



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y

APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD "VIRGEN DE GUADALUPE"

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTORES:

Willington Israel Moya Caisa

Kevin Alexander Torres Guzmán

TUTOR:

ING. Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete Msc.

LATACUNGA, FEBRERO 2025

Latacunga, 21/02/2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Moya Caisa Willington Israel Y Torres Guzmán Kevin Alexander declaramos ser autores del proyecto de titulación "POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD "VIRGEN DE GUADALUPE", siendo la Ing. Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete MSc. tutora del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Willington Israel Moya Caisa
CC. 0550596829



Kevin Alexander Torres Guzmán
CC.1753915782



CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **WILLINGTON ISRAEL MOYA CAISA** identificado con cédula de ciudadanía No.055059682-9 de estado civil soltero , a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD "VIRGEN DE GUADALUPE"**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2021 - Agosto 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 21 de febrero

Tutor: Ing. Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete MSc

Tema: “EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

G) La publicación del trabajo de grado.

- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. – **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de febrero del 2025


Willington Israel Moya Caisa
LA CEDENTE

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.
LA CESIONARIA



CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **KEVIN ALEXANDER TORRES GUZMÁN** identificado con cédula de ciudadanía No.050437758-1 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD "VIRGEN DE GUADALUPE"**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2021 - Agosto 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 21 de febrero

Tutor: Ing. Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete MSc

Tema: “**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

g) La publicación del trabajo de grado.

- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. – **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de febrero del 2025


Kevin Alexander Torres Guzmán
LA CEDENTE.

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.
LA CESIONARI

Latacunga, 21/02/2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: "POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD "VIRGEN DE GUADALUPE"", propuesto por los estudiantes Moya Caisa Willington Israel y Torres Guzmán Kevin Alexander de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete MSc.

C.C. 1313058453

TUTOR

Latacunga, 21/02/2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título "POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE LA COMUNIDAD "VIRGEN DE GUADALUPE", propuesto por los estudiante Moya Caisa Willington Israel y Torres Guzmán Kevin Alexander de la Carrera de Ingeniería hidráulica , me permito indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad Proyectos de Investigación en virtud de lo cual los postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

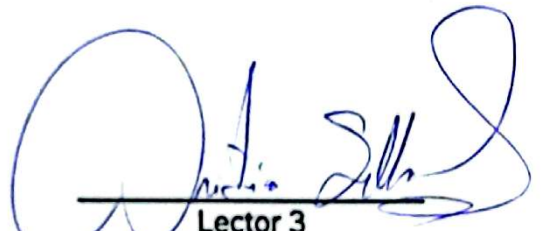
Atentamente,



Lector 1 (presidente)
Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago MSc.
CC: 1313770891



Lector 2
Ing. Herrera Martínez Yadira Araceli MSc.
CC: 0502904857



Lector 3
Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina MSc.
CC:05028476692

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, especialmente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, por su apoyo invaluable en mi proyecto de titulación. También agradezco a la carrera de ingeniería hidráulica por abrirme las puertas y enseñarme todo lo que se. Retribuyo mi Agradezco de manera especial a mi tutora, Ing. Xiomara Zambrano M.SC, por todos los conocimientos enseñados y por la paciencia y la dedicación en enseñar todo lo que se.

Quiero expresar desde lo más profundo de mi corazón mi gratitud infinita a mi familia y novia. Gracias por ser mi refugio, mi fuerza y mi inspiración en cada paso que doy. Su apoyo incondicional, tanto moral como económico, ha sido el cimiento sobre el cual he construido mis sueños.

Willington Moya

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento primero a la virgencita del Quinche quien me ha bendecido para llegar a este nuevo logro. También a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la carrera de Ingeniería Hidráulica por brindarme los conocimientos y experiencias clave en mi formación profesional. Asimismo, extendo un reconocimiento especial a mi tutora, Ing. Xiomara Zambrano, MSc. por su guía, paciencia y dedicación, cuyo compromiso ha dejado una huella imborrable en mi desarrollo académico.

De la misma forma quiero agradecer a mi familia, mamita y a mi papá (José) por ser parte fundamental y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida. Sin su amor, sacrificio y palabras de aliento, este logro no habría sido posible, ya que siempre me motivaron a seguir adelante pesar las dificultades que pasaba, a mis hermanas Domita y Dannita que alegraban los fines de semana cuando regresaba a casa, a mis amigos quienes con su compañía, apoyo y consejos hicieron de este proceso una experiencia muy bonita.

Kevin Torres

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación está dedicado A mis padres, Olga Caisa y Francisco Moya, por su amor incondicional, su esfuerzo y por ser mi mayor ejemplo de vida. Sin ustedes, este logro no sería posible. A mis hermanos, por su apoyo y por estar siempre a mi lado en cada paso del camino.

Y a mi amada novia, por su paciencia, su motivación y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Este triunfo es tan suyo como mío.

Willington Moya

DEDICATORIA

Con mucho esfuerzo, amor dedico este trabajo a mi madre Rocio Guzmán con su sacrificio día a día esto no fuera posible, a mi papa José Guamán por bríndame siempre su apoyo, gracias a sus consejos para hacer de mí una mejor persona, gracias a ellos pude llegar a una nueva meta en mi vida. A mis hermanas por sus alegrías que me daban cuando regresaba a casa A mis abuelitos mamita Etelevina y papa Rafico, con su sabiduría y cariño han sido una fuente constante de inspiración, gracias por sus enseñanzas y por inculcarme valores que me han guiado a cumplir mis metas desde pequeño. A sus historias y consejos que me han dado cuando estaba con ellos además han dejado una huella imborrable en mi vida, los quiero mucho.

A mis amigos, gracias a ellos por apoyarnos en momentos difíciles y complicados en cada tarea o en cada prueba siempre estuvimos para salir adelante. También a una persona muy especial a Monshis que también fue parte fundamental en momentos difíciles que gracias a sus palabras de apoyo y ánimos que me daba en esas noches de desvelo pude llegar a este logro y sin su alegría no sentía que estaba tan solo lejos de mi familia.

Este logro les dedico a cada uno de ustedes quienes han sido parte esencial en mi vida, como en mi formación.

Gracias por todo. :)

Kevin Torres

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPOXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

Título: Potencial Hidroenergético de la Comunidad "Virgen de Guadalupe"

Autores: Moya Willington, Torres Kevin

Resumen

El potencial hidroenergético en la “comunidad Virgen de Guadalupe” ubicada al sur de Latacunga le convierte en áreas de desarrollo de proyectos sostenibles. De esta manera, se diseñó un embalse para alimentación de una turbina para un caudal máximo de $12.27 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal mínimo de $0.0024 \text{ m}^3/\text{s}$ que permitió el cálculo del potencial hidroenergético efectivo de la turbina Turgo de 680.2 Watts; cubriendo los requerimientos de la turbina de 500 Watts. Del mismo modo se definió las condiciones geomorfológicas utilizando herramienta SIG. Así se logró a través de mapeos determinar un nivel de erosión de 1.36 Ton/Ha/año resultando un volumen muerto de 1.07 m^3 .

El Embalse tiene 2.5 m de altura, base de 1.8 m, corona de 0.7 m y una longitud de 5 m, acompañado de dos aletas de 3 m de largo y una la línea de conducción de 147 m y diámetro de 1.5 pulgadas. El aliviadero cuenta con 4 tuberías de 4 pulgadas y un desagüe de fondo con tubería del mismo diámetro. Finalmente, la evaluación económica determinó un costo total de implementación de \$9,407.65 dólares, permitiendo el desarrollo de una infraestructura y garantizando el suministro continuo de energía limpia, beneficiando directamente a 75 familias de la comunidad.

Palabras claves:

Potencial Hidroenergético, Embalse, Turbina, Herramientas SIG, Diseño Viabilidad económica,

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPOXI

FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED SCIENCES

Title: Hydroenergetic Potential of the “Virgen de Guadalupe” Community

Author: Moya Willington, Torres Kevin

Abstract

The hydroelectric potential at "Virgen de Guadalupe" community, located south of Latacunga city, makes it a strategic area for the development of sustainable projects. Thus, a reservoir was designed to supply a turbine with a maximum flow rate of 12.27 m³/s and a minimum flow rate of 0.0024 m³/s, that allowed the calculation of the effective hydroelectric potential of the 680.2-watts Turgo turbine, covering the requirements of the turbine of 500 Watts. The geomorphological conditions were also defined using GIS tools. Through mapping, it was possible to determine an erosion level of 1.36 Ton/Ha/year, resulting in a dead volume of 1.07 m³

The reservoir is 2.5 m high, with a base of 1.8 m, a crown of 0.7 m and a length of 5 m, accompanied by two 3 m long flaps and a 1.5-inch diameter, 147 m long conduction line. The spillway has four 4-inch pipes and a bottom outlet with a pipe of the same diameter. Finally, the economic evaluation determined a total implementation cost of US\$9,407.65, allowing for the development of infrastructure and guaranteeing the continuous supply of clean energy, directly benefiting 75 families in the community.

Key words:

Hydroenergy potential, Reservoir, Turbine, GIS tools, Design Economic feasibility,

ÍNDICE GENERAL

1.	INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
2.1.	PROBLEMA.....	3
2.1.1.	Situación problemática.....	3
2.1.2.	Formulación del problema	4
2.2.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	4
2.2.1.	Objeto de Investigación	4
2.2.2.	Campo de acción.....	4
2.3.	BENEFICIARIOS.....	4
2.3.1.	Directo.....	4
2.3.2.	Indirecto	4
2.4.	JUSTIFICACIÓN	4
2.5.	OBJETIVOS	5
2.5.1.	General.....	5
2.5.2.	Específicos	5
2.5.3.	Sistemas de Tareas	6
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1.	OBRAS HIDRÁULICAS	7
3.2.	TIPOS DE OBRAS HIDRÁULICA.....	7
3.2.1.	Presas y embalses.....	7
3.2.2.	Embalses	8
3.2.3.	Canales.....	8
3.2.4.	Acueductos.....	8
3.2.5.	Sistemas de riego	9
3.2.6.	Plantas de tratamiento de agua.....	9
3.2.7.	Sistema de drenaje	9

3.3.	Tipos de Presas	10
3.3.1.	Presas de relleno de tierra.	10
3.3.2.	Presas de enrocado	10
3.3.3.	Presas de gravedad.....	11
3.3.4.	Presas de contrafuerte.	11
3.3.5.	Presas de arco.....	12
3.3.6.	Diferentes tipos de presas de concreto.....	13
3.4.	ENERGÍA	13
3.4.1.	Energía eléctrica.....	13
3.5.	Tipos de energía eléctrica	14
3.5.1.	Energía solar	14
3.5.2.	Energía Eólica.....	14
3.5.3.	Energía Hidroeléctrica	15
3.5.4.	Energía Geotérmica	15
3.5.5.	Energía Biomasa	16
3.5.6.	Energía Nuclear	16
3.6.	Turbina Hidráulica	17
3.7.	Tipos de turbinas hidráulicas	17
3.7.1.	Turbina de acción.....	17
3.7.2.	Pelton	17
3.7.3.	Turgo.....	18
3.7.4.	Turbinas de reacción	18
3.7.5.	Kaplan.....	19
3.7.6.	Francis.....	19
4.	METODOLOGÍA	19
4.1.	Antecedentes	20
4.2.	ANÁLISIS DEL AREA DE ESTUDIO	21

4.2.1.	Esquema metodológico.....	21
4.2.2.	Lugar de estudio.....	22
4.2.3.	Caudal máximo y mínimo.....	22
4.2.4.	Método volumétrico.....	23
4.2.5.	Ecuación de Manning	23
4.2.6.	Potencial Hidroenergético.....	23
4.2.6.1.	Potencial Hidroenergético Efectivo	24
4.2.7.	Datos Hidrológicos y meteorológicos.....	24
4.2.8.	Parámetros del Suelo y Erosión	25
4.2.9.	Factor de la erosividad de la lluvia (R).....	26
4.2.10.	Factor de erosividad del suelo (K).....	26
4.2.11.	Factor topográfico (Ls)	28
4.2.12.	Factor que depende de la cobertura vegetal (C).....	29
4.2.13.	factor de conservación del suelo (P)	30
4.3.	DISEÑO HIDRAULICO	31
4.3.1.	Cálculo del Embalse	31
4.3.1.1.	Cálculo del volumen muerto.....	31
4.3.1.2.	Coeficiente de entrega de sedimentos.....	31
4.3.1.3.	Coeficiente de bifurcación	31
4.3.1.4.	Factor de retención de sedimentos.....	32
4.3.1.5.	Grado de compactación de sedimentos.....	32
4.3.1.6.	Volumen muerto	33
4.3.2.	Cálculo de volumen del embalse	34
4.3.2.1.	Cálculo del área acumulada	34
4.3.2.2.	Cálculo de volumen Parcial	34
4.3.2.3.	Volumen Acumulado	34
4.3.2.4.	Nivel de operación del embalse	35

4.3.2.5.	Nivel máximo del proyecto.....	35
4.3.3.	Borde libre del agua	36
4.3.3.1.	Altura de olas Método de Stevenson	36
4.3.3.2.	Fetch.....	36
4.3.3.3.	Altura de trepada de la ola	36
4.3.4.	Altura del viento	37
4.3.4.1.	Altura de seguridad	37
4.3.4.2.	Altura del embalse	38
4.3.5.	Cálculo de la base estable	38
4.3.5.1.	Formaleta	38
4.3.6.	Línea de conducción y aliviadero	39
4.3.6.1.	Cálculo del diámetro de la tubería	39
4.3.7.	Cálculo de parámetros hidráulicos.....	40
4.3.7.1.	Número de Reynolds.....	40
4.3.7.2.	Factor fricción.....	41
4.3.7.3.	Pérdida de Carga por fricción	42
4.3.7.4.	Pérdida de Carga por fricción de accesorios.....	42
4.3.7.5.	Cálculo de la presión.....	43
4.3.7.6.	Cálculo de caudal.....	43
4.3.7.7.	Cálculo del Desagüe de fondo Principio de Torricelli.....	43
4.3.7.8.	Velocidad	44
4.3.7.9.	Caudal de un orificio.....	44
4.3.7.10.	Número de Reynolds.....	44
4.3.7.11.	Tiempo De Vaciado	45
4.3.8.	Análisis de viabilidad socioeconómico económico	45
4.3.8.1.	Cámara de Construcción.....	45
4.3.8.2.	Cámara de Construcción de Guayaquil.....	45

4.3.8.3.	Precios Unitarios	45
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	46
5.1.	Caudal máximo y mínimo.....	46
5.2.	Potencial Hidroenergético.....	46
5.3.	Datos Hidrológicos y Meteorológicos	47
5.4.	Parámetros del suelo y erosión	47
5.5.	Parámetro Hidráulicos (Cálculo del Embalse).....	48
5.5.1.	Nivel muerto	48
5.6.	Cálculo del volumen del embalse	49
5.7.	Nivel de operación en el Embalse.....	49
5.8.	Nivel máximo del proyecto.....	50
5.9.	Borde libre del agua	50
5.10.	Altura del viento y seguridad.....	51
5.11.	Altura del embalse	52
5.12.	Cálculo de la base del Embalse.....	52
5.13.	Línea de conducción	52
5.14.	Cálculo del aliviadero	53
5.15.	Cálculo de desagüe de fondo (Principio de Torricelli)	54
5.16.	Viabilidad Económica.....	54
6.	CONCLUSIONES	56
7.	RECOMENDACIONES.....	57
8.	REFERENCIAS.....	58
9.	ANEXOS	66

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación método volumétrico (4. 1).....	23
Ecuación Manning. (4. 2).....	23
Ecuación Potencial Hidroenergético. (4. 3).....	24
Ecuación Potencial Hidroenergético efectivo. (4. 4).....	24
Ecuación Tasa de erosión.(4. 5).....	25
Ecuación Factor de erosividad de lluvia. (4. 6).....	26
Ecuación Factor de erosividad del suelo (Kusle). (4. 7).....	26
Ecuación Factor de erosividad del suelo K (Sand). (4. 8).....	26
Ecuación Factor de erosividad del suelo (cl-si). (4. 9).....	26
Ecuación Factor de erosividad del suelo (Forg). (4. 10).....	26
Ecuación Factor de erosividad del suelo (Hinsad). (4. 11).....	27
Ecuación Factor L. (4. 12).....	28
Ecuación Factor Topográfico (m). (4. 13).....	28
Ecuación Factor Topográfico (f). (4. 14).....	28
Ecuación Coeficiente de entrega de sedimentos. (4. 15).....	31
Ecuación Coeficiente de Bifurcación. (4. 16).....	32
Ecuación Relación de Bifurcación. (4. 17).....	32
Ecuación Factor de retención de sedimentos. (4. 18).....	32
Ecuación Grado de compactación de sedimento. (4. 19).....	33
Ecuación Volumen muerto. (4. 20).....	33
Ecuación Peso de erosión. (4. 21).....	33
Ecuación Área acumulada. (4. 22).....	34
Ecuación Volumen Parcial. (4. 23).....	34
Ecuación Volumen acumulado. (4. 24).....	35
Ecuación Nivel de Operación del Embalse. (4. 25).....	35

