Calado conjugado de la cubeta.

$$Y_2 = 1.66 * D^{0.27} * (H_{esc} + h_{salida})$$

$$D = \frac{(y_{c-esc})^3}{(h_{salida} + H_{esc})^3}$$

j) La longitud de alcance de chorro se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L_A = 4.3 * D^{0.27} * (H_{esc} + h_{salida})$$

Ecuación (120)

Donde:

h_{salida} = Altura del dentellón a la salida del escalón [ft]

L_A = Longitud alcance de chorro [ft].

D = Relación entre la profundidad contraída del escalón y la suma de la altura de salida del escalón con el desnivel entre el fondo de escalones.

- k) Según las “Normas, bases y criterios de diseño” del Dr. Marco Castro la longitud complementaria de la cubeta, medida a partir del chorro se asume el 80% de la profundidad crítica de la cubeta en el escalón así:

$$L_B = 0.8 * y_{c-esc}$$

- l) La longitud total del escalón es la sumatoria entre la longitud de alcance de chorro y la complementaria:

$$L_T = L_A + L_B$$

- m) Se debe considerar que todas las ecuaciones anteriormente enunciadas se encuentran en sistema de medidas inglesas, para ello se tiene realizar conversiones que no afecten el dimensionamiento de esta obra.

- n) Según (Andrade & Heredia H, 2013), el diseño de la escalera de peces debe considerar el porcentaje de pérdida de energía y disipación que existe en cada cubeta, para determinar estos parámetros se calcula la energía total tanto aguas arriba, como abajo mediante las siguientes expresiones:

- Energía Total aguas arriba:

$$E_{T0} = H_{esc} + h_{salida} + h + \frac{v_2^2}{2g}$$

- Energía Total aguas abajo:

$$E_{T2} = Y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

- Pérdida de energía en la escalera de peces

$$\%_{perdidas} = \frac{E_{T0} - E_{T2}}{E_{T0}} * 100\%$$

8.2.3.4.2 Dimensionamiento de la escalera de peces

Para diseñar la escalera de protección piscícola es necesario recopilar información, estos datos se encuentran resumidos en la tabla siguiente:

Tabla 97

Datos para el dimensionamiento de la Escalera de Peces

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de conducción	Q_{con}	2.00	m^3/s
2	Caudal de diseño	Q_{d-esc}	0.2	m^3/s
3	Desnivel entre el fondo de escalones	H_{esc}	0.8	m
4	Base del escalón	b_{esc}	1	m
5	Aceleración de gravedad	g	9.81	m/s^2
6	Altura del dentellón a la salida del escalón	h_{salida}	0.5	m
7	Coefficiente rugosidad de Manning	n_{horm}	0.015	
8	Pendiente de la escalera de peces	i_{esc}	0.001	m/m
9	Espesor de la pared	e_p	0.2	m

Nota: Se presentan parámetros necesarios para el diseño de la escalera de peces; Fuente: Autores.

Caudal de diseño:

$$Q_{d-esc-peze} = Q_{eco} = 10\% * Q_{conduccion}$$

$$Q_{d-esc-peze} = 0.1 * 2.0 = 0.2m^3/s$$

Calados de agua crítica y agua normal de la cubeta:

$$y_{c-esc} = \sqrt[3]{\frac{(Q_{d-esc})^2}{b_{esc} g}}$$

$$y_{c-esc} = \sqrt[3]{\frac{(0.20)^2}{1 * 9.81}} = 0.160 m$$

Para calcular el calado normal de la cubeta se aplica la ecuación de Manning

$$Q_{d-esc} = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * i^{1/2}$$

$$Q_{d-esc} = \frac{1}{n} * (b_{esc} * yn) * \left(\frac{b_{esc} * yn}{b_{esc} + 2yn} \right)^{\frac{2}{3}} * i^{0.5}$$

$$0.20 = \frac{1}{0.015} * (1 * yn) * \left(\frac{1 * yn}{1 + 2yn} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{0.5}$$

$$yn = 0.293 = 0.30m$$

Verificación de condiciones de funcionamiento óptimo:

Lámina de la vertiente totalmente ventilada.

$$0.15 < \frac{y_{c-esc}}{H_{esc}} < 0.93$$

$$\frac{y_{c-esc}}{H_{esc}} = \frac{0.16m}{0.80m} = 0.20$$

$y_{c-esc}/H_{esc} = 0.16$, si cumple se encuentra ventilada totalmente la vertiente.

Verificación de cubetas prismáticas:

$$\frac{H_{esc}}{y_{c-esc}} < 15$$

$$\frac{0.80m}{0.160m} < 15$$

$$5.01 < 15$$

$$\frac{b_{esc}}{y_{c-esc}} > 1.5$$

$$\frac{1m}{0.16m} > 1.5$$

$$6.26 > 1.5$$

Por lo tanto, cumple con las condiciones de funcionamiento óptimo.

Cálculo de parámetros hidráulicos de la cubeta:

Caudal de diseño del vertedero pared gruesa.

$$Q_{dis} = \frac{2}{3} * \mu_r * \varepsilon * b * \sqrt{2g} * H^{\frac{3}{2}}$$

$$Q_{dis} = 5.906 * \mu_r * \varepsilon * H^{\frac{3}{2}}$$

Coefficiente de reducción.

$$\varepsilon = 0.7 + \frac{0.185}{\frac{e_p}{H}}$$

$$\varepsilon = 0.7 + \frac{0.185}{\frac{0.20}{H}}$$

coeficiente de corrección cresta circular:

$$\mu_r = 1.02 - \frac{1.015}{\frac{H}{r} + 2.08} + \left[0.04 * \left(\frac{H}{r} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{r}{H_{esc}}$$

$$\mu_r = 1.02 - \frac{1.015}{\frac{H}{0.10} + 2.08} + \left[0.04 * \left(\frac{H}{0.10} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{0.10}{0.80}$$

reemplazando los coeficientes en la ecuación general se puede determinar

la carga sobre la cresta

$$0.2 = 5.91 * \left(0.7 + \frac{0.185}{\frac{0.20}{H}} \right) * \left(1.02 - \frac{1.015}{\frac{H}{0.10} + 2.08} + \left[0.04 * \left(\frac{H}{0.10} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{0.10}{0.80} \right) * H^{3/2}$$

$$H = 0.208m = 0.21m$$

Calados sobre la cubeta:

$$D = \frac{(y_{c-esc})^3}{(h_{salida} + H_{esc})^3}$$

$$D = \frac{(0.160m)^3}{(0.5m + 0.8m)^3} = 0.00186$$

- Calado de la cubeta bajo la napa (colchón de agua).

$$Y_{c-agua} = 1.0 * D^{0.22} * (H_{esc} + h_{salida})$$

$$Y_{c-agua} = 1.0 * 0.00186^{0.22} * (0.80 + 0.50) = 0.33m$$

- Calado contraído de la cubeta.

$$Y_1 = 0.54 * D^{0.425} * (H_{esc} + h_{salida})$$

$$Y_1 = 0.54 * (0.00186)^{0.425} * (0.8 + 0.5) = 0.07m$$

- Calado conjugado de la cubeta.

$$Y_2 = 1.66 * D^{0.27} * (H_{esc} + h_{salida})$$

$$Y_2 = 1.66 * 0.00186^{0.27} * (0.8 + 0.5) = 0.402m$$

Condición de profundidad mínima:

$$y_2 \geq 2.5 * y_{c-esc}$$

$$\frac{y_2}{y_{c-esc}} \geq 2.5$$

$$\frac{y_2}{y_{c-esc}} = \frac{0.402m}{0.160m} = 2.51$$

$$\frac{y_2}{y_{c-esc}} \geq 2.51$$

Por lo tanto, la escalera de peces cumple la condición de profundidad mínima.

Longitud de alcance de chorro:

$$L_A = 4.3 * D^{0.27} * \frac{H_{esc} + h_{salida}}{0.3048}$$

$$L_A = 4.3 * 0.00186^{0.27} * 4.92 \text{ ft} = 3.45 \text{ ft}$$

$$L_A = 1.052m$$

Constructivamente se obtiene una longitud del alcance de chorro de $L_A = 1.10m$.

Longitud restante de la cubeta:

$$L_B = 0.8 * y_{c-esc}$$

$$L_B = 0.8 * 0.16m = 0.13m$$

Así mismo la longitud restante de la cubeta constructivamente es de $L_B = 0.20m$.

Longitud Total de la cubeta:

$$L_T = L_A + L_B$$

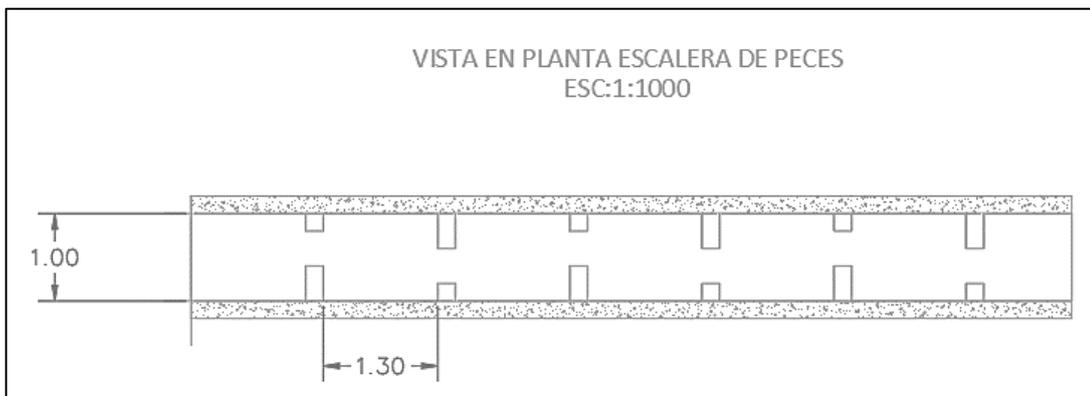
$$L_T = 1.10m + 0.20m = 1.30m$$

Por lo tanto, se adoptan una longitud total de la cubeta que sea constructiva:

$$L_T = 1.30m$$

Figura 99

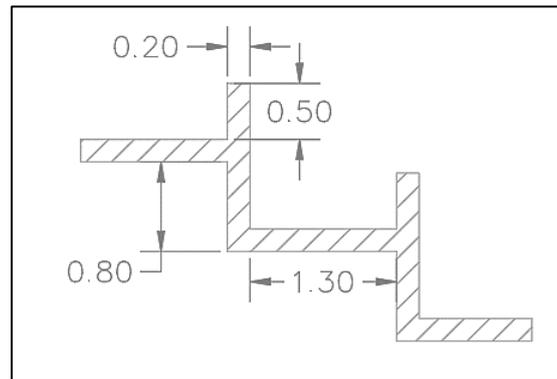
Vista en Planta de escalera de peces



Nota: Se presenta las dimensiones en planta de la escalera de peces. Fuente: Autores.

Figura 100

Parámetros hidráulicos escalera de peces



Nota: Longitud total de la cubeta, altura de desnivel fondo de escalera. Fuente: Autores

Perdidas de energía

Velocidad de acercamiento aguas abajo

$$V_2 = \frac{Q_{dis-esc}}{b_{esc} * H}$$

$$V_2 = \frac{0.20}{1 * 0.21} = 0.95m/s$$

Energía Total aguas arriba.

$$E_{T0} = H_{esc} + h_{salida} + h + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$E_{T0} = 0.80 + 0.50 + 0.21 + \frac{0.95^2}{2 * 9.81} = 1.56m$$

Energía Total Aguas abajo.

$$E_{T2} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$E_{T2} = 0.402m + \frac{\left(\frac{0.96m}{s}\right)^2}{\frac{19.62m}{s^2}} = 0.44m$$

$$\%_{perdidas} = \frac{E_{T0} - E_{T2}}{E_{T0}} * 100\%$$

$$\%_{perdidas} = \frac{1.56m - 0.44m}{1.56m} * 100\%$$

$$\%_{perdidas} = 71.6\%$$

8.2.3.4.3 Resumen de resultados

Los resultados de las dimensiones y parámetros de la escalera de peces, se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 98

Dimensiones de la escalera de protección Piscícola

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Calado crítico escalera de peces	Y _{c-esc}	0.16	m
2	Calado normal escalera de peces	Y _n	0.3	m
3	Carga vertedero pared gruesa	H	0.21	m
4	Colchón de agua	Y _{c-agua}	0.35	m
5	Calado contraído	Y1	0.07	m
6	Calado Conjugado	Y2	0.4	m
7	Longitud del chorro de salida de la cubeta	L _A	1.1	m
8	Longitud restante de la cubeta	L _B	0.2	m
9	Longitud total del escalón	L _T	1.3	m
10	Energía Total aguas arriba	E _{T0}	1.56	m
11	Energía Total aguas abajo	E _{T2}	0.44	m

Nota: Parámetros y dimensiones obtenidas en el diseño de las cubetas con fondo de escalera de peces. Fuente: Autores.

8.2.3.5 *Tanque de Carga*

8.2.3.5.1 Criterios de diseño

- a) El tanque de carga deberá ser ubicado seguido al desarenador, unido al mismo por medio de un canal de aproximación que dado el ancho y la pendiente se deberá determinar la profundidad del canal mediante:

$$h = \frac{Q}{bc * v}$$

donde:

Q = Caudal de garantía en [m³/s].

v = Velocidad de flujo en [m/s].

bc = Ancho del canal de aproximación en [m].

- b) Esta obra hidráulica es responsable de actuar como un reservorio de agua para mantener presurizado el flujo del caudal y evitar el ingreso de aire perjudicial para el funcionamiento de la planta eléctrica, para tal propósito se debe cumplir que:

$$h_{min} > 0.5 D \left(\frac{V}{(2D)^{0.5}} \right)^{0.55}$$

Ecuación (121)

Donde:

D = Diámetro de la tubería a presión [m].

V = Velocidad dentro de la tubería a presión [m/s].

h_{min} = Carga mínima [m].

- c) Se considera condiciones normales la velocidad en la tubería varía entre:

$$2m/s \leq V \leq 8m/s$$

- d) Hay que tomar en cuenta que este tanque de carga requiere de flujo constante para mantener su nivel máximo durante todo el tiempo de generación hidroeléctrica, por este motivo y de acuerdo a las necesidades de generación hemos determinado que el caudal de generación será el caudal con el 80% de garantía, 6.19 m³/s.
- e) Para evitar el ingreso de cualquier material sólido, es necesario construir una rejilla a la entrada del tanque de carga.

La separación depende del tipo de turbina. De acuerdo a “Socolov” se recomienda:

- 50mm. – 200mm. Para turbinas de hélice
 - 32mm. – 100mm. Para turbinas Francis
 - 20mm. – 65mm. Para turbinas Pelton
- f) La limpieza de las rejillas se hace por medio de rastrillos especiales y para facilitarla, las rejillas están inclinadas con la horizontal en un ángulo A. El valor de esta varía según la forma como se realiza la limpieza. Así se tiene:
- A = 50 – 55° para limpieza a mano
 - A = 70 – 76° para limpieza mecánica (Krochin, 1986, p.316).
- g) Dentro del análisis elección de turbina ubicado en la sección 8.2.3.6.3 determinamos necesaria una turbina Kaplan por tanto usaremos:
- t = grueso del barrote = 8mm
 - s = separación entre barrotes = 100mm
 - A = ángulo = 50°
- h) El diseño de la rejilla de entrada supone la generación de una pérdida de carga a la entrada del tanque y se determina mediante:

$$hf = B \left(\frac{t}{s} \right)^{\frac{4}{3}} (V^2/2g) \sin A$$

Ecuación (122)

Donde:

t = grueso del barrote [m].

s = separación entre barrotos [m].

V_a = velocidad de acercamiento [m/s].

B = Coeficiente de forma de sección transversal = 1.83

A = Angulo de entrada [°].

- i) La instalación de un aliviadero de excedentes para el tanque de carga, es dependiente a la distancia que se encuentra el tanque de la toma, puesto que, a mayor longitud no existe la auto regulación de flujo cuando existe una reducción de la demanda por parte de la casa de máquinas, produciendo así el rebose de la capacidad del tanque de carga, este caudal excedente requiere ser evacuando por el aliviadero de excedentes. Para nuestro caso se han colocado aliviaderos tanto en destripador como desarenador, y el canal de aproximación al tanque de carga permitiría que el caudal excedente sea evacuado por dichos aliviaderos previos.
- j) Cuando las turbinas se ponen en acción existe la demanda brusca de caudal, y para mantener la tubería presurizada entonces se requiere que el tanque de carga tenga un volumen y una altura mínimas de funcionamiento, a continuación, se presenta una ecuación empírica que nos permite calcular este volumen mínimo requerido:

$$V_{min-req} = \frac{0.693 * A * V_o^2}{i * g}$$

Ecuación (123)

Donde:

A = Sección transversal del canal [m²]

i = Pendiente del canal [m/m]

g = Aceleración de la gravedad [m/s²]

V_o = Velocidad de flujo en el canal [m/s]

$V_{\text{min-req}}$ = Volumen mínimo del tanque de carga [m³].

8.2.3.5.2 Dimensionamiento del tanque de carga

Tabla 99

Datos para el dimensionamiento del Tanque de Carga

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal 80%	$Q_{80\%}$	6.19	m ³ /s
Ancho del canal de acercamiento	b_c	2.00	m
Velocidad de flujo del agua	v	2.00	m/s
Diámetro óptimo de la tubería	D	1.50	m
Velocidad de flujo en la tubería	$v_{80\%}$	3.50	m/s
Pendiente del canal	i_{canal}	0.02	m/m

Nota: Se presentan parámetros necesarios para el diseño del tanque de carga; Fuente: Autores.

Se procede a determinar los parámetros de entrada del tanque de presión, utilizando la información resumida en la tabla 120

Profundidad del canal del Tanque de carga:

$$h_c = \frac{Q}{v * b}$$

$$h_c = \frac{6.2 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ m/s} * 2\text{m}} = 1.55 \text{ m}$$

$$h_c = \frac{4.2 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ m/s} * 2\text{m}} = 1.05 \text{ m}$$

La profundidad del tanque de carga es $h_{80\%} = 1.55 \text{ m}$ y $h_{95\%} = 1.05\text{m}$, por lo que se dará dimensiones constructivas:

$$h_{c-80\%-const} = 1.60\text{m}$$

$$h_{c-95\%-const} = 1.10\text{m}$$

Altura mínima de presión:

$$h_{min} > 0.5 D \left(\frac{V}{(2D)^{0.5}} \right)^{0.55}$$

$$h_{min} > 0.5 * (1.5m) \left(\frac{3.51m/s}{(2 * 1.5m)^{0.5}} \right)^{0.55}$$

$$h_{min} > 1.10m$$

$$h_{min} > 0.5 * (1.2m) \left(\frac{3.71m/s}{(2 * 1.2m)^{0.5}} \right)^{0.55}$$

$$h_{min} > 0.97m$$

Volumen mínimo de reserva:

$$V_{min-req} = \frac{0.693 * A * V_o^2}{i * g}$$

Previo a la obtención del volumen mínimo de reserva se calcula el área del canal como se muestra a continuación:

$$A_1 = h_c * b_c$$

$$A_1 = 1.55m * 2.00m = 3.10m^2$$

$$A_2 = 1.05m * 2.00m = 2.10m^2$$

Una vez determinada el área del canal se procede a calcular el volumen necesario:

$$V_{min-req} = \left[\frac{(0.693) * (3.10m^2) * \left(\frac{3.51m}{s} \right)^2}{(0.02 * 9.81 \frac{m}{s^2})} \right] = 134.89m^3$$

$$V_{min-req} = \left[\frac{(0.693) * (2.10m^2) * \left(\frac{3.71m}{s} \right)^2}{(0.02 * 9.81 \frac{m}{s^2})} \right] = 102.09m^3$$

8.2.3.5.2.1 Rejilla de entrada del tanque de Carga

Cálculo de pérdidas en la rejilla de entrada:

Para determinar las pérdidas en la rejilla de entrada al tanque de carga, se utiliza la información resumida en la siguiente tabla:

Tabla 100

Datos para calcular las pérdidas en la Rejilla

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Coefficiente de forma sección transversal	B	1.83	
Espesor del barrote de la rejilla	t	8	mm
Separación entre barrotes	s	100	mm
Velocidad de acercamiento	Va	2	m/s
Ángulo de entrada en la rejilla	A	50	°

Nota: Se presenta características de la rejilla en el tanque de carga; Fuente: Autores.

$$hf = B * \left(\frac{t}{s}\right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{V_a^2}{2g}\right) * \sin(A)$$

$$hf = 1.83 * \left(\frac{8}{100}\right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{2^2}{2 * 9.81}\right) * \sin(50)$$

$$hf = 0.00985m$$

8.2.3.5.2.2 Tanque de carga

Las dimensiones resultantes del diseño del tanque de carga se encuentran resumidas en la tabla 101.

Tabla 101

Dimensiones del Tanque de Carga

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho del tanque	Bt	6.2	m
Altura del tanque	Ht	3.5	m

Nota: Se muestra las dimensiones del tanque de carga; Fuente: Autores.

$$V_{min-req} = Bt * Ht * Lt$$

Longitud del tanque:

$$Lt = \frac{V_{min-req}}{Bt * Ht}$$

$$Lt = \frac{134.9 \text{ m}^3}{6.20\text{m} * 3.50\text{m}} = 6.21\text{m} = 6.20\text{m}$$

Por lo tanto, constructivamente la longitud del tanque será $Lt = 6.20\text{m}$

8.2.3.5.2 Resumen de resultados

Los resultados de las dimensiones del canal de limpieza en el tanque de carga se encuentran resumidas en la tabla siguiente:

Tabla 102

Dimensiones del canal de conducción (Tanque de Carga)

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del canal de conducción	bc	2,00	m
2	Profundidad del canal de conducción	hc	1,60	m
3	Altura mínima de presión	hmin	6,20	m
4	Volumen mínimo de reserva	$V_{min-req}$	134.90	m^3

Nota: Se presenta los resultados del diseño de canal de conducción en el tanque de carga;
Fuente: Autores.

8.2.3.6 Casa de Máquinas

8.2.3.6.1 Introducción

La casa de máquinas es la estructura donde culmina la conducción del caudal de generación, su objetivo principal es transformar la energía potencial y cinética del flujo en energía eléctrica, por tanto, en este espacio se ubican las turbinas hidráulicas que conjuntamente con los generadores permiten la transformación de la energía, además se ubican los controladores electrónicos de compuertas y válvulas, y sensores útiles para el funcionamiento de la planta eléctrica.

8.2.3.6.2 Consideraciones de diseño

- a) La ubicación de la casa de máquinas que, no puede situarse en sitios de inundación potenciales del cauce natural.
- b) La capacidad portante del suelo sobre el cual se pretende construir esta estructura este adecuado para soportar la carga necesaria, considerando además que las turbinas y generadores pueden provocar vibraciones que pueden afectar al desempeño de la misma.
- c) La ubicación de la casa de máquinas debe ser lo suficientemente cercana al río ya que, se deberá entregar el caudal de generación nuevamente a su cauce, por tanto, la dirección del cauce natural y la descarga del caudal deben estar coordinadas para evitar generar contraflujos ni erosiones innecesarias.
- d) La casa de máquinas debe estar diseñada arquitectónicamente anticipando la ampliación de la misma, y contar con los accesos necesarios para el personal de operación y mantenimiento.

8.2.3.6.3 Elección de la turbina

Para determinar el uso de una turbina se debe tomar en cuenta principalmente el caudal de generación y la altura neta de caída del agua.

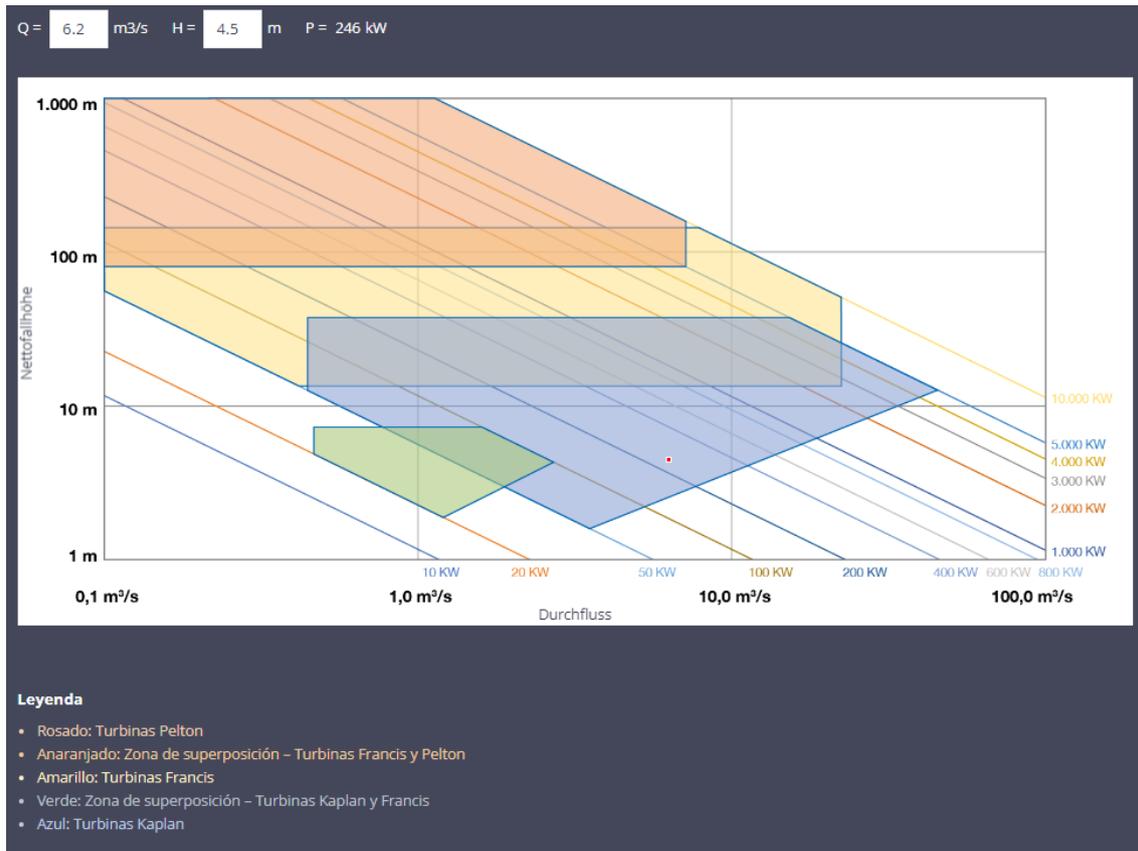
La selección de la turbina más adecuada, estará en función de los requerimientos específicos de cada central hidroeléctrica.

Para un dimensionamiento aproximado se debe calcular la potencia que la turbina podría entregar.

En la siguiente gráfica proporcionada por la compañía austriaca Wasserkraft, dedicada al diseño y construcción de turbinas hidráulicas podremos constatar el tipo de turbina más adecuada para nuestro planteamiento, tomando en cuenta los $6.19 \text{ m}^3/\text{s}$ como caudal de generación y una altura de 4.5 m de caída de agua.

Figura 101

Elección de la Turbina de reacción de eje vertical



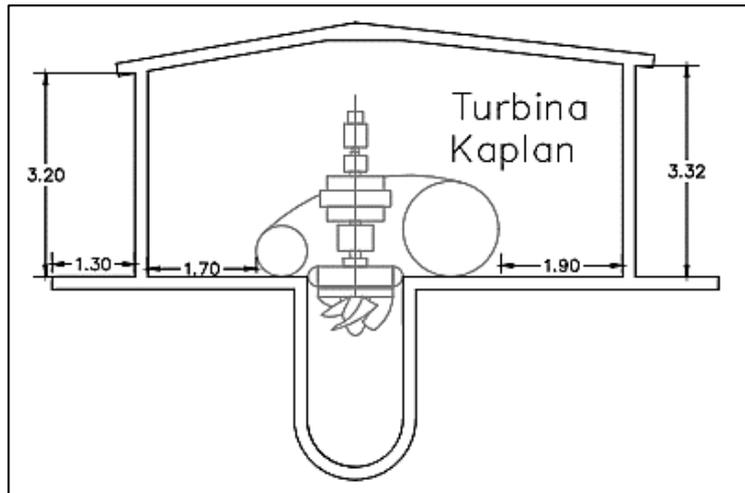
Nota: Se presenta el tipo de turbinas en función al caudal de generación, la altura de caída.

