

**“VIAVILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA
MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA EN EL EMBALSE DE CHIQUIURCU”**

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROCENTRAL
HIDROELÉCTRICA EN EL EMBALSE DE CHIQUIURUCU”**

Realizado por:

DANIEL ESTEBAN SALINAS MANTILLA

Director del proyecto:

DR. EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO

Como requisito para la obtención del título de:

**MAESTRIA EN ECOEFICIENCIA
INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Quito, 10 de marzo de 2020

“Viabilidad técnica para la implementación de una micro central hidroeléctrica”

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, DANIEL ESTEBAN SALINAS MANTILLA, con cédula de identidad # 171660615-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

171660615-5

“Viabilidad técnica para la implementación de una micro central hidroeléctrica”

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROCENTRAL
HIDROELÉCTRICA EN EL EMBALSE DE CHIQUIURUCU”**

Realizado por:

DANIEL ESTEBAN SALINAS MANTILLA

Como Requisito para la Obtención del Título de:

**MASTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL CON
MENCION EN EFICIENCIA ENERGÉTICO**

Ha sido dirigido por el profesor

Dr EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

“Viabilidad técnica para la implementación de una micro central hidroeléctrica”

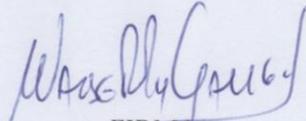
LOS PROFESORES INFORMANTES

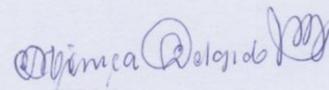
Los Profesores Informantes:

MsC. Walberto Gallegos

MsC. Mónica Delgado

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador


FIRMA


FIRMA

Quito, 10 de Marzo de 2020

“Viabilidad técnica para la implementación de una micro central hidroeléctrica”

DEDICATORIA

A Dios.

“Viabilidad técnica para la implementación de una micro central hidroeléctrica”

AGRADECIMIENTO

Al Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, por apoyo y atención prestada en el desarrollo del presente estudio de investigación.

RESUMEN

En la actualidad se ha incrementado el uso de tecnologías en sistemas de generación de energía sostenible, debido a que se ha podido evidenciar efectos negativos en el cambio climático, una de las más importantes es la hidroeléctrica. El presente estudio tiene como objetivo determinar la viabilidad técnica en la construcción de un micro central hidroeléctrico en la represa de Chiquiurcu, cantón Ambato, mediante el cálculo del potencial hídrico para el autoabastecimiento de las operaciones de la represa y el suministro de energía eléctrica a la comunidad de Calamaca. El primer paso fue realizar una recopilación de información existente, donde se obtuvieron datos de los caudales mensuales de salida de la tubería de los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, con el fin de poder determinar el caudal de diseño, con una probabilidad de ocurrencia del 85% cuyo valor fue de 410 L/s. Se determinó el salto de caída o altura neta, velocidad de flujo, pérdidas longitudinales y pérdidas de energía singulares (locales, menores y por accesorios) con la aplicación de las ecuaciones de la hidráulica, con el fin de poder determinar la potencia y determinar el tipo turbina a emplear. Se obtuvo como resultado que la potencia de la turbina es de 141,226 con un factor de planta de 0,9; seleccionándose para el proyecto la turbina tipo pelton. El análisis económico reveló un inversión total de 182 095 dólares, con un Valor Actual Neto (VAN) de 44636,78 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 27% y un periodo de retorno de 4,08 años

Palabras claves: hidroeléctrica, caudal, represa, energía eléctrica, turbina, factor de planta y análisis económico

ABSTRACT

At present, the use of technologies in sustainable power generation systems has increased, since it has been possible to show negative effects on climate change, one of the most important is hydroelectric. The purpose of this study is to determine the technical feasibility in the construction of a micro hydroelectric power plant in the Chiquiurcu dam, Ambato canton, by calculating the water potential for self-supply of the dam's operations and the supply of electricity to the community of Calamaca. The first step was to carry out a compilation of existing information, where data were obtained from the monthly flow rates of the pipeline of the years 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, in order to determine the design flow, with a probability of occurrence of 85% whose value was 410 L / s. The net jump or height jump, flow velocity, longitudinal losses and singular energy losses (local, minor and by accessories) were determined with the application of the hydraulics equations, in order to determine the power and determine the type turbine to be used. The result was that the turbine power is 141,226 with a plant factor of 0.9; the pelton type turbine being selected for the project. The economic analysis revealed a total investment of \$ 182,095, with a Net Present Value (NPV) of 44636.78 and an Internal Rate of Return (IRR) of 27% and a return period of 4.08 years