Ecuación Nivel máximo del proyecto. (4. 26)	35
Ecuación Borde libre del agua. (4. 27)	36
Ecuación Altura de olas método de Stevenson. (4. 28)	36
Ecuación Fetch. (4. 29)	36
Ecuación Fetch (cos(f)). (4. 30)	36
Ecuación Altura de trepada de ola. (4. 31).....	37
Ecuación Altura del viento. (4. 32).....	37
Ecuación Altura del Embalse. (4. 33)	38
Ecuación Base estable del Embalse. (4. 34)	38
Ecuación Formaleta. (4. 35).....	38
Ecuación Velocidad de la Tubería. (4. 36)	39
Ecuación Velocidad tubería Hazen Williams. (4. 37).....	39
Ecuación Diámetro. (4. 38).....	39
Ecuación Número de Reynolds. (4. 39).....	40
Ecuación Factor de Fricción. (4. 40).....	41
Ecuación Pérdida de Carga por fricción. (4. 41).....	42
Ecuación Pérdida de carga de fricción de accesorios. (4. 42).....	42
Ecuación Cálculo de Presión. (4. 43).....	43
Ecuación Cálculo de caudal. (4. 44)	43
Ecuación Velocidad del flujo. (4. 45)	44
Ecuación altura del volumen del agua. (4. 46).....	44
Ecuación Caudal de orificio. (4. 47)	44
Ecuación Reynolds. (4. 48).....	44
Ecuación Tiempo de vaciado. (4. 49)	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.3. 1 Presa Hidráulica [15]	7
Figura.3.2 Embalse. [17].....	8
Figura.3. 3 canal. [20]	8
Figura.3. 4 Planta de tratamiento de agua potable. [24]	9
Figura.3. 5 Sistema de drenaje[26]	10
Figura.3. 6 Presa relleno de tierra [27]	10
Figura.3.7 Presa de gravedad[27]	11
Figura.3. 8 Presa de contrafuerte.[27].....	12
Figura.3.9 Bóveda o arco de doble curvatura.[27].....	12
Figura.3. 10Arco o arco-gravedad. [27].....	12
Figura.3.11 Otras presas de concreto.[27]	13
Figura.3. 12 Energía solar.[33]	14
Figura.3.13 Parque Eólico. [34]	15
Figura.3.14 Central Hidroeléctrica.[35].....	15
Figura.3.15 Energía geotérmica.[38]	16
Figura.3.16 Turbina Pelton. [43].....	18
Figura.3.17 Rodete Turgo.[44]	18
Figura.3. 18 Turbina Kaplan. [41]	19
Figura.3.19 Turbina Francis.[41]	19
Figura.4.1 Esquema metodológico.....	21
Figura.4.2 Área de Estudio	22
Figura.4.3 Mapa de Erosión.....	25
Figura.4.4 Mapa de suelo del fao.....	27
Figura.4. 5 Factor Topográfico (Ls)	29
Figura.4.6 Factor C	30

Figura.4.7 Parámetro de la formaleta [27]	39
Figura.4. 8 Viscosidad Cinemática[71]	41
Figura.4. 9 Coeficiente de descarga.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.4. 1 Coordenadas de ubicación	22
Tabla.4. 2 Porcentajes de suelo [57]	27
Tabla.4. 3 Clasificación De Los Valores Ndvi[58].....	29
Tabla.4. 4 Factor P[59]	30
Tabla.4 5. Pesos específicos iniciales del sedimento (Criterio de Miller)[63]	33
Tabla.4. 6 Altura de seguridad según el nivel del Embalse	37
Tabla.4. 7 Factor de Rugosidad absoluta del material [73]	41
Tabla.5. 1 Resultado Del Caudal Mínimo Y Máximo.....	46
Tabla.5. 2 Resultados del Potencial Hidroenergético	47
Tabla.5. 3 Datos Hidrológicos y Meteorológicos	47
Tabla.5. 4 Tabla de resultados	47
Tabla.5. 5 Parámetros nivel muerto	48
Tabla.5. 6 Cálculo de volúmenes	49
Tabla.5. 7 Niveles de operación del Embalse	49
Tabla.5. 8 Nivel máxima del proyecto.....	50
Tabla.5. 9 Fetch.....	50
Tabla.5. 10 Parámetros del borde libre agua.....	51
Tabla.5. 11 Alturas del viento y seguridad	51
Tabla.5. 12 Altura del Embalse.....	52
Tabla.5. 13 Resultados del embalse	52
Tabla.5. 14 Línea de conducción y aliviadero	53
Tabla.5. 15 Resultados del cálculo del aliviadero.....	53
Tabla.5. 16 Resultados de desagüe de fondo	54
Tabla.5. 17 Viabilidad Económica del proyecto.....	55

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Potencial Hidroenergético de la comunidad “Virgen de Guadalupe”

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

Carrera: Hidráulica

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Gestión y uso del agua: Soluciones para comunidades de la zona 3

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Torres Guzmán Kevin Alexander, Moya Caisa Willington Israel, Ing. Xiomara Zambrano Msc.

Área de Conocimiento:

Tabla 1 1 Área de conocimiento del UNESCO

33	Ciencias	3305 Tecnología de la	3305.07 Presas
	Tecnológicas	Construcción	
			3305.15 Ingeniería Hidráulica

Línea de investigación:

Meteorología, Hidrología, Mecánica de fluidos, Sistemas y Obras Hidráulicas.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Gestión y manejo sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

2. INTRODUCCIÓN

La producción de energía hidroeléctrica a baja escala es una actividad de gran relevancia en el mundo[1] y se ha llevado a cabo más de dos siglos.[2] Estudios previos realizados por la Comunidad hidrológica han evaluado el potencial hidroeléctrico mundial utilizando diferencias de elevación ponderadas por esorrentía y basadas en datos hidrológicos de descarga de baja resolución.[3] Ecuador es un pequeño país andino ubicado en la región occidental de América del Sur. El recurso hídrico superficial es de 361.747 hm³ al año. Por tanto, Ecuador en los últimos quince años, viene produciendo proyectos hidroeléctricos a partir de esta fuente renovable indispensable.[4] La utilización del potencial hidroenergético se lleva a cabo mediante una metodología integral que ayuda a optimizar la eficiencia energética y el aprovechamiento de los recursos hídricos en la conversión de energía hidráulica en energía eléctrica.[5]

Las plantas hidroeléctricas suelen localizarse en lugares en el cual existe una combinación adecuadas precipitaciones y características geológicas favorables para la edificación de las represas. La energía hidráulica se genera a partir de la energía potencial y cinética de las corrientes de agua que transportan los ríos, alimentados por la lluvia y el deshielo. Esto se logra haciendo que el agua, al caer entre dos niveles del cauce, pase por una turbina hidráulica que transfiere la energía a un alternador que la convierte en energía eléctrica.[6] Asimismo, se sugiere la construcción de micro presas, ya que su impacto en el entorno es considerablemente menor, pues no necesitan áreas tan grandes ni desvíos de ríos y escurrimientos naturales, además de que su efecto sobre la biodiversidad es mucho más reducido.[7] La tecnología de las minicentrales hidráulicas se considera la forma más ecológica de generar electricidad, según lo indicado por la Agrupación de Organizaciones de Energías Renovables (APPA), basándose en los análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizados para diferentes tecnologías. [8]

Tanto la Agencia Internacional de Energía (AIE) como el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) abogan por una modelización más detallada que pueda evaluar con precisión la flexibilidad de la energía hidroeléctrica. Las representaciones hidroeléctricas demasiado simplificadas implican que la energía hidroeléctrica puede operar continuamente a máxima producción mientras haya agua disponible en los embalses.[9] La provincia de Cotopaxi, situada en la región central de la Sierra ecuatoriana, se caracteriza por su topografía montañosa ofrece un considerable potencial para proyectos hidroeléctricos de pequeña y mediana escala. La proyección de la demanda energética es un componente clave para la

planificación de la expansión de los sistemas eléctricos de distribución, permitiendo la formulación de soluciones óptimas y la orientación táctica y estratégica de futuras inversiones. [10] Esto significa valorar el potencial de energía hidroeléctrica utilizando normativas y fórmulas de la ingeniería de plantas hidroeléctricas, además de examinar los resultados a través de la estadística descriptiva. [8]

El proyecto denominado Potencial hidroenergético en la comunidad Virgen de Guadalupe incluye una evaluación técnica, basada en el diseño de la estructura de la central. Donde se evalúa la sostenibilidad y viabilidad económica del proyecto. Según los relatos y estudios mencionados sobre Ecuador, se cuenta con la ventaja de la geografía y los recursos hídricos, lo que hace necesario implementar métodos de análisis y diseño de sistemas energéticos que se centren en el aprovechamiento de la energía renovable.[11] Además, para avanzar en el progreso y el desarrollo de comunidades rurales es prioritario el acceso a una fuente de energía limpia y sustentable, renovable no contaminante y respetuosa con el medio ambiente.[12] El análisis anterior es posible gracias a la evaluación técnica, basada en el diseño de la estructura de la central, y la parte económica que afectara al sector.

2.1. PROBLEMA

2.1.1. Situación problemática

Los moradores de la comunidad que se encuentran en lugares muy alejadas de las zonas urbanas hacen que tenga un difícil acceso de un servicio básico como la electricidad. Así mismo esta situación se debe a múltiples factores, como la falta de infraestructura adecuada, la distancia geográfica con respecto a los centros urbanos y la ausencia de políticas públicas efectivas para el desarrollo de redes eléctricas en regiones rural.

Como consecuencia, muchas de estas comunidades se ven obligadas a utilizar alternativas, como lámparas de queroseno o generadores que funcionan con combustibles fósiles. Sin embargo, estas soluciones suelen ser caras, poco eficientes y, además, perjudican al medio ambiente.

Como resultado, muchas de estas comunidades tienen que buscar soluciones alternativas, como usar lámparas de queroseno o generadores de combustible fósil. Sin embargo, estas opciones suelen ser caras, ineficientes y además generan un impacto negativo en el medio ambiente.

En la comunidad “Virgen de Guadalupe” existe la problemática que los moradores tienen desconocimiento del aprovechamiento del agua para generar energía, esto afecta a la calidad de vida de las personas que se encuentran en zonas que no tienen electricidad.

2.1.2. Formulación del problema

Aprovechamiento insuficiente del recurso hídrico proveniente de un desarenador, afectando la posibilidad de utilizar la energía potencial del agua, derivada de su altura, para generar energía eléctrica.

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de Investigación

Potencial Hidroenergético.

2.2.2. Campo de acción

Tabla 1. 2 Campo de acción del UNESCO

3305 Tecnología de la Construcción.	
3305.07	Presas.
3305.15	Ingeniería Hidráulica.

2.3. BENEFICIARIOS

2.3.1. Directo

La comunidad Virgen de Guadalupe de la ciudad de Latacunga Parroquia Juan Montalvo.

2.3.2. Indirecto

Comunidad científica en general.

2.4. JUSTIFICACIÓN

El proyecto "Potencial hidroenergético en la comunidad Virgen de Guadalupe" surge como respuesta a una oportunidad no aprovechada que es a la electricidad. Actualmente, los comuneros identificaron un desperdicio hídrico en el desarenador de la hidroeléctrica Illuchi existente, lo cual representa una pérdida de recurso con potencial energético significativo.

Este proyecto busca diseñar un embalse para alimentar una turbina ya instalada, aprovechando el caudal desperdiciado para generar electricidad de manera sostenible. Este enfoque no solo optimiza el uso del recurso hídrico existente, sino que también contribuye al desarrollo socioeconómico de la comunidad, proporcionando una fuente de energía renovable y reduciendo la dependencia de fuentes externas.

En definitiva, este proyecto pretende transformar una situación de pérdida en una oportunidad para el beneficio colectivo, garantizando un suministro eléctrico eficiente y sostenible para los habitantes de la comunidad “Virgen de Guadalupe”.

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. General

Analizar el potencial Hidroenergético de la comunidad “Virgen de Guadalupe”.

2.5.2. Específicos

Evaluar la disponibilidad hídrica en el área de estudio utilizando métodos adecuados para la medición del caudal en la estructura de captación y la caracterización hidrológica, determinando de esta manera el potencial hidroenergético disponible para la generación eléctrica.

Analizar las condiciones geomorfológicas de la zona de estudio mediante el uso de SIG generando mapas de erosión y tipo de suelo.

Diseñar la infraestructura hidráulica del sistema hidroenergético desde la captación en el embalse hasta la turbina existente, incluyendo el canal de restitución al cauce principal.

2.5.3. Sistemas de Tareas

Tabla 2 1 Sistema de tareas

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados	Técnicas, medios e instrumentos
<p>Evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca de aporte mediante la delimitación de su área, la medición del caudal en la estructura de captación y la caracterización hidrológica, determinando de esta manera el potencial hidroenergético disponible para la generación eléctrica</p>	<p>-Aforamiento de caudales, provenientes del desarenador para obtener el caudal máximo y mínimo. -Cálculo del potencial hidroenergético.</p>	<p>-Obtención y Registro de datos del caudal máximo y mínimo provenientes del desarenador hacia el embalse. -Determinación del potencial hidroenergético basándonos en la recolección de datos obtenidos.</p>	<p>-Método volumétrico: Balde y cronómetro para mediciones precisas. -Herramientas (Excel) de registro de datos métodos y ecuaciones de acuerdo al tema.</p>
<p>Analizar las condiciones geomorfológicas de la zona de estudio mediante el uso de SIG generando mapas de erosión y tipo de suelo.</p>	<p>-Uso de información geográfica para la generación de mapas de erosión y tipo de suelo, utilizando DEM e información de la Fao.</p>	<p>-Determinación de la erosión, tipo de suelo y nivel muerto del embalse.</p>	<p>Herramienta de registro de datos, métodos, ecuaciones y SIG.</p>

Diseñar la infraestructura hidráulica del sistema hidroenergético desde la captación en el embalse hasta la turbina existente, incluyendo el canal de restitución al cauce principal.	Cálculo del Embalse (volumen muerto, borde libre del agua, altura total, corona, base, aliviadero y desagüe de fondo), Cálculo de la línea de conducción, canal de restitución y viabilidad económica.	Diseño total del Embalse, diámetro de (línea de conducción, desagüe de fondo y aliviadero) además el cálculo de pérdidas de carga, tiempo de vaciado del embalse y costo total del proyecto	Herramientas: (Excel, AutoCAD, Civil3D) registro de datos, métodos y ecuaciones
---	--	---	--

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. OBRAS HIDRÁULICAS

Las estructuras hidráulicas son edificaciones diseñadas para captar, extraer, desalinizar, almacenar, regular, conducir, controlar y aprovechar el recurso del agua. En su elaboración, es necesario tener en cuenta parámetros y criterios de naturaleza hidrológica e hidráulica.[13]

3.2. TIPOS DE OBRAS HIDRÁULICA

3.2.1. Presas y embalses

Una presa o represa es una barrera construida para retener, almacenar y controlar el flujo del cauce agua de un río natural o artificial. Generalmente, se construyen en ríos o cursos de agua para cumplir funciones como generación de energía, suministro de agua, riego agrícola, control de inundaciones, navegación o recreación.[14]



Figura.3. 1 Presa Hidráulica [15]

3.2.2. Embalses

Gran reservorio creado de manera artificial, generalmente al bloquear la entrada de un valle con un dique o presa, donde se acumulan las aguas de un río o arroyo para ser utilizadas en el riego de tierras, el suministro de agua a comunidades y la generación de energía eléctrica.[16]

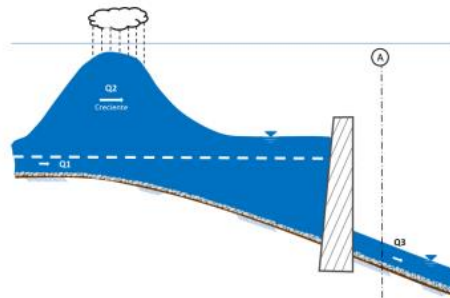


Figura.3.2 Embalse. [17]

3.2.3. Canales

Los canales hidráulicos son esenciales en la infraestructura de recursos hídricos, ya que tienen un papel vital en la administración del agua para distintas finalidades, que van desde el abastecimiento de agua potable hasta la producción de energía hidroeléctrica.[18]

Un canal es un conducto que tiene una superficie libre y está sujeto a la presión del aire. Como la presión manométrica es nula, la superficie libre se alinea con la línea de gradiente hidráulico.[19]

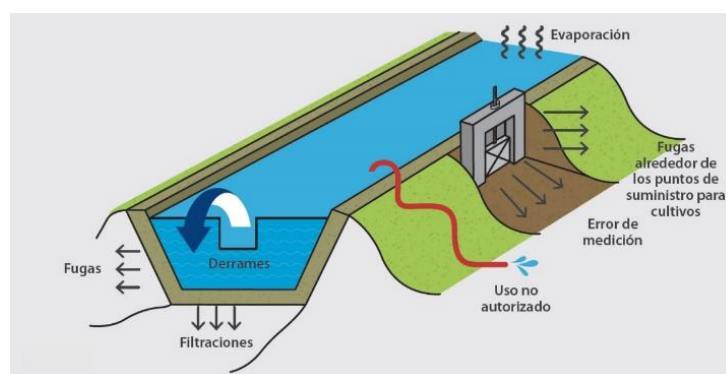


Figura.3. 3 canal. [20]

3.2.4. Acueductos

Un acueducto es una estructura que transporta agua a través de un canal elevado sobre un puente, diseñado para soportar el peso del agua y su propia carga, permitiendo también el paso

sobre una carretera o al cruzar una hondonada o un río poco profundo. Se trata de una edificación destinada a la conducción de agua para superar un desnivel.