Fuente: (WASSER KRAFT, 2022).

En base a la figura 101 se puede concluir que la opción más favorable para los requerimientos de la hidroeléctrica en el río Toachi es una turbina Kaplan, misma que generará una potencia de 246 kW con lo cual se satisface a los usuarios del sistema con un 29% más de lo que requieren que es 174kW.

Figura 102

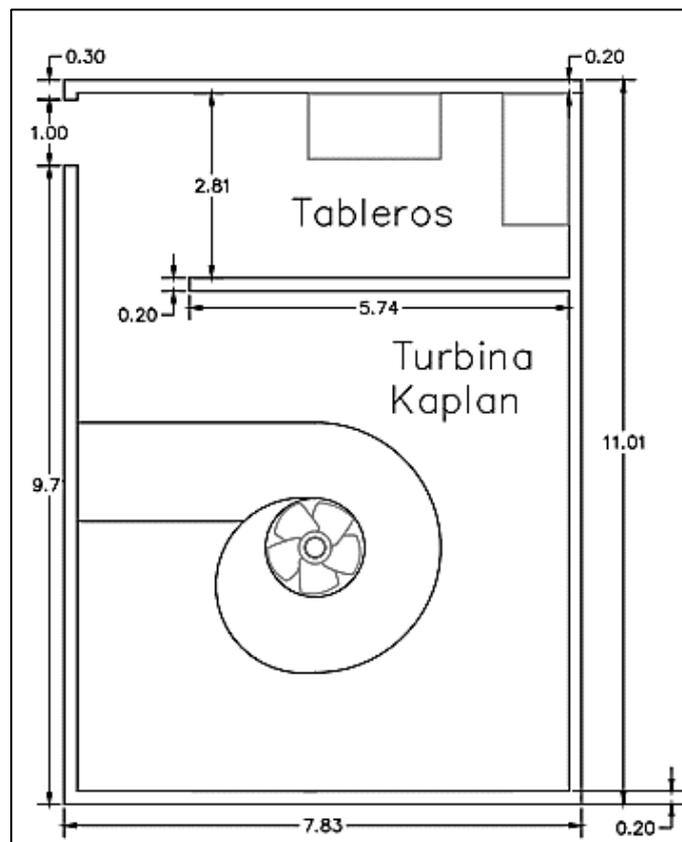
Detalle de casa de maquinas



Nota: Se presenta el corte transversal de la casa de máquinas. Fuente: Autores

Figura 103

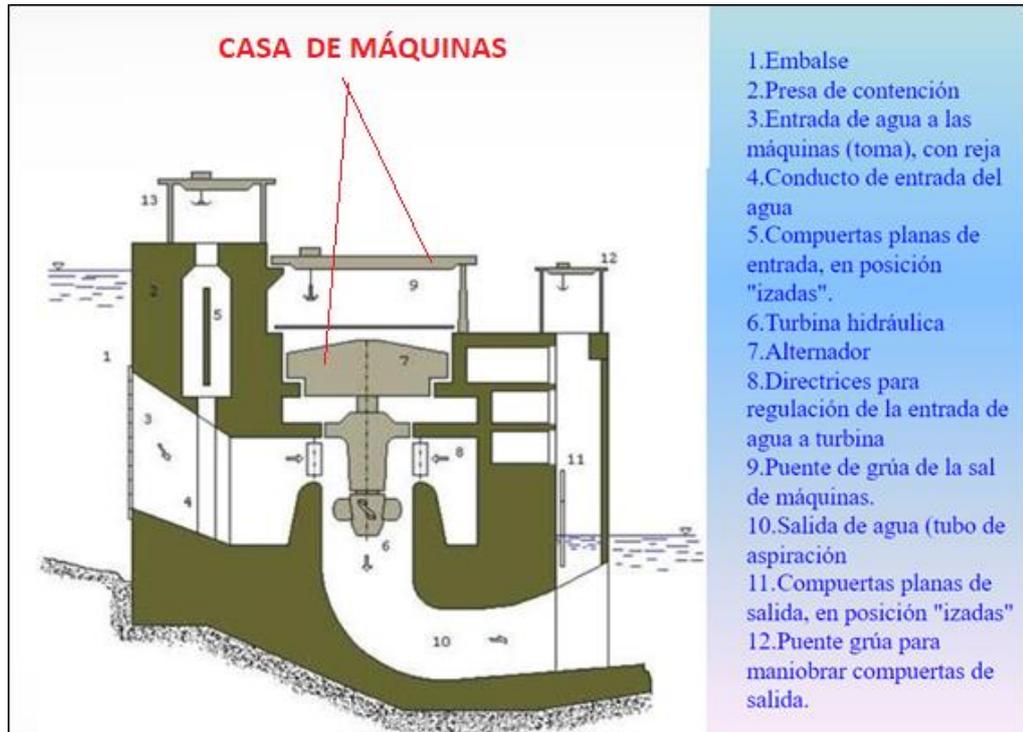
Vista en Planta de casa de máquinas



Nota: Dimensiones de la casa de máquinas. Fuente: Autores

Figura 104

Sección Transversal de la Casa de Máquinas



Nota: Elementos de control y comando de la Casa de Máquinas. Fuente: Boneti, 2018.

8.3 Definición del diseño definitivo de la alternativa más eficiente y eficaz.

Analizando las dos alternativas propuestas anteriormente se llegó a la conclusión, que el diseño definitivo será el de la primera alternativa con $Q_{\text{conducción-80\%}} = 6.2 \text{ m}^3/\text{s}$, puesto que en el capítulo VIII correspondiente al 8.2.2.1.2 Dimensionamiento de la tubería de conducción y 8.2.3.6.3 Elección de la turbina se determinó que la alternativa de caudal de $Q_{\text{conducción-95\%}} = 4.2 \text{ m}^3/\text{s}$ con una altura de caída $H_n = 4.34\text{m}$ arrojan un resultado de 152kW, por lo tanto, la potencia instalada no abastece a la requerida por los usuarios del sistema que es de 174kW.

En tanto el diseño de la 1era opción con $Q_{\text{conducción-80\%}} = 6.2 \text{ m}^3/\text{s}$ generará una potencia de 250kW, generando mayor cantidad de energía que la requerida por la comunidad de Quinticusig.

Cabe mencionar que a los caudales de conducción de ambas alternativas se le resta el caudal de uso actual o ecológico que se debe asegurar que en el caso de este proyecto es $Q_{\text{eco}} = 2\text{m}^3/\text{s}$.

Para definir correctamente este diseño definitivo se muestran el resumen de los resultados de los dimensionamientos constructibles de la alternativa más favorable, los cuales se darán a continuación:

Tabla 103

Dimensiones del diseño definitivo de Azud vertedero, rejilla lateral, cuenco de disipación y enrocado de protección

Diseño definitivo del azud vertedero tipo Creager			
NOMBRES	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Altura del azud o paramento aguas arriba	P	5.00	m
Longitud mínima del azud	La	10.0	m
Carga de Diseño	Ho	1.10	m
Carga de velocidad de diseño	ho	0.01	m
Radio de curvatura aguas abajo al pie del azud	R	3.70	m
Diseño definitivo captación lateral con rejilla			
NOMBRES	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Altura de la rejilla	Hrej	1.20	m
Longitud o ancho de la rejilla	Lrej	7.30	m
Espaciamiento entre barrotes de la rejilla	Sb	0.20	m
Espesor de cada barrote de la rejilla	t	0.10	m
Área de la rejilla	Arej	8.76	m ²
Velocidad de flujo de la rejilla	Vrej	0.93	m/s
Diseño definitivo cuenco de disipación de energía			
NOMBRES	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Longitud del cuenco	Lc	10.00	m
Profundidad del cuenco	e	1.50	m
Altura normal del río	yn	1.09	m
Profundidad de la primera conjugada	d1	0.24	m
Profundidad de la segunda conjugada	d2	2.20	m
Espesor de la losa de cimentación del azud	δ losa	0.80	m
Diseño definitivo de Enrocado de protección			
NOMBRES	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Espesor o altura de enrocado	d _{roca}	1.00	m
Longitud de enrocado río Toachi	L _{roca}	4.00	m
Profundidad aguas abajo del cuenco disipador	ds	2.10	m
Calado normal del río	Yn	1.10	m

Nota: Se presenta el resumen de los dimensionamientos del diseño definitivo de un Azud vertedero, rejilla lateral, estanque de amortiguamiento y enrocado. Fuente: Autores.

Tabla 104*Dimensiones del diseño definitivo del Desripiador y Desarenador*

Diseño definitivo del Desripiador				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Carga aguas abajo vertedero sumergido desripiador	hd'	0.43	m
2	Carga aguas arriba vertedero sumergido desripiador	Hd	0.5	m
3	Ancho del desarenador	B _{des}	11.00	m
4	Ancho del canal de limpieza	b _{desr-limp}	2.00	m
5	Coefficiente rugosidad de Manning	n _{horm}	0.015	
6	Pendiente canal desripiador	i _{desr}	0.030	m/m
2	Ancho de vertedero de excedentes	b _{vert-exc}	8.00	m
3	Calado del vertedero excedentes	h _{vert-exc}	0.50	m
4	Calado por encima del orificio	h _{norif}	2.31	m
5	Base del orificio canal	b _{desr-limp}	2.00	m
6	Altura orificio (apertura compuerta)	h _{d-comp-limp}	1.00	m
Diseño definitivo del desarenador				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Área del desarenador	Ad	16.53	m ²
2	Calado del desarenador	Hd	3.320	m
3	Ancho del desarenador	Bd	4.98	m
4	Número de cámaras	N	2.00	
5	Ancho total de desarenador	Bt	11.00	m
6	Espesor de las paredes	b _p	0.30	m
7	Longitud del desarenador	L	43.0	m
8	Frente de vertedero de salida	b _{vert-desa}	14.0	m ²
9	Longitud de la transición vertedero salida	Lt	20.00	m
10	Longitud Total (desarenador)	LT	63.00	m
11	Altura del orificio	ho	1.0	m
12	Ancho del orificio	bo	1.0	m
13	Altura por encima del orificio	hf	4.18	m
14	Altura de sedimentos	hs	0.860	m
15	Calado inicial de la cámara	hi	4.680	m
16	Longitud canal de limpieza	L _{canal-limp}	14.5	m
17	Ancho canal limpieza	b _{canal-limp}	1.00	m

Nota: Se presenta el resumen de los dimensionamientos del diseño definitivo del desripiador y desarenador. Fuente: Autores.

Tabla 105*Diseño definitivo de Tanque de Carga y tubería de conducción*

Diseño definitivo del tanque de Carga				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del canal de conducción	bc	2.0	m
2	Profundidad del canal de conducción	hc	1.6	m
3	Altura mínima de presión	hmín	1.1	m
5	Ancho del tanque de carga	Bt	6.2	m
6	Altura del tanque de carga	Ht	3.75	m
7	Longitud del tanque de carga	Ltc	6.2	m
Diseño definitivo de la tubería de conducción				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud de la tubería	L_{tub}	120.00	m
2	Diámetro óptimo de la tubería	D	1.5	m
3	Pérdidas por fricción de la tubería	hf	0.45	m
4	Potencia generada	P	250	kW

Nota: Se presenta el resumen de los dimensionamientos del diseño definitivo del tanque de carga y la tubería de conducción. Fuente: Autores.

Tabla 106

Dimensiones del diseño definitivo de la escalera de peces y el vertedero de pared gruesa

Diseño definitivo de Escalera de Peces				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud del chorro de salida de la cubeta	L_A	1.1	m
2	Longitud restante de la cubeta	L_B	0.2	m
3	Longitud total del escalón	L_T	1.3	m
4	Energía Total aguas arriba	E_{T0}	1.56	m
5	Energía Total aguas abajo	E_{T2}	0.44	m
6	Desnivel entre el fondo de escalones	H_{esc}	0.8	m
7	Base del escalón	b_{esc}	1.0	m
8	Altura del dentellón a la salida del escalón	h_{salida}	0.5	m
9	Espesor de la pared	e_p	0.2	m

Diseño definitivo del vertedero pared gruesa				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del vertedero	B	13	m
2	Carga de diseño	H	0.4	m
3	Altura orificio exclusiva de emergencias	H_o	1.1	m
4	Ancho del orificio exclusiva de emergencias	B_o	1.1	m
5	Ancho de la compuerta	b_{comp}	3.20	m
6	Apertura de compuerta	a	1.1	m

Nota: Se presenta el resumen de los dimensionamientos del diseño definitivo del vertedero pared ancha y la escalera de protección piscícola. Fuente: Autores.

Tabla 107

Diseño definitivo de la casa de máquinas

Diseño definitivo de casa de máquinas				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho de la casa de maquinas	B_{cm}	8.0	m
2	Largo de la casa de máquinas	L_{cm}	11	m
3	Espesor de las paredes	e_p	0.20	m

Nota: Se presenta el resumen de los dimensionamientos del diseño definitivo de la casa de máquinas. Fuente: Autores

CONCLUSIONES

Se concluye que la capacidad hidroeléctrica que tiene el río Toachi en el sitio de estudio es suficiente para cumplir con la demanda de potencia propuesta de 174 kW, para esta disertación se han señalado dos propuestas de generación hidroeléctrica tomando en cuenta el nivel de garantía de caudal 80% y 95% para lo cual se han llevado a cabo estudios hidrológicos, topográfico-geomorfológico, geológico-geotécnico, y a su vez se ha planteado un análisis técnico-económico de las alternativas propuestas y determinando la viabilidad técnica-económica de la alternativa más favorable que en este caso resulta ser la opción del caudal de aprovechamiento del cauce con un nivel de garantía del 80%.

Se ha determinado el caudal máximo de crecida, para un periodo de duración de 100 años correspondiente al caudal de 133.4 [m³/s], que se ha utilizado para el diseño y dimensionamiento del azud vertedero tipo Creager.

Se han propuesto dos alternativas de generación hidroeléctrica, la primera con el caudal de aprovechamiento en el cauce con un nivel de garantía del 80% correspondiente a $Q_{80\%} = 8.19$ [m³/s], que permite generar una potencia de 250 kW, la segunda opción de caudal de aprovechamiento en el cauce tiene un nivel de garantía del 95%, dando como resultado un $Q_{95\%} = 6.16$ m³/s el cual permite generar 159 kW de potencia instalada, misma que no cumple con el objetivo de generación requerida; Estos resultados son el reflejo del estudio hidrológico y del cálculo de la potencia, estos caudales nos han servido para el prediseño de captación, conducción y generación hidroeléctrica de las dos alternativas.

El punto de ubicación más favorable para la colocación del azud vertedero es Norte: 9920459.749, Este: 736762.555 UTM WGS86 zona 17 Sur, para la elección del punto se consideró dentro de la topografía obtenida en campo mediante GPS de precisión

y estaciones totales, la existencia de la contracción natural del cauce, un tramo relativamente recto y con taludes con pendientes cercanas a la pendiente nula.

Luego de realizada la toma de muestras de suelo mediante calicatas, y habiendo sido analizadas en laboratorio por diversos ensayos se determina que, el material sobre el cual se pretenden cimentar las obras civiles corresponde a un SM Arena limosa según la Norma ASTM D 2487, de acuerdo a la clasificación SUCS corresponde a ML Arenas con finos, con las siguientes características y propiedades mecánicas:

Tabla 108

Resumen de parámetros del suelo en el sitio de estudio (Conclusiones).

Características	Valor	Unidad
Contenido de humedad del suelo [%H]	24.61	%
Coefficiente de uniformidad del suelo [Cu]	6.1	
Coefficiente de curvatura del suelo [Cc]	1	
Límite Líquido [LL]	35.64	%
Límite Plástico [LP]	32.58	%
Índice de plasticidad [IP]	3.06	%
Cohesión del Suelo [C]	63.6	kPa
Ángulo de Fricción del suelo [ϕ]	32.85	grados
Resistencia a esfuerzo normal máximo [σ]	300	kPa
Resistencia a esfuerzo cortante máximo [τ]	267.91	kPa
Gravedad específica [Gs]	1.62	
Capacidad admisible del suelo [qadm]	1835.96	kPa
	183.6	T/m ²
Peso volumétrico del suelo [γ_s]	15.81	kN/m ³

Nota: Características y propiedades físico mecánicas que tiene el suelo en la ubicación del proyecto. Fuente: Autores

Una vez descritos los rubros de construcción del proyecto, y elaborados análisis de precios unitarios (APU) para cada uno de los ítem se determina que el costo de la obra de la propuesta con el caudal de aprovechamiento del cauce con un nivel de garantía del 80% que corresponde al caudal de 8.19 [m³/s], que permite generar una potencia de 250 kW, dando como resultado un presupuesto que alcanza el valor de 2'366.218,19 además se da a conocer que el presupuesto referencial para la segunda opción cuyo caudal de

aprovechamiento del cauce tiene un nivel de garantía del 95%, que permite generar 159 kW de potencia por esta razón es descartado, ya que técnicamente no abastece la generación de potencia requerida por los usuarios del sistema.

Una vez realizado el análisis económico y financiero del proyecto Central hidroeléctrica en el sitio de estudio se puede concluir en base a los cálculos arrojados en la siguiente tabla:

Tabla 109

Indicadores de viabilidad Financiera del Proyecto

Indicadores Económicos	Unidad	Sin Financiamiento	Con Financiamiento
Inversión Inicial	USD	2.366.218,19	2.366.218,19
Tasa de interés	%	3,0	3,0
Valor Actual Neto (VAN)	USD	2.507.142,79	807.527,02
Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	3,2	8,0
Índice Costo/Beneficio (B/C)		1,10	1,79
Recuperación de la inversión	años	27,0	12,0

Nota: Se presenta el resumen de resultados de los indicadores financieros; Fuente: Autores

El Valor Actual Neto (VAN) es positivo en ambos casos, tanto en el análisis sin financiamiento VAN = \$2' 507.142,79 como, con financiamiento VAN = \$ 807.527,07, por lo tanto, este factor indica que si existe beneficio en cuanto a la disponibilidad laboral y social de la comunidad de Quinticusig. De igual manera evaluando la Tasa Interna de Retorno (TIR) se llegó a obtener que las dos opciones el TIR es mayor que la tasa de interés, más en el caso con financiamiento TIR = 8% > 3% dando como resultado la rentabilidad del proyecto generando fuente de empleo en actividades conjuntas a la obra. Por último, se realizó el estudio del índice Beneficio/Costo (B/C), los resultados fueron favorables, ya que el proyecto sin financiamiento genera un B/C = 1.10 y con financiamiento B/C = 1.79, llegando a la conclusión que existe rentabilidad y que en ambos escenarios se gana dinero por cada dólar invertido.

Se ha realizado el diseño a detalle de la alternativa con el caudal de aprovechamiento del cauce con un nivel de garantía del 80%, cuyo rendimiento en potencia incluso excede el valor requerido en 42.5%, sin embargo no se podrá explotar la generación hidroeléctrica durante los meses de julio y agosto que corresponden a los meses secos, donde se propone realizar los mantenimientos y reparaciones durante este periodo, cabe destacar que esta alternativa supone la menor inversión para el mayor rendimiento.

RECOMENDACIONES

Para la continuación de este proyecto en su etapa de factibilidad y diseños definitivos es necesario plantear un estudio de sedimentología para determinar la cantidad de sedimento que puede afectar al azud impidiendo su correcta funcionalidad, este estudio también permitirá conocer el periodo de mantenimiento y limpieza de todos los componentes que conforman la central hidroeléctrica.

Como recomendación podemos agregar la posibilidad de realizar un estudio de suelos con el método SPT (Standard Penetration Test) para conocer la estratigrafía de la zona de estudio y así estimar la capacidad portante del suelo de cimentación a mayor profundidad.

Recomendamos para la continuidad en etapa de diseño definitivo plantear el estudio del impacto ambiental que este proyecto constructivo puede generar en la cuenca del río Toachi.

Para el aprovechamiento constante y generación hidroeléctrica durante todo el año, recomendamos trabajar con el caudal de aprovechamiento del cauce con un nivel de garantía del 95%, siempre que se aumente la altura de caída, es decir se recomienda levantar uno o dos metros más el azud vertedero, evaluando los indicadores económicos y financieros.

Se recomienda que, en la obra arquitectónica correspondiente a la casa de máquinas, se considere realizar el diseño de todas las instalaciones eléctricas y de tableros electrónicos, con la finalidad de estimar de mejor manera el presupuesto referencial de la casa de máquinas, ya que en esta disertación solo se estimó la obra civil.

Para el avance de este proyecto hacia la factibilidad y diseños definitivos se propone diseñar a detalle de la descarga del caudal a partir de la turbina Kaplan hacia el río Toachi, ya que en el proyecto descrito en este documento se han realizado los diseños desde el azud, partiendo por el desripador y desarenador, tomando en cuenta también el dimensionamiento del tanque de carga con la tubería de conducción hasta la ubicación de la turbina en la casa de máquinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- INEN 638. (2005). *Geotecnia, Mecánica de suelos, Simbología y Terminología*.
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/685.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2022). *Pliego Tarifario de Empresas Eléctricas para el Servicio Público de Energía*.
https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/Pliego-Tarifario-Servicio-Publico-de-Energia-Electrica_-Ano-2022.pdf
- Agencia de Regulación y control de Electricidad. (2016). *Plan Maestro de Electricidad*.
<https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/2.-TRANSFORMACION-Y-SITUACION-ACTUAL-DEL-SECTOR-ELECTRICO.pdf>
- ÁLAMO, E. S. (15 de Junio de 2008). *Estructuras Hidráulicas "El Desarenador"*.
https://www.academia.edu/36837220/UNS_-Estructuras_Hidr%C3%A1ulicas_El_Desarenador_DOCENTE
- Alvarado, E. (2017). *Manual de medición de caudales*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- Andrade, A., & Heredia H, A. (2013). *Diseño de Obras hidráulicas de la alternativa técnica de la central hidroeléctrica, Sardinas Grande, provincia de Napo* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador] Archivo digital.
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9578>
- Andrade, D. (10 de Septiembre de 2021). *Presupuestos, cronogramas, Análisis de Precios Unitarios y Especificaciones Técnicas*. Quito: Apuntes Ejecución de Obras (Universidad Politécnica Salesiana).

- Aranda Usón, A., & Sabina, S. (2009). *Análisis de viabilidad económico-financiero de un proyecto de energías renovables*. Prensas Universitarias de Zaragoza. https://books.google.com.ec/books?id=3GBLBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=analisis+economico+y+financiero+de+un+proyecto&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Arechua de la Cruz, G. B. (2018). *Diseño hidráulico de la tubería de presión de la mini, central hidráulica Huaura, distrito de Paccho, provincia de Huaura, Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] Archivo digital. http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10569/Arechua_dg.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Barrera Luna, E. F., & Sanunga Cando, D. P. (2021). *Diseño y Optimización de herramientas Macro para dimensionamiento de Escaleras de Peces* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Nacional] Archivo digital. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21563/1/CD%2011063.pdf>
- Boneti, C. (12 de 10 de 2018). "*Clasificación de las centrales eléctricas según el tipo de energía primaria Hidroeléctricas Térmicas Eólicas Solares Geotérmicas Biomasa.*". Madrid. <https://slideplayer.es/slide/14206517/>
- Braja M, D. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning®. https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das
- Bureau of Reclamation. (1987). *A Water Resources Technical Publication*. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallDams.pdf>
- Calero Hidalgo, I. (17 de Julio de 2020). *OBRAS HIDRÁULICAS DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTOS*. Quito: Apuntes Obras Hidráulicas II (Universidad Politécnica Salesiana).

- Calmet Soto, J. A. (2014). *Planificación y Diseño de una pequeña Central Hidroeléctrica [Tesis de pregrado, Universidad San Martín de Porres].* Archivo digital. https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/2149/calmet_sja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carcelen, J., & Monition, L. (1985). *Manual de diseño de Pequeñas centrales hidroeléctricas.* OLADE. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0125.pdf>
- Carpio Coronel, W. (20 de Febrero de 2016). *Perfil de un cimacio de cresta libre.* https://www.academia.edu/29724214/A4_Perfil_de_un_cimacio_de_cresta_libre
- CEPIS. (2005). *Guía para el Diseño de desarenadores y Sedimentadores.* Centro Panamericano de Ingeniería Solidaria (CEPIS); OPS (Organización Panamericana de la Salud. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf
- CEUPE Magazine. (2021). CEUPE Magazine. *Operación y Mantenimiento de Turbinas-Generador,* 6-9. <https://www.ceupe.com/blog/operacion-y-mantenimiento-de-turbinas-hidraulicas.html?dt=1661716731756>
- Chacha Villena, P. A. (2019). *Análisis comparativo de las alternativas de disipación de la energía hidráulica aguas abajo de los desagües anexos a presas pequeñas y medianas* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana] Archivo digital. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17730/1/UPS%20-%20ST004315.pdf>
- Champutiz, T. H. (2013). *Bases de Diseño de Escaleras para Peces* [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador] archivo digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1735/1/T-UCE-0011-45.pdf>

- CHOW, V. T. (2004). *Hidraulica de Canales Abiertos*. Mc GRAN HILL.
https://www.academia.edu/43519012/Ven_Te_Chow_HIDRAULICA_DE_CANALES_ABIERTOS
- Córdoba Romero, H. A. (2017). *Diseño de una Pico Central Hidroeléctrica en la localidad de USME, Bogota* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Archivo digital.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15273/1/Trabajo%20de%20Grado%20PCH.pdf>
- Corporación Eléctrica del Ecuador [CELEC EP]. (2018). *Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón*. <https://www.celec.gob.ec/hidrotoapi/index.php?start=8>
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5ta ed.). LIMUSA,NORIEGA EDITORES.
<https://books.google.com.ec/books?id=Db2SQbBHVPQC&pg=PA51&dq=coeficientes+de+uniformidad+y+curvatura+del+suelo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjTnpfX28n3AhXPnOAKHZc9Ap8Q6AF6BAgJEA#v=onepage&q=coeficientes%20de%20uniformidad%20y%20curvatura%20del%20suelo&f=false>
- Dautima Ricón, F. D., & Moreno Soto, L. M. (2015). *Estimación de Caudales en la cuenca media del río Magdalena, empleando el método de transposición de caudales* [Tesis de pregrado,Universidad Distrital Francisco José de Caldas] Archivo digital.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/2209/MorenoSotoLauraMargarita2015.pdf;jsessionid=A0FA0B0FD7CF45F315AD7409813DDC37?sequence=3>

- Del Toro Ávila, N. V. (2013). *Bases y criterios de Diseño de Canales con flujo escalonado y sujetos a aireación natural* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador] Archivo digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2199>
- Díaz Gutierrez, C. E., Segovia de los Ríos, J. A., Garduño Gaffare, M. P., & Tejeda Vega, S. (2012). *Medición de caudales mediante la implementación de un vehículo acuático teleoperado*. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, 28(1). Scielo Analytics: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100007
- Discharge measurement structures. (1975). *Represented in the Working Group on Small Hydraulic Structures are the following*. Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI. <https://www.samsamwater.com/library/pub20.pdf>
- DVWK. (1996). *Fish Passes: Design, Dimensions and Monitoring (DE)*. . DVWK. In food and agriculture Organization of the United Nations.
- Eras, E. E. (31 de Enero de 2016). *(Club de Ensayos) Diseño hidráulico de un Perfil Creager*. <https://www.clubensayos.com/Ciencia/Dise%C3%B1o-hidr%C3%A1ulico-de-un-vertedero-de-perfil-Creager/3118494.html>
- García Valdeolivas, J. L. (2013). *Comportamiento Estructural de las Tuberías Forzadas y blindajes en saltos hidroeléctricos Propuesta de Diseño y Cálculo* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital. https://oa.upm.es/22073/1/Jose_Garcia_Valdeolivas.pdf
- Gardea Villegas, H. (1992). *APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS Y DE BOMBEO*. México: Trillas Editorial.