Key word: hydroelectric, flow, dam, electric power, turbine, plant factor, and economic analysis

ÍNDICE

1.	CAPÍTULO I.	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	El cambio climático y su efecto en el sector eléctrico ecuatoriano.	4
1.3.	Objetivos	9
1.3.1.	Objetivo General	9
1.3.2.	Objetivos Específicos	9
2.	CAPÍTULO II.	10
2.1.1.	Metodología	13
2.1.2.	Recolección de información	14
2.2.	Cálculo de caudal de diseño	17
2.3.	Cálculo de potencia	20
2.4.	Selección de turbina.	21
2.5.	Sistemas de transmisión eléctrica.	21
2.6.	Obra Civil	22
2.7.	Estudio financiero	24
3.	CAPÍTULO III. Resultados	25
3.1.	Caudales mensuales y promedios anuales	25
3.2.	Cálculo del caudal de diseño	26
3.3.	Cálculo de potencia	30
3.5.	Selección de la turbina	31
3.6.	Análisis de económico de la implementación de la micro central hidroeléctrica	33
4.	CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN.	34
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
5.1.	Conclusiones	37
5.2.	Recomendaciones	38
	REFERENCIAS	39

1. CAPÍTULO I.

1.1. Introducción

Después de la Revolución Industrial, la utilización del recurso agua como medio de generación de energía se ha venido desarrollando, dando como resultado uno de los medios más utilizados, por lo que las centrales hidroeléctricas han sido una pieza muy importantes para producción de energía limpia y así contribuir con una disminución considerable de contaminantes al ecosistema (Alcatud, 2005, p. 53-91).

En los últimos años, ha existido un incremento en la utilización de sistemas de generación de energía sostenible, debido a que se ha podido evidenciar efectos negativos en el cambio climático causados por el uso excesivo de fuentes no renovables, como es la generación de energía por medio de la combustión de hidrocarburos, la cual es una de las causas responsables del principal problema ambiental, siendo por tanto de gran importancia el uso de energías renovables, debido a que en un futuro no muy lejano, los recursos no renovables serán escasos y así la producción de energía estará limitada (García, 2000, p. 473).

En la actualidad uno de las opciones para la generación de electricidad a través de una central hidroeléctrica se ha enfocado en la utilización de represas, la cual puede definirse como una construcción la cual retiene una corriente de agua, con el objetivo de embalsar el agua y así utilizar los caudales y las presiones de agua para generación de energía (Vilches, 2007, p. 15).

Existen características fundamentales para definir el alcance que va a tener una central hidroeléctrica, en la cual, se parte desde la capacidad de generación eléctrica, donde se considera la potencia, la cual dependerá de factores como: la diferencia entre el

nivel de aguas arriba y el punto más bajo, el caudal de salida de la tubería que será capaz de turbinar, y las características técnicas de la turbina y generador (Santos, 2008, p. 50).

Las micro centrales eléctricas, llamados así porque su capacidad de producción de energía va entre los 100 Kilovatios y 1000 kilovatios, se encuentran principalmente en zonas de baja densidad poblacional las cuales no están cercanas al Sistema Nacional interconectado (Roy, 2013, p10).

La demanda de energía que se tiene por unidad de área es relativamente baja si se las compara con una central hidroeléctrica, de igual forma la provisión de energía que se tiene de la subestación no se encuentra a grandes distancias y dificultades geográficas para distribuir a consumidores de baja demanda, las instalaciones de la micro central no exigen transmisiones costosas, y no alteran en gran parte al medio ecológico, no dependen de combustibles fósiles y las operaciones mantenimiento no presentan una complejidad mayor; y, siendo unidades energéticas descentralizadas, se puede dar una administración local, con el fin de mejorar la organización social de la comunidad beneficiaria, generación de empleos que mejora la calidad de vida de los pobladores (Ramos, 2004, p.74).

Con el pasar de los años en el Ecuador, se han dado problemas a nivel político, económico, social y ecológicos, por lo que los diferentes gobiernos han tenido como meta mejorar la calidad de vida de las personas, siendo el sector eléctrico un impulsor de proyectos, con la finalidad de mejorar el desarrollo del país, incrementando tecnologías que buscan la aplicación de fuentes de energía renovable, optimizando el aprovechamiento de recursos naturales del país (Santamarta, 2005, p.44).

El gobierno ecuatoriano tiene un importante accionar por la prioridad brindada en el sector eléctrico, teniendo un gran acierto en la propuesta de fortalecer la matriz energética como eje fundamental de la productividad, la cual tiene como objetivo principal aprovechar los recursos naturales como fuentes de generación de energía eléctrica, para un crecimiento estratégico del sector.