3.2.5. Sistemas de riego

Se conoce como Sistema de riego al vinculado a las estructuras que permiten que un área específica sea cultivada al aplicar el agua necesaria a las plantas. Este sistema está compuesto por varios elementos, aunque no es obligatorio que incluya todos ellos, ya que la combinación de componentes dependerá de si se utiliza riego superficial (principalmente en su modalidad de riego por inundación), riego por aspersión o riego por goteo.[21]

Un sistema de riego tiene como finalidad principal cubrir las necesidades de agua de los cultivos, en el momento oportuno y con la cantidad requerida de manera eficaz y uniforme, es decir, que la mayor parte del agua se conserve en la zona radicular para el uso del cultivo.[22]

3.2.6. Plantas de tratamiento de agua

El tratamiento de aguas consiste en una serie de procesos unitarios de naturaleza física, química o biológica que tienen como objetivo la eliminación o disminución de la contaminación o de las características no deseadas en las aguas, ya sean naturales, de suministro, de proceso o residuales.[23]



Figura.3. 4 Planta de tratamiento de agua potable. [23]

3.2.7. Sistema de drenaje

El sistema de drenaje, conocido también como red de saneamiento, es una estructura creada para recoger y eliminar aguas pluviales y residuales, previniendo estancamientos e inundaciones. Estos sistemas son fundamentales para garantizar la salud pública y el equilibrio del agua.[24]



Figura.3. 5 Sistema de drenaje[25]

3.3. Tipos de Presas

Los embalses de relleno pueden ser de diversas clases, dependiendo de la manera en que se utilicen los materiales disponibles. La clasificación preliminar de relleno de tierra o de rocas proporciona un fundamento útil para analizar las principales alternativas que se utilizan.[26]

Cada represa es una construcción singular. Sin importar su dimensión y clase, su reacción ante las cargas y su interacción con la hidrología y geología del lugar es altamente compleja.[26]

3.3.1. Presas de relleno de tierra.

Una presa se considera de relleno de tierra cuando los suelos compactados representan más del 50% del volumen total del material utilizado. Este tipo de presa se elabora fundamentalmente con suelos elegidos con esmero para cumplir con los requisitos de ingeniería, los cuales son compactados de manera uniforme y rigurosa en capas delgadas, con un nivel de humedad regulado.[26]

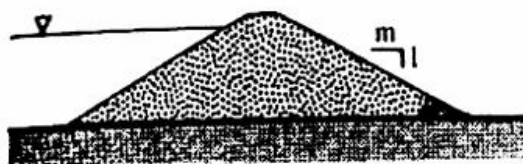


Figura.3. 6 Presa relleno de tierra [26]

3.3.2. Presas de enrocado

La categoría de presas de enrocado comprende un componente impenetrable que puede ser de relleno de tierra compactada, hormigón delgado o una membrana bituminosa. Se considera

adecuadamente como “presa de enrocado” si más del 50% del material de relleno se puede clasificar como roca, lo que implica que es material friccional de granulometría gruesa. La norma actual es utilizar un enrocado bien graduado, con alta compactación en capas delgadas, mediante el uso de maquinaria pesada. Por lo tanto, el proceso de construcción es, en esencia, similar al de una presa de relleno de tierra.[26]

3.3.3. Presas de gravedad.

Una presa de gravedad se basa completamente en su propio peso para mantener su inmovilidad. Tiene forma esencialmente triangular, siguiendo la geometría mostrada en el esquema de la figura (3.7), con el fin de garantizar la estabilidad y prevenir esfuerzos excesivos en la presa o en su cimentación. Algunas presas de gravedad tienen una ligera curvatura por motivos estéticos u otros, sin depender de la acción del arco para su estabilidad. Cuando se incorpora intencionalmente un pequeño grado de acción en el diseño, permitiendo un perfil más delgado, se debe utilizar el término presa de gravedad. [26]

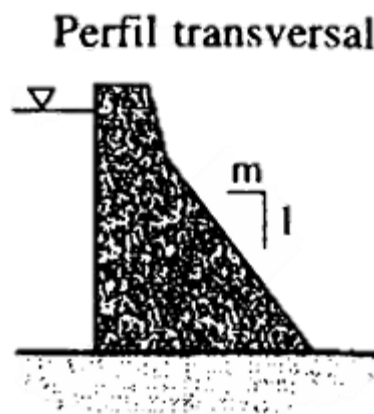


Figura.3.7 Presa de gravedad[26]

3.3.4. Presas de contrafuerte.

El principio estructural de las presas de contrafuerte se basa en un muro continuo en la parte superior que es sostenido a intervalos regulares por un contrafuerte en la parte inferior. Las presas de contrafuerte macizo o de cabeza sólida, como se muestra en la figura (3.8), son las versiones contemporáneas más destacadas de este tipo y, con fines conceptuales, pueden verse como una versión simplificada de la presa de gravedad. [26]

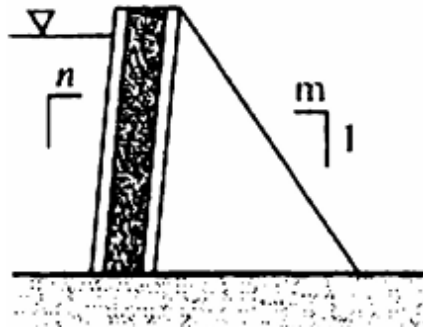


Figura.3. 8 Presa de contrafuerte.[26]

3.3.5. Presas de arco

Las presas de arco poseen una notable curvatura en su parte superior. Estructuralmente, funcionan como un arco horizontal, canalizando la mayor parte del peso del agua hacia los estribos o las laderas del valle, en lugar de hacia el fondo del valle. Un arco sencillo, caracterizado únicamente por su curvatura horizontal y un radio constante en la parte superior, se ilustra en la figura (3.10). Desde un punto de vista estructural, es más eficaz que las presas de gravedad o las de contrafuerte, ya que reduce significativamente la cantidad de concreto necesario. Una variante específica de la presa de bóveda o arco de doble curvatura, como se muestra en la figura (3.11). Esta presa utiliza curvaturas complejas en ambos planos, el vertical y el horizontal. Se considera la más avanzada de las presas de concreto y su diseño esencialmente se asemeja a un domo o concha, lo que resulta en un uso muy eficiente del concreto. La estabilidad de los apoyos es crucial para la integridad estructural y la seguridad, tanto de la bóveda como del arco simple.[26]

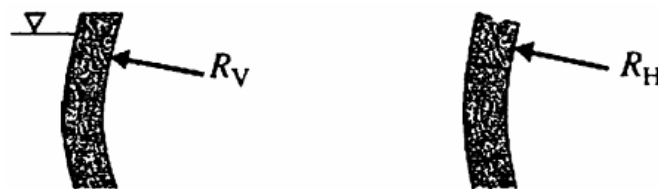


Figura.3.9 Bóveda o arco de doble curvatura.[26]

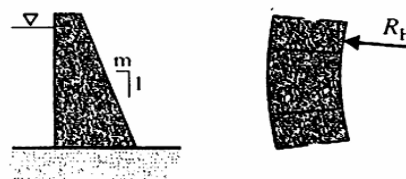


Figura.3. 10Arco o arco-gravedad. [26]

3.3.6. Diferentes tipos de presas de concreto.

Se exhibe un considerable número de cambios menos frecuentes de las características principales de presas de concreto en la figura (3.11), entre las que se agregan la presa de gravedad aligerada, el contrafuerte con cubierta, el arco múltiple y las bóvedas múltiples. Los nombres son auto explicativos, y su relación estructural como derivaciones de otros tipos primordiales se puede observar en las figuras. Dado esto y su relativa escasez, no se abordarán estas variantes en este texto.[26]

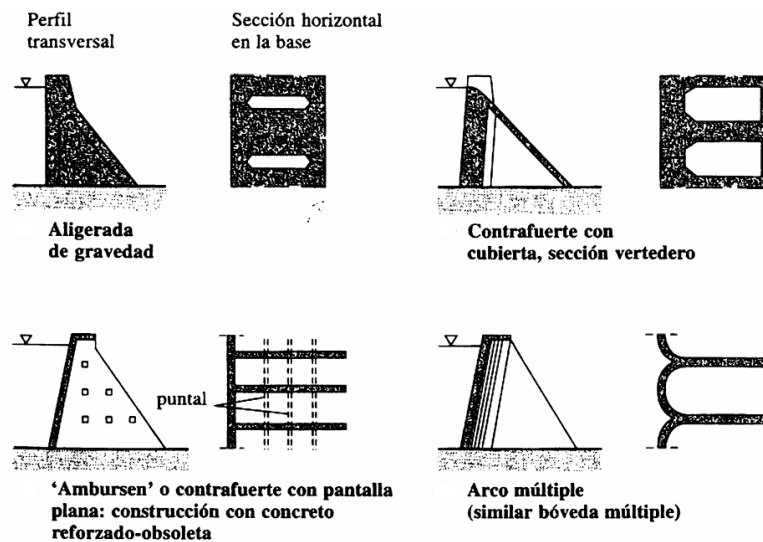


Figura.3.11 Otras presas de concreto.[26]

3.4. ENERGÍA

La energía se define como la habilidad de los cuerpos para llevar a cabo un trabajo y provocar alteraciones en sí mismos o en otros cuerpos. En otras palabras, la energía es la facultad de hacer que las cosas funcionen. La medida que empleamos para medir la energía es el Joule (J).[27]

Es todo lo que puede generar o crear un trabajo. Se refiere a la habilidad que tiene el elemento para generar calor, trabajo en forma de movimiento, luz, crecimiento entre otros. Por materia se comprende cualquier entidad sólida, líquida o gaseosa existente.[28]

3.4.1. Energía eléctrica.

La energía eléctrica se vincula a la corriente eléctrica. En otras palabras, en un circuito donde cada extremo presenta una diferencia de potencial distinta.[27] La electricidad constituye una de las modalidades de energía que hoy en día se emplean en la producción, en los hogares, en

el comercio y en los medios de transporte. Se distingue por su capacidad de control, su adaptabilidad y su carácter limpio, especialmente en el lugar de uso.[29]

La electricidad empleada para la corriente eléctrica, como la energía de la pared manejada para encender un foco o un ordenador, es energía que se transforma a partir de energía potencial eléctrica. Esta energía potencial se transforma en otro tipo de energía (calor, luz, energía mecánica, etc.). En una empresa de servicios públicos, el desplazamiento de los electrones a través de un cable genera el potencial eléctrico y la corriente.[30]

3.5. Tipos de energía eléctrica

3.5.1. Energía solar

La energía solar presenta características específicas clave que la diferencian de las fuentes de energía convencionales: dispersión e intermitencia. Es evidente que la energía solar es un tipo de energía con una gran dispersión, puesto que su densidad, en condiciones ideales, raramente alcanza 1 kW/m^2 , un nivel que se encuentra bastante por debajo de las densidades comúnmente empleadas en ingeniería. Esto significa que para alcanzar altas densidades energéticas se necesitan, ya sea grandes zonas de captación o sistemas que concentren los rayos solares.[31]

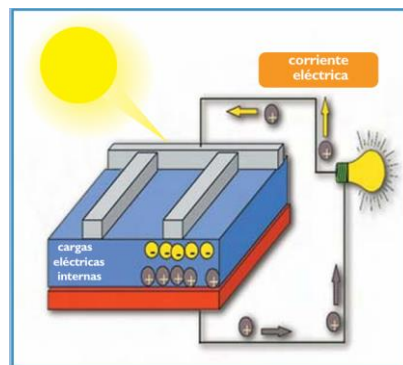


Figura.3. 12 Energía solar.[32]

3.5.2. Energía Eólica

La energía eólica constituye una fuente renovable que se genera mediante los aerogeneradores o turbinas eólicas, aprovechando la fuerza del viento para transformar la energía cinética del mismo en electricidad. Se considera la más eficiente de todas las energías renovables, con un impacto ambiental bastante bajo en comparación con otras fuentes de energía.[33]



Figura.3.13 Parque Eólico. [33]

3.5.3. Energía Hidroeléctrica

La energía hidráulica, conocida también como energía hidroeléctrica, es una fuente sustentable que utiliza el movimiento del recurso hídrico para generar electricidad mediante la energía cinética de las corrientes o caídas del líquido vital. Este tipo de energía se obtiene del agua almacenada en embalses situados en regiones por donde fluyen ríos, los cuales nos ofrecen la energía eléctrica que requerimos en nuestra vida cotidiana.[34]

Es crucial no confundir la energía hidráulica con la energía mareomotriz, puesto que, aunque ambas utilizan el movimiento del agua para producir electricidad, la energía mareomotriz se considera un tipo de energía renovable que se origina por el ascenso y descenso de las mareas.[34]



Figura.3.14 Central Hidroeléctrica.[34]

3.5.4. Energía Geotérmica

El calor representa una forma de energía, mientras que la energía geotérmica se refiere al calor que se encuentra en la zona interna de la Tierra y que provoca fenómenos geológicos a nivel planetario. El concepto de energía geotérmica se emplea frecuentemente para designar la parte del calor terrestre que es posible o podría ser recuperada y aprovechada por los seres humanos. En este contexto, usaremos este término.[35]

Debido a todos estos inconvenientes energéticos, la sociedad intenta encontrar maneras de mitigar el impacto ambiental que está ocurriendo. Para lograrlo, se continúa investigando nuevos orígenes de energías renovables no contaminantes y se implementan las que ya están disponibles, tales como: energía solar fotovoltaica, energía solar térmica, energía termoeléctrica, eólica, hidráulica, biomasa, entre otras.[36]



Figura.3.15 Energía geotérmica.[37]

3.5.5. Energía Biomasa

La biomasa comprende un conjunto diverso de materiales orgánicos, ya sea por su origen o por su ambiente. En el ámbito energético, se utiliza el término biomasa para referirse a una fuente de energía renovable que se basa en el uso de materia orgánica que ha sido formada biológicamente en un pasado reciente o en los productos que de ella derivan. La materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales y en los lodos de las plantas de tratamiento también se clasifica como biomasa, al igual que la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), aunque debido a las características particulares de estos residuos, a menudo se consideran como un grupo distinto.[38]

3.5.6. Energía Nuclear

La energía nuclear se relaciona con la energía que reside en el núcleo de un átomo. Los átomos son las unidades mínimas en las que un elemento químico puede dividirse sin que se alteren sus propiedades. Dentro del núcleo de cada átomo hay dos tipos de partículas: neutrones y protones, que se mantienen juntos. La energía nuclear es la que une a los neutrones y protones.[39]

La energía nuclear puede ser utilizada para generar electricidad. Sin embargo, primero es necesario liberar la corriente. Esta energía puede ser obtenida de dos maneras: a través de la fusión nuclear y la fisión nuclear. En el caso de la unión nuclear, la energía se libera cuando los núcleos de los átomos se unen o fusionan para formar un núcleo más grande, similar a cómo el sol genera energía. Por otro lado, en la fisión nuclear, los núcleos se rompen para formar

núcleos más pequeños, lo que también suelta energía, las plantas nucleares utilizan la fisión nuclear para producir electricidad.[39]

3.6. Turbina Hidráulica

Una máquina hidráulica es un artefacto que tiene la capacidad de transformar energía hidráulica a mecánica; estas pueden ser motrices (turbinas) o generatrices (bombas), alterando la energía total del flujo de agua que las atraviesa. El agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira en torno a su eje de simetría; este mecanismo cuenta con una o varias ruedas (rodetes o rotores) equipadas con álabes, de manera que entre ellas hay espacios libres o canales por los cuales fluye el agua.[40]

3.7. Tipos de turbinas hidráulicas

3.7.1. Turbina de acción

Las turbinas de acción se distinguen por presentar un valor de reacción igual a cero. En este tipo de turbinas, la conversión de energía potencial en energía cinética ocurre en los elementos fijos que preceden al rodete, como inyectores o toberas. Así, el rodete solo recibe energía cinética, y la presión de entrada y salida de los álabes es idéntica, coincidiendo con la presión atmosférica. Las turbinas de acción más reconocidas son la turbina Pelton y la Turgo.[41]

3.7.2. Pelton

La turbina de Pelton fue creada aproximadamente en 1880 por Lester Pelton, quien posteriormente le dio su nombre. Así, la forma más habitual de este tipo de máquinas es la turbina Pelton.[42]

El chorro se genera a través de una tobera fija de forma cónica, conocida como inyector. Este inyector cuenta con una espiga central simétrica que puede desplazarse axialmente, lo que permite controlar el área de paso. En la ilustración se puede observar cómo cada una de ellas es activada por una palanca. Se utiliza para ajustar la carga de la turbina. El inyector dirige la corriente de manera tangencial al rotor, produciendo la deflexión del chorro sin que se presente una variación global significativa en el radio y en un plano paralelo al eje del rotor, el cual incluye el eje del inyector.[42]

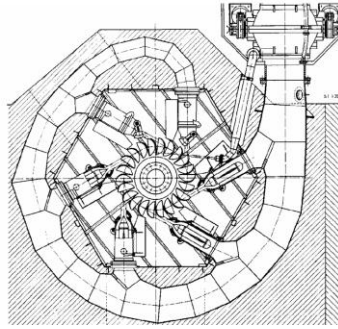


Figura.3.16 Turbina Pelton. [42]

3.7.3. Turgo

La turbina Turgo es un tipo de generador de acción. Es parecida a la turbina Pelton, aunque sus álabes poseen una configuración y forma diferentes. El chorro impacta en un ángulo de 20 grados con relación al plano diametralmente del rodete, ingresando por un lado del disco diametral y saliendo por el opuesto. Esta turbina puede operar en fuentes hídricas con alturas netas equivalentes que oscilan entre 15 y 300 m.[43]