<https://es.scribd.com/document/369905490/Aprovechamientos-Hidroelectricos-y-de-Bombeo>

Gobierno Autonomo Decentralizado parroquial rural Palo Quemado. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Palo Quemado, Sigchos-Cotopaxi*. GAD Municipal Sigchos: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0560020490001_Diagnostico%20PDyOT%20Palo%20Quemado%20OK_15-05-2015_19-35-00.pdf

González Caballero, M. (2001). *El terreno* (1era ed.). EDICIONS UPC. <https://books.google.com.ec/books?id=0srD--dTQMC&pg=PA22&dq=limite+de+atterberg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjf4rRb0cv3AhXKKkQIHca8AYYQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=limite%20de%20atterberg&f=false>

Guamán Sánchez, V. A. (2018). *Modelación Numérica y Experimental de un canal rectangular Abierto con diferentes tipos de Vertederos* [Tesis de Posgrados, Universidad Politécnica Salesiana] Archivo digital. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15227/1/UPS-CT007513.pdf>

Gutiérrez Caiza, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. Quito-Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala. <https://mega.nz/file/PE4X2CDJ#yBttD9sWfwXFkeKTfWc63qiNekyZndJjMtLzqCjIDjU>

Inmaculada Fernández, D., & Robles Díaz, A. R. (2010). *Centrales de Generación Hidroeléctrica* [Tesis de pregrado, Universidad de Cantabria-España] Archivo digital. <https://docplayer.es/13238290-Centrales-de-generacion-de-energia->

electrica-profesores-inmaculada-fernandez-diego-arsenio-ramon-robles-diaz.html

José Luis, F. (2021). *Tipos de Potencia y Relación entre Potencia Instalada vs Velocidad*.

FISICALAB: <https://www.fiscalab.com/apartado/potencia-fisica#:~:text=Como%20norma%20general%2C%20la%20potencia,consumida%20ser%C3%A1%20menor%20que%20uno.>

Juan José, S. L. (1975). *Fundamentos de Mecánica de Suelos, Proyecto de Muros y Cimentaciones*. Barcelona: (ETA) EDITORES TÉCNICOS ASOCIADOS.

Krochin, S. (1986). *Diseño Hidráulico*. Escuela Politécnica Nacional. <https://fdocuments.ec/document/disenio-hidraulico-s-krochin.html?page=1>

León Cardenas, C. E., & Vásquez Ríos, A. A. (2010). *Diseño y construcción de un soporte de ametralladora para el helicóptero del Ejército Ecuatoriano, MI-171, utilizando materiales compuestos laminados* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Archivo digital. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2342>

Loachamín Larrága, O. I., & Reinoso Acurio, S. L. (2020). *Diseño hidáulico de Factibilidad de la mini central hidroeléctrica en la parroquia San José de Ayora* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador] Archivo digital. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19587?mode=full>

Loaiza Matamoros, J. A. (2016). *Diseño de toma conveccional, desarenador, obras de protección, líneas de conducción y presupuesto referencial para las Lajas* [Tesis de pregrado, Universidad de Machala]. Archivo digital. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/8084/1/TCUAIC_2016_IC_CD0023.pdf

- López Moya, A. P. (2013). *Bases para el diseño hidráulico de la Estructura de salida, canal de recolección y Tanque de Carga $20\text{m}^3/\text{s} \geq Q \geq 2\text{m}^3/\text{s}$ para desarenadores en aprovechamientos hidroeléctricos* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador] Archivo digital.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2209>
- López, J. (16 de Enero de 2016). *Prezi (Diseño de Perfil Creager)*.
<https://prezi.com/rorb4ifzmssu/disenio-de-perfil-creager/>
- Lugo Cruz, G. (2004). *Obras de Derivación* [Tesis de pregrado, Escuela Superior de Arquitectura e Ingeniería] Archivo digital.
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/1362/lugocruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Se%20definen%20como%20obras%20hidr%C3%A1ulicas,sea%20por%20gravedad%20o%20bombeo.>
- Mabel Elizabeth, A., & Antonio, G. (2020). *Obra hidráulica Azud vertedero*. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria):
<https://inta.gob.ar/documentos/%C2%BFque-es-un-azud>
- Machado, M., Varela, A., & Lavaire, R. (11 de abril de 2016). *Triángulaciones Topográficas Apuntes*. <https://es.slideshare.net/RitaFachman/apuntes-de-topografia-triangulacion>
- Merino Poveda, A. V. (2019). *Desarrollo de un programa para el diseño hidráulico de las obras de captación de aguas superficiales convencional y con rejilla de fondo, con Matlab* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Quito] Archivo digital.
<http://repositorio.puce.edu.ec/browse?type=author&value=Merino+Povea%2C+Angel+Vicente>

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2006). *Manual de energías Renovables (Minicentrales Hidroeléctricas)*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2021). *Modelación hidrológica*.

<http://www.ideam.gov.co/web/agua/batimetricas#:~:text=Una%20batimetr%C3%ADa%20se%20refiere%20al,los%20diferentes%20cuerpos%20de%20agua.>

Molina Tufiño, D. M., & Guevara Sanguano, J. C. (2010). *Análisis Experimental de la*

Disipación de energía en cimacios con perfil Liso y Escalonado [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional] Archivo digital.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/browse?type=author&value=Guevara+Sanguano%20C+Juan+Carlos>

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Estructuras de Hormigón Armado*. NEC

15: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-HM.pdf>

OLADE. (04 de Enero de 1985). *CURSO LATINOAMERICANO DE DISEÑO DE*

PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS. OLADE (Organización Latinoamericana de Energía):

<https://www.google.com/search?q=GUIA+DE+DISE%C3%91O+DE+OBRAS+CIVILES+DE+PEQUE%C3%91AS+CENTRALES+HIDROELECTRICAS&oq=GUIA+DE+DISE%C3%91O+DE+OBRAS+CIVILES++DE+PEQUE%C3%91AS+CENTRALES+HIDROELECTRICAS+&aqs=chrome..69i57.1103j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

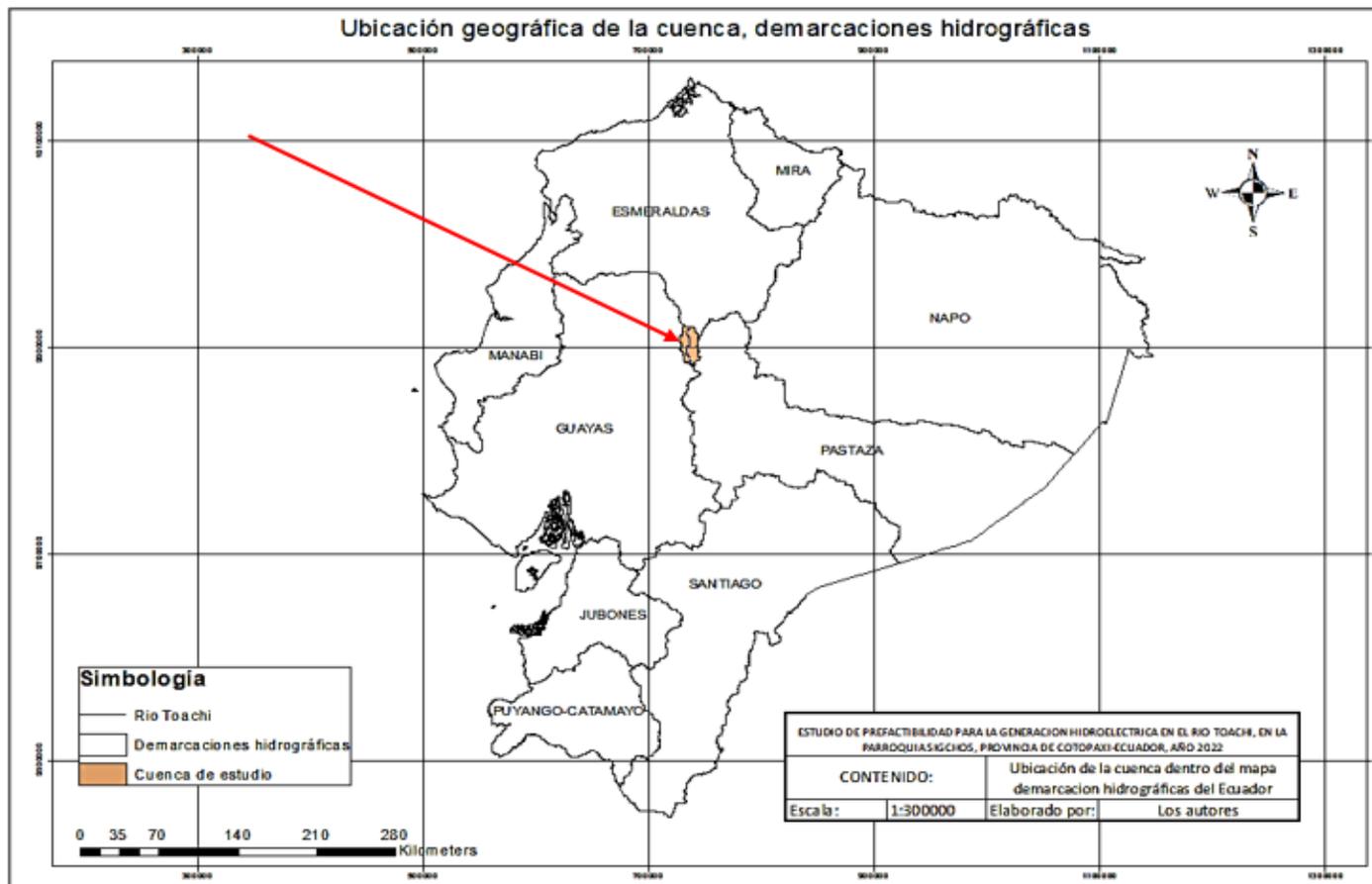
- Ortíz Flórez, R. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Ediciones de la U. <https://books.google.com.ec/books?id=HSejDwAAQBAJ&pg=PA173&dq=obras+de+conducci%C3%B3n+hidroelectrica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj4m6Ha1s73AhVJUt8KHeprBYYQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q=obras%20de%20conducci%C3%B3n%20hidroelectrica&f=false>
- Palomeque Jimbo, V. M., & Valdez Cajamarca, I. A. (2019). *Diseño de una Central Hidroeléctrica para abastecer la demanda del consumo eléctrico de Plantaciones MALIMA CÍA. LTDA* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Archivo digital. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17404/1/UPS-CT008315.pdf>
- PAVCO. (10 de Enero de 2020). *MANUAL TÉCNICO: GRP POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO*. Bogota-Colombia. https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/49973/Manual_tecnico_grp.pdf
- Paz Jáuregui, J. E. (2014). *Diseño de un sistema de encofrados metálicos para la fundición de los pilares de un puente*[Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Archivo digital. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2201>
- Peréz Romo, A. T., & Vanegas Sandoval, L. J. (2016). *Estudio hidrológico e hidráulico en la zona baja de la cuenca del río Frío en el municipio de Chía* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia] Archivo digital. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6166/4/Documento%20Trabajo%20de%20Grado.pdf>
- Pestarini, S. (2016). *Aplicación web para Georreferenciación utilizando servicios de posicionamiento en línea y su aplicación en la Agrimensura*. Agrimensura – FCEIyA – UNR. <https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/publicaciones/calc-web.pdf>

- Proaño Prócel, P. D. (2013). *Bases para el diseño hidráulico de la estructura de entrada, cámara de desarenación y estructuras de limpieza con caudales entre $20\text{m}^3/\text{s} > Q < 2\text{m}^3/\text{s}$* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Archivo digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2210/1/T-UCE-0011-74.pdf>
- Rincón Villalba, M. A., Vargas, W. E., & González Vergara, C. j. (2017). *Topografía Conceptos y Aplicaciones*. ECOE Ediciones .
<https://books.google.com.ec/books?id=3K5JDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=levantamiento+topografico+con+estacion&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjtxK0X6rf3AhUpj4kEHdpOAHkQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q=levantamiento%20topografico%20con%20estacion&f=false>
- Sansolini Company, V. (2018). *Válvulas y elementos de control para el sector de presas y Centrales Hidroeléctricas*. COMEVAL (Compañía de Estructuras y Válvulas para el control de fluidos):
http://www.improdac.com/pdf/boletines/comeval_valvulas_para_presas_y_centrales_hidroelectricas_WEB.pdf
- Soteldo, G. (1994). *Hidráulica General Fundamentos Vol. 1*. LIMUSA, S.A de C.V GRUPO NORIEGA EDITORES.
https://www.academia.edu/38544755/Hidr%C3%A1ulica_General_Vol_1_Fundamentos_Gilberto_Sotelo_%C3%81vila
- Torres Moane, H. F. (1964). *Anteproyecto Hidroeléctrico el Hato (Tubería de presión)* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional] Archivo digital.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/browse?type=author&value=Torres+Moane%2C+Homero+Fabi%C3%A1n>

- Vasquez, L., & Terrones, N. (2019). *Evaluación hidráulica de la disipación de energía en cuatro tipos de cuencos amortiguadores, bajo condiciones de flujo variable* [Tesis pregrado, Universidad de Carabobo-Peru] Archivo digital. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24405/browse?type=author&value=Terrones%2C+Nelson>
- Villagomez Mejia, H., Mendoza Zamora, E. J., & Bowen Fonseca, E. (2009). *Estudios de prefactibilidad para la construcción de una Mediana Central Hidroeléctrica aprovechando las aguas del río Toachi Grande* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral] Archivo digital. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13520/1/D-42652.pdf>
- Villamarín Paredes, S. C. (2013). *Manual Básico de Diseño de Estructuras de disipación de energía hidráulica* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército] Archivo digital. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/297/browse?value=Villamar%C3%ADn+Paredes%2C+Sorayda+Carolina&type=author>
- WASSER KRAFT. (10 de Agosto de 2022). *WWS CONFIGURADOR DE TURBINAS (ELECCIÓN DE TURBINA)*. <https://www.wws-wasserkraft.at/es/productos/configurador-de-turbinas>

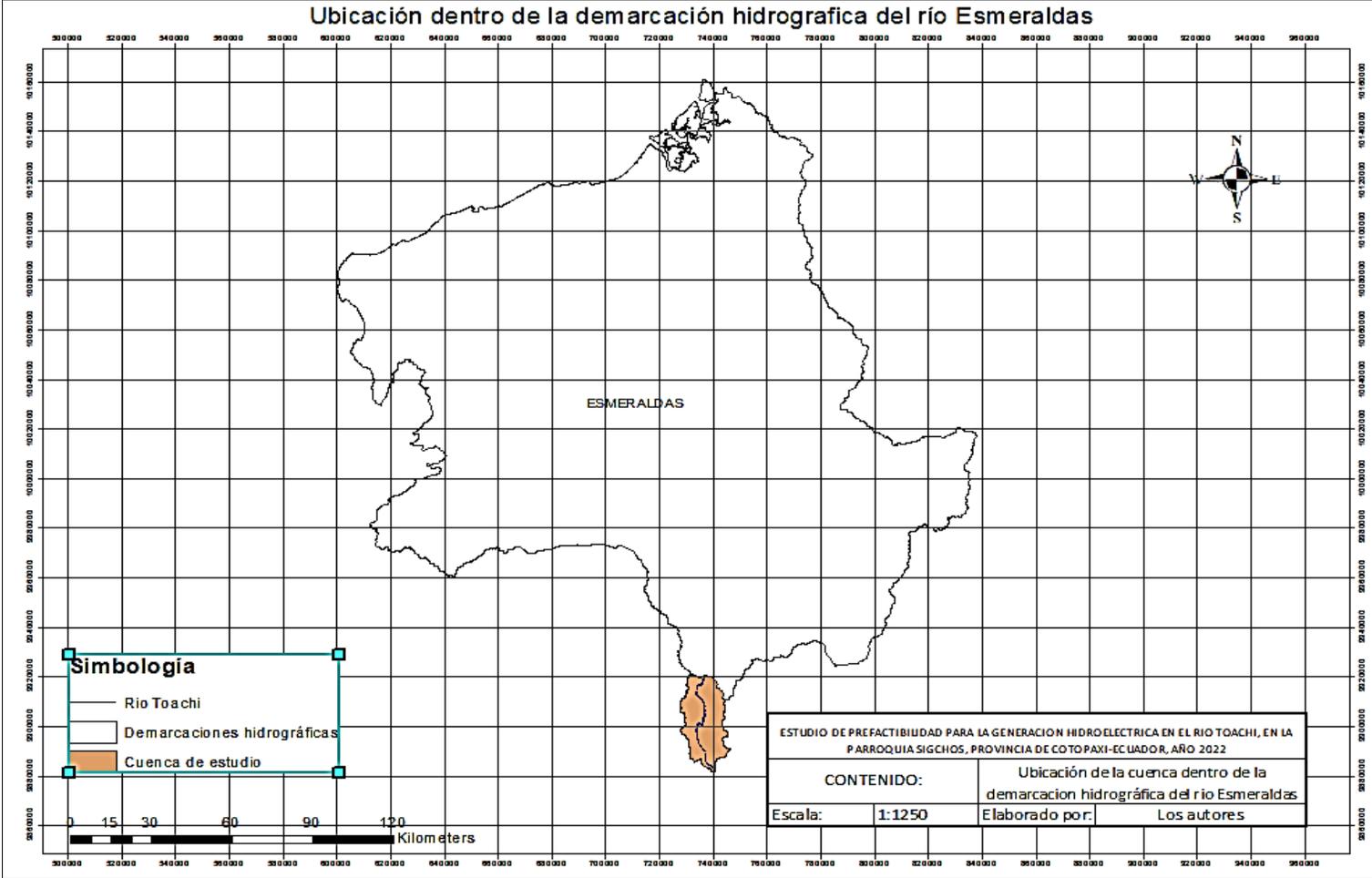
ANEXOS:

Anexo Nro.1 Mapa de ubicación de la subcuenca hidrográfica.



Nota: Se presenta la ubicación geográfica de la subcuenca hidrográfica en el mapa del Ecuador. Fuente: Autores

Anexo Nro.2 Ubicación de la cuenca en la demarcación hidrográfica del río Esmeraldas



Nota: Se muestra la ubicación de la subcuenca de estudio dentro de la delimitación hidrográfica perteneciente a la cuenca del río Esmeraldas, elaborado por: Los autores.

Anexo Nro.3 Datos para la construcción de la curva hipsométrica

Intervalo	Elev. Min	Elev. Max	Elev. Media	Area (Km²)	Area Acumulada (Km²)	% Acumulado	% Area entre curvas
1	2512,4	2612,9	2572,7	2,25	487,22	100,00	0,46
2	2613,0	2713,5	2666,9	3,60	484,97	99,54	0,74
3	2713,5	2814,1	2769,3	6,84	481,37	98,80	1,40
4	2814,1	2914,6	2868,3	11,20	474,53	97,40	2,30
5	2914,6	3015,2	2965,9	17,52	463,33	95,10	3,60
6	3015,2	3115,7	3065,5	17,74	445,81	91,50	3,64
7	3115,7	3216,3	3167,6	23,15	428,07	87,86	4,75
8	3216,3	3316,8	3266,3	25,46	404,92	83,11	5,23
9	3316,8	3417,4	3371,9	30,39	379,45	77,88	6,24
10	3417,4	3517,9	3470,4	42,28	349,06	71,64	8,68
11	3517,9	3618,4	3567,8	48,52	306,79	62,97	9,96
12	3618,4	3719,0	3667,8	45,49	258,26	53,01	9,34
13	3719,0	3819,5	3768,2	47,42	212,78	43,67	9,73
14	3819,5	3920,1	3869,1	41,65	165,36	33,94	8,55
15	3920,1	4020,6	3969,6	35,16	123,71	25,39	7,22
16	4020,6	4121,2	4069,9	32,33	88,55	18,17	6,64
17	4121,2	4221,7	4170,9	26,82	56,22	11,54	5,50
18	4221,7	4322,3	4268,1	20,67	29,40	6,03	4,24
19	4322,3	4422,8	4360,3	7,40	8,73	1,79	1,52
20	4422,8	4523,3	4450,9	1,33	1,33	0,27	0,27

Nota: Se presentan los cálculos para generar la curva hipsométrica. Fuente: Autores

Anexo Nro. 4. Estaciones meteorológicas involucradas

Estación	Código	Institución	Longitud	Latitud	Altitud	ZONA
PUJILÍ (4 ESQUINAS)	M0088	INAMHI	-784228	-5712	3230	Alta
COTOPAXI-CLIRSEN	M0120	INAMHI	-783453	-3724	3510	Alta
PILALO	M0122	INAMHI	-785942	-5637	2504	Media
PACHAMAMA-TIXAN	M0135	INAMHI	-784654	-21142	3690	Alta
PUCAYACU	M0252	INAMHI	-790706	-4200	0	Baja
SIGCHOS	M0363	INAMHI	-785325	-4158	2880	Alta
ANGAMARCA	M0366	INAMHI	-785542	-10650	3000	Alta
CUSUBAMBA	M0369	INAMHI	-784210	-10417	3175	Alta
PAMPAS DE GUINTZA	M0528	INAMHI	-784450	-4410	3500	Alta
GUANGAJE	M0529	INAMHI	-785030	-5136	3800	Alta
ACCHI	M0534	INAMHI	-784302	-5102	3600	Alta
AZACHE	M0718	INAMHI	-785500	-3600	0	Baja
RUMIQUINCHA	M0732	INAMHI	-784315	-10339	3320	Alta
PUJILI	M1210	INAMHI	-784222	-5724	2955	Alta

Nota: Estaciones analizadas, nombre, código, ubicación y zona. Elaborado por: Autores, tomado de INAMHI, 2013

Anexo Nro. 5 Raster para generar Isoyetas

VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	SUM
1	196787	78714800	750,11	847,115	97,1038	817,204	160815222
2	363103	1,45E+08	847,115	944,219	97,1038	894,457	324780057
3	345863	1,38E+08	944,219	1041,32	97,1041	993,391	343577313
4	236557	94622800	1041,32	1138,43	97,103	1085,01	256667790
5	75642	30256800	1138,43	1235,53	97,098	1166,16	88210615

Nota: Se muestra los datos raster del ArcGIS para generar mapa de isoyetas. Fuente: Autores.

Anexo Nro. 6 Precipitaciones y áreas de las isoyetas

Intervalo	P. media anual Min (mm)	P. media anual Max (mm)	P. Media (mm)	Área Isoyeta [Km ²]	Precip * Área
1	750.01	847.11	798.56	7.87	6285.87
2	847.12	944.22	895.67	14.52	13008.78
3	944.22	1041.32	992.77	13.83	13734.52
4	1041.32	1138.43	1089.88	9.46	10312.71
5	1138.43	1235.53	1186.98	3.03	3591.41
			Suma =	48.72	46933.28
				Precipitación de la cuenca (mm) =	963.36

Nota: Se presenta una tabla de cálculos donde determina la precipitación que tiene la cuenca del río Toachi. Elaborado por: Autores.

Anexo Nro.7. Estaciones hidrológicas consideradas

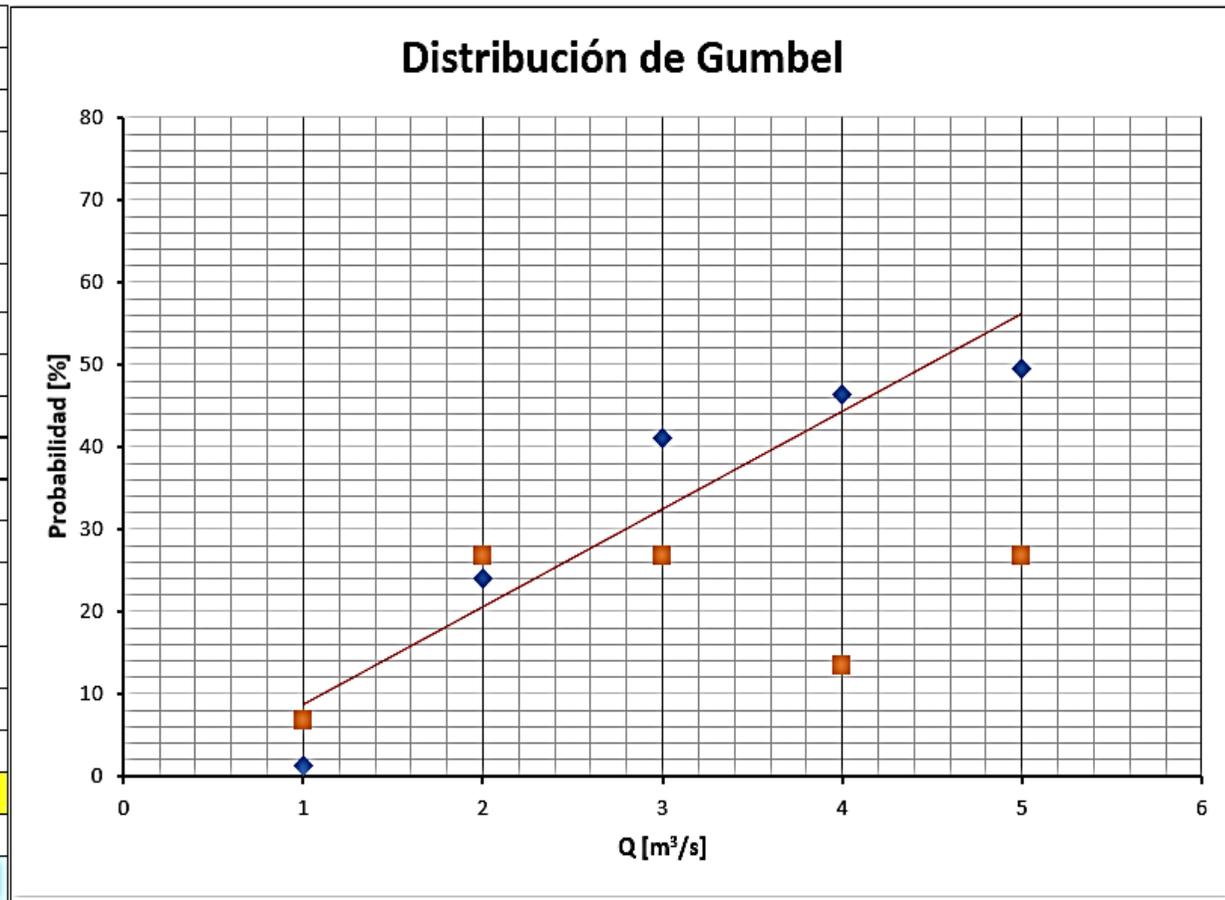
Estación	Código	Longitud	Latitud	Altitud	Periodo
VERTEDERO CAMBUGAN	H0040	78G 23' 52" W	0G 15' 39" N	3190	1990-1997
VERTEDERO INGUINCHO	H0041	78G 24' 8" W	0G 15' 30" N	3200	1990-1997
VERTEDERO #3	H0043	78G 24' 4" W	0G 15' 43" N	3180	1990-1997
SANTIAGO EN SELVA ALEGRE	H0112	78G 50' 58" W	0G 53' 57" N	0	1981-1985
ALAMBI EN CHURUPAMBA	H0136	78G 40' 50" W	0G 9' 0" N	920	1976-2013
BLANCO DJ TOACHI (PTE.UNICOOP)	H0138	79G 16' 47" W	0G 5' 2" S	284	1997-2013
BLANCO EN LOS BANCOS	H0139	78G 54' 15" W	0G 0' 20" N	795	1997-2013
CANAL TABACUNDO	H0141	78G 1' 24" W	0G 8' 59" N	0	1974-2013
CANAL EXCESO TABACUNDO	H0142	78G 1' 25" W	0G 8' 59" N	0	1974-1992
GUAYLLABAMBA AJ CUBI	H0145	78G 25' 40" W	0G 5' 35" N	1540	1964-1992
GUAYLLABAMBA DJ ALAMBI	H0146	78G 44' 30" W	0G 14' 10" N	625	1966-2013
GUAYLLABAMBA DJ PACHIJAL	H0147	78G 59' 36" W	0G 13' 20" N	410	1978-2013
GUAYLLABAMBA DJ PISQUE	H0148	78G 24' 18" W	0G 0' 48" N	1690	1978-2013
GUAYLLABAMBA EN PTE.CHACAPATA	H0149	78G 38' 17" W	0G 10' 50" N	860	1978-2013
INTAG DJ PAMPLONA	H0150	78G 37' 24" W	0G 13' 16" N	1000	1976-2013
LA CHIMBA EN OLMEDO	H0152	78G 3' 18" W	0G 7' 57" N	3096	1974-2013
PILATON AJ TOACHI	H0156	78G 55' 52" W	0G 18' 37" S	890	1964-2013
PITA AJ SALTO	H0158	78G 25' 59" W	0G 34' 21" S	3550	1964-2009
SAN PEDRO EN MACHACHI	H0159	78G 32' 42" W	0G 27' 43" S	2680	1964-2013
TOACHI AJ PILATON	H0161	78G 57' 12" W	0G 18' 51" S	820	1964-2013
TOACHI EN LAS PAMPAS	H0166	78G 58' 55" W	0G 26' 12" S	1110	1966-2013
ESMERALDAS DJ SADE	H0168	79G 25' 11" W	0G 32' 3" N	51	1965-2013
ESMERALDAS AJ TEAONE	H0169	79G 39' 17" W	0G 55' 9" N	0	1990-1991
GUAYLLABAMBA AJ BLANCO	H0170	79G 23' 53" W	0G 26' 31" N	90	1974-2013

SUBERE AJ TEAONE	H0171	79G 41' 52" W	0G 50' 38" N	35	1990-1997
TEAONE DJ TABIAZO	H0172	79G 41' 52" W	0G 50' 38" N	16	1974-2013
TEAONE AJ ESMERALDAS	H0173	79G 42' 18" W	0G 51' 29" N	9	1976-2013
QUININDE EN QUININDE	H0177	79G 28' 38" W	0G 19' 45" N	110	1989-2013
PILATON D.J. CHITOA (EN LA ESPERIE)	H0188	78G 51' 8" W	0G 20' 41" S	900	1992-2013
BUA AJ QUININDE	H0216	79G 36' 2" W	0G 1' 15" S	0	1992-2013
COSANGA AJ QUIJOS	H0731	79G 36' 2" W	0G 20' 41" S	1740	1970-2013
PACHIJAL A.J. GUAYLLABAMBA	H1101	78G 56' 6" W	0G 9' 50" N	520	1997-2013
CAONI A.J. BLANCO	H1102	79G 15' 11" W	0G 7' 20" N	140	1997-2013
QUININDE EN MATAMBA	H1118	79G 35' 37" W	0G 5' 2" N	105	2011-2013
SANTIAGO EN PTE. CARRETERA	H1139	78G 53' 49" W	1G 4' 34" N	9	2011-2013
CAYAPAS EN PTE. CARRETERA	H1140	78G 58' 49" W	1G 3' 29" N	10	2011-2013

Nota: Se presenta las estaciones hidrológicas, su ubicación geográfica, latitud, longitud y su periodo de análisis. Fuente: INAMHI.