Ecuador debido a su privilegiada ubicación geográfica, tiene un gran potencial de generación de energía hidroeléctrica a mediana y grande escala, por lo que el sector eléctrico ecuatoriano busca seguir desarrollando el uso de recursos renovables, lo que beneficia a todos los habitantes y al medio ambiente (Fontaine, 2004, p.25).

En el Ecuador se han generado proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas en diferentes zonas, las cuales han aportado como un medio de fuentes de empleo, contribuyendo así a los pobladores, generando un ingreso económico y mejorando su calidad de vida. (Segovia, 2011, p.30).

La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte tiene como fin dar un servicio eléctrico de calidad en su sector de concesión, la cual es superior a los 40.805 km² de superficie, con un total de 186.627 clientes distribuidos en las provincias de Pastaza, Morona Santiago, Tungurahua, y Napo, por lo que nació el interés en insertar proyectos de micro centrales hidroeléctricas en distintas zonas de la provincia.

En la provincia de Tungurahua, cantón Ambato parroquia San Fernando, se cuenta con un represa llamada Chiquiurcu, que se encuentra sobre los 3.741,2 m.s.n.m, la cual es alimentada por vertientes de páramo, dicha represa cuenta con una capacidad de almacenamiento de 3'250.000 metros cúbicos y se encuentran conectada a un tubería, la cual descarga un caudal regulado por un sistema SCADA al río Calamaca que dota de

agua de regadío en el canal Huachi -Pelileo, caudales Noroccidente de la ciudad y caudal ecológico al río Ambato. Razón por la que nace la propuesta de analizar la viabilidad técnica para el aprovechamiento de dicho caudal de salida mediante la instalación de una micro central hidroeléctrica, sin que genere algún impacto negativo en el caudal ecológico y con el fin de que a futuro se pueda plasmar el proyecto a través del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua.

1.2. El cambio climático y su efecto en el sector eléctrico ecuatoriano

En la matriz energética del país, predomina la energía hidroeléctrica en la cual se va a encontrar ciertos limitantes, desde el punto de vista del cambio climático. El sector eléctrico es el más vulnerable, debido a su naturaleza, lo que ocasionaría que se den sequías en determinados sectores del Ecuador (Vega, 2010). Lo que daría como resultado una disminución en la producción de energía en grandes centrales hidroeléctricas como la de Paute, la cual tendría una disminución del 27 % con una comparación en sus condiciones normales (Vergara et al., 2009).

En noviembre del año 2009 se produjo el estiaje más importantes de la cuenca del río Paute, lo cual ocasiono que se vea afectada la generación eléctrica, produciendo una seria de apagones que duraron 3 meses, dando como resultado pérdidas en la economía del Ecuador (El Diario, 2010).

Una de las principales causas que influyen en el fenómeno de las sequías, son los cambios que se generan en los patrones del clima, los cuales se ocasionan por efectos del cambio climático (MEER, 2010). Es importante que se generen estrategias a tomar en cuenta, con el fin de tener una adaptación de las centrales hidroeléctricas a los impactos que ocasiona el cambio climático y reducir la vulnerabilidad, los cuales pueden ser: tener

una manejo integral de los recursos naturales con un enfoque de cuenca, generar una conciencia en la conservación de sus ecosistemas y aplicar planes de manejo de paramo, con el fin de restaurar zonas afectadas (Álvarez, 2012, p.25).

Dichas estrategias aportan varios beneficios a futuro con el fin de disminuir la vulnerabilidad de las centrales a los posibles impactos ambientales y así generar un beneficio socioeconómico y aportar con la mitigación al cambio climático (Kriegler, 2011).

Aspectos ambientales

Una de las ventajas que presenta el uso de energías renovables es que la huella de carbono que produce la utilización de sus tecnologías en su ciclo de vida, la cual se mide en $\text{gCO}_2 \text{ e/kWh}$, es considerablemente mucho menor que la que producen los combustibles fósiles,

La media de los valores mundiales sobre la huella de carbono en el ciclo de vida de energías renovables, se encuentra entre 4 y 46 $\text{gCO}_2 \text{ e/kWh}$ lo que nos indica que es mucho menor si lo compráramos con la media para combustibles fósiles entre los más utilizados que son el petróleo, gas natural y carbón, los cuales el valor varía entre 469 y 1001 $\text{gCO}_2 \text{ e/ kWh}$ (Sathaye et al., 2011).