A diferencia de las turbinas Pelton, el diseño de la turbina Turgo permite que el chorro de agua golpee varias cucharas o cazoletas al mismo tiempo, similar a lo que ocurre con el fluido en una turbina de vapor de Laval (Figura 3.17). Dado que la interacción entre el chorro de salida y el de entrada es menor que en las turbinas Pelton, al comparar turbinas del mismo diámetro de rodete, la turbina Turgo puede manejar un caudal de diseño casi el doble que el de una turbina Pelton. Por lo tanto, la potencia en el eje también es aproximadamente el doble. Esta es una de las razones por las que las turbinas Turgo son muy manejadas en micro centrales.[43]

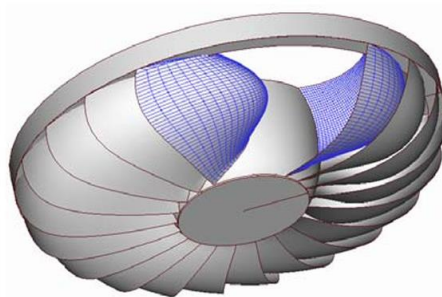


Figura.3.17 Rodete Turgo.[43]

3.7.4. Turbinas de reacción

Se denomina así a las turbinas que tienen un grado de reacción diferente de cero, y una turbina de reacción pura se caracteriza por transformar completamente la energía potencial en cinética dentro del rodete, que en este caso únicamente recibe energía potencial. La influencia al ingreso

es mayor que la presión al egreso del fluido. Las turbinas de reacción más importantes como las Francis y Kaplan.[41]

3.7.5. Kaplan

La turbina Kaplan (fig. 3.18) presenta palas en forma de hélice; se utiliza en caídas de baja altura, logrando con ella altos niveles de eficiencia, y las palas son ajustables, lo que permite un paso variable. Si las palas son fijas, se conocen como turbinas de hélice.[40]

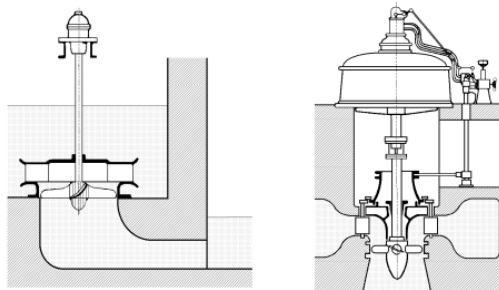


Figura.3. 18 Turbina Kaplan. [40]

3.7.6. Francis

La turbina Francis (Fig. 3.19) tiene un diseño radial centrípeto y cuenta con un tubo de aspiración. Su rodete es de fácil acceso, lo que la hace bastante práctica. Se puede regular con facilidad y opera a altas revoluciones; es el modelo más utilizado, sirviendo en alturas variables que van desde 0,5 m hasta 180 m. Puede clasificarse como lenta, normal, rápida o extra rápida.[40]

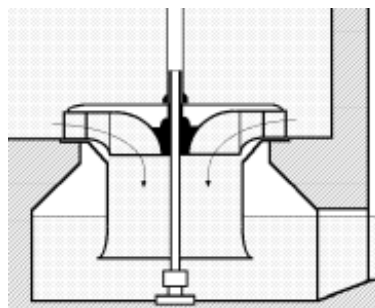


Figura.3.19 Turbina Francis.[40]

4. METODOLOGÍA

En este proyecto se utilizará la metodología: Cuantitativa ya que se basa en métodos numéricos, cálculos matemáticos, ecuaciones y herramientas de software para analizar y diseñar el embalse. Además, el método cuantitativo permite la obtención de datos precisos, medibles y

objetivos. Por otro lado, este tipo de metodología facilita la toma de decisiones basadas en resultados concretos.

4.1. Antecedentes

La presente investigación tiene como antecedentes los siguientes estudios donde,

“Determinación del Potencial Hidroenergético Aprovechable en la Micro Central Hidrocasajal Chimbote – Perú (2019)” se analizó el potencial hídrico para energía, canal llamado IRCHIM, en la localidad de Cascajal, en el distrito de Chimbote, en la provincia de Santa, en el departamento de Ancash. Se llevaron a cabo estudios que se basaron en la obtención de información necesaria de la comunidad de Cascajal. Se definieron las características técnicas siguientes: A partir de las mediciones y datos obtenidos, se registró una altura de 43.65 m y un caudal de 0.50 m³/s; la potencia estimada es de aproximadamente 200 kW, con un alternador síncrono de 200 kVA. La demanda de potencia eléctrica que necesitará la localidad de Cascajal para el año 2039 es de 96 kW en la actualidad y se proyecta que alcanzará los 137 kW en 30 años.[44]

“Evaluación del potencial hidroenergético a pequeña escala en cuencas hidrológicas con un modelo lluvia-escorrentamiento” (2018) Este estudio presenta una metodología para identificar sitios viables para la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en cuencas hidrológicas, utilizando software libre para la modelación hidrológica continua. Se aplicó en la cuenca del río Alto Amacuzac, se identificaron 578 ubicaciones con un potencial hidroeléctrico bruto de 49.2 MW. Los criterios utilizados para seleccionar estos lugares incluyeron una pendiente mínima del río del 3% y un desnivel topográfico de al menos tres metros. Los métodos utilizada es práctica y requiere instrucciones básicas en sistemas de información geográfica y en el manejo de HEC-HMS. La valoración económica indica inversiones iniciales promedio de \$3 millones de pesos mexicanos, lo que puede resultar factible con una adecuada planificación a largo plazo. Se considera una buena opción para el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas al flujo de agua. [45]

El estudio **"Modelación del Potencial Hidroenergético en Caudales Mínimos de la Cuenca del Río Fonce (Santander)" (2015)** [46] evalúa el potencial hidroenergético del río Fonce considerando caudales mínimos multianuales y alturas de caída de 25 m, 50 m, 75 m y 100 m, utilizando la metodología del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia (UPME, 2015). Se analizaron 29 sitios a lo largo del cauce principal y sus afluentes, empleando datos hidrológicos de la estación de San Gil (1955-2012). Los resultados indican que el potencial

hidroeléctrico del río varía entre ****35 kW y 14,000 kW***, dependiendo de la altura de caída del agua y el caudal disponible, lo que sugiere que, incluso en condiciones de caudales bajos, el río Fonce podría representar una alternativa sostenible para la generación de energía en la región.

El estudio "**Políticas para el Aprovechamiento del Potencial Hidroenergético en Colombia Mediante Pequeñas Centrales**"[47] (2015) analiza la viabilidad de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en Colombia, destacando su importancia dentro de la diversificación de la matriz energética y su contribución a un desarrollo sostenible. La investigación señala que el país tiene un potencial hidroeléctrico de aproximadamente 25.000 MW instalables, de los cuales solo el 2.25% ha sido aprovechado. Las dimensiones de las PCH varían según su clasificación, con alturas de caída entre 25 y 130 metros para centrales pequeñas y caudales de operación que pueden alcanzar los 46.01 m³/s en algunas regiones. En términos de generación, estas centrales pueden producir entre 1 MW y 10 MW, dependiendo de las condiciones hidráulicas y la eficiencia de las turbinas utilizadas. Se estima que el costo nivelado de electricidad (LCOE) para este tipo de proyectos oscila entre 75 y 77 USD/MWh, posicionándolos como una alternativa viable y competitiva frente a otras fuentes de energía.

4.2. ANALISIS DEL AREA DE ESTUDIO

4.2.1. Esquema metodológico

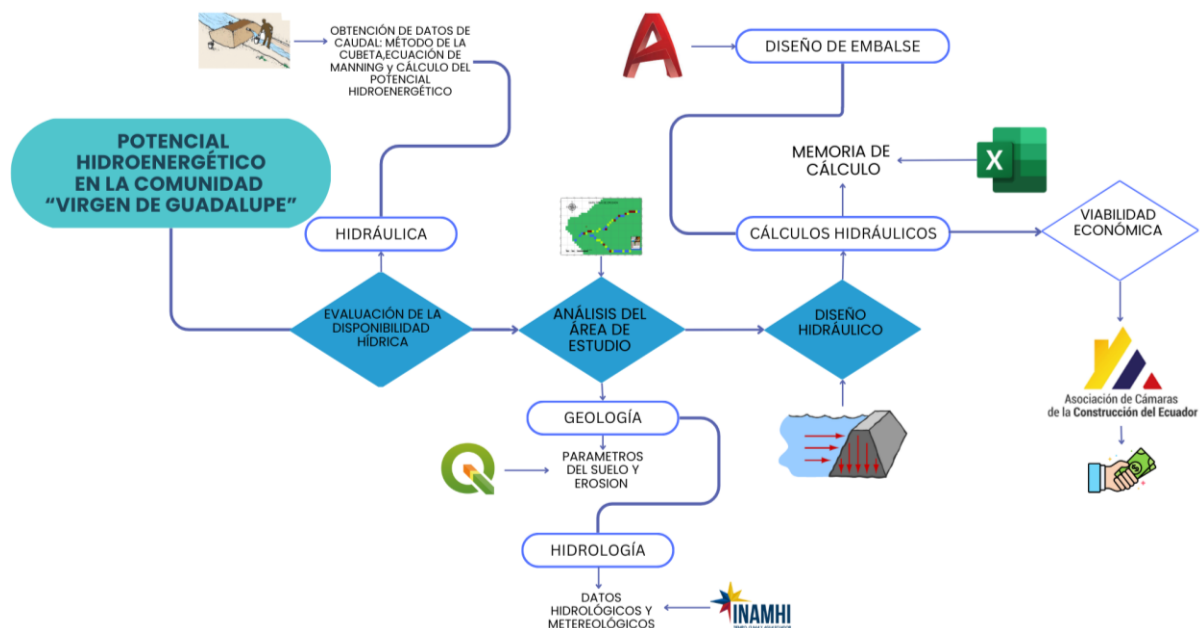


Figura.4.1 Esquema metodológico
Elaborado por: Willington Moya y Kevin Torres

4.2.2. Lugar de estudio

El lugar de estudio se encuentra ubicada en el Cantón Latacunga provincia de Cotopaxi en la Comunidad Virgen de Guadalupe como se observa en la (figura4.2)

Tabla.4. 1 Coordenadas de ubicación

UBICACIÓN		
ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
774661	9896742	3163

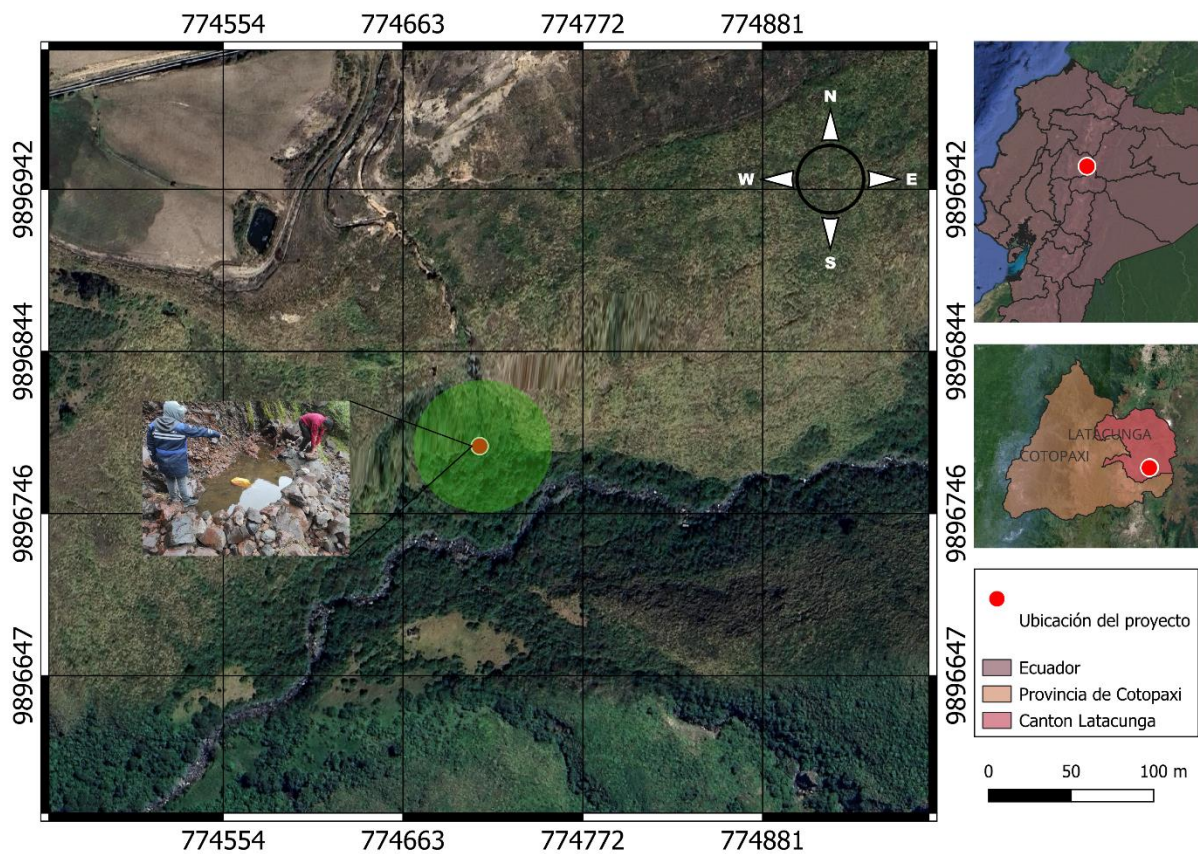


Figura.4.2 Área de Estudio
Elaborado por: Willington Moya y Kevin Torres

4.2.3. Caudal máximo y mínimo

Para la obtención de datos del caudal máximo y mínimo se aplicaron los siguientes métodos. Para el caudal mínimo se utilizó la ecuación (4.1) y para el caudal máximo la ecuación (4.2).

4.2.4. Método volumétrico

Este procedimiento permite obtener datos sobre flujos de escasa duración o de reducidos caudales. Se fundamenta en la cuantificación del tiempo que necesita un recipiente, cuyo volumen se conoce de antemano, para llenarse.[48]

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.1)$$

Donde:

Q: Caudal ($\frac{l}{s}$).

V: volumen de balde (Litros).

t: Tiempo de demora en llenarse (segundos).

4.2.5. Ecuación de Manning

Para el cálculo del caudal máximo se utilizará la fórmula de Manning.[49]

$$Q = \frac{1}{n} * A * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (4.2)$$

Donde:

Q: Caudal ($\frac{m^3}{s}$).

n: Coeficiente de rugosidad.

Rh: Radio hidráulico (m) ($\frac{\text{superficie mojada}}{\text{perímetro mojado}}$).

S: Pendiente (m/m).

4.2.6. Potencial Hidroenergético

El potencial hidroenergético se refiere a la capacidad de un cuerpo de agua, como ríos o embalses, para generar energía hidroeléctrica aprovechando la potencia del agua en movimiento o su desnivel. Este potencial depende del caudal del agua y la altura de la caída, los cuales determinan la cantidad de energía que puede ser transformada en electricidad.[50]

$$P = \gamma_{\text{Agua}} * Q * g * H \quad (4.3)$$

Donde:

P: Potencial hidroenergético (W).

γ_{Agua} : Peso específico del agua ($\frac{kg}{m^3}$).

Q: Caudal de diseño ($\frac{m^3}{s}$).

g: Gravedad ($\frac{m}{s^2}$).

H = Altura desde embalse hasta la turbina (m).

4.2.6.1. Potencial Hidroenergético Efectivo

El potencial efectivo se refiere a la cantidad máxima de energía o la capacidad que puedes ser aprovechada de manera eficiente, considerando las limitaciones técnicas calculadas considerando las pérdidas asociadas a la eficiencia de la turbina y otros componentes del sistema.[50]

$$P_{\text{efectivo}} = P * Ret \quad (4.4)$$

Donde:

P efectivo: Potencial hidroeléctrico efectivo (W).

P: Potencial hidroenergético (W) estudio.

Ret: Rendimiento de la turbina %.

4.2.7. Datos Hidrológicos y meteorológicos

Los siguientes datos fueron extraídos de los anuarios del INAMHI, serie de tiempo de 2007-2013, fueron los siguientes: Precipitación media anual que fue utilizado para el cálculo del factor de la lluvia (R) como se puede observar en la ecuación (4.4), la temperatura media anual fue utilizada para ubicar la viscosidad cinemática utilizando la tabla (4.8), la velocidad del viento será utilizado para el cálculo del parámetro de la altura del viento para el embalse.[51]

4.2.8. Parámetros del Suelo y Erosión

Para determinar la tasa de erosión en el lugar de estudio se usará la ecuación universal de pérdida de suelo U.S.L.E. y M.U.S.L.E, estos fueron utilizados para el cálculo del nivel muerto del embalse, utilizando la herramienta SIG como se puede observar en la figura (4.3), y diferentes fórmulas detalladas a continuación.[52]

$$A = R * K * LS * C * P \quad (4.5)$$

Donde:

A: Tasa de erosión (Ton/ha/año).

R: Factor de la erosión de la lluvia (Mj mm/ha. Año).

K: Factor de emotividad del suelo (t/ha)/(Mj.mm/ha.h).

Ls: Factor topográfico (Adimensional).

C: factor que depende de la cobertura vegetal (Adimensional).

P: factor de conservación del suelo (Adimensional).