Anexo Nro.8 Resumen de parámetros Distribución Gumbel

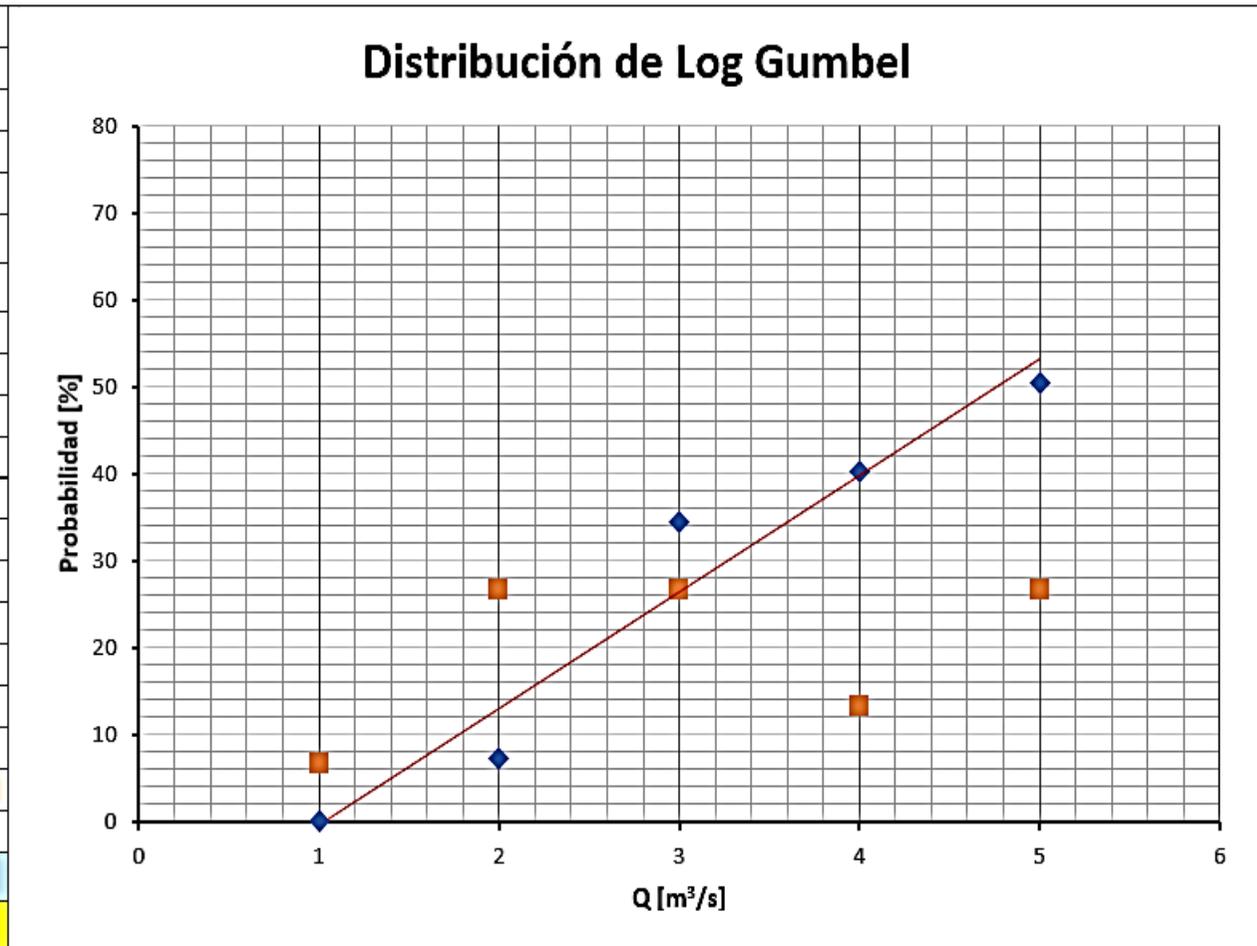
GUMBEL	
Qmed	30.72
Desviacion Estandar (Sx)	12.61
$n/(n-1)*(n-2)$	0.08
$(n-1)*(n-2) =$	182.00
$(Sx)^3$	2003.18
$\sum(Qi-Qmed)^3/(Sx)^3$	12.68
Coefficiente de Asimetria Cax	1.04
Coefficiente de Variacion Cv	0.41
Qmax	56.24
Qmin	10.49
Qmax-Qmin	45.75
Rango	11.44
$\alpha = 0.779696*Sx$	9.83
$\beta = xmed-[0.5771*\alpha]$	25.05
Seguridad (%)	70
Riesgo	0.3
N (años)	15
Tr (años)	25
KT	2.04
Xt (m³/s)	56.48



Nota: Cálculos realizados para obtener caudales máximos utilizando la distribución de Gumbel. Fuente: Autores

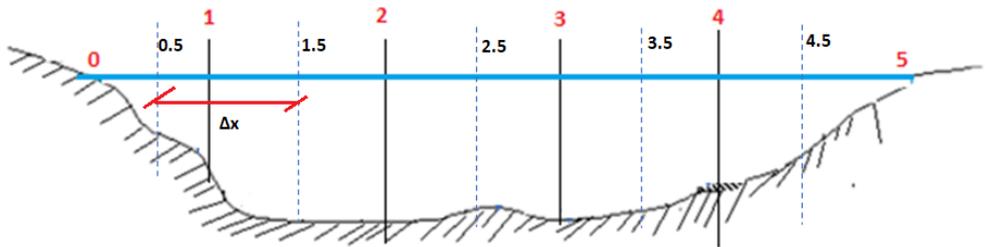
Anexo Nro. 9. Resumen de parámetros Distribución Log Gumbel

LOG GUMBEL	
y _{med}	3.36
Desviación Estandar (S _x)	0.490
$n/(n-1)*(n-2)$	0.08
$(n-1)*(n-2) =$	182.00
$(S_x)^3$	0.12
$\sum(Q_i - Q_{med})^3 / (S_x)^3$	33.39
Coefficiente de Asimetría C _{ax}	2.75
Coefficiente de Variación C _v	0.15
Q _{max}	4.03
Q _{min}	2.35
Q _{max} -Q _{min}	1.68
Rango	0.42
$\alpha = 0.779696 * S_x$	0.38
$\beta = x_{med} - [0.5771 * \alpha]$	3.14
Seguridad (%)	70
Riesgo	0.3
N (años)	15
Tr (años)	25
KT	2.044
Y _t (m ³ /s)	4.36
X _t (m ³ /s)	78.11

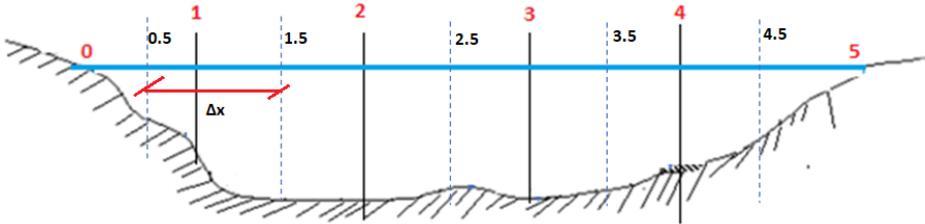


Nota: Cálculos realizados para obtener caudales máximos utilizando la distribución de Gumbel. Fuente: Autores

Anexo Nro. 10. Información de aforos en el río Toachi, cálculos y fichas técnicas.

	VISITA DE CAMPO		PERLA ANDINA
	REPORTE DE VISITA TÉCNICA		
	TRABAJO DE TITULACIÓN		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO:	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	NÚMERO DE HOJA:	1
		FECHA DE REPORTE:	23 de julio 2022
POBLACIÓN A SERVIRSE:	COMUNIDAD DE QUINTICUGSI Y EMPRESA "PERLA ANDINA"		
COTA DE CAPTACIÓN (ALTIMETRO):	2510	m.s.n.m	
ANCHO MEDIO DEL CAUCE:	5,0	m	
ALTURA NORMAL DEL AGUA:	1,00	m	
ALTURA DE CRECIENTES:	1,30	m	
GRADIENTE DEL RÍO:	4	%	
VELOCIDAD APROXIMADA:	0,76	m/s	
AFORO REALIZADO	Q =	4,92	m ³ /s
CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SITIO DE TOMA:			
Zona con poca vegetación, Explanada amplia para la canalización			
Agua arrastra sedimentos de materiales aluviales y coluviales			
LONGITUD DE CONDUCCIÓN [Km] :	CANAL =	0,35	TUNEL =
PENDIENTES TRANSVERSALES DEL TERRENO:	1H:4V		
OBSERVACIONES GENERALES:			
No se registro ningún tipo de novedad, clima despejado y soleado.			
GRÁFICO:			
			

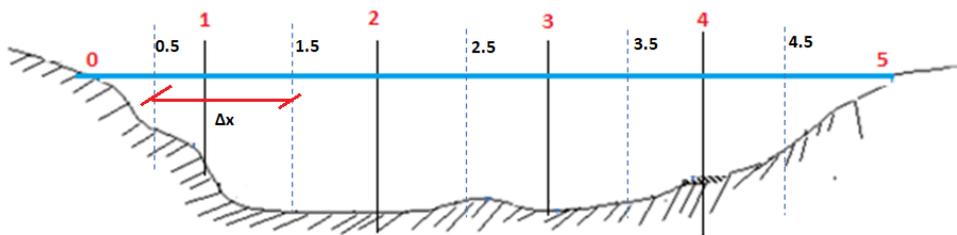
PUNTO	Dist. Desde la orilla [m]	Prof.[m]	Velocidad (m/s)			Δx [m]	Área [m ²]	Caudal [m ³ /s]
			60% Prof.	20% Prof.	80% Prof.			
1	1,00	0,40	0,41	0,00	0,00	1,0	0,4	0,164
2	2,00	0,80	1,23	0,00	0,00	2,0	1,6	1,968
3	3,00	0,50	0,87	0,00	0,00	3,0	1,5	1,305
4	4,00	0,70	0,53	0,00	0,00	4,0	2,8	1,484
			0,76					4,921

	VISITA DE CAMPO		PERLA ANDINA
	REPORTE DE VISITA TÉCNICA		
	TRABAJO DE TITULACIÓN		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO:	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	NÚMERO DE HOJA:	2
		FECHA DE REPORTE:	30 de julio 2022
POBLACIÓN A SERVIRSE:	COMUNIDAD DE QUINTICUGSI Y EMPRESA "PERLA ANDINA"		
COTA DE CAPTACIÓN (ALTIMETRO):	2510	m.s.n.m	
ANCHO MEDIO DEL CAUCE:	5,0	m	
ALTURA NORMAL DEL AGUA:	1,00	m	
ALTURA DE CRECIENTES:	1,30	m	
GRADIENTE DEL RÍO:	4	%	
VELOCIDAD APROXIMADA:	0,681	m/s	
AFORO REALIZADO	Q =	4,68	m ³ /s
CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SITIO DE TOMA:			
Zona con poca vegetación, Explanada amplia para la canalización			
Agua arrastra sedimentos de materiales aluviales y coluviales			
LONGITUD DE CONDUCCIÓN [Km] :	CANAL =	0,35	TUNEL =
PENDIENTES TRANSVERSALES DEL TERRENO:	1H:4V		
OBSERVACIONES GENERALES:			
No se registro ningún tipo de novedad, clima despejado.			
GRÁFICO:			
			

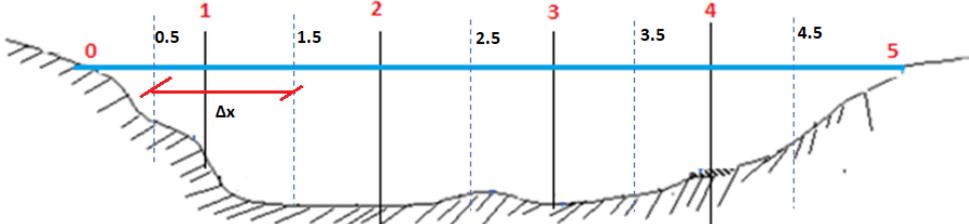
PUNTO	Dist. Desde la orilla [m]	Prof.[m]	Velocidad (m/s)			Δx [m]	Área [m ²]	Caudal [m ³ /s]
			60% Prof.	20% Prof.	80% Prof.			
1	1,00	0,45	0,528	0,00	0,00	1,0	0,45	0,2376
2	2,00	0,85	1,032	0,00	0,00	2,0	1,7	1,7544
3	3,00	0,65	0,67	0,00	0,00	3,0	1,95	1,3065
4	4,00	0,70	0,493	0,00	0,00	4,0	2,8	1,3804
			0,681					4,6789

	VISITA DE CAMPO		PERLA ANDINA
	REPORTE DE VISITA TÉCNICA		
	TRABAJO DE TITULACIÓN		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO:	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	NÚMERO DE HOJA:	3
		FECHA DE REPORTE:	07 de Agosto 2022
POBLACIÓN A SERVIRSE:	COMUNIDAD DE QUINTICUGSI Y EMPRESA "PERLA ANDINA"		
COTA DE CAPTACIÓN (ALTIMETRO):	2510	m.s.n.m	
ANCHO MEDIO DEL CAUCE:	5,0	m	
ALTURA NORMAL DEL AGUA:	1,00	m	
ALTURA DE CRECIENTES:	1,30	m	
GRADIENTE DEL RÍO:	4	%	
VELOCIDAD APROXIMADA:	0,420	m/s	
AFORO REALIZADO	Q =	5,96	m ³ /s
CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SITIO DE TOMA:			
Zona con poca vegetación, Explanada amplia para la canalización			
Agua arrastra sedimentos de materiales aluviales y coluviales			
LONGITUD DE CONDUCCIÓN [Km] :	CANAL =	0,35	TUNEL =
PENDIENTES TRANSVERSALES DEL TERRENO:	1H:4V		
OBSERVACIONES GENERALES:			
No se registro ningún tipo de novedad, clima despejado y soleado.			
GRÁFICO:			
			

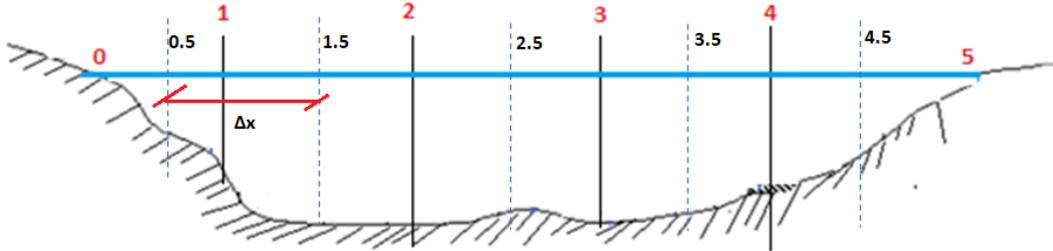
PUNTO	Dist. Desde la orilla [m]	Prof.[m]	Velocidad (m/s)			Δx [m]	Área [m ²]	Caudal [m ³ /s]
			60% Prof.	20% Prof.	80% Prof.			
1	0,50	0,50	0,11	0,00	0,00	0,5	0,25	0,0275
2	1,00	0,40	0,454	0,00	0,00	1,0	0,40	0,1816
3	1,50	0,70	0,00	0,00	0,00	1,5	1,05	0
4	2,00	0,80	1,241	0,00	0,00	2,0	1,60	1,9856
5	2,50	0,80	0,000	0,00	0,00	2,5	2,00	0
6	3,00	0,80	0,98	0,00	0,00	3,0	2,40	2,352
7	3,50	0,70	0,576	0,00	0,00	3,5	2,45	1,4112
8	4,00	0,60	0,000	0,00	0,00	4,0	2,40	0
			0,420					5,9579

	VISITA DE CAMPO		PERLA ANDINA
	REPORTE DE VISITA TÉCNICA		
	TRABAJO DE TITULACIÓN		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO:	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	NÚMERO DE HOJA:	4
		FECHA DE REPORTE:	13 de agosto 2022
POBLACIÓN A SERVIRSE:	COMUNIDAD DE QUINTICUGSI Y EMPRESA "PERLA ANDINA"		
COTA DE CAPTACIÓN (ALTIMETRO):	2510	m.s.n.m	
ANCHO MEDIO DEL CAUCE:	5,0	m	
ALTURA NORMAL DEL AGUA:	1,00	m	
ALTURA DE CRECIENTES:	1,30	m	
GRADIENTE DEL RÍO:	4	%	
VELOCIDAD APROXIMADA:	0,740	m/s	
AFORO REALIZADO	Q =	5,29	m ³ /s
CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SITIO DE TOMA:			
Zona con poca vegetación, Explanada amplia para la canalización			
Agua arrastra sedimentos de materiales aluviales y coluviales			
LONGITUD DE CONDUCCIÓN [Km] :	CANAL =	0,35	TUNEL =
PENDIENTES TRANSVERSALES DEL TERRENO:	1H:4V		
OBSERVACIONES GENERALES:			
No se registro ningún tipo de novedad, clima despejado y soleado.			
GRÁFICO:			
			

PUNTO	Dist. Desde la orilla [m]	Prof.[m]	Velocidad (m/s)			Δx [m]	Área [m ²]	Caudal [m ³ /s]
			60% Prof.	20% Prof.	80% Prof.			
1	1,00	0,45	0,538	0,00	0,00	1,0	0,45	0,2421
2	2,00	0,60	0,6945	0,00	0,00	2,0	1,2	0,8334
3	3,00	0,65	0,732	0,00	0,00	3,0	1,95	1,4274
4	4,00	0,70	0,996	0,00	0,00	4,0	2,8	2,7888
			0,740					5,29

		VISITA DE CAMPO		PERLA ANDINA
		REPORTE DE VISITA TÉCNICA		
		TRABAJO DE TITULACIÓN		
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO:	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	NÚMERO DE HOJA:	5	
		FECHA DE REPORTE:	20 de agosto 2022	
POBLACIÓN A SERVIRSE:	COMUNIDAD DE QUINTICUGSI Y EMPRESA "PERLA ANDINA"			
COTA DE CAPTACIÓN (ALTIMETRO):	2510		m.s.n.m	
ANCHO MEDIO DEL CAUCE:	5,0		m	
ALTURA NORMAL DEL AGUA:	1,00		m	
ALTURA DE CRECIENTES:	1,30		m	
GRADIENTE DEL RÍO:	4		%	
VELOCIDAD APROXIMADA:	0,796		m/s	
AFORO REALIZADO		Q =	5,71	m ³ /s
CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SITIO DE TOMA:				
Zona con poca vegetación, Explanada amplia para la canalización				
Agua arrastra sedimentos de materiales aluviales y coluviales				
LONGITUD DE CONDUCCIÓN [Km] :	CANAL =	0,35	TUNEL =	
PENDIENTES TRANSVERSALES DEL TERRENO:		1H:4V		
OBSERVACIONES GENERALES:				
No se registro ningún tipo de novedad, clima despejado y soleado.				
GRÁFICO:				
				

PUNTO	Dist. Desde la orilla [m]	Prof.[m]	Velocidad (m/s)			Δx [m]	Área [m ²]	Caudal [m ³ /s]
			60% Prof.	20% Prof.	80% Prof.			
1	1,00	0,40	0,487	0,00	0,00	1,0	0,4	0,1948
2	2,00	0,68	0,796	0,00	0,00	2,0	1,36	1,08256
3	3,00	0,55	0,624	0,00	0,00	3,0	1,65	1,0296
4	4,00	0,74	1,104	0,00	0,00	4,0	2,96	3,26784
			0,753					5,5748

	VISITA DE CAMPO		PERLA ANDINA
	REPORTE DE VISITA TÉCNICA		
	TRABAJO DE TITULACIÓN		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO:	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	NÚMERO DE HOJA:	6
		FECHA DE REPORTE:	27 de agosto 2022
POBLACIÓN A SERVIRSE:	COMUNIDAD DE QUINTICUGSI Y EMPRESA "PERLA ANDINA"		
COTA DE CAPTACIÓN (ALTIMETRO):	2510	m.s.n.m	
ANCHO MEDIO DEL CAUCE:	5,0	m	
ALTURA NORMAL DEL AGUA:	1,00	m	
ALTURA DE CRECIENTES:	1,30	m	
GRADIENTE DEL RÍO:	4	%	
VELOCIDAD APROXIMADA:	0,753	m/s	
AFORO REALIZADO	Q =	5,57	m³/s
CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SITIO DE TOMA:			
Zona con poca vegetación, Explanada amplia para la canalización			
Agua arrastra sedimentos de materiales aluviales y coluviales			
LONGITUD DE CONDUCCIÓN [Km] :	CANAL =	0,35	TUNEL =
PENDIENTES TRANSVERSALES DEL TERRENO:	1H:4V		
OBSERVACIONES GENERALES:			
No se registro ningún tipo de novedad, clima despejado y soleado.			
GRÁFICO:			
 <p>The diagram shows a cross-section of a channel with a blue water surface line and a grey hatched ground profile. Points 0, 1, 2, 3, 4, and 5 are marked along the top. Vertical dashed lines indicate measurement points at 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, and 4.5 from point 0. A red double-headed arrow labeled Δx is shown between points 0.5 and 1.5.</p>			

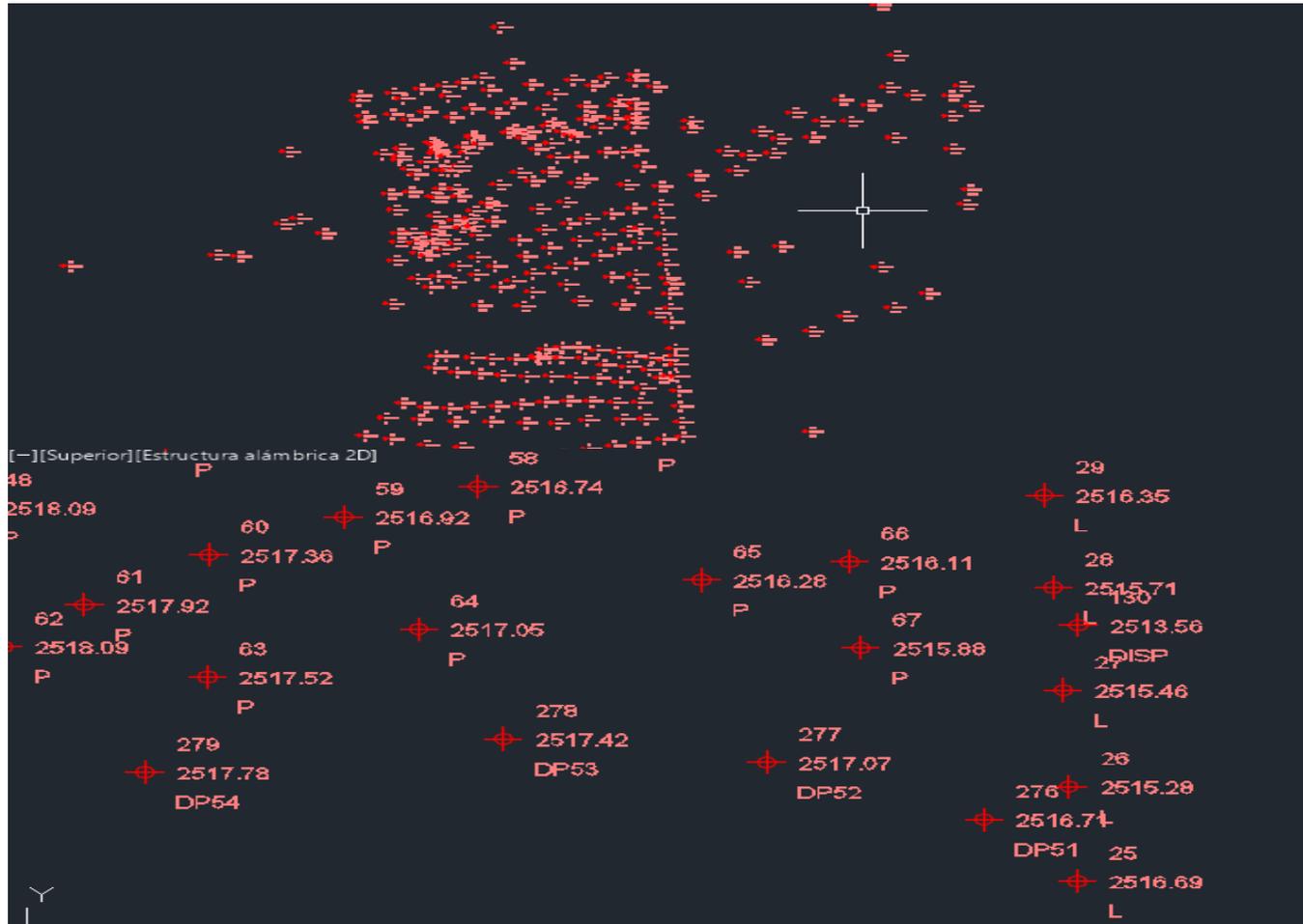
PUNTO	Dist. Desde la orilla [m]	Prof.[m]	Velocidad (m/s)			Δx [m]	Área [m ²]	Caudal [m ³ /s]
			60% Prof.	20% Prof.	80% Prof.			
1	1,00	0,42	0,495	0,00	0,00	1,0	0,42	0,2079
2	2,00	0,50	0,978	0,00	0,00	2,0	1	0,978
3	3,00	0,64	0,679	0,00	0,00	3,0	1,92	1,30368
4	4,00	0,78	1,033	0,00	0,00	4,0	3,12	3,22296
			0,796					5,71254

Anexo Nro.11 Datos Obtenidos por el Sistema de Georreferenciación GPS

Est.	#	Latitud	Longitud (m)	Elevación (m)	UTM
E-0		-0.719684	-78.8733655	2.513.5412457	17 N 736677 9920398
E-1	lindero P2	-0.71876	-78.8726855	2.522.3991689	17 N 736753 9920500
E-2	punto 4	-0.719675	-78.8741472	2.547.4513898	17 N 736590 9920399
E-0	lindero P1	-0.719684	-78.8733655	2.513.5412457	17 N736677 9920398
E-3	punto 5	-0.718633	-78.8738445	2.542.9126173	17 N 736624 9920514
E-0		-0.719684	-78.8733655	2.513.5412457	17 N 736677 9920398
E-0		-0.719684	-78.8733655	2.513.5412457	17 N 736677 9920398
E-4	punto 6	-0.717222	-78.8733222	2.505.304172	17 N 736682 9920670
E-5	lindero P3	-0.717888	-78.8723083	2.512.624124	17 N 736795 9920596

Nota: Se presenta las coordenadas geográficas del punto de estudio. Fuente: Autores

Anexo Nro.12 Puntos topográficos Quinticusig



Nota: Base de datos de puntos obtenidos del levantamiento topográfico, procesados en el software Civil 3D. Fuente: Autores.