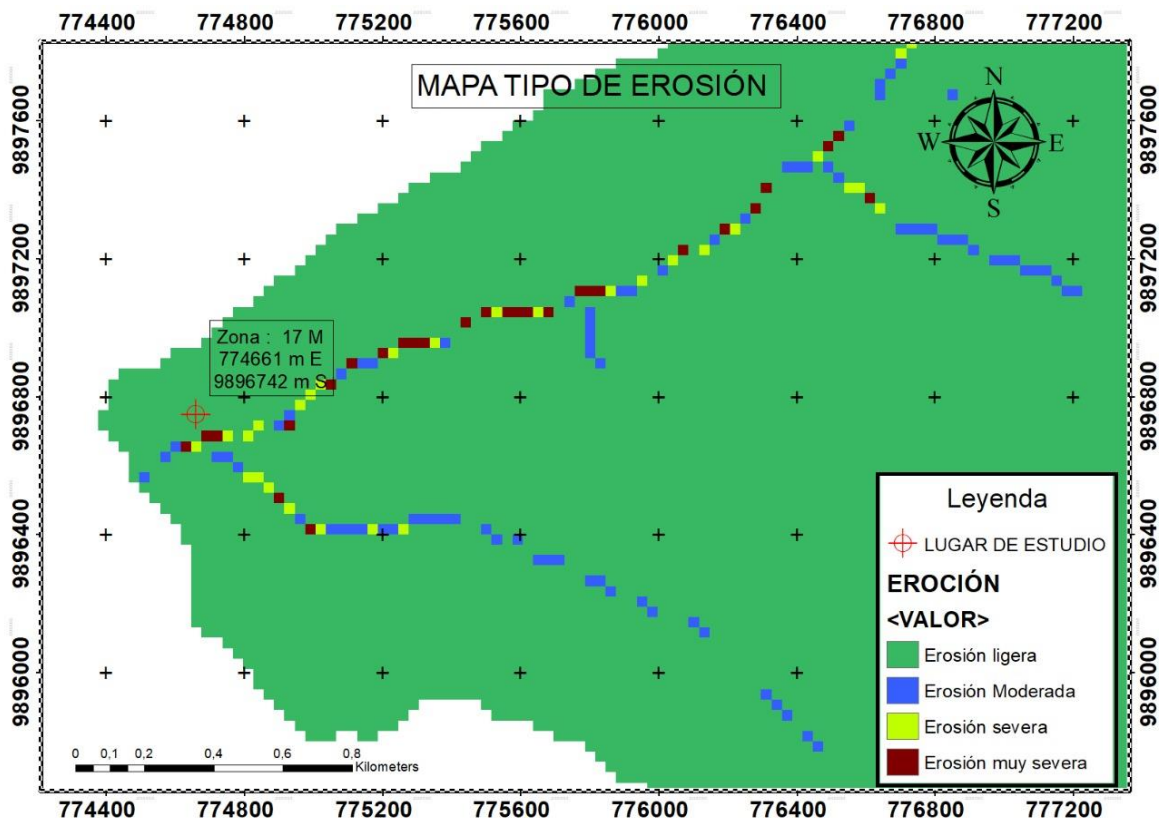


Figura.4.3 Mapa de Erosión
Elaborado por: Wellington Moya y Kevin Torres

4.2.9. Factor de la erosividad de la lluvia (R)

El concepto de factor de erosividad de la lluvia se refiere a una valoración numérica de un suceso de lluvia que indica su potencial para erosionar un área desprotegida. Las variaciones en la erosión potencial provocada por la lluvia no están necesariamente vinculadas a la cantidad de precipitación, sino a las intensidades de los eventos, el historial climático y el estado de la superficie. La interacción entre estos efectos y otras variables juega un papel más significativo en el proceso de erosión.[53]

$$R = \sum_{I=1}^{I=12} \frac{(P_m)^2}{P_A} \quad (4.6)$$

Donde:

R: Factor de la erosión de la lluvia (Mj mm/ha. Año).

P_m: precipitación media mensual (mm).

P_A: precipitación anual (mm).

4.2.10. Factor de erosividad del suelo (K)

El factor de erosividad del suelo (k) se obtuvo mediante la fórmula de (4.5 a 4.9) que corresponde al método de Williams [54] para la obtención de este factor se utilizó los tipos de suelo obtenidos del mapa mundial de la Fao como se puede observar en la Tabla (4.2) y Figura (4.4). Los tipos de suelo que son necesarios para el cálculo son los siguientes, capa superficial de arena (%), capa superficial de limo (%), tierra arcillosa (%), tierra vegetal (%).[55]

$$K_{USLE} = f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgc} * f_{hisand} \quad (4.7)$$

$$f_{csand} = (0.2 + 0.3 * \exp[-0.0256 * m_s * (1 - \frac{m_{silt}}{100})]) \quad (4.8)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} \quad (4.9)$$

$$f_{org} = \left[1 - \frac{0.25 * orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 * oegC]} \right] \quad (4.10)$$

$$f_{hisand} = \left[1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100}\right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 * \left(1 + \frac{m_s}{100}\right)\right]} \right] \quad (4.11)$$

Donde:

m_s: (%) Capa superior de arena.

m_{silt}: (%) Capa superior de cobertura de limo.

m_c: (%) Capa superior de cobertura de arcilla.

org c: (%) Capa superior de carbón.

K: Factor de erosividad del suelo (t/ha) / (Mj.mm/ha.h).

Tabla.4. 2 Porcentajes de suelo [56]

Unidad del suelo	Arena % capa superficial	Arena% subsuelo	Limo % capa superficial	Silt% subsuelo	Arcilla % capa superficial	Arcilla% subsuelo	pH agua superficial	pH agua subsuelo	OC % topsoil
TH	41	42,6	41,3	41	17,7	16,4	5,4	5,7	7,03

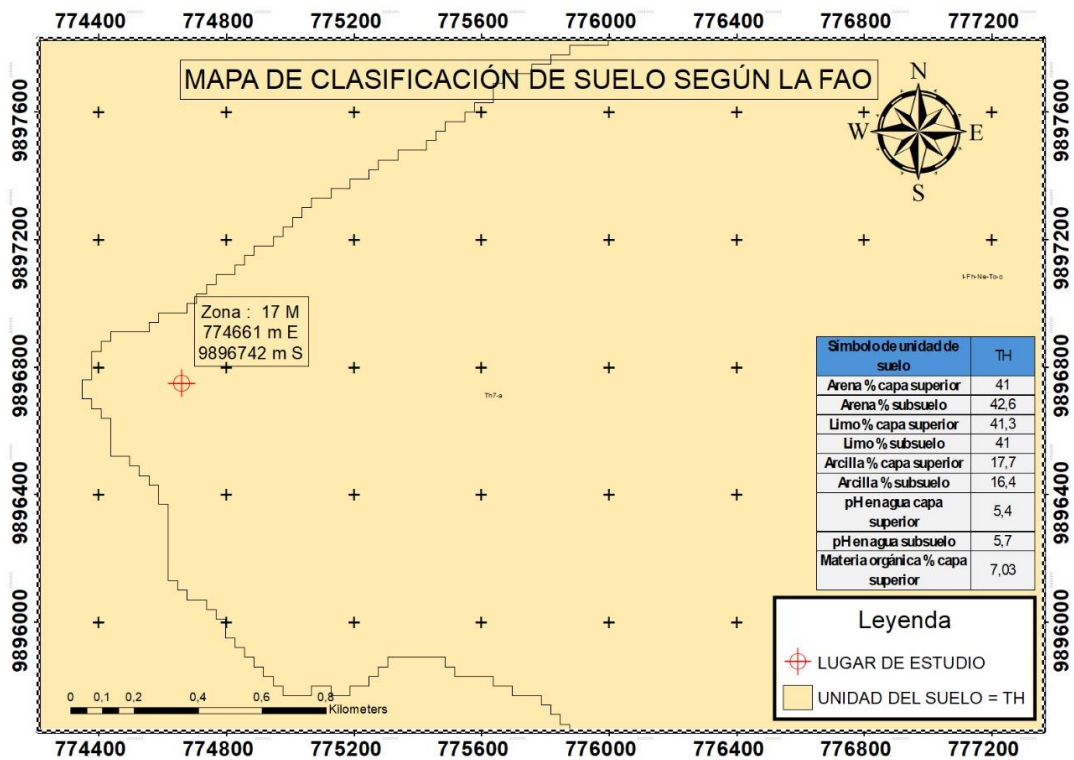


Figura.4.4 Mapa de suelo del Fao
Elaborado por: Willington Moya y Kevin Torres

4.2.11. Factor topográfico (Ls)

El factor topográfico (Ls) fue calculada en la herramienta SIG en una calculadora ráster como se puede observar en la figura (4.5).

- Para el Factor L

$$L = \frac{(Flow\ acum + D^2)^{m+1} - Flow\ acum^{m+1}}{(D^{m+2}) * 22.13^m} \quad (4.12)$$

$$m = \frac{F}{F + 1} \quad (4.13)$$

$$F = \frac{\frac{\sin\beta}{0.0896}}{3 * (\sin\beta^{0.8}) + 0.56} \quad (4.14)$$

- Para el Factor S

$$Si \tan\beta < 0.09 \text{ entonces } S = 10.8 * \sin\beta + 0.03$$

$$Si \tan\beta > 0.09 \text{ entonces } S = 16.8 * \sin\beta - 0.05$$

Donde:

Flow acum: acumulación del flujo.

D: tamaño de un lado del píxel.

β : pendiente en grados.

m: factor que depende de la pendiente de la ladera.

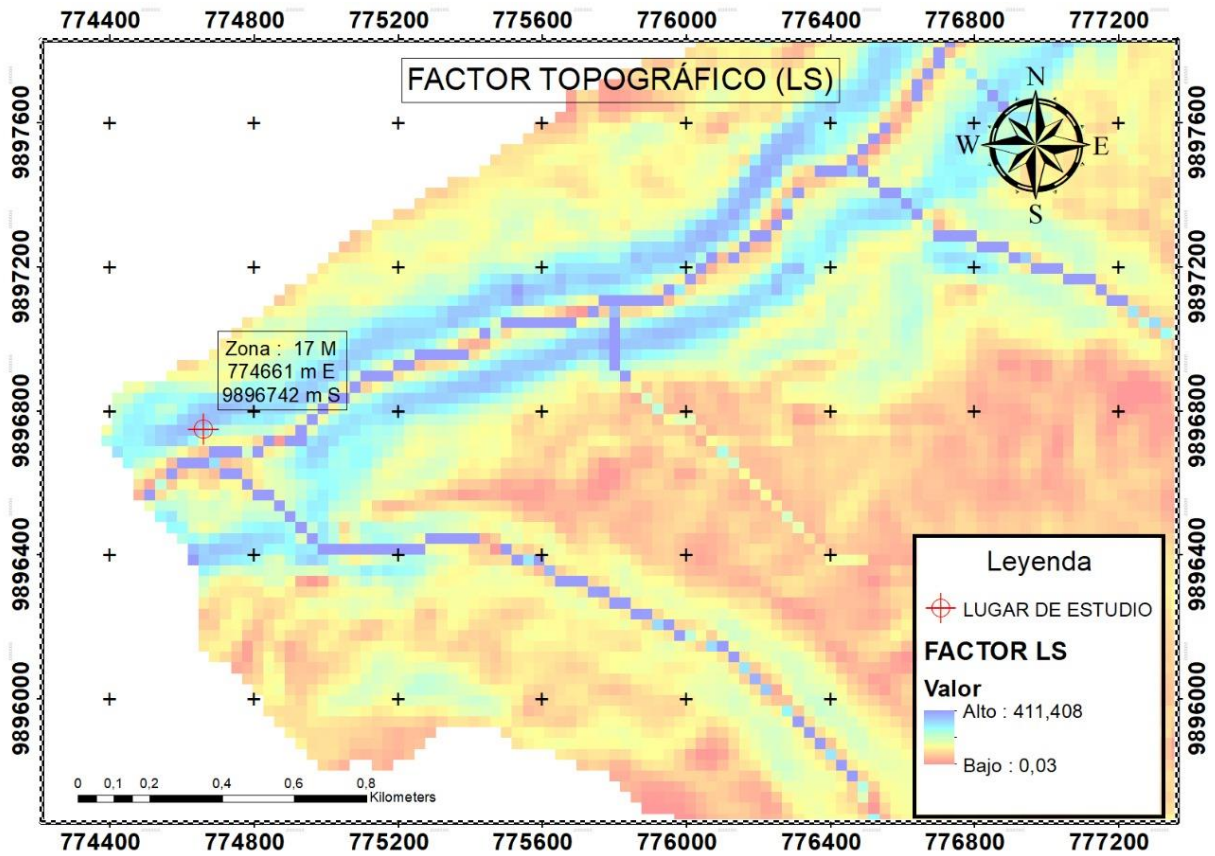


Figura.4. 5 Factor Topográfico (Ls)
 Elaborado por: Willington Moya y Kevin Torres

4.2.12. Factor que depende de la cobertura vegetal (C)

El factor de C fue calculado con el método de índice de vegetación NDVI de igual manera que los anteriores factores fueron calculados mediante la herramienta SIG como se puede observar en la figura (4.6) utilizando varios métodos una de ellas es los paramentos según el tipo de suelo como se puede observar la tabla (4.3)

Tabla.4. 3 Clasificación De Los Valores Ndvi[57]

Clasificación	NDVI
Suelo desnudo	0.01 - 0.1
Praderas herbáceas	0.1 - 0.2
Matorrales	0.2 - 0.4
Vegetación alta	> 0.4

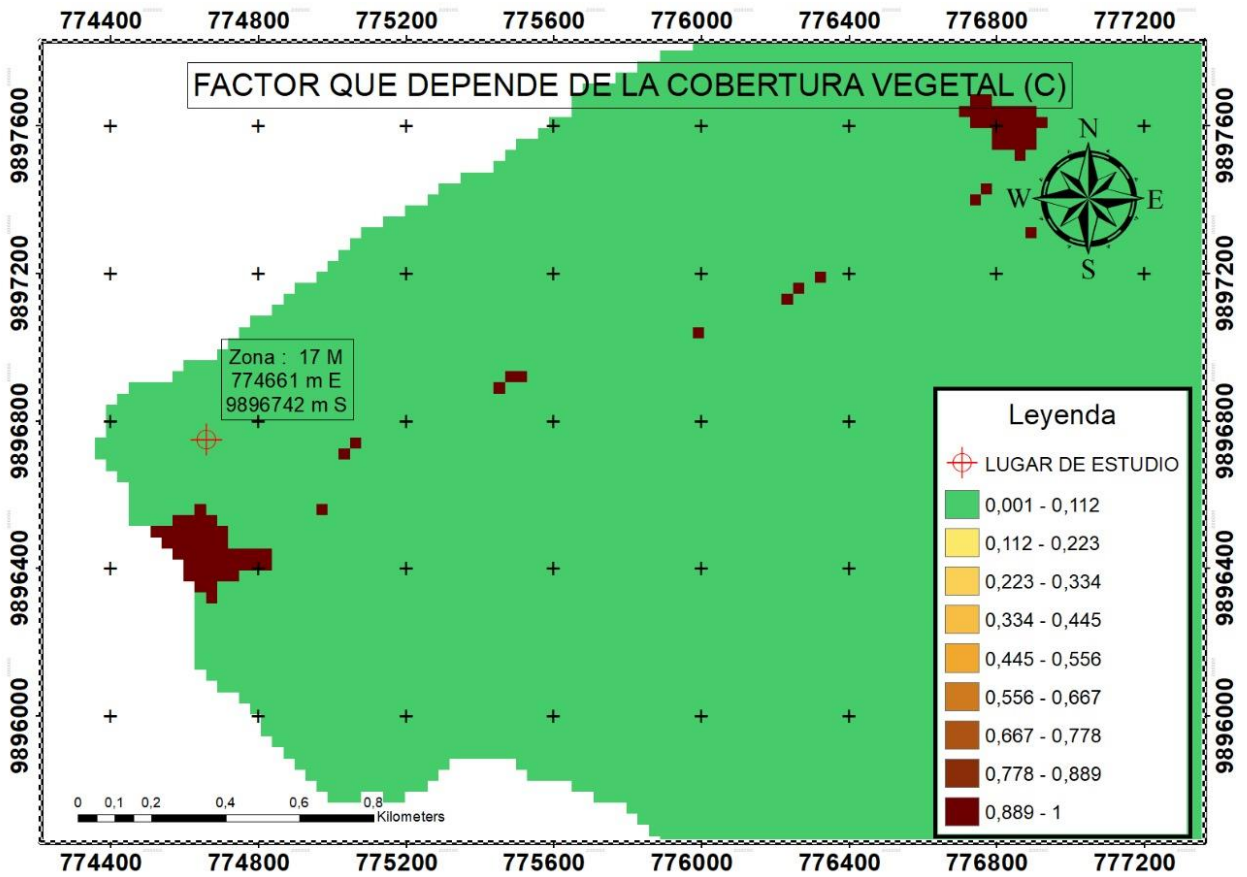


Figura.4.6 Factor C
 Elaborado por: Willington Moya y Kevin Torres

4.2.13. factor de conservación del suelo (P)

Para la obtención del factor P, se usaron los valores publicados por Wischmeyer y Smith (1978) y adaptados a las situaciones locales:[58]

Tabla.4. 4 Factor P[58]

Práctica de Conservación	Valor P
Sin Terrazas	1.00
Terrazas sembrables 1 - 2 %	0.60
Terrazas sembrables 2.1 - 8 %	0.50

Terrazas no sembrables + Siembra en contorno	0.40
Siembra en Contorno Labranza Convencional	0.50
Siembra en Contorno Siembra Directa	0.90

4.3. DISEÑO HIDRAULICO

4.3.1. Cálculo del Embalse

4.3.1.1. Cálculo del volumen muerto

Es la cantidad mínima de agua en el embalse. Define la parte superior del volumen muerto del embalse, el cual debe tener una capacidad mayor que el volumen de sedimentos estimado durante su vida útil para poder contenerlos.[59]

4.3.1.2. Coeficiente de entrega de sedimentos

Se entiende por sedimentación al fenómeno natural mediante el cual las partículas más densas que el agua, que están suspendidas en ella, son eliminadas gracias a la fuerza de gravedad.

$$CES = 36 * A^{-0.2} - \frac{2}{\log P} + \log BR \quad (4.15)$$

Donde:

CES: Coeficiente de entrega de sedimentos

A: Área de la cuenca (km^2).