Anexo Nro.13. Superficie del terreno obtenido del levantamiento topográfico, base de datos



Nota: Se presenta el área del terreno, determinado por el levantamiento topográfico. Fuente: Autores

Anexo Nro. 14 Topografía modificada del sitio de estudio



Nota: Topografía con curvas de nivel, mayores cada 5m y menores cada 1m. Fuente: Autores

Anexo Nro. 15. Parámetros y resultados del ensayo para determinar contenido de humedad del suelo.

		Laboratorio de Mecánica de Suelos Universidad Politécnica Salesiana Carrera de Ingeniería Civil			
SOLICITANTE:	Estudiantes de titulación/proyecto de titulación			FECHA:	11/7/2022
PROYECTO:	Central Hidroeléctrica "Perla Andina"			CALICATA:	C1
UBICACIÓN:	Cotopaxi-Sigchos	MUESTRA:	Inalterada	PROF.(m)	1.5
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO (%H)					
Cápsula N°	Masa de Cápsula	Masa de Cápsula + M. Húmeda (g)	Masa de Cápsula + M. Seca (g)	% Humedad	
[44]	27.69	88.35	74.76	28.87%	
[3]	29.38	90.4	81.85	16.30%	
[79]	26.52	89.61	75.01	30.11%	
[001]	28.52	83.89	71.89	27.67%	
[007]	27.15	74.82	67.96	16.81%	
[072]	28.47	84.84	72.54	27.91%	
				24.61%	

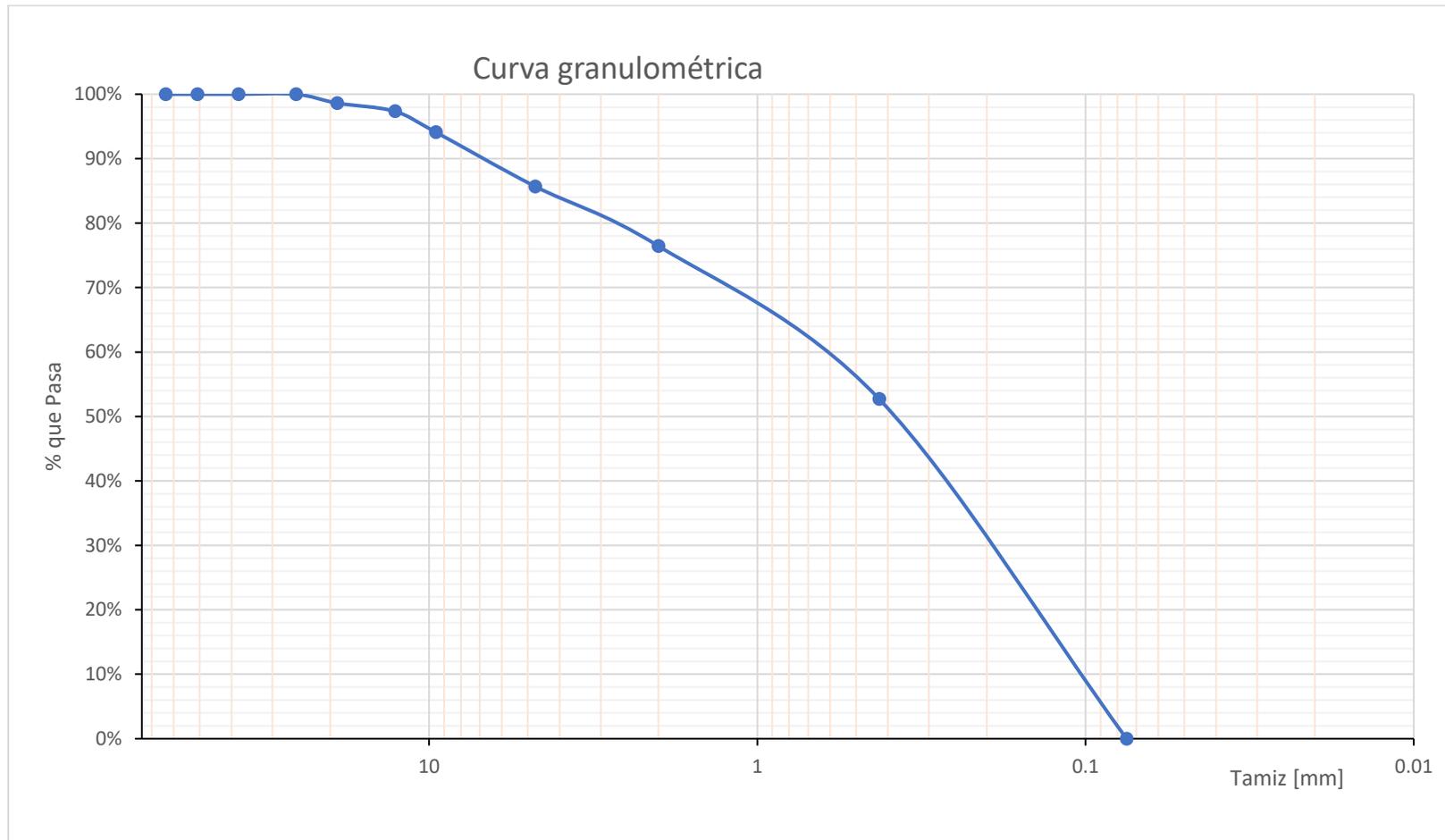
Nota: Se presenta los cálculos para la obtención del contenido de humedad. Fuente: Autores

Anexo Nro. 16 Datos del ensayo granulométrico

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Acumulada (g)	% Ret. Acumulado	% que Pasa
3"	76.2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00%	100.00%
2"	50.8	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1"	25.4	0.00	0.00	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	6.33	6.33	1.35%	98.65%
1/2"	12.7	5.81	12.14	2.58%	97.42%
3/8"	9.53	14.80	26.94	5.73%	94.27%
N°4	4.75	38.34	65.28	13.88%	86.12%
N°10	2	42.20	107.48	22.86%	77.14%
N°40	0.425	108.33	215.81	45.89%	54.11%
N°200	0.075	240.35	456.16	97.01%	2.99%
Cápsula 4C =		456.16		100%	0.00

Nota: Se presenta los datos obtenidos durante el ensayo granulométrico. Fuente: Autores.

Anexo Nro.17 Curva granulométrica del suelo.



Nota: Se presenta la curva granulométrica de la muestra de suelo. Fuente: Autores:

Anexo Nro.18. Datos para determinar el Límite Líquido (LL)

N° de Golpes	Cápsula N°	Masa de Cápsula (g)	Masa Cápsula + M. Húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (g)	Contenido de humedad (%)
16	8J	24.71	35.57	32.66	36.60%
34	69	28.44	36.62	34.48	35.43%
25	82R	21.05	35.97	32.07	35.39%
28	76	20.84	36.88	32.71	35.13%

Nota: Datos resultantes del ensayo de Copa de Casa Grande. Fuente: Autores

Anexo Nro. 19. Información obtenida en laboratorio para determinar el límite plástico, por el método de rollos de material

Cápsula N°	Masa de Cápsula (g)	Masa Cápsula + M. Húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (g)	Contenido de humedad (%)
571	26.14	31.59	30.25	32.60%
99	26.77	34.17	32.31	33.57%
7	26.86	32.85	31.4	31.94%
72	28.47	32.74	31.7	32.20%
			LP =	32.58%

Nota: Se presenta los valores para obtener el límite plástico. Fuente: Autores

Anexo Nro. 20. Información de la muestra para el ensayo de corte directo

Proyecto:		Fecha de ensayo:	27/julio/2022
Excavación:	muestra: C1	Profundidad:	1.50 m
Estado de la muestra:			
Muestra 1- Descripción:	Suelo granular fino de color, con vetas color café ocre y gris, de plasticidad media a alta, de consistencia firme		
Muestra 2- Descripción:	Suelo granular fino de color crema, con vetas color café ocre y gris, de plasticidad media a alta, de consistencia firme		
Muestra 3- Descripción:	Suelo granular fino de color crema, con vetas color café ocre y gris, de plasticidad media a alta, de consistencia firme		

DATOS DE LA MUESTRA:

Nro. Muestra	Cara/lado interior (mm)	Espesor Anillo (mm)	Peso del Anillo (g)	Peso Anillo + Muestra (g)	Peso de la Muestra (g)	Área Anillo (cm ²)	Vol. Anillo (cm ³)	Peso unitario (g/cm ³)
1	100	20	99,81	434,09	334,28	100	200	1,671
2	100	20	99,81	387,8	287,99	100	200	1,440
3	100	20	99,81	426,12	326,31	100	200	1,632

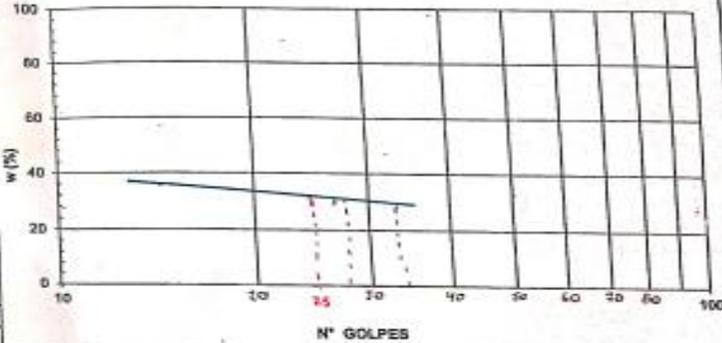
Nota: Se presenta características generales de los especímenes previo al ensayo de Corte Directo. Fuente: Autores.

Anexo Nro.21. Resumen de resultados de capacidad admisible del suelo (q_{adm})

B	Df	Df/B	q_u	q_{adm}
(m)	(m)		(T/m²)	(T/m²)
2	1	0.50	407.121	116.320
2	2	1.00	483.387	138.110
2	3	1.50	450.359	128.674
2	4	2.00	412.191	117.769
2	5	2.50	292.553	83.587

Nota: Se presenta la capacidad última y admisible del suelo en función a la cota de desplante y el ancho de la cimentación. Fuente: Autores

Anexo Nro.23. Resumen de ensayos de laboratorio para la clasificación SUCS del suelo.

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						PROYECTO: <u>CENTRAL HIDROELÉCTRICA Río TOAON "PELA ANDINA"</u>			
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - INGENIERÍA CIVIL						CONTRATISTA: _____ NORMA: ASTM D 2487			
AV. RUMICHACA Y MORAN VALVERDE TEL. 3862891, 3862 000 EXT: 2317						FISCALIZA: _____ SONDEO: _____			
 MECÁNICA DE SUELOS CLASIFICACION DE SUELOS SUCS						LOCALIZACION: <u>Quintuco - SUCOS - COTOPAXI</u> MUESTRA N° _____			
						FECHA INGRESO: _____ PROF: <u>Am</u>			
						FECHA ENSAYO: <u>11 - Julio - 2022</u> L.E.M _____			
Análisis Granulométrico						LÍMITE LÍQUIDO 			
TAMIZ N°	Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	Masa Retenida Acumulada (g)	% Ret. Acumulado	% que Pasa				
3"	76,2	0,00	0,00	0,07	100				
2 1/2"	63,5	0,00	0,00	0,00	100				
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100				
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	0,00	100				
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100				
3/4"	19,05	6,23	6,23	1,39	98,61				
1/2"	12,7	5,81	12,04	2,66	97,34				
3/8"	9,53	4,8	16,84	5,91	94,09				
N° 4	4,75	38,30	55,14	14,31	85,69				
N° 10	2	42,7	97,84	23,56	76,44				
N° 40	0,425	106,37	215,81	47,31	52,69				
N° 200	0,075	240,35	456,16	100	0,00				
Límite Líquido						Cálculo de Límite Líquido: Masa Cápsula: _____ Masa Cápsula + M. Húmeda (g): _____ Masa Cápsula + Masa Seca (g): _____ % Humedad: _____			
N° de Golpes	Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. Húmeda (g)	Masa Cápsula + Masa Seca (g)	% Humedad				
15	B7	24,71	35,57	32,66	36,6				
34	69	28,44	36,62	34,48	35,43				
25	B2R	21,05	35,97	32,07	36,39				
28	76	20,84	36,88	32,71	35,13				
Límite Plástico						Cálculo de Límite Plástico: Masa Cápsula: _____ Masa Cápsula + M. Húmeda (g): _____ Masa Cápsula + Masa Seca (g): _____ % Humedad: _____			
-----	571	26,14	31,59	30,25	32,60				
-----	99	26,77	34,12	32,31	33,52				
-----	4	26,86	37,85	31,4	31,94				
-----	72	28,47	37,74	31,70	32,20				
Contenido de Agua						Cálculo de Contenido de Agua: Masa Cápsula: _____ Masa Cápsula + M. Húmeda (g): _____ Masa Cápsula + Masa Seca (g): _____ % Humedad: _____			
-----	44	27,69	88,35	74,76	28,87				
-----	7	29,38	90,40	81,85	16,30				
-----	79	26,52	89,61	75,01	30,11				
-----	001	28,52	83,89	71,89	27,67				
-----	007	27,15	79,81	67,96	16,81				
-----	072	28,47	84,84	72,54	27,91				

Cápsula N° 4C

Masa de Muestra Húmeda (g) 90,82

Masa de muestra Seca (g) 470,23

% H = 27,61

LL = 35,39

LP = 32,58

IP = 3,06

CLASIFICACION MANUAL VISUAL _____

RESPONSABLE DE AREA _____



Nota: Se presenta los datos de los ensayos de laboratorio. Fuente. Autores.

Anexo Nro.24. Presupuesto referencial del proyecto.

 PRESUPUESTO					
PROYECTO: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, AÑO 2022					
UBICACIÓN: PROVINCIA DE COTOPAXI, CANTÓN SIGCHOS, PARROQUIA SIGCHOS, COMUNA DE QUINTICUGSI					
AUTORES: GARCÍA WILSON - GUALAVISÍ CARLOS					
TUTOR: MSC. ING. ANDRÉS HEREDIA HIDALGO					
N°	RUBRO.	UNID.	CANTIDADES	P.UNIT	P. TOTAL
1	OBRAS PRELIMINARES				
1.1	Cerramiento Provisional (inc. Pingos y lona verde)	m	382,0	\$ 6,56	\$ 2.504,42
1.2	Construcción de oficina y bodega provisional	m ²	60,0	\$ 43,69	\$ 2.621,70
1.3	Colocación de letreros de prevención	u	8,0	\$ 51,09	\$ 408,71
1.4	Colocación de señalética de cinta de peligro	m	250,0	\$ 1,26	\$ 315,01
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
2.1	Desbroce y limpieza de la capa vegetal	m ²	1869,4	\$ 3,51	\$ 6.570,86
2.2	Excavación mecánica en suelo (inc. retroexcavadora)	m ³	14317,0	\$ 2,75	\$ 39.380,70
2.3	Desalojo de material (inc. Cargadora frontal y volqueta)	m ³	14277,7	\$ 11,40	\$ 162.777,71
2.4	Relleno con material de lugar	m ³	39,33	\$ 12,00	\$ 472,15
2.5	Replanteo y Nivelación con equipo topográfico	m ²	1869,4	\$ 3,20	\$ 5.981,70

3	ESTRUCTURAS					
3.1	OBRAS DE CAPTACIÓN					
3.1.1	HORMIGONES					
3.1.1.1	Hormigón de replantillo f'c =180kg/cm ² premezclado	m ³	259,94	\$ 208,22	\$ 54.124,07	Espesor de replantillo e=10cm
3.1.1.2	Hormigón f'c=360 kg/cm ² en obras de captación (premezclado)	m ³	1435,486	\$ 252,63	\$ 362.645,03	Hormigón (inc. Bomba y transporte)
3.1.1.3	Colocación de rejilla lateral de L=7.30m y h=1.20m	u	1	\$ 3.212,69	\$ 3.212,69	
3.1.1.4	Colocación de enrocado h=1m	m ³	146,00	\$ 17,70	\$ 2.584,36	Enrocado piedra bola o basílica de d=50cm
3.1.2	ENCOFRADOS					
3.1.2.1	Encofrado metálico de obras de captación	m ²	1207,19	\$ 19,11	\$ 23.066,28	Encofrado (inc. Desencofrado)
3.1.2.2	Colocación de compuerta metálica 2,5x2,5m	u	1	\$ 3.884,42	\$ 3.884,42	Exclusa de emergencias
3.2	OBRAS DE DERIVACIÓN Y PROTECCIÓN					
3.2.1	DESRIPIADOR Y DESARENADOR					
3.2.1.1	HORMIGONES					
3.2.1.1.1	Hormigón f'c= 240kg/cm ² en desripiador (premezclado)	m ³	1085,05	\$ 235,32	\$ 255.338,58	Hormigón (inc. Bomba y transporte)
3.2.1.1.2	Hormigón f'c= 240kg/cm ² en desarenador (premezclado)	m ³	3781,076	\$ 235,32	\$ 889.778,87	Hormigón (inc. Bomba y transporte)
3.2.1.1.3	Colocación de muros de gaviones	m ³	105,53	\$ 17,70	\$ 1.868,00	Al termino del canal de limpieza respectivo.
3.2.1.2	ENCOFRADOS					
3.2.1.2.1	Encofrado metálico del desripiador	m ²	1106,23	\$ 19,11	\$ 21.137,20	Encofrado (inc. Desencofrado)
3.2.1.2.2	Encofrado metálico del desarenador	m ²	1372,34	\$ 19,11	\$ 26.221,87	Encofrado (inc. Desencofrado)
3.2.1.2.3	Colocación de compuerta metálica 1x1m	u	1	\$ 788,04	\$ 788,04	

3.2.2	TANQUE DE CARGA					
3.2.2.1	HORMIGONES					
3.2.2.1.1	Hormigón f'c= 240kg/cm ² (premezclado)	m ³	210,53	\$ 235,32	\$ 49.541,80	
3.2.2.2	ENCOFRADOS					
3.2.2.2.1	Encofrado y desencofrado metálico de tanque de Carga	m ²	140,44	\$ 12,79	\$ 1.796,10	
3.2.2.2.2	Colocación de rejilla tanque de carga 2.00x2.60m	u	1	\$ 1.978,63	\$ 1.978,63	
3.2.2.2.3	Colocación de compuerta metálica 1x1m	u	1	\$ 788,04	\$ 788,04	
3.2.3	TUBERÍA DE CONDUCCIÓN					
3.2.3.1	Colocación de cama de arena h=50cm	m ³	120	\$ 47,19	\$ 5.662,92	
3.2.3.2	Hormigón f'c= 240kg/cm ² premezclado	m ³	6,28	\$ 235,32	\$ 1.477,70	Para anclaje de la tubería
3.2.3.3	Encofrado y desencofrado metálico anclaje de tubería	m ²	19,40	\$ 12,79	\$ 248,07	
3.2.3.4	Tubería de material GRP con D=1500mm	m	120	\$ 14,40	\$ 1.727,89	
3.2.3.5	Accesorios tubería GRP (Inc. Codos, uniones, reducciones, etc.)	u	4	\$ 219,95	\$ 879,81	
3.4	ACEROS					
3.4.1	ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURAS					
3.4.1.1	Corte y figurado de acero Fy=4200kg/cm ²	kg	195552,51	\$ 1,96	\$ 384.074,91	
3.5	OBRAS ARQUITECTÓNICAS					
3.5.1	Casa de Máquinas	m ²	88	\$ 595,00	\$ 52.360,00	
				TOTAL = \$ 2.366.218,24		

Nota: Se presenta el presupuesto referencial de la obra. Fuente: Autores

Anexo Nro. 25 Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES													
N°	RUBRO.	1 AÑO											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	OBRAS PRELIMINARES												
1.1	Cerramiento Provisional (inc. Pingos y lona verde)	■											
1.2	Construcción de oficina y bodega provisional	■											
1.3	Colocación de letreros de prevención	■											
1.4	Colocación de señalética de cinta de peligro	■											
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA												
2.1	Desbroce y limpieza de la capa vegetal		■										
2.2	Excavación mecánica en suelo (inc. retroexcavadora)		■	■									
2.3	Desalajo de material (inc. Cargadora frontal y volqueta)		■	■	■								
2.4	Relleno con material de lugar	■											
2.5	Replanteo y Nivelación con equipo topográfico				■								
3	ESTRUCTURAS												
3.1	OBRAS DE CAPTACIÓN												
3.1.1	HORMIGONES												
3.1.1.1	Hormigón de replantillo f'c =180kg/cm ² premezclado					■							
3.1.1.2	Hormigón f'c =360 kg/cm ² en obras de captación (premezclado)					■	■	■					
3.1.1.3	Colocación de rejilla lateral de L=7.30m y h=1.20m			■									
3.1.1.4	Colocación de enrocado h=1m			■									
3.1.2	ENCOFRADOS												
3.1.2.1	Encofrado metálico de obras de captación				■								
3.1.2.2	Colocación de compuerta metálica 3.20x2,50m			■									

Anexo Nro.26. Cronograma Valorado

					CRONOGRAMA VALORADO											
RUBRO.	UNID.	CANT.	P.UNIT	P. TOTAL	1 AÑO											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
OBRAS PRELIMINARES																
Cerramiento Provisional (inc. Pingos y lona verde)	m	382,0	\$ 6,56	\$ 2.504,42	\$ 2.504,42											
Construcción de oficina y bodega provisional	m ²	60,0	\$ 43,69	\$ 2.621,70	\$ 2.621,70											
Colocación de letreros de prevención	u	8,0	\$ 51,09	\$ 408,71	\$ 408,71											
Colocación de señalética de cinta de peligro	m	250,0	\$ 1,26	\$ 315,01	\$ 315,01											
MOVIMIENTOS DE TIERRA																
Desbroce y limpieza de la capa vegetal	m ²	1869,4	\$ 3,51	\$ 6.570,86		\$ 6.570,86										
Excavación mecánica en suelo (inc. retroexcavadora)	m ³	14317,0	\$ 2,75	\$ 39.380,70		\$ 19.690,35	\$ 19.690,35									
Desalajo de material (inc. Cargadora frontal y volqueta)	m ³	14277,7	\$ 11,40	\$ 162.777,71		\$ 54.259,24	\$ 54.259,24	\$ 54.259,24								
Relleno con material de lugar	m ³	39,33	\$ 12,00	\$ 472,15	\$ 472,15											
Replanteo y Nivelación con equipo topográfico	m ²	1869,4	\$ 3,20	\$ 5.981,70				\$ 5.981,70								
ESTRUCTURAS																
OBRAS DE CAPTACIÓN																
HORMIGONES																
Hormigón f'c =180kg/cm ² premezclado	m ³	259,94	\$ 208,22	\$ 54.124,07					\$ 54.124,07							
Hormigón f'c =360kg/cm ² en obras de captación (premezclado)	m ³	1942,25	\$ 25,29	\$ 389.615,68					\$ 129.871,89	\$ 129.871,89	\$ 129.871,89					
Colocación de rejilla lateral de L=7.30m y h=1.20m	u	1,00	\$ 3.212,49	\$ 3.212,49		\$ 3.212,49										
Colocación de enrocado h=1m	m ³	146,00	\$ 17,70	\$ 2.584,36		\$ 2.584,36										
ENCOFRADOS																
Encofrado metálico de obras de captación	m ²	1207,19	\$ 19,11	\$ 23.066,28					\$ 23.066,28							
Colocación de compuerta metálica 3.20x1.10m	u	1	\$ 2.280,54	\$ 2.280,54		\$ 2.280,54										
OBRAS DE DERIVACIÓN Y PROTECCIÓN																
DESRIPIADOR Y DESARENADOR																
HORMIGONES																
Hormigón f'c =240kg/cm ² en desripiador (premezclado)	m ³	1085,05	\$ 235,32	\$ 255.338,58							\$ 85.112,86	\$ 85.112,86	\$ 85.112,86			
Hormigón f'c =240kg/cm ² en desarenador (premezclado)	m ³	3781,076	\$ 235,32	\$ 889.778,87						\$ 222.444,72	\$ 222.444,72	\$ 222.444,72	\$ 222.444,72			
Colocación de muros de gaviones	m ³	105,53	\$ 17,70	\$ 1.868,00					\$ 1.868,00							
ENCOFRADOS																
Encofrado metálico del desripiador	m ²	1106,29	\$ 19,11	\$ 21.137,20					\$ 10.568,60	\$ 10.568,60						
Encofrado metálico del desarenador	m ²	3781,076	\$ 19,11	\$ 72.246,59					\$ 36.123,30	\$ 36.123,30						
Colocación de compuerta metálica 1x1m	u	1	\$ 788,04	\$ 788,04					\$ 788,04							
TANQUE DE CARGA																
HORMIGONES																
Hormigón f'c =240kg/cm ² (premezclado)	m ³	210,53	\$ 235,32	\$ 49.541,80											\$ 49.541,80	
ENCOFRADOS																
Encofrado y desnofrado metálico de tanque de Carga	m ²	140,44	\$ 12,79	\$ 1.796,10										\$ 1.796,10		
Colocación de rejilla tanque de carga 2.00x2.60m	u	1	\$ 1.978,63	\$ 1.978,63					\$ 1.978,63							
Colocación de compuerta metálica 1x1m	u	1	\$ 788,04	\$ 788,04						\$ 788,04						
TUBERÍA DE CONDUCCIÓN																
Colocación de cama de arena h=50cm	m ³	120	\$ 47,19	\$ 5.662,92								\$ 5.662,92				
Hormigón f'c =240kg/cm ² premezclado	m ³	6,28	\$ 235,32	\$ 1.477,70										\$ 1.477,70		
Encofrado y desnofrado metálico anclaje de tubería	m ²	19,40	\$ 12,79	\$ 248,07										\$ 248,07		
Tubería de material GRP con D=1500mm	m	120,00	\$ 14,40	\$ 1.727,89									\$ 1.727,89			
Accesorios tubería GRP (Inc. Codós, uniones, reducciones, etc.)	u	4,00	\$ 219,95	\$ 879,81									\$ 879,81			
ACEROS																
ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURAS																
Corte y figurado de acero fy=420kg/cm ²	kg	198755,31	\$ 1,96	\$ 390.365,37				\$ 97.591,34			\$ 97.591,34			\$ 97.591,34		
OBRAS ARQUITECTÓNICAS																
Casa de Miquinas	m ²	88	\$ 395,00	\$ 52.360,00										\$ 17.463,33	\$ 17.463,33	\$ 17.463,33
TOTAL = \$ 2.443.900,19																
MONTO PARCIAL =					\$ 6.321,98	\$ 80.520,45	\$ 82.027,17	\$ 180.898,56	\$ 233.454,54	\$ 179.219,82	\$ 535.020,81	\$ 405.148,92	\$ 315.828,20	\$ 341.011,26	\$ 66.995,13	\$ 17.463,33
PORCENTAJE PARCIAL =					0,26%	3,29%	3,30%	7,40%	9,55%	7,33%	21,89%	16,58%	12,92%	13,93%	2,74%	0,72%
MONTO TOTAL =					\$ 6.321,98	\$ 86.842,43	\$ 168.869,60	\$ 349.768,16	\$ 583.222,69	\$ 762.442,52	\$ 1.297.463,33	\$ 1.702.612,25	\$ 2.018.440,45	\$ 2.359.451,72	\$ 2.426.448,85	\$ 2.443.900,19
PORCENTAJE TOTAL =					0,26%	3,53%	6,91%	14,31%	23,86%	31,32%	53,09%	69,67%	82,59%	96,54%	99,29%	100,00%

Nota: Se presenta el cronograma valorado del proyecto. Fuente: Autores

ITEM: 1.2					
RUBRO: Construcción de oficina y bodega provisional				Rend. Diario:	24
FECHA: 18/1/2023					
HOJA: 2 de 30				Unidad:	m ²
EQUIPOS:					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas menores 5% M.O					\$ 0,20
EPP 3% M.O					\$ 0,12
				SUBTOTAL M=	\$ 0,32
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R = Horas-Hombre	D=C*R
Residente de obra	0,1	\$ 4,31	\$ 0,43	0,333	\$ 0,144
Albañil	1	\$ 3,87	\$ 3,87	0,333	\$ 1,290
Peón	2	\$ 3,83	\$ 7,66	0,333	\$ 2,553
				SUBTOTAL N=	\$ 3,99
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Bloque de mamposteria de 20x20x40	u	13,00	\$ 0,50	\$ 6,50	
Clavos 2" y 2 1/2"	kg	0,1	\$ 2,80	\$ 0,28	
Viga Eucalipto 7x12cm	u	0,5	\$ 3,00	\$ 1,50	
Teja de Zinc de 3'x10'	u	0,4	\$ 30,00	\$ 12,00	
Tabla de monte 40cm	u	6	\$ 1,35	\$ 8,10	
Pingos de diámetro ø=10cm h:2m	u	1	\$ 1,10	\$ 1,10	
Cemento	saco de 50kg	0,1	\$ 9,50	\$ 0,95	
Agua	m ³	0,05	\$ 1,80	\$ 0,09	
Arena	m ³	0,02	\$ 4,50	\$ 0,09	
Alambre de amarre N° 18	kg	0,1	\$ 0,40	\$ 0,04	
				SUBTOTAL O=	\$ 30,65
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Camión de bloques 15T	1	1	\$ 0,22	\$ 0,22	
				SUBTOTAL P=	0
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	\$ 34,96
				INDIRECTOS %	10% \$ 3,50
				UTILIDADES %	15% \$ 5,24
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$ 43,69

ITEM: 1.4 RUBRO: Colocación de señalética de cinta de peligro FECHA: 18/1/2023 HOJA: 4 de 30						Rend. Diario: 100 Unidad: m
EQUIPOS:						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramientas menores 5% M.O					\$ 0,04	
EPP 3% M.O					\$ 0,02	
				SUBTOTAL M=	\$ 0,06	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R = Horas-Hombre	D=C*R	
Residente de obra	0,5	\$ 4,31	\$ 2,16	0,080	\$ 0,172	
Peón	2	\$ 3,83	\$ 7,66	0,080	\$ 0,613	
				SUBTOTAL N=	\$ 0,79	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
Cinta Antideslizante y reflectiva plástica amarilla	m	1,00	\$ 0,08	\$ 0,08		
				SUBTOTAL O=	\$ 0,08	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
Transporte del material camioneta	1	1	0,08	0,08		
				SUBTOTAL P=	0,08	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$ 1,01	
				INDIRECTOS %	10%	
					\$ 0,10	
				UTILIDADES %	15%	
					\$ 0,15	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$ 1,26	

ITEM: 2.2 RUBRO: Excavación mecánica en suelo (inc. retroexcavadora) FECHA: 18/1/2023 Rend. Diario: 64 HOJA: 6 de 30 Unidad: m³						
EQUIPOS:						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramientas menores 5% M.O					\$ 0,10	
EPP 3% M.O					\$ 0,06	
					SUBTOTAL M= \$ 0,16	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R = Horas-Hombre	D=C*R	
Residente de Obra	1	\$ 4,31	\$ 4,31	0,125	\$ 0,539	
Operador C1 (Retroexcavadora)	1	\$ 4,29	\$ 4,29	0,125	\$ 0,536	
Albañil	1	\$ 3,87	\$ 3,87	0,125	\$ 0,484	
Peón	1	\$ 3,83	\$ 3,83	0,125	\$ 0,479	
					SUBTOTAL N= \$ 2,04	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
				SUBTOTAL O= \$ -		
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
				SUBTOTAL P= 0		
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) \$ 2,20		
				INDIRECTOS % 10% \$ 0,22		
				UTILIDADES % 15% \$ 0,33		
				COSTO TOTAL DEL RUBRO \$ 2,75		

ITEM: 2.3 RUBRO: Desalojo de material (inc. Cargadora frontal y volqueta) FECHA: 18/1/2023 Rend.Diario: 64 HOJA: 7 de 30 Unidad: m³						
EQUIPOS:						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramientas menores 5% M.O					\$ 0,11	
Volqueta 8m ³	1	\$ 35,00	\$ 35,00	0,125	\$ 4,38	
Cargadora Frontal	1	\$ 20,00	\$ 20,00	0,125	\$ 2,50	
EPP 3% M.O					\$ 0,06	
				SUBTOTAL M=	\$ 6,98	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R = Horas-Hombre	D=C*R	
Residente de Obra	1	\$ 4,08	\$ 4,08	0,125	\$ 0,510	
Operador (Cargadora Frontal)	1	\$ 4,06	\$ 4,06	0,125	\$ 0,508	
Chofer C1 (Volquetas)	1	\$ 5,31	\$ 5,31	0,125	\$ 0,664	
Peón	1	\$ 3,66	\$ 3,66	0,125	\$ 0,458	
				SUBTOTAL N=	\$ 2,14	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
				SUBTOTAL O=	\$ -	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
				SUBTOTAL P=	0	
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$ 9,12
				INDIRECTOS %		10% \$ 0,91
				UTILIDADES %		15% \$ 1,37
				COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$ 11,40

<p align="center">ITEM: 3.1.2.1 RUBRO: Encofrado metálico de obras de captación FECHA: 18/1/2023 HOJA: 14 de 30</p>						
						Rend. Diario: 24 Unidad: m ³
EQUIPOS:						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramientas menores 5% M.O					\$ 0,17	
EPP 3% M.O					\$ 0,10	
					SUBTOTAL M= \$ 0,27	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R = Horas-Hombre	D=C*R	
Residente de Obra	0,1	\$ 4,31	\$ 0,43	0,333	\$ 0,144	
Maestro mayor	0,5	\$ 4,29	\$ 2,15	0,333	\$ 0,715	
Albañil	1	\$ 3,87	\$ 3,87	0,333	\$ 1,290	
Peón	1	\$ 3,83	\$ 3,83	0,333	\$ 1,277	
					SUBTOTAL N= \$ 3,43	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
Abrazadera de torniquete	u	2,40	\$ 0,10	\$ 0,24		
Molde Symons 8'x24'	u	4,8	\$ 1,09	\$ 5,23		
Ganchos Waler	u	2,4	\$ 0,08	\$ 0,19		
Tubo de 3mtrs RETENCO	u	1	\$ 0,15	\$ 0,15		
Separadores hasta 250mm Econf-Metálico	u	13	\$ 0,25	\$ 3,25		
Cuñas Symons (Encofrado metálico)	u	76,51	\$ 0,03	\$ 2,30		
				SUBTOTAL O= \$ 11,36		
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
Camión de 15T	u	1	\$ 0,23	\$ 0,23		
				SUBTOTAL P= \$ 0,23		
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) \$ 15,29		
				INDIRECTOS % 10% \$ 1,53		
				UTILIDADES % 15% \$ 2,29		
				COSTO TOTAL DEL RUBRO \$ 19,11		

ITEM: 3.1.2.2					
RUBRO: Colocación de compuerta metálica 3.20X1.10m				Rend.Diario:	2
FECHA: 16-dic-22				Unidad:	u
EQUIPOS:					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R=HOR/U	D=C*R
EPP 3% M. O.					\$ 0,72
Herramientas menores 5% M.O.					\$ 1,20
Suelda eléctrica	1	\$ 6,25	\$ 6,25	4,00	\$ 25,00
Generador	1	\$ 12,50	\$ 12,50	4,00	\$ 50,00
				SUBTOTAL M=	\$ 76,91
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R= HOR/U	D=C*R
Ing. Residente de obra	0,25	\$ 4,31	\$ 1,08	4,00	\$ 4,31
Maestro soldador	0,25	\$ 4,29	\$ 1,07	4,00	\$ 4,29
Ayudante herrero	1	\$ 3,83	\$ 3,83	4,00	\$ 15,32
				SUBTOTAL N=	\$ 23,92
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Acero para compuerta metálica 730x110cm	m ²	6,25	\$ 470,00	\$ 2.937,50	
Electrodos	Kg	4	\$ 4,80	\$ 19,20	
				SUBTOTAL O=	\$ 2.956,70
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Transporte de materiales al lugar	u	1	\$ 50,00	\$ 50,00	
				SUBTOTAL P=	50
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	\$ 3.107,53
				INDIRECTOS %	10% \$ 310,75
				UTILIDADES %	15% \$ 466,13
				OTROS INDIRECTOS %	\$ -
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$ 3.884,42
				VALOR OFERTADO	\$ 3.884,42

ITEM: 3,2,3,5					
RUBRO: Accesorios tubería GRP (Inc. Codos, uniones, reducciones, etc.)				Rend:Diario:	250
FECHA: 16-dic-22				Unidad:	u
EQUIPOS:					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R=HOR/U	D=C*R
EPP 3% M. O.					\$ 0,03
Herramientas menores 5% M.O.					\$ 0,05
Grua	1	12,5	12,5	0,03	0,4
				SUBTOTAL M=	\$ 0,48
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R= HOR/U	D=C*R
Ing. Residente de obra	0,5	\$ 4,31	\$ 2,16	0,03	\$ 0,07
Maestro Mayor	0,5	\$ 4,29	\$ 2,15	0,03	\$ 0,07
Albañil	1	\$ 3,87	\$ 3,87	0,03	\$ 0,12
Peon	4	\$ 3,83	\$ 15,32	0,03	\$ 0,49
Operador grua	1	\$ 5,31	\$ 5,31	0,03	\$ 0,17
Ayudante de maquinaria	1	\$ 4,27	\$ 4,27	0,03	\$ 0,14
				SUBTOTAL N=	\$ 1,06
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Union tubería GRP D=1500mm	UNIDAD	1,00	173,9	173,90	
				SUBTOTAL O=	173,90
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Transporte de materiales al lugar	UNIDAD	1	0,52	0,52	
				SUBTOTAL P=	0,52
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	\$ 175,96
				INDIRECTOS %	10% \$ 17,60
				UTILIDADES %	15% \$ 26,39
				OTROS INDIRECTOS %	\$ -
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$ 219,95
				VALOR OFERTADO	\$ 219,95

ITEM: 3.2.2.2.3					
RUBRO: Colocación de compuerta metalica 1x1m				Rend.Diario:	2
FECHA: 16-dic-22				Unidad:	u
EQUIPOS:					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R=HOR/U	D=C*R
EPP 3% M. O.					\$ 0,72
Herramientas menores 5% M.O.					\$ 1,20
Suelda eléctrica	1	\$ 6,25	\$ 6,25	4,00	\$ 25,00
Generador	1	\$ 12,50	\$ 12,50	4,00	\$ 50,00
				SUBTOTAL M=	\$ 76,91
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R= HOR/U	D=C*R
Ing. Residente de obra	0,25	\$ 4,31	\$ 1,08	4,00	\$ 4,31
Maestro soldador	0,25	\$ 4,29	\$ 1,07	4,00	\$ 4,29
Ayudante fierro	1	\$ 3,83	\$ 3,83	4,00	\$ 15,32
				SUBTOTAL N=	\$ 23,92
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Compuerta metalica 1x1m	u	1,00	\$ 470,00	\$	470,00
Electrodos	Kg	2	\$ 4,80	\$	9,60
				SUBTOTAL O=	\$ 479,60
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Transporte de materiales al lugar	u	1	\$ 50,00	\$	50,00
				SUBTOTAL P=	50
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	\$ 630,43
				INDIRECTOS %	10% \$ 63,04
				UTILIDADES %	15% \$ 94,57
				OTROS INDIRECTOS %	\$ -
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$ 788,04
				VALOR OFERTADO	\$ 788,04

ITEM: 3,2,2,2,2					
RUBRO: Colocación de rejilla tanque de carga 2.00x2.60m				Rend.Diario:	12
FECHA: 16-dic-22				Unidad:	u
EQUIPOS:					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R=HOR/U	D=C*R
EPP 3% M. O.					\$ 0,12
Herramientas menores 5% M.O.					\$ 0,20
Suelda eléctrica	1	\$ 6,25	\$ 6,25	0,67	\$ 4,17
Generador	1	\$ 12,50	\$ 12,50	0,67	\$ 8,33
				SUBTOTAL M=	\$ 12,82
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAROL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R= HOR/U	D=C*R
Ing. Residente de obra	0,25	\$ 4,31	\$ 1,08	0,67	\$ 0,72
Maestro soldador	0,25	\$ 4,29	\$ 1,07	0,67	\$ 0,72
Ayudante fierro	1	\$ 3,83	\$ 3,83	0,67	\$ 2,55
				SUBTOTAL N=	\$ 3,99
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Rejilla 2.00x2.60m	UNIDAD	1,00	1506,5	1506,50	
Electrodos	Kg	2	4,8	9,60	
				SUBTOTAL O=	1516,10
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Transporte de materiales al lugar	UNIDAD	1	50	50	
				SUBTOTAL P=	50
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	\$ 1.582,91
				INDIRECTOS %	10% \$ 158,29
				UTILIDADES %	15% \$ 237,44
				OTROS INDIRECTOS %	\$ -
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$ 1.978,63
				VALOR OFERTADO	\$ 1.978,63

Anexo Nro. 28 Flujo de Caja (Evaluación Financiera sin proyecto)

VIDA UTIL DEL PROYECTO=		30									
FLUJO SIN FINANCIAMIENTO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00
Costos de Operación y Mantenimiento anual		\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00
Costos de Operación		\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00
Administración		\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00
Depreciación		\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67
Utilidad antes de participación e impuestos		\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33
Participación a trabajadores		\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00
Utilidad antes de impuestos		\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33
Impuesto a la renta		\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43
Utilidad neta		\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90
Depreciación		\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67
Inversión	-2443900,19										
Flujo de Fondos Neto Puro	-2443900,19	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57
	$VP=M/(1+i)^n$	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00
		\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00
		\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00
		\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00
		\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67
		\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33	\$ 94.633,33
		\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00	\$ 14.195,00
		\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33	\$ 80.438,33
		\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43	\$ 17.696,43
		\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90	\$ 62.741,90
		\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67
		\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57
		\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57	\$ 127.912,57

| AÑO |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | |
| \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 | \$ 165.600,00 |
| \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 | \$ 3.312,00 |
| \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 | \$ 1.656,00 |
| \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 | \$ 828,00 |
| \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 |
| \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 | \$ 94.633,33 |
| \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 | \$ 14.195,00 |
| \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 | \$ 80.438,33 |
| \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 | \$ 17.696,43 |
| \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 | \$ 62.741,90 |
| \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 | \$ 65.170,67 |
| \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 |
| \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 | \$ 127.912,57 |
| | | | | | | | | | | \$ 3.837.377,05 |
| | | | | | | | | | | \$ 3.837.377,05 |

Nota: Se muestra los cálculos realizados del flujo de caja, es decir, la evaluación financiera sin proyecto; Fuente: Autores

Anexo Nro. 29 Flujo de caja (Evaluación Financiera con Proyecto)

FLUJO CON FINANCIAMIENTO											
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00
Costos de Operación y Mantenimiento anual		\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00
Costos de Operación		\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00
Administración		\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00
Intereses por pagar		\$ 39.102,40	\$ 38.138,53	\$ 37.155,38	\$ 36.152,57	\$ 35.129,70	\$ 34.086,38	\$ 33.022,19	\$ 31.936,71	\$ 30.829,53	\$ 29.700,20
Depreciación		\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67
Utilidad antes de participación e impuestos		\$ 55.530,93	\$ 56.494,80	\$ 57.477,95	\$ 58.480,76	\$ 59.503,62	\$ 60.546,95	\$ 61.611,14	\$ 62.696,62	\$ 63.803,80	\$ 64.933,13
Participación a trabajadores		\$ 8.329,64	\$ 8.474,22	\$ 8.621,69	\$ 8.772,11	\$ 8.925,54	\$ 9.082,04	\$ 9.241,67	\$ 9.404,49	\$ 9.570,57	\$ 9.739,97
Utilidad antes de impuestos		\$ 47.201,29	\$ 48.020,58	\$ 48.856,25	\$ 49.708,64	\$ 50.578,08	\$ 51.464,91	\$ 52.369,47	\$ 53.292,12	\$ 54.233,23	\$ 55.193,16
Impuesto a la renta		\$ 10.384,28	\$ 10.564,53	\$ 10.748,38	\$ 10.935,90	\$ 11.127,18	\$ 11.322,28	\$ 11.521,28	\$ 11.724,27	\$ 11.931,31	\$ 12.142,50
Utilidad neta		\$ 36.817,00	\$ 37.456,05	\$ 38.107,88	\$ 38.772,74	\$ 39.450,90	\$ 40.142,63	\$ 40.848,19	\$ 41.567,86	\$ 42.301,92	\$ 43.050,67
Depreciación		\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67
Pago del principal		\$ 48.193,56	\$ 49.157,43	\$ 50.140,58	\$ 51.143,39	\$ 52.166,26	\$ 53.209,58	\$ 54.273,78	\$ 55.359,25	\$ 56.466,44	\$ 57.595,77
Crédito recibido	\$ 1.955.120,15										
Inversión	\$ -2.443.900,19										
Flujo de Fondos Neto Puro	\$ -488.780,04	\$ 53.794,12	\$ 53.469,29	\$ 53.137,97	\$ 52.800,02	\$ 52.455,32	\$ 52.103,72	\$ 51.745,08	\$ 51.379,28	\$ 51.006,16	\$ 50.625,57
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	\$165.600,00	\$165.600,00	\$165.600,00	\$165.600,00	\$165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$165.600,00	\$165.600,00	
	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	
	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	
	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	
	\$ 28.548,28	\$ 27.373,33	\$ 26.174,88	\$ 24.952,45	\$ 23.705,58	\$ 22.433,78	\$ 21.136,53	\$ 19.813,34	\$ 18.463,69	\$ 17.087,05	
	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	
	\$ 66.085,05	\$ 67.260,00	\$ 68.458,45	\$ 69.680,87	\$ 70.927,74	\$ 72.199,55	\$ 73.496,80	\$ 74.819,98	\$ 76.169,64	\$ 77.546,28	
	\$ 9.912,76	\$ 10.089,00	\$ 10.268,77	\$ 10.452,13	\$ 10.639,16	\$ 10.829,93	\$ 11.024,52	\$ 11.223,00	\$ 11.425,45	\$ 11.631,94	
	\$ 56.172,29	\$ 57.171,00	\$ 58.189,68	\$ 59.228,74	\$ 60.288,58	\$ 61.369,62	\$ 62.472,28	\$ 63.596,99	\$ 64.744,19	\$ 65.914,34	
	\$ 12.357,90	\$ 12.577,62	\$ 12.801,73	\$ 13.030,32	\$ 13.263,49	\$ 13.501,32	\$ 13.743,90	\$ 13.991,34	\$ 14.243,72	\$ 14.501,15	
	\$ 43.814,39	\$ 44.593,38	\$ 45.387,95	\$ 46.198,42	\$ 47.025,09	\$ 47.868,30	\$ 48.728,38	\$ 49.605,65	\$ 50.500,47	\$ 51.413,18	
	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	
	\$ 58.747,68	\$ 59.922,63	\$ 61.121,09	\$ 62.343,51	\$ 63.590,38	\$ 64.862,19	\$ 66.159,43	\$ 67.482,62	\$ 68.832,27	\$ 70.208,92	
	\$ 50.237,38	\$ 49.841,42	\$ 49.437,54	\$ 49.025,58	\$ 48.605,39	\$ 48.176,79	\$ 47.739,62	\$ 47.293,70	\$ 46.838,87	\$ 46.374,94	

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00	\$ 165.600,00
\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00	\$ 3.312,00
\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00	\$ 1.656,00
\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00	\$ 828,00
\$ 15.682,87	\$ 14.250,61	\$ 12.789,70	\$ 11.299,57	\$ 9.779,65	\$ 8.229,32	\$ 6.647,99	\$ 5.035,03	\$ 3.389,81	\$ 1.711,69
\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67
\$ 78.950,46	\$ 80.382,72	\$ 81.843,63	\$ 83.333,75	\$ 84.853,68	\$ 86.404,01	\$ 87.985,34	\$ 89.598,30	\$ 91.243,52	\$ 92.921,64
\$ 11.842,57	\$ 12.057,41	\$ 12.276,54	\$ 12.500,06	\$ 12.728,05	\$ 12.960,60	\$ 13.197,80	\$ 13.439,75	\$ 13.686,53	\$ 13.938,25
\$ 67.107,89	\$ 68.325,31	\$ 69.567,08	\$ 70.833,69	\$ 72.125,63	\$ 73.443,41	\$ 74.787,54	\$ 76.158,56	\$ 77.556,99	\$ 78.983,40
\$ 14.763,74	\$ 15.031,57	\$ 15.304,76	\$ 15.583,41	\$ 15.867,64	\$ 16.157,55	\$ 16.453,26	\$ 16.754,88	\$ 17.062,54	\$ 17.376,35
\$ 52.344,16	\$ 53.293,74	\$ 54.262,33	\$ 55.250,28	\$ 56.257,99	\$ 57.285,86	\$ 58.334,28	\$ 59.403,67	\$ 60.494,45	\$ 61.607,05
\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67	\$ 65.170,67
\$ 71.613,09	\$ 73.045,36	\$ 74.506,26	\$ 75.996,39	\$ 77.516,32	\$ 79.066,64	\$ 80.647,98	\$ 82.260,94	\$ 83.906,15	\$ 85.584,28
\$ 45.901,73	\$ 45.419,06	\$ 44.926,73	\$ 44.424,56	\$ 43.912,35	\$ 43.389,89	\$ 42.856,98	\$ 42.313,41	\$ 41.758,97	\$ 41.193,44

Nota: Se observa los cálculos realizados en la evaluación financiera con proyecto; Fuente Autore

Anexo Nro. 30. Cálculo de vaciado desripiador

Tiempo	hi	Qdes	Vol. Des	Vol.res	h.res	Velocidad
[s]	[m]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m/s]
0	0.00	0.00	0.00	868.56	0.00	0.00
5	2.31	8.079	40.39	828.17	2.22	4.04
10	2.22	7.924	39.62	788.55	2.14	3.96
15	2.14	7.770	38.85	749.70	2.05	3.88
20	2.05	7.615	38.08	711.62	1.97	3.81
25	1.97	7.461	37.31	674.31	1.89	3.73
30	1.89	7.307	36.53	637.78	1.81	3.65
35	1.81	7.152	35.76	602.02	1.73	3.58
40	1.73	6.997	34.99	567.03	1.66	3.50
45	1.66	6.843	34.21	532.82	1.58	3.42
50	1.58	6.688	33.44	499.38	1.51	3.34
55	1.51	6.534	32.67	466.71	1.44	3.27
60	1.44	6.379	31.89	434.82	1.37	3.19
65	1.37	6.224	31.12	403.70	1.30	3.11
70	1.30	6.069	30.35	373.35	1.24	3.03
75	1.24	5.914	29.57	343.78	1.17	2.96
80	1.17	5.760	28.80	314.98	1.11	2.88
85	1.11	5.605	28.02	286.96	1.05	2.80
90	1.05	5.450	27.25	259.71	0.99	2.72
92	0.99	5.294	10.59	249.12	0.97	2.65
94	0.97	5.233	10.47	238.66	0.95	2.62
96	0.95	5.171	10.34	228.31	0.92	2.59
98	0.92	5.110	10.22	218.093	0.90	2.55
100	0.90	5.048	10.10	207.996	0.88	2.52
102	0.88	4.987	9.97	198.023	0.86	2.49
104	0.86	4.925	9.85	188.172	0.84	2.46
106	0.84	4.864	9.73	178.445	0.82	2.43
108	0.82	4.802	9.60	168.840	0.80	2.40
110	0.80	4.741	9.48	159.359	0.77	2.37
112	0.77	4.679	9.36	150.001	0.75	2.34
114	0.75	4.618	9.24	140.766	0.73	2.31
116	0.73	4.556	9.11	131.654	0.71	2.28
118	0.71	4.494	8.99	122.665	0.70	2.25
120	0.70	4.433	8.87	113.799	0.68	2.22
122	0.68	4.371	8.74	105.057	0.66	2.19
124	0.66	4.310	8.62	96.437	0.64	2.15
126	0.64	4.248	8.50	87.941	0.62	2.12
128	0.62	4.186	8.37	79.568	0.60	2.09
130	0.60	4.125	8.25	71.319	0.58	2.06
132	0.58	4.063	8.13	63.192	0.57	2.03
134	0.57	4.002	8.00	55.189	0.55	2.00
136	0.55	3.940	7.88	47.309	0.53	1.97
138	0.53	3.878	7.76	39.552	0.52	1.94
140	0.52	3.817	7.63	31.919	0.50	1.91

142	0.50	3.755	7.51	24.408	0.48	1.88
144	0.48	3.693	7.39	17.02	0.47	1.85
146	0.47	3.632	7.26	9.758	0.45	1.82
148	0.45	3.570	7.14	2.62	0.44	1.79
148.75	0.44	3.508	2.62	0.000	0.43	1.75
91.51	segundos					