P: Pendiente del río principal ($\frac{m}{m}$).

BR: Coeficiente de bifurcación.

4.3.1.3. Coeficiente de bifurcación

También conocida como grado de ramificación de los ríos, esta indica la proporción entre la cantidad de canales de un orden específico y el del orden que le sigue, manteniendo esta relación constante a través de todos los niveles de cauce del agua.[60]

$$BR = \frac{\sum(R_B * N_{ci})}{\sum N_{ci}} \quad (4.16)$$

$$R_B = \frac{N_n}{N_{n+1}} \quad (4.17)$$

Donde:

BR: Coeficiente de bifurcación.

Nci: Número de causas involucrados en el cálculo.

RB: Relación de bifurcación.

Nn: Número de causas de orden “n”.

Nn+1: Número de causas de orden “m+1”.

4.3.1.4. Factor de retención de sedimentos

El factor de retención de sedimentos nos indica cuántos sedimentos, como tierra y arena, quedan atrapados en un embalse antes de que el agua continúe su curso. Este factor se calcula considerando el tamaño del embalse, el área de la cuenca que lo alimenta y cómo se gestiona el agua.[61]

$$R_s = 100 * \left[1 + \frac{1}{1 + 2100 * \frac{K * C}{A}} \right] \quad (4.18)$$

Donde:

Rs: Factor de retención de sedimentos (%).

C: Capacidad del embalse (Millones de m^3).

A: Área de la cuenca (km^2).

K: Coeficiente del efecto de reglas de operación. Puede tomar valores entre 0.046 y 1

4.3.1.5. Grado de compactación de sedimentos

Se refiere al cambio en el peso específico de los sedimentos a lo largo del tiempo debido a la compactación natural que ocurre en un embalse o presa. Esta fórmula permite calcular el peso

específico de los sedimentos después de un número determinado de años (t), considerando el peso específico inicial y un coeficiente de compactación (K)[61]

$$\delta_t = \delta_o + 0.4343 * K * \left[\frac{t}{t-1} * \ln t - 1 \right] \quad (4. 19)$$

Donde:

S_t: Peso específico de los sedimentos tras t años de compresión. ($\frac{kg}{m^3}$)

S_o: Peso específico inicial, o sea, al concluir el primer año. ($\frac{kg}{m^3}$)

t: vida útil de la presa (años)

Tabla.4 5. Pesos específicos iniciales del sedimento (Criterio de Miller)[62]

Operación del Embalse	Arena		Limo		Arcilla	
	δ_o	K	δ_o	K	δ_o	K
Embalses con sedimento siempre sumergido	1450	0	1050	91	344	256
Embalses con descensos normales o moderados	1450	0	1240	29	848	134
Embalses normalmente vacíos	1450	0	130	0	1250	0

4.3.1.6. Volumen muerto

Esta fórmula representa el volumen de capacidad de almacenamiento que se pierde debido a la acumulación de sedimentos erosionados en el fondo del embalse. Este volumen es importante porque afecta la capacidad útil del embalse para almacenar agua a lo largo del tiempo.[61]

$$V_{muerto} = \frac{Peso_{erosionado} * CES * R_s}{\delta_t} \quad (4. 20)$$

$$Peso_{erosionado} = Tasa\ de\ erosión * Área * Vida\ útil \quad (4. 21)$$

Donde:

V muerto: Volumen muerto (m^3).

Peso erosionado (toneladas).

CES: Coeficiente de entrega de sedimentos.

Rs: Factor de retención de sedimentos (%).

St: Peso específico de los sedimentos después de t años de compactación ($\frac{kg}{m^3}$)

4.3.2. Cálculo de volumen del embalse

El volumen del embalse se determina generando una curva de masa que se compara con la demanda; otro método es el algoritmo de pico, que, al calcular la diferencia entre los valores máximos de los volúmenes almacenados, permite conocer el volumen útil. [63]

4.3.2.1. Cálculo del área acumulada

$$Acumulada = A_a + A_p \quad (4.22)$$

Donde:

A_a : Área Acumulado (m^3).

A_p : Área Parcial (m^3).

4.3.2.2. Cálculo de volumen Parcial

$$V_p = \frac{h}{3} * (A_i + \sqrt{A_i * A_{i+1}} + A_{i+1}) \quad (4.23)$$

Donde:

V_p : Volumen parcial (m^3).

h: diferencial de cotas de elevación (m).

A_i : Área acumulada 1 (m^2).

A_{i+1} : Área acumulada 2 (m^2).

4.3.2.3. Volumen Acumulado

Se refiere a la cantidad total de agua almacenada en una estructura diseñada para capturar y retener agua, como un lago artificial o represa.[64]

$$V_{acumulado} = V_{a-1} + V_P \quad (4. 24)$$

Donde:

V_a : Volumen Acumulado (m^3).

V_p : Volumen Parcial (m^3).

4.3.2.4. Nivel de operación del embalse

Es la altura o elevación específica que el agua debe mantener en el embalse durante su funcionamiento normal para cumplir con los objetivos de diseño. Este nivel varía según el propósito del embalse, como abastecimiento de agua potable, riego, generación de energía o control de inundaciones.[65]

$$Nop = Nm + Volumen\ util \quad (4. 25)$$

Donde:

Nop : Nivel de operación del embalse (m^3)

Nm : Volumen Muerto (m^3).

Vu : Volumen útil (m^3).

4.3.2.5. Nivel máximo del proyecto

Limita en la parte superior el volumen útil del embalse, el cual se utiliza para diversos fines.[66]

$$Nmaxp = Nop + Volumen\ s.\ Almacenamiento \quad (4. 26)$$

Donde:

$N\ maxp$: Nivel máximo del proyecto (m^3).

Vop : Nivel de operación del embalse (m^3).

Vsa : Volumen super almacenamiento (m^3).

4.3.3. Borde libre del agua

Es la separación vertical entre el nivel más alto del agua y la parte superior de la presa. Su finalidad es prevenir el desbordamiento debido al oleaje o anticipar cualquier eventualidad como asentamientos no previstos. [66]

$$B_L = H_O + h_o \quad (4.27)$$

Donde:

Bl: Borde libre del agua (*m*).

Ho: Altura de trepada de la ola (*m*).

ho: Altura de olas Método de STEVENSON (*m*).

4.3.3.1. Altura de olas Método de Stevenson

$$h_o = 0.76 + 0.34 * \sqrt{F} - 0.26 * \sqrt[4]{F} \quad (4.28)$$

Donde:

h_o: Altura de olas Método de STEVENSON (*m*)

F: Fetch (*Km*)

4.3.3.2. Fetch

$$F = \text{Cos}\theta / F \text{ Cos}\theta \quad (4.29)$$

$$F \text{ Cos}\theta = \text{Cos}\theta * L \quad (4.30)$$

Donde:

Cosθ: Angulo desde el centro del embalse hasta que choquen en las paredes de la montaña.

L: Coseno de la distancia centro del embalse hasta que choquen en las paredes de la montaña de cada ángulo.

4.3.3.3. Altura de trepada de la ola

$$H_o = 0.30 * h_o \quad (4.31)$$

Donde:

H_o : Altura de trepada de la ola (m)

h_o : Altura de olas Método de STEVENSON (m)

4.3.4. Altura del viento

La altura del viento se refiere a la distancia vertical desde la superficie de un cuerpo de agua hasta el punto donde se mide la velocidad del viento.[67]

$$Hv = \frac{F * v^2 * \text{Cos}\theta}{2600 * B} \quad (4.32)$$

Donde:

Hv : Altura del viento (m).

F: Fetch (km).

v^2 : Velocidad del viento (m/s).

$\text{Cos}\theta$: Angulo del viento.

B: Borde libre del agua (m).

4.3.4.1. Altura de seguridad

La altura de seguridad es el margen adicional de altura diseñado sobre el nivel máximo esperado del agua en un embalse o sistema hidráulico.[67]

Si el embalse es:

Tabla.4. 6 Altura de seguridad según el nivel del Embalse

<i>Baja</i>	<i>Si: < 30 → (0.9 – 1.5)m</i>
-------------	-----------------------------------

<i>Media</i>	$Si: = 30 - 60 \rightarrow (1.80 - 3)m$
<i>Alta</i>	$Si: > 60 \rightarrow (3 - 9)m$

4.3.4.2. Altura del embalse

La altura del embalse es la diferencia entre el nivel más bajo del fondo del embalse y el nivel máximo de agua que puede almacenar. Este valor va definiendo el almacenamiento total y este asociado al volumen de almacenamiento disponible.[65]

$$HTr = (Nmaxp - Nsuelo) + Bl + Hv + Hs \quad (4.33)$$

Donde:

N maxp: Nivel máximo del proyecto (*msnm*).

N suelo: nivel del suelo (*msnm*).

Bl: Borde libre del agua (*m*).

Hv: Altura del viento (*m*).

Hs: Altura de seguridad (*m*).

4.3.5. Cálculo de la base estable

$$B = C + Form \quad (4.34)$$

Donde:

C: Corona del embalse (*m*).

Form: Formaleta del embalse (*m*).

4.3.5.1. Formaleta

$$Form = H_{embalse} * 0.75 \pm \quad (4.35)$$

Donde:

F_{orm} : Formaleta del embalse (m).

H embalse: Altura del embalse (m).

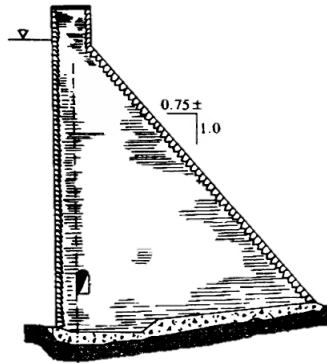


Figura.4.7 Parámetro de la formaleta [26]

4.3.6. Línea de conducción y aliviadero

4.3.6.1. Cálculo del diámetro de la tubería

El cálculo del diámetro de una tubería en hidráulica se basa en asegurar que el sistema pueda transportar el caudal requerido con pérdidas de carga aceptables. Para determinarlo, se utiliza la ecuación de continuidad y fórmulas como Darcy-Weisbach o Hazen-Williams, considerando factores como el caudal, la rugosidad y la velocidad del flujo.[68]

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (4.36)$$

$$v = \sqrt{\frac{hf * D * 2g}{f * L}} \quad (4.37)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}} \quad (4.38)$$

Donde:

V : Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$)

Q: Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

D: Diámetro de la tubería (m)

f: Factor de fricción

hf: pérdida por fricción (m)

L: Longitud de la tubería (m)

g: Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

4.3.7. Cálculo de parámetros hidráulicos

4.3.7.1. Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es una magnitud adimensional que describe el tipo de flujo en un sistema hidráulico.[69]

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (4. 39)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds.

V: Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$).

D: Diámetro de la tubería (m).

ν : Viscosidad cinemática ($\frac{m^2}{s}$).

Unidades SI						
Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad μ (N - s/m ²)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Tensión superficial σ (N/m)	Presión de vapor (kPa)	Módulo de volumen B (Pa)
0	999.9	1.792 x 10 ⁻³	1.792 x 10 ⁻⁶	0.0762	0.610	204 x 10 ⁷
5	1000.0	1.519	1.519	0.0754	0.872	206
10	999.7	1.308	1.308	0.0748	1.13	211
15	999.1	1.140	1.141	0.0741	1.60	214
20	998.2	1.005	1.007	0.0736	2.34	220
30	995.7	0.801	0.804	0.0718	4.24	223
40	992.2	0.656	0.661	0.0701	3.38	227
50	988.1	0.549	0.556	0.0682	12.3	230
60	983.2	0.469	0.477	0.0668	19.9	228
70	977.8	0.406	0.415	0.0650	31.2	225
80	971.8	0.357	0.367	0.0630	47.3	221
90	965.3	0.317	0.328	0.0612	70.1	216

Figura.4. 8 Viscosidad Cinemática[70]

4.3.7.2. Factor fricción

El factor de fricción (f) es un parámetro en la ecuación de Darcy-Weisbach que cuantifica la resistencia al flujo debido a la rugosidad de la tubería y el régimen de flujo.[71]

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.71 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (4. 40)$$

Donde:

f : Factor de fricción.

ε : Rugosidad absoluta de la materia (m) (PVC).

Re : Número de Reynolds.

D : Diámetro de la tubería (m)

Tabla.4. 7 Factor de Rugosidad absoluta del material [72]

Material	Ks (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03

4.3.7.3. Pérdida de Carga por fricción

La pérdida de carga por fricción (h_f) se refiere a la reducción de energía del flujo dentro de una tubería, ocasionada por la fricción entre el líquido y las superficies internas de la tubería. Se determina utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach.[71]

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (4.41)$$

Donde:

h_f : pérdida por fricción (m)

f : Factor de fricción

L : Longitud de la tubería (m)

V : Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$)

D : Diámetro de la tubería (m)

g : Gravedad ($\frac{m}{s^2}$).

4.3.7.4. Pérdida de Carga por fricción de accesorios

Estas pérdidas ocurren en codos, válvulas, reducciones y otros elementos que generan resistencia adicional al flujo.[73]

$$h_f = K + \frac{V^2}{2g} \quad (4.42)$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga por accesorios (m).

K : Coeficiente de pérdida de carga por accesorios.

V : Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$).

g : Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

4.3.7.5. Cálculo de la presión

$$P = cota\ max - hf \quad (4.43)$$

Donde:

Cota max: Cota mayor (*msnm*)

hf: Pérdida de carga por accesorios (*msnm*)

4.3.7.6. Cálculo de caudal

$$Q = v * \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.44)$$

Donde:

Q: Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

v: Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$)

D: Diámetro de la tubería (*m*)

4.3.7.7. Cálculo del Desagüe de fondo Principio de Torricelli

El principio de Torricelli indica que la rapidez con la que un fluido sale a través de un orificio en un contenido es igual a la velocidad que alcanzaría un objeto al caer libremente desde la misma altura.[67]

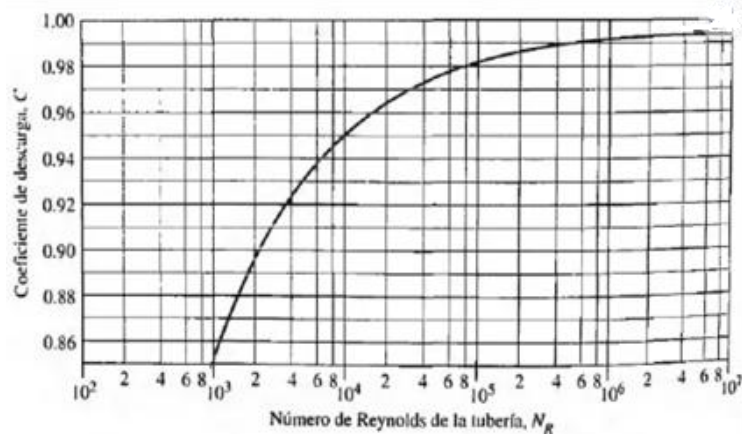


Figura.4. 9 Coeficiente de descarga

4.3.7.8. Velocidad

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad (4.45)$$

$$h = Z2 - Z1 \quad (4.46)$$

Donde:

v₂: Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$).

g: Gravedad ($\frac{m}{s^2}$).

h: altura del volumen del agua (m).

Z₁: Cota más alta del agua (msnm).

Z₂: cota del nivel más bajo del agua (msnm).

4.3.7.9. Caudal de un orificio

$$Q = A_{orificio} * Cd * \sqrt{2gh} \quad (4.47)$$

Donde:

A_{orificio}: Área del orificio de salida (m).

Cd: Coeficiente de Descarga.

g: Gravedad ($\frac{m}{s^2}$).

h: altura del volumen del agua (m).

4.3.7.10. Número de Reynolds

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \quad (4.48)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

v: Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$).

D: Diámetro de la tubería (m).

ν : Viscosidad cinemática ($\frac{m^2}{s}$).

4.3.7.11. Tiempo De Vaciado

$$t = \frac{V}{Q} \quad (4.49)$$

Donde:

t: Tiempo de vaciado (s).

V: Volumen (m^3).

Q: Caudal de un orificio ($\frac{m^3}{s}$).

4.3.8. Análisis de viabilidad socioeconómico económico

4.3.8.1. Cámara de Construcción

En el sector de la construcción en Ecuador, la Cámara de Comercio también desempeña un papel importante al facilitar información sobre precios unitarios de materiales y servicios. Estos precios son esenciales para elaborar presupuestos detallados en proyectos de construcción, ya que permiten calcular con precisión los costos de cada actividad o insumo.[74]

4.3.8.2. Cámara de Construcción de Guayaquil

La Cámara de construcción de Guayaquil es una entidad legal de derecho exclusivo sin ánimo de lucro, que se rige por lo establecido en la Ley de Cámaras de Construcción, su estatuto social, regulaciones y, además, cumpliendo con las normativas aplicables de los Códigos de Comercio y Civil.[75]

4.3.8.3. Precios Unitarios

En Ecuador, los precios unitarios en el sector de la construcción se refieren al costo por unidad de medida de materiales, mano de obra o maquinaria necesarios para ejecutar una actividad

específica en una obra. Estos precios son fundamentales para la elaboración de presupuestos y análisis de costos en proyectos de obra.

El Índice de Precios de la Construcción (IPCO) es un parámetro que evalúa mensual la variación de los costos, ya sea a nivel de trabajador o importador, de los materiales, equipos y maquinarias relacionadas con la construcción, para ser utilizados en las técnicas polinómicas para el reajuste de precios en los contratos de obras públicas, conforme a lo establecido en el Art. 83 de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, en vigor desde el 4 de agosto de 2008. [76]

$$\text{Precio global} = \text{Precio unitario} * \text{Cantidad de cada uno de los rubros}$$

$$\text{Precio total del proyecto} = \sum \text{Cantidad de cada uno de los rubros}$$

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Caudal máximo y mínimo

En el caudal mínimo se obtuvo el aforamiento utilizando el método volumétrico tomando 10 datos de volumen y de tiempo utilizando la ecuación (4.1) se calculó el caudal ya mencionado y se obtuvo el resultado que pueden observar en la tabla (5.1), mientras que el caudal máximo fue calculado con la ecuación (4.2) de Manning teniendo en cuenta un canal rectangular con dimensiones de $b= 1.19\text{m}$ y $h= 0.9\text{m}$ con una pendiente de 10%, llegando al resultado como se observa en la tabla ya mencionada.

Tabla.5. 1Resultado Del Caudal Mínimo Y Máximo

Parámetro	Símbolo	Resultado	Unidad
Caudal Máximo y mínimo			
Caudal mínimo	Q_{\max}	0.0024	m ³ /s
Caudal Máximo	Q_{\min}	12.27	m ³ /s

5.2. Potencial Hidroenergético

Para el cálculo del potencial hidroenergético se utilizó la ecuación (4.3) con el proceso de dichas ecuación se utilizó el diferencial de altura de 32 m dato obtenido de la topografía realizada (anexo 9) y con el caudal mínimo calculado anteriormente (Tabla 5.1), además del peso específico del agua con unidades de kg/m³ dando como resultado el potencial

hidroenergético 755.8 W (tabla 5.2), posteriormente se calculó utilizando la ecuación (4.4) del potencial hidroenergético efectivo teniendo en cuenta el rendimiento de la turbina Turgo del 90 % (figura 3.17) así mismo como resultado 680.2 W.

Tabla.5. 2 Resultados del Potencial Hidroenergético

Parámetro	Símbolo	Resultado	Unidad
Potencial Hidroenergético	P	755.8	Watts
Potencial Hidroenergético efectivo	P Efectivo	680.2	Watts

5.3. Datos Hidrológicos y Meteorológicos

El método fue explicado en el apartado (4.1.7) aplicando métodos para procesamiento de datos obtenidos del INAMHI serie de tiempo del año 2007 a 2013 y se obtuvo como resultados en la (tabla 5.3).

Tabla.5. 3 Datos Hidrológicos y Meteorológicos

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Temperatura anual media	T	14.2	C
Velocidad del Viento	v	1.84	m/s

5.4. Parámetros del suelo y erosión

Los resultados obtenidos al aplicar la ecuación universal U.S.L.E y M.U.S.L.E para determinar la tasa de erosión y parámetros del suelo, que fue explicado anteriormente en el apartado (4.1.8 – 4.1.13). Para llegar al resultado se utilizó la herramienta SIG. Proporcionando datos que obtuvimos en las ecuaciones (4.5 - 4.14) y las tablas (4.2 - 4.4), que requerían la herramienta dando como resultados mapas que se puede ver en las (figuras 4.3 – 4.6) y la herramienta SIG nos proporcionó también resultado de la tasa de erosión 1.36 Ton/Ha/año, vale destacar que aparte de darnos ese resultado también nos dieron los factores R, K, LS, C y P de la (tabla 5.4).

Tabla.5. 4 Tabla de resultados

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Factor (R) de erosión de lluvia	R	18.32	Mj mm/H año
Factor (K) de erosividad del suelo	K	0.018	Mj mm/Ha*h

Factor Topográfico (Ls)	Ls	(411.48) ± (0.003)	–
Factor (C) que depende de la cobertura vegetal	C	(0.01-0.01)	–
Factor (P) de conservación del suelo	P	1	–
Erosividad	A	1.36	Ton/Ha/año

5.5. Parámetro Hidráulicos (Cálculo del Embalse)

5.5.1. Nivel muerto

Al aplicar las ecuaciones del apartado (4.2.1 – 4.2.1.6) para hallar el nivel muerto, se obtuvo los siguientes resultados ver tabla (5.5), cabe recalcar que el resultado del coeficiente de bifurcación que se pudo visualizar en la tabla mencionada dio ese valor dado que existe solo un cauce del desarenador hacia el embalse. Así mismo el cálculo del volumen muerto se tomó la vida útil del embalse de dos años por la razón de optimizar la altura del embalse. Para compensar la vida útil del embalse que extienda a más años, se tomó la decisión de colocar un desagüe de fondo que será detallado más adelante.

Tabla.5. 5 Parámetros nivel muerto

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Coeficiente de Bifurcación	Br	1	–
Coeficiente de entrega de sedimentos	CES	120.07%	–
Factor de retención de sedimentos	Rs	95.13%	–
Grado de compactación de sedimento	S	0.869	Ton/m ³
Peso erosionado	Peso erosionado	0.816	Ton
Volumen muerto	Vm	1.07	m ³
Volumen muerto (altura)	Vm	0.12	m
Volumen muerto (cota)	Vm	3143.12	m.s.n.m

5.6. Cálculo del volumen del embalse

Para hallar el resultado de la tabla (5.6) se efectuó mediante las ecuaciones (4.22 – 4.24). Con respecto a los datos del área parcial se obtuvo a través de la topografía (anexo 9) se adquirió las elevaciones, áreas y volúmenes en la zona de estudio. Que serán importantes más adelante.

Tabla.5. 6 Cálculo de volúmenes

CÁLCULO DEL VOLUMENES					
ALTURA DE LA PRESA	COTAS	ÁREAS PARCIAL M2	ÁREAS ACUMULADA	VOLUMEN PARCIAL	VOLUMEN ACUMULADO
	msnm	m²	m²	m³	m³
0	3143	2.702	2.702	0	0
1	3144	14.47	17.172	8.9	8.9
2	3145	21.036	38.208	27.0	35.9
3	3146	26.99	65.198	51.1	87.0
4	3147	30.51	95.708	80.0	167.0
5	3148	33.63	129.338	112.1	279.1

5.7. Nivel de operación en el Embalse

Aplicando la ecuación (4.25) nos dio como resultado el volumen, utilizando interpolación de la (Tabla 5.6) para encontrar la altura y cota como se puede observar la (Tabla 5.7). El resultado obtenido en el nivel de operación del embalse calculado, coincide volumen, altura y cota como se puede ver en la (5.5). Por esa razón colocamos centímetros más arriba precisamente (12 cm) del nivel de operación del embalse como se puede observar en la (Tabla 5.7) que corresponde al nivel de operación del embalse.

Tabla.5. 7 Niveles de operación del Embalse

Parámetro	Símbolo	Resultado	Unidad
Nivel de operación del embalse (calculado)	Volumen	V _{opc}	1.07 m ³
	Altura	N _{opd}	0.12 m

	Cota	N _{opc}	3143.12	m.s.n.m
Nivel de operación del embalse (diseño)	Volumen	N _{opc}	2.1	m ³
	Altura	N _{opd}	0.24	m
	Cota	N _{opc}	3143.24	m.s.n.m

5.8. Nivel máximo del proyecto

Los resultados del nivel máximo se obtuvieron al aplicar la ecuación (4.26) así mismo dando resultado del volumen y utilizando interpolación de la (Tabla 5.6) para encontrar la altura, cota como se puede observar la (Tabla 5.8).

Tabla.5. 8 Nivel máxima del proyecto

Parámetro		Símbolo	Resultado	Unidad
Nivel máximo del proyecto	Volumen	V _{maxp}	13.1	m ³
	Altura	A _{maxp}	0.7	m
	Cota	C _{maxp}	3143.7	m.s.n.m

5.9. Borde libre del agua

Al aplicar las ecuaciones (4.27 – 4.31) se llegó a los siguientes resultados ver tabla (5.10), cabe recalcar para encontrar el resultado de Fetch se calculó con la siguiente manera Coseno del ángulo se obtuvo en la topografía tomando desde el centro del embalse hasta que choquen en las paredes de la montaña y $F\cos\theta$ es coseno de la distancia centro del embalse hasta que choquen en las paredes de la montaña de cada ángulo como se puede observar (tabla 5.9).

Tabla.5. 9 Fetch

θ (°)	Cos θ	F (Km)	F cos θ
15	0.966	0.003	0.003
37	0.799	0.003	0.002
69	0.358	0.002	0.001
0	1.000	0.003	0.003

63	0.454	0.002	0.001
26	0.899	0.005	0.004
10	0.985	0.004	0.004
	5.461		0.019
Fetch ponderado			
F=	0.0035	km	

Tabla.5. 10 Parámetros del borde libre agua

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Borde libre del Agua (volumen)	Bl	29.3	m ³
Borde libre del Agua (altura)	Bl	0.93	m
Borde libre del Agua (cota)	Bl	1.63	msnm
Fetch	F	0.0035	Km
Altura de ola	ho	0.72	m
Altura de trepada de ola	Ho	0.22	m

5.10. Altura del viento y seguridad

Para obtener el resultado de la altura del viento se utilizó la ecuación (4.32). Como datos se tomó la velocidad del viento encontrado anteriormente de 1.84 m/s con un ángulo del viento de 127 grados, con el borde libre del agua en metros y Fetch que se calculó en la (tabla 5.9) dando como resultado una altura del viento de 0.0000011 m, mientras que la altura de seguridad se obtuvo de la tabla (4.6), sabiendo que nuestra altura de embalse es 2.5 metros se eligió un valor de 0.9 m que se puede ver en la (tabla 5.11) ya que se clasifica un embalse pequeño o bajo, según la normativa.

Tabla.5. 11 Alturas del viento y seguridad

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Altura del Viento	H _v	0.0000011	m
Altura de seguridad	H _s	0.9	m

5.11. Altura del embalse

Al realizar todos los cálculos anteriores desde el nivel muerto hasta la altura de seguridad se aplicó la ecuación (4.33) y se obtuvo el siguiente resultado una altura total del embalse de 2.5 m (tabla 5.12), así mismo aplico el método de interpolación para encontrar la cota de 3145.5 m.s.n.m y volumen lleno de 81.7 m³ utilizando la (Tabla 5.6).

Tabla.5. 12 Altura del Embalse

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Altura del Embalse (volumen)	H _{Tr}	81.7	m ³
Altura del Embalse (altura)	H _{Tr}	2.5	m
Altura del Embalse (cota)	H _{Tr}	3145.5	msnm

5.12. Cálculo de la base del Embalse

Se asumió el valor de la corona del embalse de 0.7 m como se puede observar en la tabla (5.13), tomando en cuenta que la corona debía ser óptima para la estabilidad de la estructura. Sin embargo, para el cálculo de la formaleta se aplicó la ecuación (4.34) y se llegó a un resultado de 1.1 m que al sumar los 0.7 m de la corona nos dio una base del embalse de 1.8 m como puede evidenciar en la tabla ya antes mencionada.

Tabla.5. 13 Resultados del embalse

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Cálculo formaleta	F _{orm}	1.1	m
Base del embalse	B	1.8	m
Corona	C	0.7	m

5.13. Línea de conducción

Para el cálculo de la línea de conducción se tomó las siguientes ecuaciones (4.36 – 4.43) calculando un diámetro de 1.5 pulgadas teniendo en cuenta la ecuación (4.36) tomando en cuenta el caudal mínimo y el catálogo de los diámetros comerciales así obteniendo las velocidades de todos los diámetros comerciales y eligiendo la velocidad óptima y así el diámetro ya mencionado. Para los parámetros hidráulicos se apoyó en la topografía realizada

anteriormente como se puede observar en el anexo (9) encontrando la longitud de la tubería 147 m con un desnivel de terreno 32 m desde el sitio del embalse hacia la casa de máquina, que sirvió para encontrar Número de Reynolds, Factor de fricción, Pérdida de carga por fricción, pérdida de carga por accesorios, Presión teniendo en cuenta que ya existía una línea de conducción. En cuanto a los resultados se pueden visualizar en la tabla (5.14).

Tabla.5. 14 Línea de conducción y aliviadero

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Diámetro	d	1 1/2	in
Número de Reynolds	Re	69263.98	–
Factor de fricción	f	0.02	m
Pérdida de carga por fricción	hf	15.29	m
pérdida de carga por accesorios	hl	1.36	m
Presión	p	15.77	mca
Velocidad	v	2.1	m/s

5.14. Cálculo del aliviadero

Para los resultados del aliviadero se concluyó que se necesita 4 tuberías de 4 pulgadas, ya que esta se pueda evacuar correctamente cuando exista un aumento de caudal hasta el borde libre del agua así mismo se incluyó 4 válvulas de compuerta para la regulación de la salida del caudal y así cuando exista la escasez del agua, cerrar las compuertas y almacenar agua. Para último se utilizó las ecuaciones del apartado (5.13) obteniendo como resultados en la tabla (5.15).

Tabla.5. 15 Resultados del cálculo del aliviadero

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Diámetro	d	4	in
Número de Reynolds	Re	367527.69	
Factor de fricción	f	0.014	m
Pérdida de carga por fricción	hf	16.33	m
Pérdida de carga por accesorios	hl	1.14	m

Presión	p	16.34	mca
Velocidad	v	4.16	m/s
Caudal	Q	0.135	m ³ /s

5.15. Cálculo de desagüe de fondo (Principio de Torricelli)

Para este cálculo del desagüe de fondo se determinó que el diámetro sea de 4 pulgadas, ya que debe evacuar los sedimentos que se van a acumular en el transcurso de dos años que fue diseñado el embalse y así no ingrese sedimentos en la línea de conducción. Para calcular los parámetros del tiempo de vaciado, la velocidad, el caudal se utilizó las ecuaciones (4.45 – 4.49) y se llegó a los resultados que se pueden observar la (Tabla 5.16).

Tabla.5. 16 Resultados de desagüe de fondo

Parámetros	Símbolo	Resultado	Unidad
Diámetro	D	4	in
Velocidad	V	5.71	m/s
Caudal	Q	0.0458	m ³ /s
Número de Reynolds	Re	504197.03	-
Tiempo de vaciado	t	11	min

5.16. Viabilidad Económica

En la viabilidad económica nos basamos en la cámara de construcción de Guayaquil [75] y también la cámara de construcción de Ambato[77], tomando los precios unitarios de cada rubro, (material, mano de obra y accesorios) que es necesario para la ejecución del proyecto aplicando técnica de cálculo del precio total como se puede observar en la tabla (5.17) dando como resultado el monto total de \$9407.65 dólares permitiendo el desarrollo de un proyecto garantiza un suministro continuo de energía limpia, mejorando la calidad de vida de 75 familias, reduciendo costos energéticos y asegurando un acceso estable y sostenible a la electricidad.