Nota: Se presenta los cálculos para determinar el tiempo de vaciado y la velocidad mínima de flujo dentro de la cámara desripiador. Fuente: Autores

Anexo Nro. 31. Cálculo de tiempo de vaciado del desarenador

Tiempo	hi	Q_{des}	V_{des}	V_{res}	h_{res}	Velocidad
[s]	[m]	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]	[m]	[m/s]
0	0.000	0.000	0.000	803.01	0.000	0.000
2	4.680	5.74940	11.49880	791.51	4.656	5.75
4	4.656	5.73445	11.46889	780.05	4.631	5.73
6	4.631	5.71949	11.43899	768.61	4.607	5.72
8	4.607	5.70454	11.40908	757.20	4.583	5.70
10	4.583	5.68959	11.37918	745.82	4.559	5.69
12	4.559	5.67464	11.34927	734.47	4.535	5.67
14	4.535	5.65968	11.31937	723.15	4.511	5.66
16	4.511	5.64473	11.28946	711.86	4.487	5.64
18	4.487	5.62978	11.25956	700.60	4.463	5.63
20	4.463	5.61483	11.22965	689.37	4.440	5.61
22	4.440	5.59987	11.19975	678.17	4.416	5.60
24	4.416	5.58492	11.16984	667.00	4.392	5.58
26	4.392	5.56997	11.13994	655.86	4.369	5.57
28	4.369	5.55502	11.11003	644.75	4.345	5.56
30	4.345	5.54006	11.08013	633.67	4.322	5.54
32	4.322	5.52511	11.05022	622.621	4.299	5.53
34	4.299	5.51016	11.02031	611.600	4.275	5.51
36	4.275	5.49520	10.99041	600.610	4.252	5.50
38	4.252	5.48025	10.96050	589.649	4.229	5.48
40	4.229	5.46530	10.93060	578.719	4.206	5.47
42	4.206	5.45034	10.90069	567.818	4.183	5.45
44	4.183	5.43539	10.87078	556.947	4.160	5.44
46	4.160	5.42044	10.84088	546.106	4.137	5.42
48	4.137	5.40548	10.81097	535.295	4.114	5.41
50	4.114	5.39053	10.78106	524.514	4.091	5.39
52	4.091	5.37558	10.75116	513.763	4.068	5.38
54	4.068	5.36062	10.72125	503.042	4.046	5.36
56	4.046	5.34567	10.69134	492.351	4.023	5.35
58	4.023	5.33072	10.66143	481.689	4.001	5.33
60	4.001	5.31576	10.63153	471.058	3.978	5.32
62	3.978	5.30081	10.60162	460.456	3.956	5.30
64	3.956	5.28586	10.57171	449.884	3.933	5.29
66	3.933	5.27090	10.54180	439.343	3.911	5.27

68	3.911	5.25595	10.51189	428.831	3.889	5.26
70	3.889	5.24099	10.48199	418.349	3.867	5.24
72	3.867	5.22604	10.45208	407.897	3.845	5.23
74	3.845	5.21109	10.42217	397.474	3.823	5.21
76	3.823	5.19613	10.39226	387.082	3.801	5.20
78	3.801	5.18118	10.36235	376.720	3.779	5.18
80	3.779	5.16622	10.33244	366.387	3.757	5.17
82	3.757	5.15127	10.30254	356.085	3.735	5.15
84	3.735	5.13631	10.27263	345.812	3.713	5.14
86	3.713	5.12136	10.24272	335.570	3.692	5.12
88	3.692	5.10640	10.21281	325.357	3.670	5.11
90	3.670	5.09145	10.18290	315.174	3.649	5.09
92	3.649	5.07649	10.15299	305.021	3.627	5.08
94	3.627	5.06154	10.12308	294.898	3.606	5.06
96	3.606	5.04659	10.09317	284.805	3.584	5.05
98	3.584	5.03163	10.06326	274.741	3.563	5.03
100	3.563	5.01668	10.03335	264.708	3.542	5.02
102	3.542	5.00172	10.00344	254.705	3.521	5.00
104	3.521	4.98677	9.97353	244.731	3.500	4.99
106	3.500	4.97181	9.94362	234.787	3.479	4.97
108	3.479	4.95685	9.91371	224.874	3.458	4.96
110	3.458	4.94190	9.88380	214.990	3.437	4.94
112	3.437	4.92694	9.85389	205.136	3.416	4.93
114	3.416	4.91199	9.82398	195.312	3.395	4.91
116	3.395	4.89703	9.79407	185.518	3.374	4.90
118	3.374	4.88208	9.76415	175.754	3.354	4.88
120	3.354	4.86712	9.73424	166.020	3.333	4.87
122	3.333	4.85217	9.70433	156.315	3.313	4.85
124	3.313	4.83721	9.67442	146.641	3.292	4.84
126	3.292	4.82225	9.64451	136.996	3.272	4.82
128	3.272	4.80730	9.61460	127.382	3.252	4.81
130	3.252	4.79234	9.58468	117.797	3.231	4.79
132	3.231	4.77739	9.55477	108.242	3.211	4.78
134	3.211	4.76243	9.52486	98.717	3.191	4.76
136	3.191	4.74747	9.49495	89.222	3.171	4.75
138	3.171	4.73252	9.46503	79.757	3.151	4.73
140	3.151	4.71756	9.43512	70.322	3.131	4.72
142	3.131	4.70260	9.40521	60.917	3.111	4.70
144	3.111	4.68765	9.37530	51.542	3.091	4.69
146	3.091	4.67269	9.34538	42.196	3.071	4.67
148	3.071	4.65773	9.31547	32.881	3.052	4.66
150	3.052	4.64278	9.28556	23.595	3.032	4.64
152	3.032	4.62782	9.25564	14.340	3.013	4.63
154	3.013	4.61286	9.22573	5.1140	2.993	4.61
155	2.993	4.59791	4.59791	0.5161	2.983	4.60
155.1	2.983	4.59043	0.45904	0.0570	2.982	4.59
155.11	2.982	4.58969	0.05645	0.000	2.982	4.59

79.9 s

Nota: Se muestra los cálculos para determinar el tiempo de vaciado del desarenador.

Fuente: Autores.

Anexo Nro.32. Evidencia fotográfica

EMPRESA DE VINOS PERLA ANDINA



VISTA A LOS MARGENES DEL RIO TOACHI EN EL SITIO DE ESTUDIO



VISTA GENERAL DEL PROYECTO



VISTA DEL RÍO EN CRECIDA



EXTRACCIÓN DE MUESTRAS (CALICATAS)



LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL



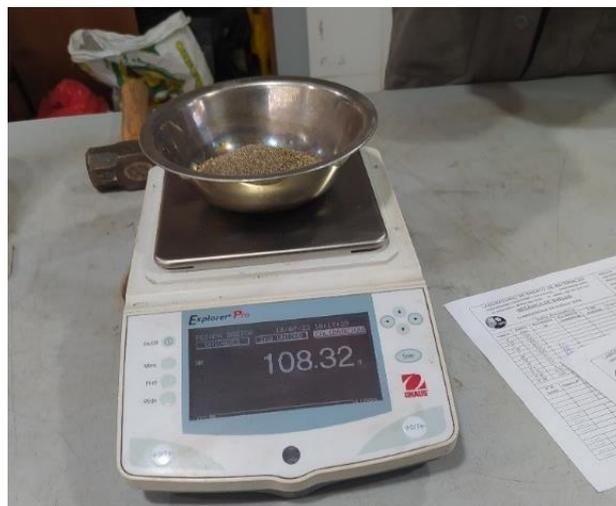
REALIZACIÓN DE AFOROS EN EL RÍO TOACHI EN EL SITIO DE ESTUDIO





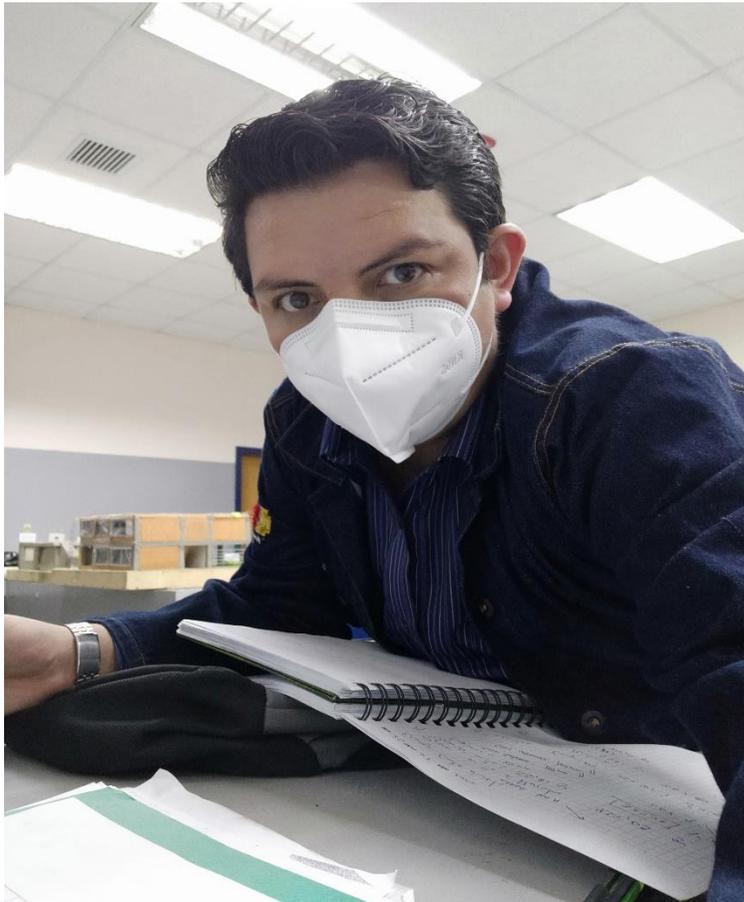
MOLINETE ELECTRONICO

ENSAYOS DE LABORATORIO

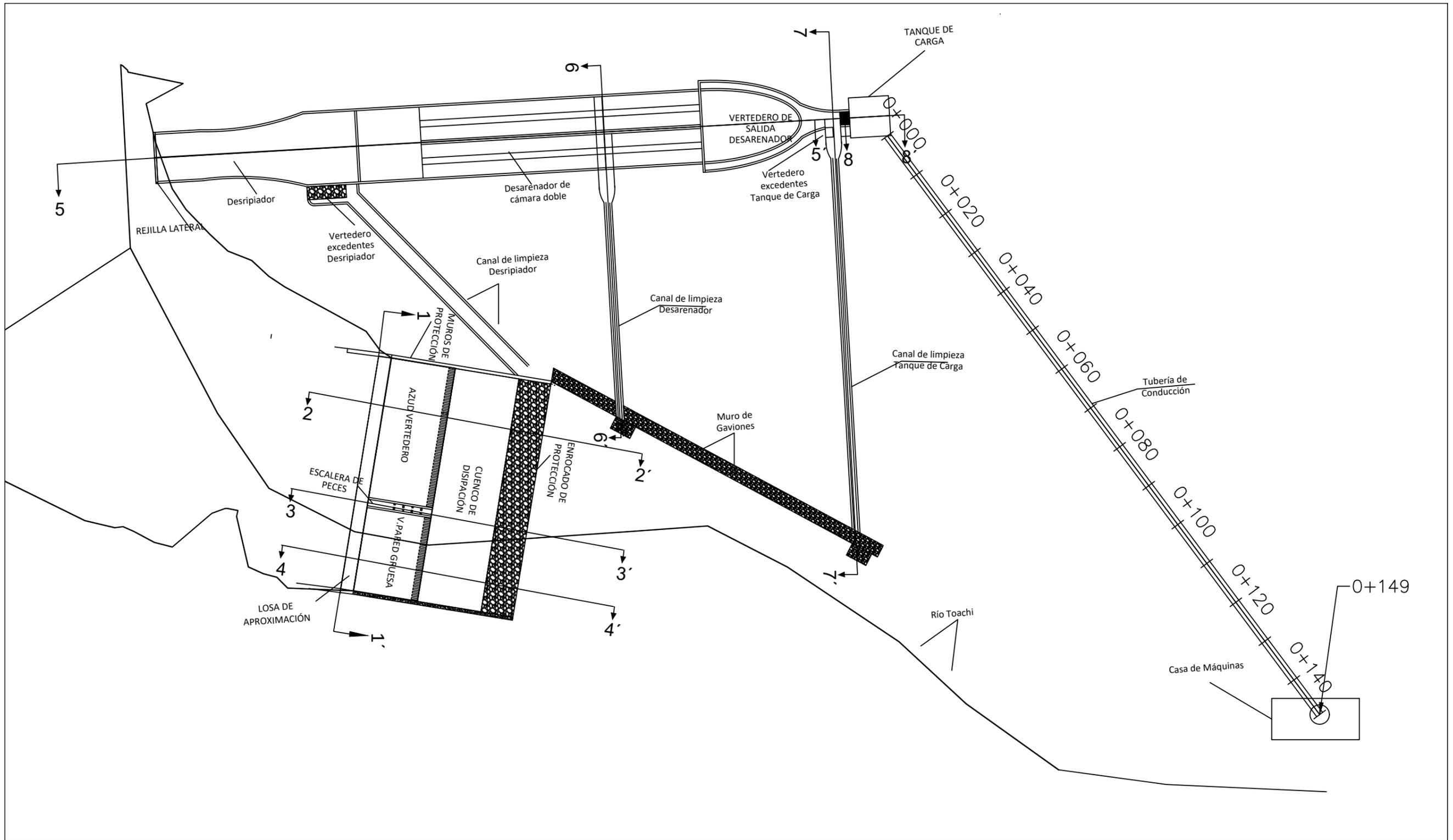








PLANOS



DISEÑADO POR:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

DIBUJO:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

PROYECTO:

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, AÑO 2022

CONTENIDO:

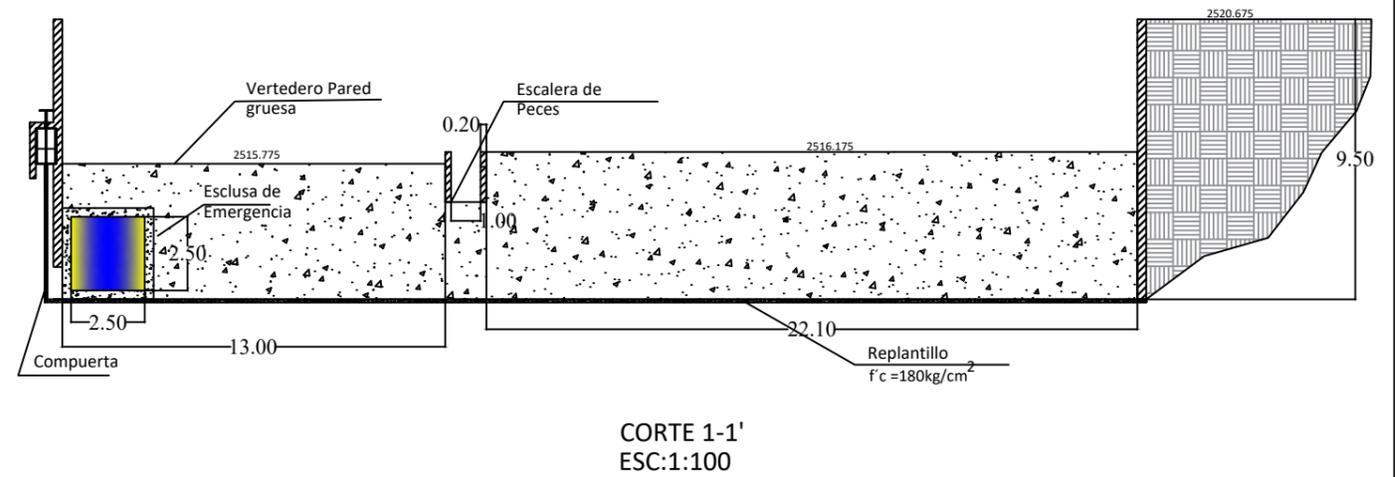
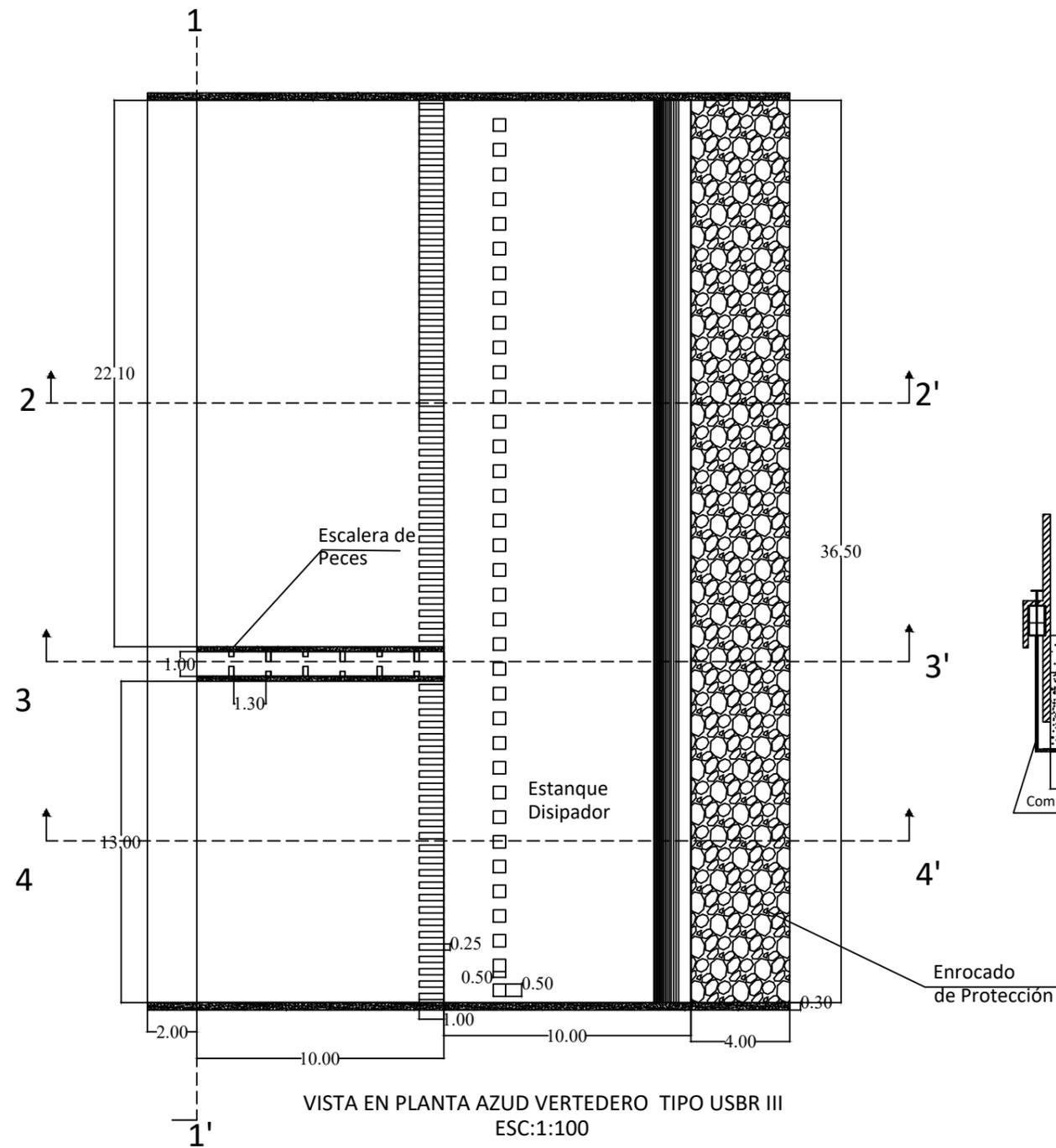
VISTA EN PLANTA DE OBRAS DE CAPTACIÓN, DERIVACIÓN Y PROTECCIÓN.
IMPLANTACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA "PERLA ANDINA"

FECHA: ENERO 2023

ESCALA: 1:250

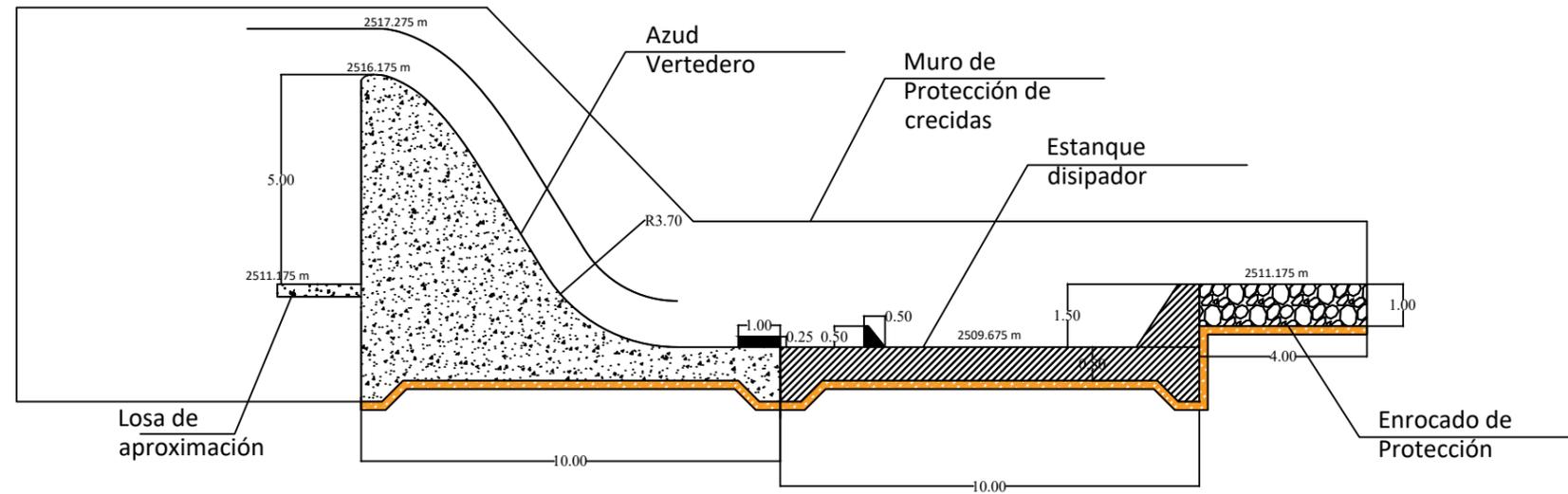
PLANO N°: E-1

LÁMINA: 1 DE 10

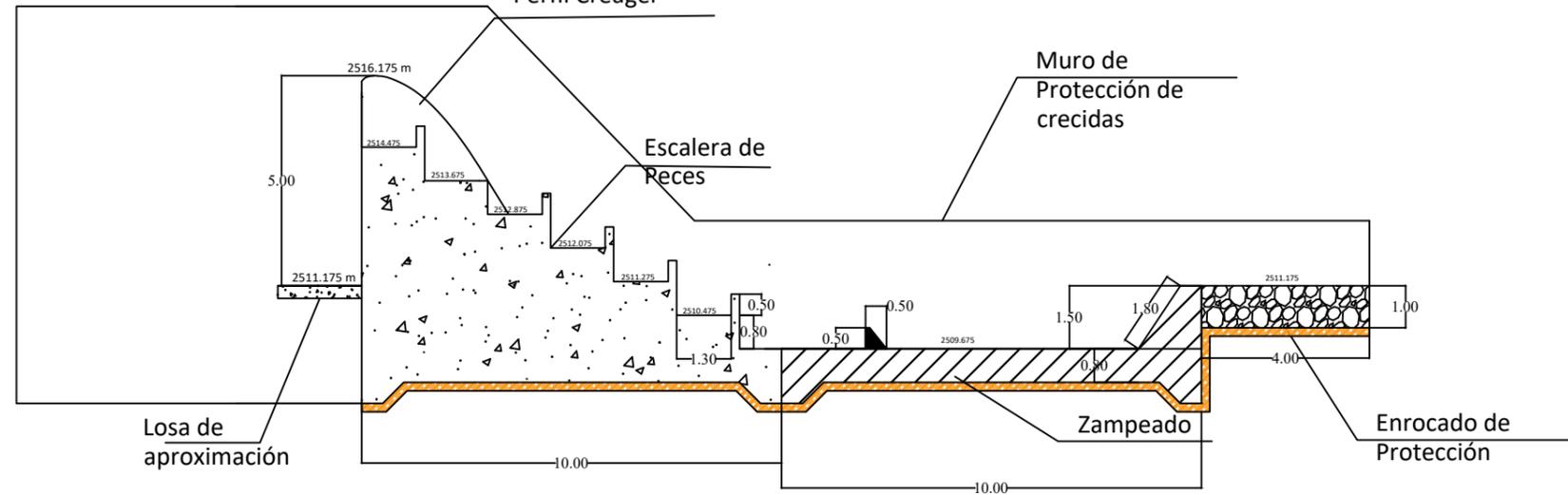


	DISEÑADO POR: GARCÍA WILSON GUALAVISÍ CARLOS	PROYECTO: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, AÑO 2022	CONTENIDO: VISTA EN PLANTA DE OBRAS DE TOMA, CORTES Y PERFILES.	FECHA: ENERO 2023
	DIBUJO: GARCÍA WILSON GUALAVISÍ CARLOS			ESCALA: 1:100
				PLANO N°: E-2
				LÁMINA: 2 DE 10

CORTE 2-2'
ESC:1:500

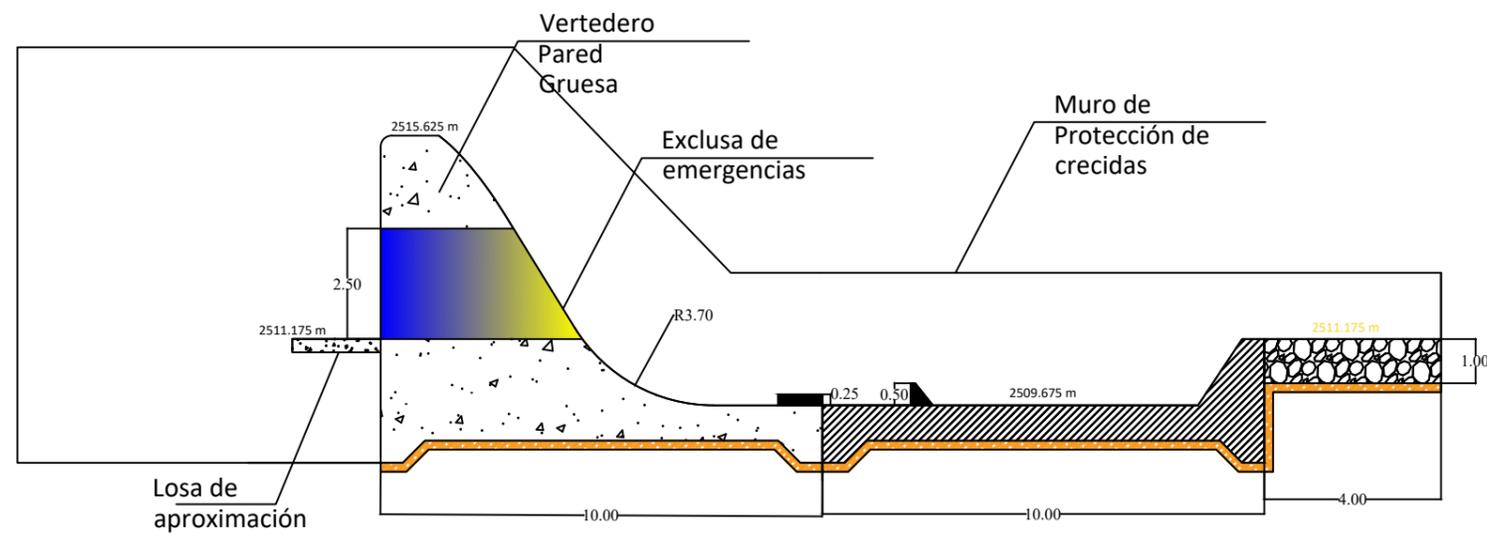


Perfil Creager



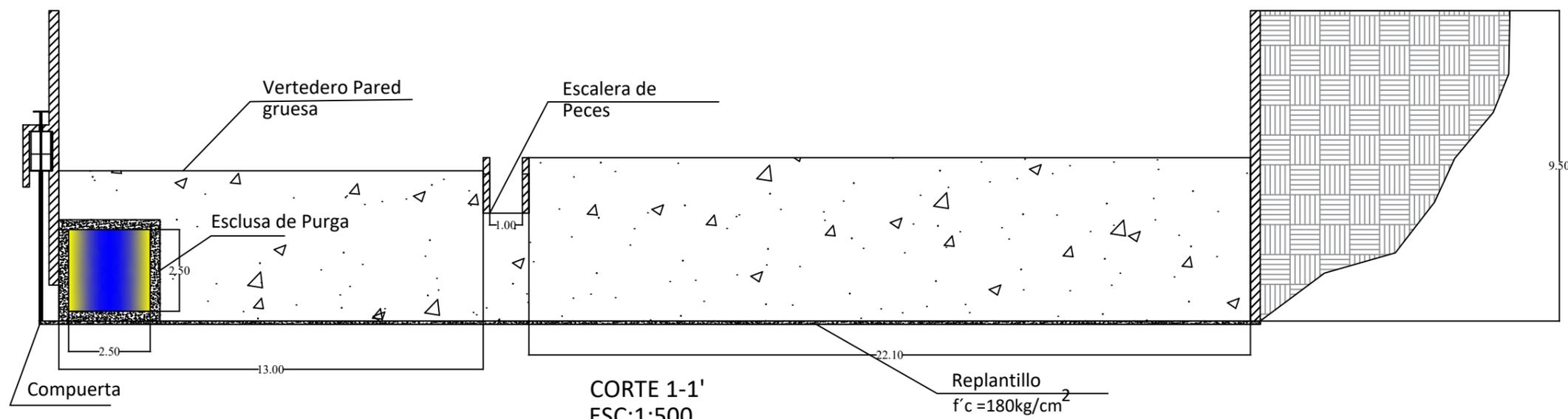
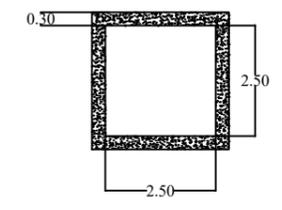
CORTE 3-3'
ESC:1:500

	DISEÑADO POR: GARCÍA WILSON GUALAVISÍ CARLOS	PROYECTO: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, AÑO 2022	CONTENIDO: VISTA EN PLANTA DE OBRAS DE CAPTACIÓN, PROTECCIÓN, CORTES Y PERFILES	FECHA: ENERO 2023
	DIBUJO: GARCÍA WILSON GUALAVISÍ CARLOS			ESCALA: 1:500
				PLANO N°: E-3
				LÁMINA: 3 DE 10



CORTE 4-4'
ESC:1:500

DETALLE DE ORIFICIO EXCLUSA DE EMERGENCIAS
ESC: 1:500



CORTE 1-1'
ESC:1:500

Replanto
 $f'c = 180\text{kg/cm}^2$



DISEÑADO POR:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

DIBUJO:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

PROYECTO:

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, AÑO 2022

CONTENIDO:

VISTA EN PLANTA DE OBRAS DE TOMA, CORTES Y PERFILES.

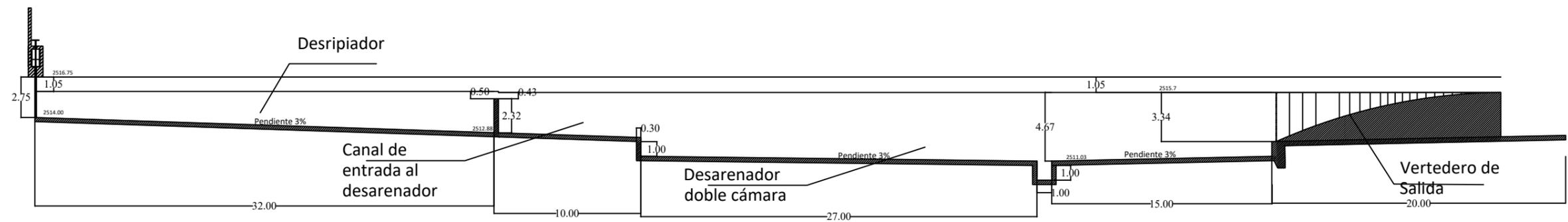
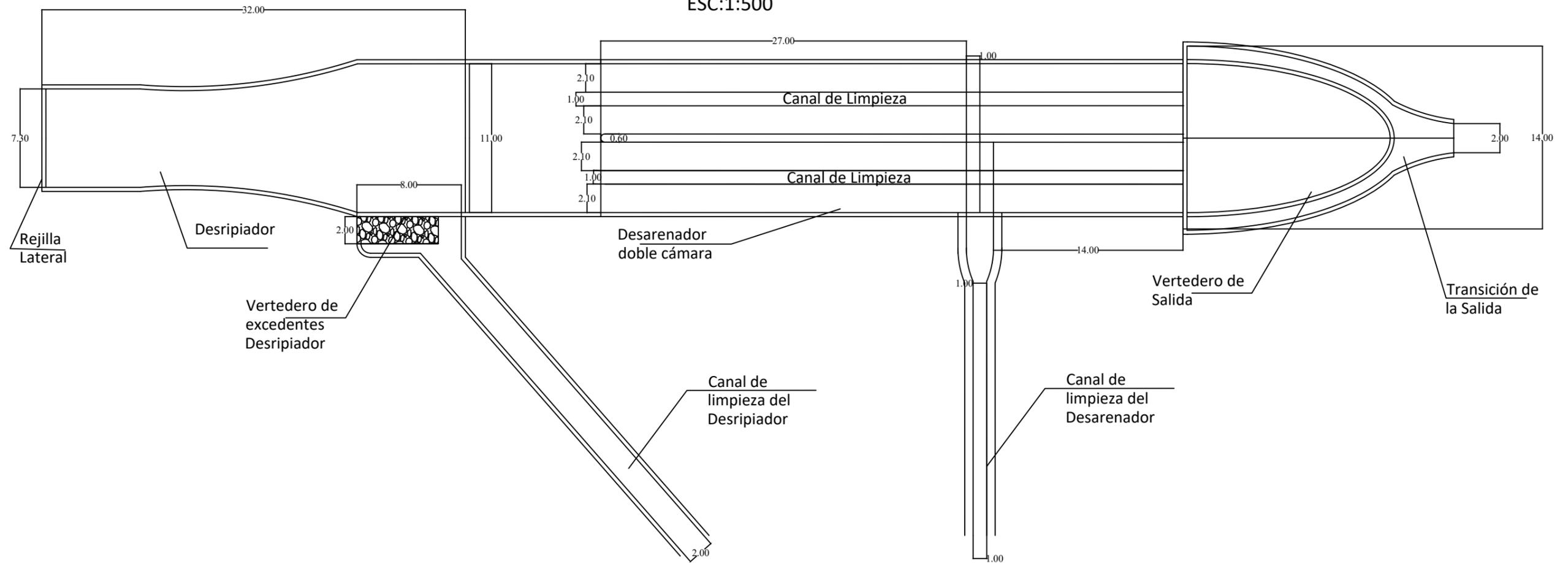
FECHA: ENERO 2023

ESCALA: 1:500

PLANO N°: E-4

LÁMINA: 4 DE 10

VISTA EN PLANTA DESRIPIADOR Y DESARENADOR
ESC:1:500

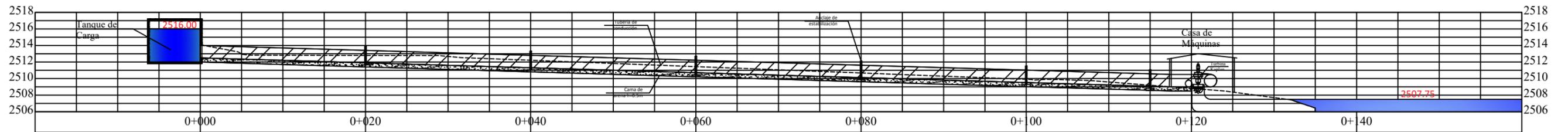


CORTE 5-5'
ESC:1:500

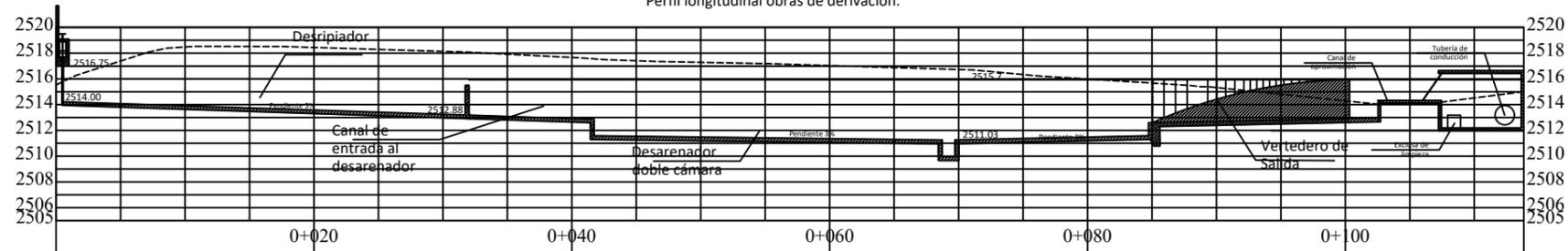
	DISEÑADO POR: GARCÍA WILSON GUALAVISÍ CARLOS	PROYECTO: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, AÑO 2022	CONTENIDO: VISTA EN PLANTA DE DESRIPIADOR, DESARENADOR, CORTES Y PERFILES.	FECHA: ENERO 2023
	DIBUJO: GARCÍA WILSON GUALAVISÍ CARLOS			ESCALA: 1:500
				PLANO N°: E-5
				LÁMINA: 5 DE 10

PERFILES LONGITUDINALES ESC:1:1000

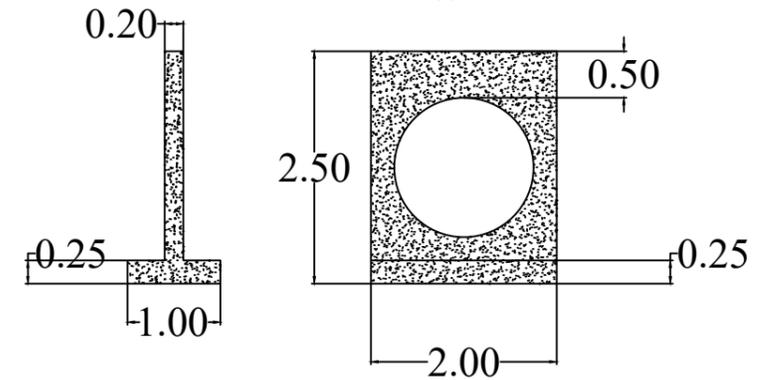
Perfil longitudinal tubería de conducción.



Perfil longitudinal obras de derivación.



Pantalla de soporte
Anclaje de tubería
ESC: 1:75



DISEÑADO POR:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

DIBUJO:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

PROYECTO:
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA
GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO
TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN
SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR,
AÑO 2022

CONTENIDO:
VISTA EN PLANTA DE OBRAS
DERIVACIÓN Y PROTECCIÓN,
CORTES, PERFILES DE
DESRIPIADOR, DESARENADOR Y
TANQUE DE CARGA.
DETALLE DE ANCLAJE TUBERÍA
DE CONDUCCIÓN

FECHA: ENERO 2023

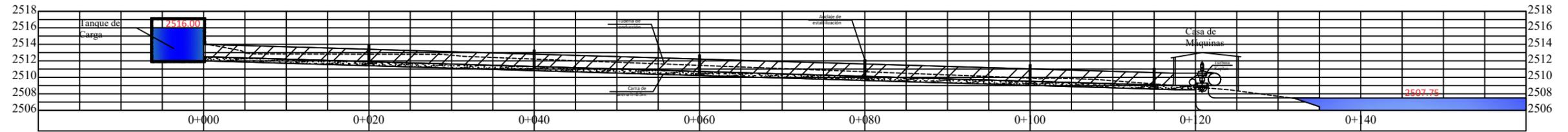
ESCALA: 1:1000

PLANO N°: E-6

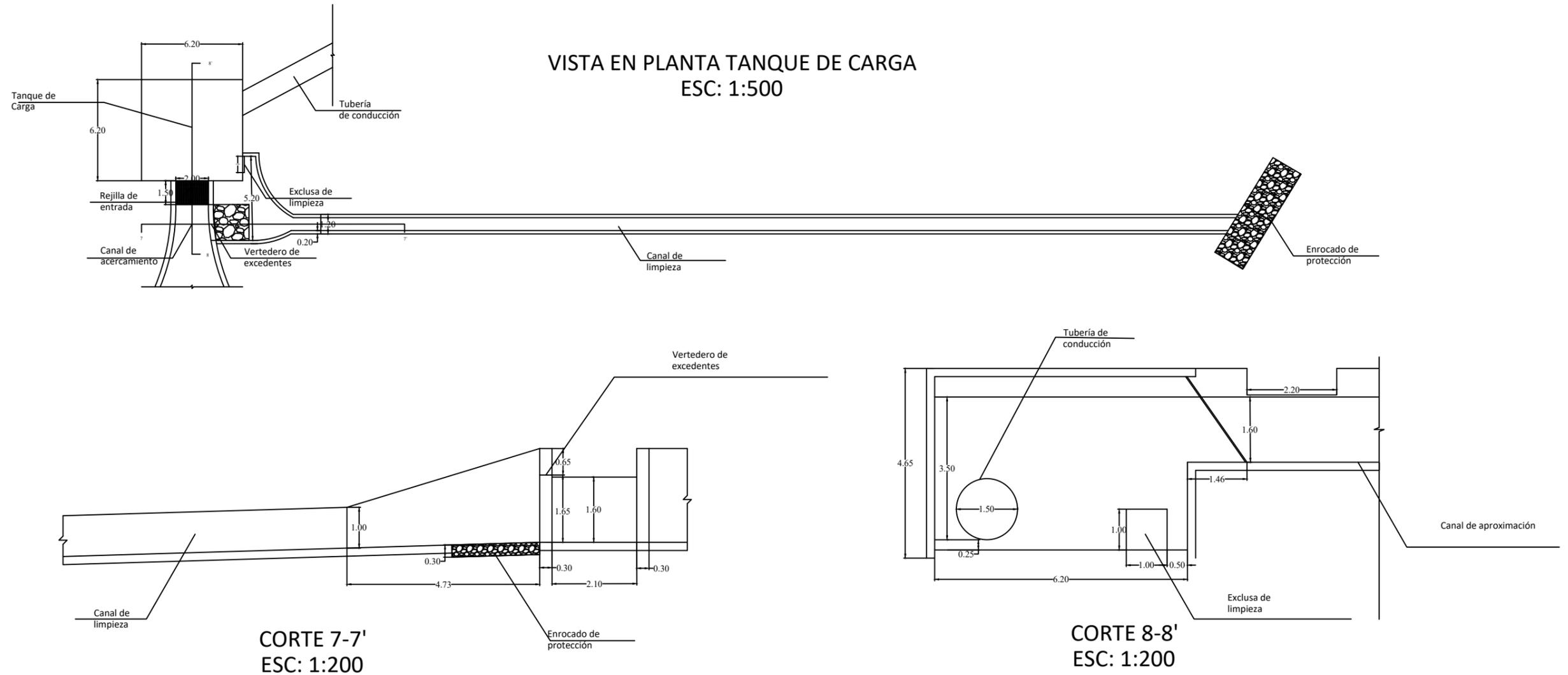
LÁMINA: 6 DE 10

PERFIL LONGITUDINAL DEL TANQUE DE CARGA ESC: 1:1000

Perfil longitudinal tubería de conducción.



VISTA EN PLANTA TANQUE DE CARGA ESC: 1:500



DISEÑADO POR:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

DIBUJO:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

PROYECTO:
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA
GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO
TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN
SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR,
AÑO 2022

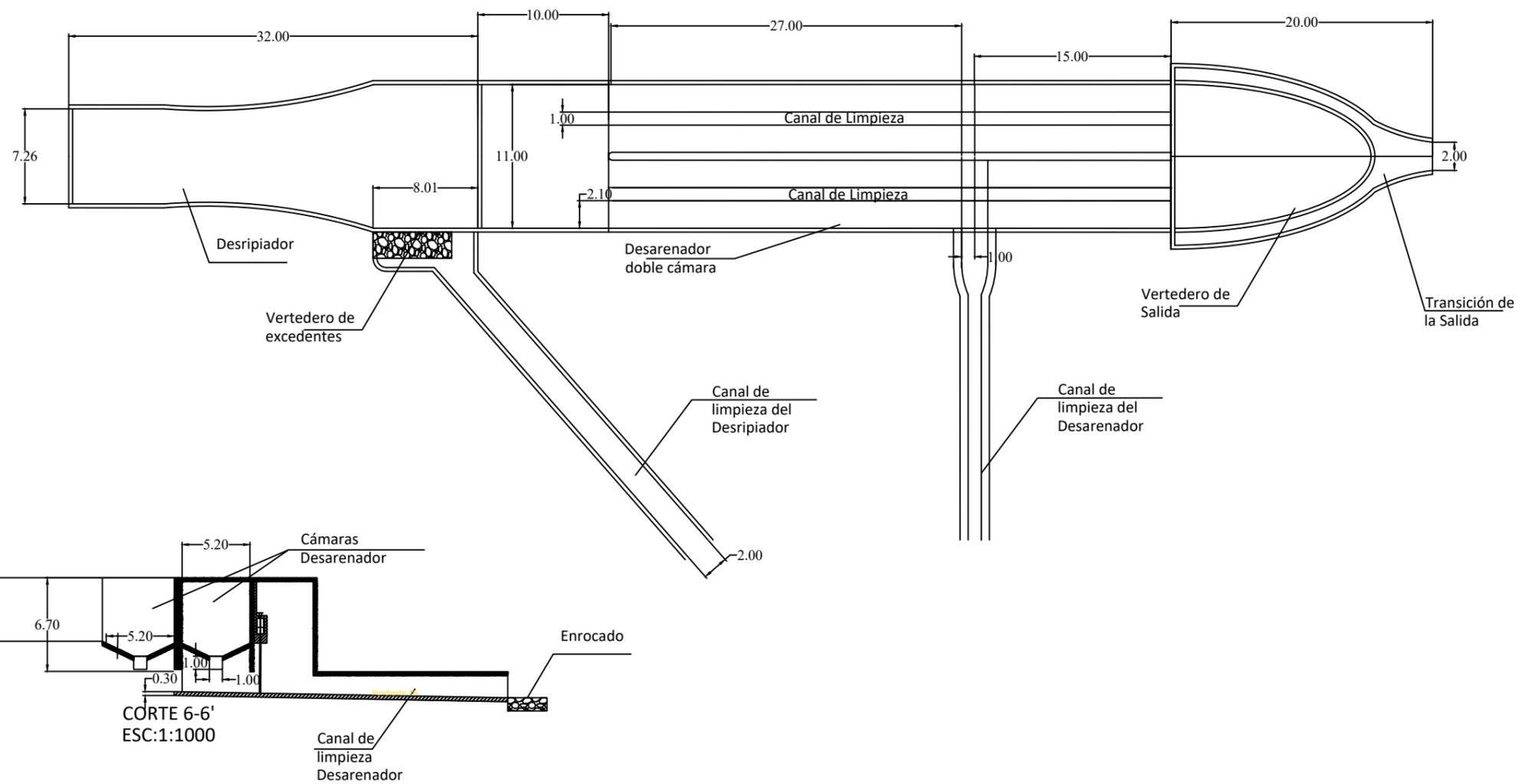
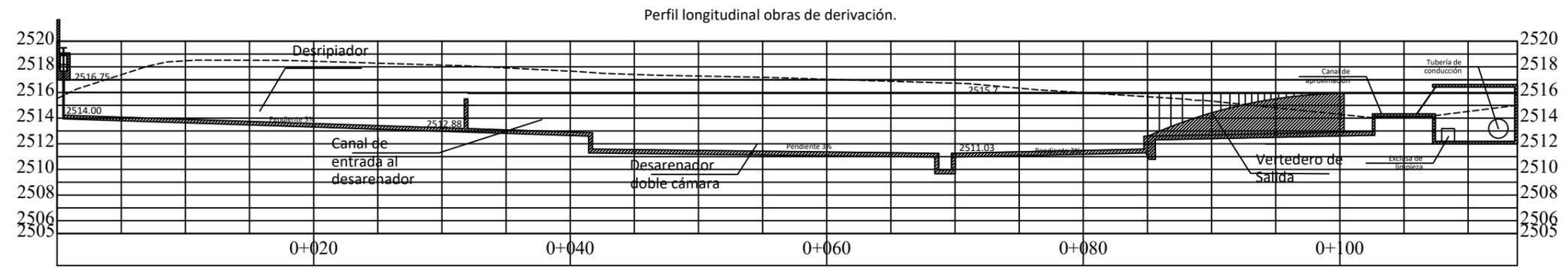
CONTENIDO:
VISTA EN PLANTA,
CORTES, PERFILES DEL TANQUE
DE CARGA

FECHA: ENERO 2023

ESCALA: 1:1000

PLANO N°: E-7

LÁMINA: 7 DE 10



DISEÑADO POR:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

DIBUJO:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

PROYECTO:

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR, AÑO 2022

CONTENIDO:

VISTA EN PLANTA DE OBRAS DERIVACIÓN Y PROTECCIÓN, CORTES, PERFILES DEL DESRIPIADOR Y DESARENADOR

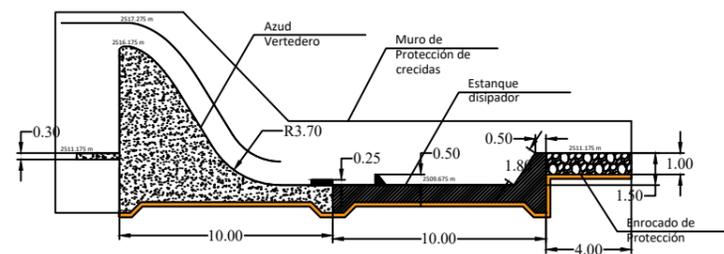
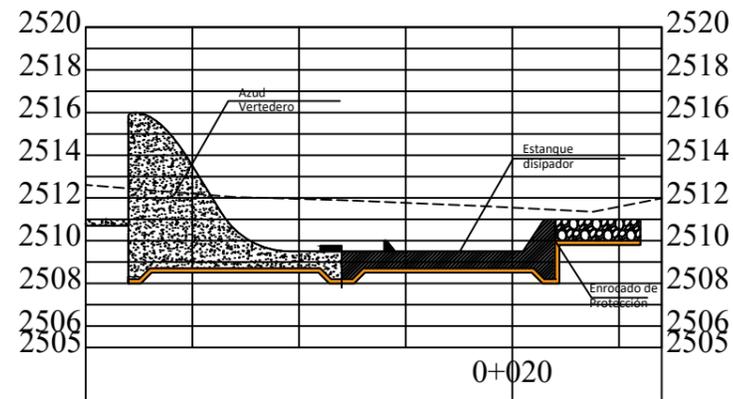
FECHA: ENERO 2023

ESCALA: 1:750

PLANO N°: E-8

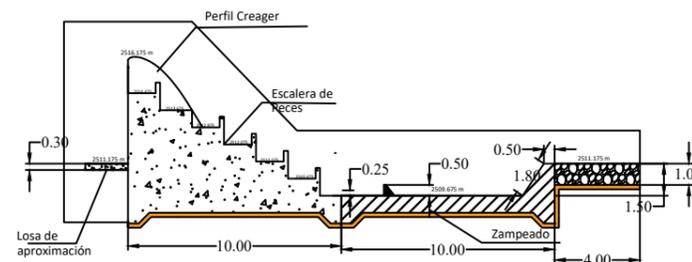
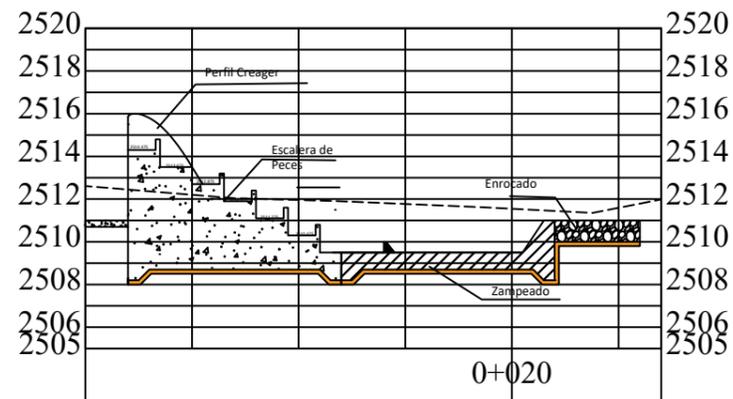
LÁMINA: 8 DE 10

Perfil longitudinal azud vertedero.



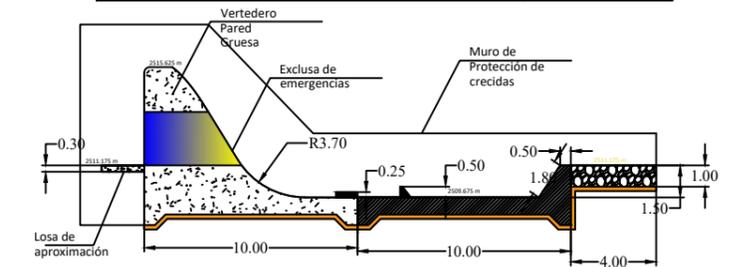
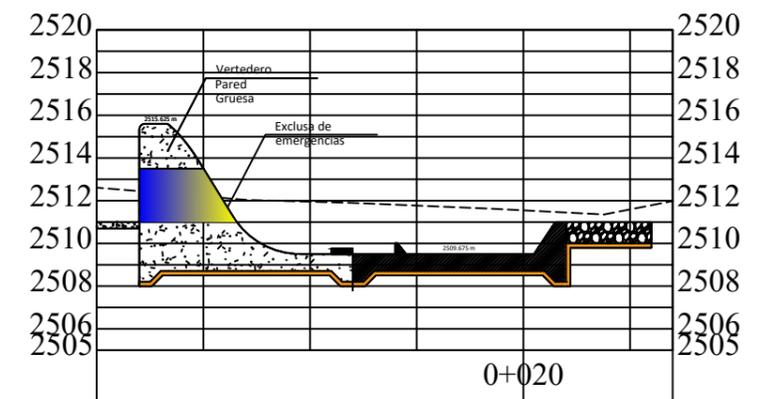
CORTE 2-2'
ESC:1:1000

Perfil longitudinal escalera de peces.



CORTE 3-3'
ESC:1:1000

Perfil longitudinal azud vertedero.



CORTE 4-4'
ESC:1:1000



DISEÑADO POR:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

DIBUJO:
GARCÍA WILSON
GUALAVISÍ CARLOS

PROYECTO:
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA
GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO
TOACHI, EN LA PARROQUIA SIGCHOS, CANTÓN
SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI-ECUADOR,
AÑO 2022

CONTENIDO:
VISTA EN PLANTA DE OBRAS
CAPTACIÓN, CORTES, PERFILES.

FECHA: ENERO 2023

ESCALA: 1:1000

PLANO N°: E-9

LÁMINA: 9 DE 10