Tabla.5. 17 Viabilidad Económica del proyecto

N° rubro	Cod. Revista	Revista	Rubro/Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Global
1	145	C.C.G	Limpieza y desbroce	m2	266	0.5	133.00
2	2.08	C.C.G	Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m2	266	1.69	449.54
3	7	C.C.G	Excavación manual	m3	3.7	6.31	23.35
4	60,207	C.CA	Encofrado/desencofrado metálico tipo renteco alquilado para muro-dos caras (aletas y cuerpo del embalse)	m2	136.65	7.07	966.12
5	26.0222	C.CA	Tubería de aliviadero ø 4" PVC	m	3	41.71	20.86
6	26.0222	C.CA	Tubería desagüe ø4" PVC	m	1.8	41.71	12.51
7	5	C.CA	Tubería línea de conducción ø1 1/2" PVC	m	1.65	9.32	2.56
8	6	C.CA	Válvula de compuerta 4"	u	5	160	800.00
9	24.0624	C.CA	Val bola 1 PVC iny rh compacta 1-1/2"	u	1	9.21	9.21
10	31	C.C.G	Hormigón ciclópeo f'c=210 (60% piedra) (aletas)	m ³	10.5	170.3	1788.15
11	31	C.C.G	Hormigón ciclópeo f'c=210 (60% piedra) (cuerpo del embalse)	m3	12.6	170.3	2145.78
12	73	C.C.G	Revestimiento de hormigón	m2	119.65	14.37	1719.37
13	26	C.C.A	Hormigón Simple f'c=210 Kg/Cm ² (Canal)	m3	0.7	157.32	110.12
						Precio Total	\$ 9407.65

6. CONCLUSIONES

- El análisis de disponibilidad hídrica en el área de estudio, basado en la medición del caudal, permitió determinar con precisión el potencial hidroenergético disponible. Los resultados conseguidos indican un caudal máximo de 12.27 m³/s y un caudal mínimo de 0.024 m³/s, lo que permitió estimar un potencial hidroenergético efectivo de 680.2 W. Este valor es suficiente para compensar los requerimientos de la turbina de 500 W, confirmando la viabilidad del aprovechamiento hidroeléctrico en la zona.
- Mediante el uso de SIG (Sistemas de Información Geográfica), se logró analizar las condiciones geomorfológicas de la zona de estudio, donde se generó mapas detallados de las condiciones geológicas del sitio. Estos mapas fueron fundamentales para la evaluación de la erosión en el área, permitiendo determinar, el nivel de erosión dándonos como resultados de 1.36 Ton/Ha/año, Tipo de suelo que contiene gran cantidad de materia orgánica, con un factor topográfico alto de 411.41 y bajo de 0.03, factor que depende de la cobertura vegetal dando el valor de 0.001 hasta 0.012 que tiene una clasificación de suelo sin vegetación y un factor de conservación de suelo de 1. A partir de estos datos se consiguió calcular con mayor precisión el nivel muerto del embalse que nos dio de resultado 1.07 m³
- El diseño de la infraestructura hidráulica del sistema hidroenergético, desde la captación en el embalse hasta la turbina y el canal de restitución, permitió definir con precisión los componentes necesarios para un funcionamiento eficiente. Se determinó que la línea de conducción óptima tiene un diámetro de 1.5 pulgadas y una longitud de 147 m, mientras que el aliviadero requiere cuatro tuberías de PVC de 4 pulgadas y 0.75 m de largo, con sus respectivas válvulas de compuerta. Para el desagüe de fondo, se estableció una tubería de 4 pulgadas de PVC con una longitud de 1.80 m y un tiempo de vaciado de 11 minutos. El embalse se dimensionó con una altura de 2.5 m, base de 1.8 m, corona de 0.7 m y una longitud de 5 m, acompañado de dos aletas de 3 m de largo cada una. Asimismo, el canal de restitución se diseñó considerando la salida de la casa de máquinas con dimensiones de 0.25 m de base, 0.20 m de altura y 14 m de longitud. Finalmente, la evaluación económica determinó un costo total de implementación de \$ \$ 9407.65 dólares, incluido el IVA, confirmando la viabilidad técnica y financiera del proyecto para su ejecución permitiendo el desarrollo de una infraestructura y garantizando el suministro continuo de energía limpia, beneficiando directamente a 75 familias de la comunidad.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar mediciones de caudal con mayor precisión mediante aforos en diferentes épocas del año, considerando eventos de caudal máximo y mínimo.
- Se recomienda la búsqueda y adquisición de Modelos Digitales de Elevación (DEM) de mayor resolución y precisión, así como la obtención de datos topográficos con estándares de alta exactitud y mejorar la eficiencia del proyecto.
- Recomendamos una limpieza cada dos años del embalse así evitar colapsos de la tubería de conducción provocados por los sedimentos.

8. REFERENCIAS

- [1] B. Meza-Prieto, J. Aparicio, B. Meza-Prieto, and J. Aparicio, “Evaluación del potencial hidroenergético a pequeña escala en cuencas hidrológicas con un modelo lluvia-escurrencimiento,” *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 9, no. 1, pp. 69–87, 2018, doi: 10.24850/J-TYCA-2018-01-05.
- [2] M. Arroyo, “Las mini-centrales hidroeléctricas: de vestigios del pasado a opción de futuro,” 2003. [Online]. Available: <http://www.cop21paris.org/about/cop21>
- [3] D. E. H. J. Gernaat, P. W. Bogaart, D. P. V. Vuuren, H. Biemans, and R. Niessink, “High-resolution assessment of global technical and economic hydropower potential,” *Nat Energy*, vol. 2, no. 10, pp. 821–828, Oct. 2017, doi: 10.1038/s41560-017-0006-y.
- [4] C. Llamosas and B. K. Sovacool, “The future of hydropower? A systematic review of the drivers, benefits and governance dynamics of transboundary dams,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.RSER.2020.110495.
- [5] A. A. K. Arani, H. Karami, G. B. Gharehpetian, and M. S. A. Hejazi, “Review of Flywheel Energy Storage Systems structures and applications in power systems and microgrids,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 9–18, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2016.11.166.
- [6] L. Galbán-Rodríguez, P. Sánchez-López, Á. L. Brito-Souvanell, and A. Herrera-Hernández, “Hydroelectric potential in mountain hydrographic basins subject to Cuban environmental regulations: Notes for its use.,” *Boletín de Ciencias de la Tierra*, vol. 53, pp. 38–48, Jan. 2023, doi: 10.15446/rbct.n53.106449.
- [7] “Ciencia, Tecnología y Cultura Revista de la Escuela de Ingenierías y Arquitectura Water And Power Generation In Sustainable Environments.”,2023.
- [8] T. Kevis and Y. Tomairo Villanueva, “Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica Evaluación del potencial hidroeléctrico, para abastecer la demanda de energía eléctrica de la planta de tratamiento de aguas residuales Huamanga 2021,” 2021.
- [9] H. E. Fálth, F. Hedenus, L. Reichenberg, and N. Mattsson, “Through energy droughts: Hydropower’s ability to sustain a high output,” 2024.

- [10] R. Científica and ' ' Ingeniar, "Proyección Óptima De La Demanda Eléctrica De La Empresa Eléctrica De Cotopaxi Optimal Projection Of Electrical Demand Of The Cotopaxi Electrical Company," vol. 7, no. 14, 2024, doi: 10.46296/ig.v7i14edespoc.0233.
- [11] Héctor Reynaldo Arévalo Llumipanta, "Modelación De La Transferencia De Energía Entre Un Aprovechamiento Hidroenergético Y Turbomáquinas," 2017.
- [12] D. Singh, "Micro Hydro Power Resource Assessment Handbook Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology Of the United Nations-Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)," 2009.
- [13] Eadic, Alumini, "Diseño de obras hidráulicas y sus objetivos - EADIC." Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://eadic.com/blog/entrada/disen-de-obras-hidraulicas/,2020>.
- [14] S. Bhattarai, Y. Zhou, C. Zhao, and R. Yadav, "An Overview on Types, Construction Method, Failure and Key Technical Issues during Construction of High Dams".
- [15] Palacio Daniel, "Gobierno invertirá en 10 nuevas centrales hidroeléctricas - El Comercio." Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/gobierno-invertira-nuevas-centrales-hidroelectricas.html>
- [16] Registro de la Lengua Española, "embalse" lengua española | RAE - ASALE." Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: https://dle.rae.es/embalse?utm_source=chatgpt.com
- [17] Cnegp Spancold, "Embalses Y Planificación Hidrológica," 2021, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/small/29154407.jpg>
- [18] "Los Canales Hidráulicos - El Ingeniero." Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://noticiaselingeniero.com/canales-hidraulicos-ingenieria/>.
- [19] F. En and S. Libre, "Universidad Nacional De Ingeniería Facultad De Ingeniería Civil Departamento De Hidráulica E Hidrología Canales" 2021.

- [20] “Cómo reducir las pérdidas de agua en los canales de riego · Regaber.” Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://regaber.com/en/blog/canales-de-riego-para-reduccion-de-perdidas-de-agua/>
- [21] D. Asesor, Henry, and A. Córdoba, “Optimización Del Diseño Hidráulico Del Acueducto Veredal Del Alto Del Ramo De Municipio De Chipaque Cundinamarca,” 2018.
- [22] B. Espinosa Espinosa *et al.*, “Diseño de un sistema de riego hidrante parcelario con los métodos por Turnos y Clement: análisis técnico y económico Design of a system of farm hydrant with the Turns and Clement methods: technical and economic analysis Como citar el artículo”.2017
- [23] Diseprosa, “Plantas de Tratamiento de Aguas,” <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19149/4/UPS-GT002985.pdf> 2018.
- [24] “Sistema de drenaje, qué es, composición, tipos e importancia.” Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.ferrovial.com/es/recursos/sistema-de-drenaje/>
- [25] “Sewer Pipe Burst Under House.” Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://birdiesandcupcakes.blogspot.com/2021/01/sewer-pipe-burst-under-house.html>
- [26] P. . Novak, A. I. B. . Moffat, C. . Nalluri, and R. . Narayanan, *Hydraulic structures. 2nd ed.* E & F.N. Spon, 1996.
- [27] B. L. Cardona and J. I. Cifuentes, “Energía y conceptos aplicados”. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4481/1/Energía%20y%20conceptos%20aplicados.pdf>
- [28] “ENERGÍA-Año de Publicación: 2003 Secretaría de Energía-República Argentina Página 1,” 2003.
- [29] “Sistemas de energía eléctrica - Barrero Gonzalez, Fermin - Google Libros.” Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=wZoyiFKf5IkC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Energ%C3%ADa+el%C3%A9ctrica.+&ots=OdqMKuMs9l&sig=DbzvhUTLm9dqCNkV-ie2twZdgb4#v=onepage&q=Energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica.&f=true>
- [30] “¿Cómo funciona la energía eléctrica? - Ciencia de Hoy.” Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: <https://cienciadehoy.com/como-funciona-la-energia-electrica/>

- [31] E. Sol, “La Energía Solar El Sol Como Fuente De Energía”, https://www.researchgate.net/profile/Oscar-Perpinan-Lamigueiro/publication/249012821_Energia_Solar_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f000000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf, 2023.
- [32] P. Puig, M. Jofra, and D. Electricidad, “Energía Solar Fotovoltaica Energía Solar Para La Generación”. 2023
- [33] Ambientum, “Energía eólica: qué es, tipos, ventajas y desventajas.” Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.ambientum.com>
- [34] Ambientum, “Energía hidráulica: origen, tipos, ventajas y desventajas,” <https://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/Energia-hidraulica-origen-tipos-ventajas-y-desventajas/Energia-hidraulica-origen-tipos-ventajas-y-desventajas.pdf>, 2019.
- [35] M. H. Dickson and M. Fanelli, “La Energía Geotérmica”. https://www.revistaelectronica-ipn.org/ResourcesFiles/Contenido/26/TECNOLOGIA_26_001050.pdf, 2021
- [36] F. Javier, C. Carrasco, and D. Martínez Márquez, “La Energía Geotérmica De Baja Entalpía Geothermal Energy Of Low Enthalpy,” vol. 4, pp. 96–108, 2015, doi: 10.17993/3ctec. 2015.v4n3e15.96-108.
- [37] E. Santoyo-Gutiérrez and I. S. Torres-Alvarado, “EscEnario futuro dE Explotación dE la Energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable”.
- [38] J. Fernández, “Energía de la Biomasa” <https://editorial.ugr.es/media/ugr/files/sample-138671.pdf>, 2020.
- [39] Consejo de seguridad nuclear, “La energía nuclear,” no. Consejo de seguridad nuclear, 2013.
- [40] P. Fernández Díez, “Departamento De Ingeniería Eléctrica Y Energética Universidad De Cantabria Turbinas Hidráulicas”, Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: <http://www.termica.webhop.info/>
- [41] J. Carlos, E. Cortés, R. Palma, B. Williams, C. Muñoz, and S. De Chile, “Diseño De Rodete De Turbina Hidráulica Tipo Pelton Para Micro generación Memoria Para Optar

- Al Título De Ingeniera Civil Mecánica Lorena Andrea Ferrada Sepúlveda Profesor Guía”.
- [42] I. Ariel and R. Marchegiani, “Universidad Nacional Del Comahue Turbinas Pelton,” 2004.
- [43] K. Santiago *et al.*, “Caracterización De Turbina Hidráulica Tipo Turgo Para Micro generación Memoria Para Optar Al Título De Ingeniero Civil Mecánico.”
- [44] B. G. Cotrina, I. M. Montenegro, and C. Macedonio, ““Determinación del Potencial Hidroenergético Aprovechable en la Micro Central Hidro cascajal Chimbote - Perú,”” Nuevo Chimbote, 2019.
- [45] B. Meza-Prieto, J. Aparicio, B. Meza-Prieto, and J. Aparicio, “Evaluación del potencial hidroenergético a pequeña escala en cuencas hidrológicas con un modelo lluvia-escurrencimiento,” *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 9, no. 1, pp. 69–87, 2018, doi: 10.24850/J-TYCA-2018-01-05.
- [46] Riveros Sergio Andrés and Rivera Hebert Gonzalo, “Modelación del Potencial Hidroenergético en Caudales Mínimos de la Cuenca del Rio Fonce,” 2015.
- [47] J. David and G. Triana, “Políticas para el Aprovechamiento del Potencial Hidroenergético en Colombia Mediante Pequeñas Centrales,” 2015.
- [48] Laboratorio, “Guías teórico-prácticas de laboratorios de mecánica de fluidos e hidráulica”
<https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorialuptc/catalog/view/181/219/4158,2021>.
- [49] Danna Gabriela Mora Balambá, Valeria Ávila Cruz, “Afectación Del Coeficiente De Rugosidad Para La Ecuación De Manning Con El Envejecimiento De Tuberías De Diferentes Materiales” Universidad Católica De Colombia Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Civil Bogotá
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/4414a453-7596-4634-a882-257f72943f04/content> 2019”.
- [50] Manuel Cantos Macías, “Aprovechamiento del potencial hidro energético en una mini NATURALES hidroeléctrica aislada,” vol. XV, pp. 4–5, Apr. 2023.

- [51] “Biblioteca – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.” Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- [52] Ibáñez Asensio, Sara Moreno Ramón, Héctor, Gisbert Blanquer, Juan Manuel, “Metodología Perdida De Suelos”. https://cortolima.gov.co/images/POMCA/POMCA_rio_lagunilla/ANEXOS/ANEXO_5_Metodologia_Perdida_De_Suelos.pdf
- [53] J. David, P. Arango, and O. J. Mesa Sánchez, “Estimación Del Factor De Erosividad De La Lluvia En Colombia,” 2023.
- [54] G. Blanquer, J. Manuel, and M. Ramón, “El Factor K De La Ecuación Universal De Pérdidas De Suelo (Usle),” 2019.
- [55] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Mapa Mundial de Suelos de FAO/UNESCO | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.” Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/mapas-historicos-de-suelos-y-bases-de-datos/mapa-mundial-de-suelos-de-faounesco/es/>
- [56] Wischmeier y Smith, “La Ecuación Universal de Perdida de Suelos, Metodología Perdida de Suelos,” p. 1, 1978.
- [57] Farly Stefany Bejarano Flórez, “VALORES NDVI,” <https://www.aet.org.es/congresos/viii/alb52.pdf>, 2019.
- [58] J. J. Gvozdenovich and P. Barbagelata, “INTA-USLE/RUSLE Versión 2.0 Manual del Usuario INTA-USLE Software de Erosión Hídrica INTA-USLE/RUSLE Versión 2.0,” 2015, doi: 10.13140/RG.2.2.21870.72009.
- [59] C. G. Mendoza, “Estructuras Hidráulicas. Embalses,” 2014. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: https://31084044/ESTRUCTURAS_HIDR%C3%81ULICAS_EMBALSES
- [60] A. Choquehuanca Huanca, “Análisis Morfométrico De La Cuenca Hidrográfica Del Río Lucre,” vol. 11. 1999.
- [61] G. L. Morris and J. Fan, “Reservoir Sedimentation Handbook,” McGraw-Hill Book Co, 1998.

- [62] “Universidad ‘Cesar Vallejo’-Trujillo Ensayo De Compactación: “Proctor Modificado Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería Civil TEMA.”.2014
- [63] Greta Armijos, “Volumen Útil de Un Embalse Reservorio Represa.” Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://document/245238882/VOLUMEN-UTIL-DE-UN-EMBALSE>
- [64] J. G. Sandoval, A. Tamburrino, T. Arturo, and J. Acuña, “Estudio de Sedimentación en el Embalse,” Santiago de Chile, Jul.2011.
- [65] M. McCartney and V. Smakhtin, “Water Storage in an Era of Climate Change: Addressing the Challenge of Increasing Rainfall Variability IWMI Celebrating,” 1985.
- [66] Karen Jhazmin Valencia Cruz, “Niveles Característicos en un Embalse,” 2023.
- [67] A. J. Morfett, and Martin. Borthwick, *Hydraulics in civil and environmental engineering*. Spon Press, 2004.
- [68] A. Chadwick, J. Morfett, and M. Borthwick, “Hydraulics in Civil and Environmental Engineering; Sixth Edition,” 2004.
- [69] M. Deshmukh, “Fluid Mechanics,” 1996. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: https://www.academia.edu/8669730/Frank_M_White_Fluid_Mechanics
- [70] R. H. Perry and D. W. Green, *Perry’s chemical engineers’ handbook*. McGraw-Hill, 2008.
- [71] Bruce R. Munson, Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch, and Alric P. Rothmayer, *Fundamental of Fluid Mechanics*, 7th ed., vol. 4. 1940. [Online]. Available: www.wileyplus.com
- [72] Mott. Robert L, “Mecánica de Fluidos,” vol. Sexta Edition, 2008, Accessed: Feb. 01, 2025. [Online]. Available: <https://avdiaz.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>
- [73] I. E. Idelchik, “Idel’chik Handbook Of Hydraulic. Resistance Coefficients of Local Resistance and of Friction,” 1994.
- [74] Cámara de La industria de la construcción, “Nosotros - Cámara de Comercio de Guayaquil.” Accessed: Jan. 26, 2025. [Online]. Available: <https://www.lacamara.org/website/nosotros/>

- [75] Cámara del Comercio de Guayaquil, “Nosotros - Cámara de Comercio de Guayaquil.” Accessed: Feb. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.lacamara.org/website/nosotros/>
- [76] Revista Técnica de la Cámara de la Construcción de Ambato, “Índice de Precios de la Construcción |.” Accessed: Jan. 26, 2025. [Online]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indice-de-precios-de-la-construccion/?utm_source=
- [77] Cámara del Comercio de Ambato, “Modus Vivendi,” Ambato, 2023.