En la figura 1 las emisiones que producen los combustibles fósiles tienen valores de emisión de más de 100 gCO_2 mientras que las energías renovables presentan valores mínimos, teniendo a la energía hidroeléctrica en un rango medio de producción de gCO_2

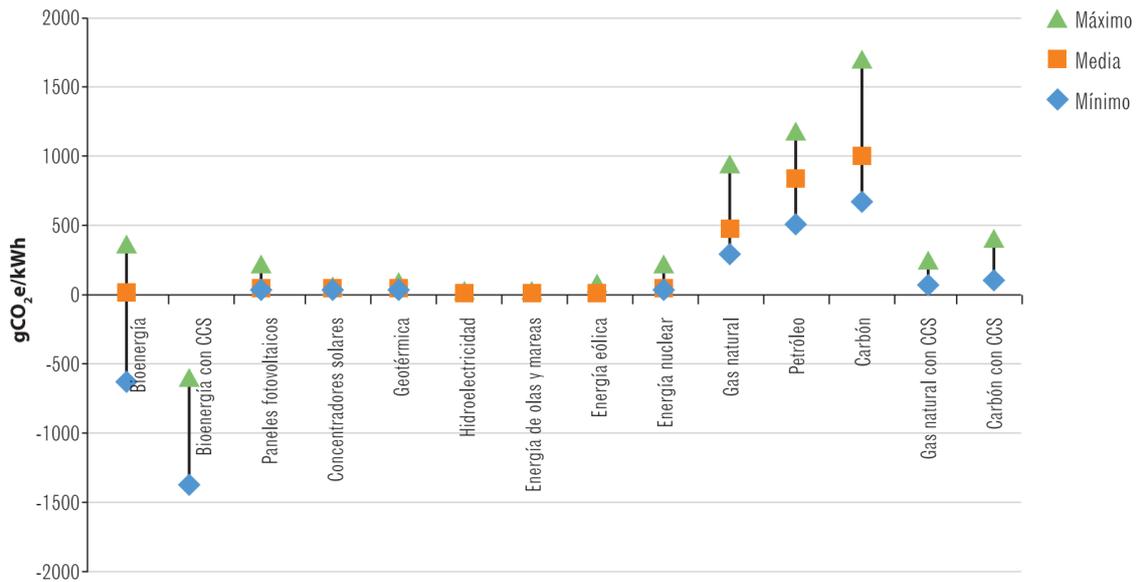


Figura 1: Rango de emisiones de gases de efecto de invernadero en fuentes de energía renovable y convencional

Fuente: Bruckner et al., 2011.

Políticas e institucionalidad para una matriz energética más diversificada

Para que exista un cambio significativo de la matriz energética del Ecuador no solo es necesario que existan instrumentos políticos, sino que se tome en cuenta un cambio a nivel de estructuración y planificación de una matriz que se encuentra centrada específicamente en el petróleo y energía hidroeléctrica (Gonzales, 2010, p.15).. Los principales problemas que han llevado a cabo que la matriz energética se enfoque en los puntos antes mencionados son:

- No se tienen un lineamiento a largo plazo de matriz energética y política energética.
- La visión del plan nacional del buen vivir no se encuentra alineada en concordancia con la planificación estatal.

- La falta de desarrollo en actividades por parte de del sector energético Ecuatoriano.
- Cambio en la estructura de subsidios a la energía del país.
- No existe un desarrollo en tecnologías de energías renovables.

Una de los mayores problemas de la matriz energética del Ecuador es que se encuentra trabajando mediante una lógica de alto crecimiento en cuanto a la demanda de energía, sin embargo no tiene consideraciones de eficiencia energética, la cual se enfoca por el consumo de servicios que tienen un bajo valor agregado, la cual este consumo se ha centrado en combustibles fósiles (Alves, 2018, p.58).

La tendencia actual de la política y matriz energética no se encuentran encaminadas a realizar un cambio, por lo que es indispensable modificar en cuanto a temas de subsidios para su eliminación gradual o que existe una focalización para que así no se vean afectados la disponibilidad y la autogeneración de recursos financieros del sector energético y no sea un incentivo el uso ineficiente de energías, y así el sector energético del Ecuador podrá expandirse mediante un mejor manejo de los recursos estatales (Sánchez, 2008, p.25).

Es importante considerar que las fuentes de energía renovable cumplen con un papel más importante que solo el aporte de energético que brindan, ya que este campo no solo aporta con la disminución de contaminantes y su aporte a la reducción del calentamiento global, sino la introducción de tecnologías energéticas desarrolla la apertura de nichos y oportunidades en múltiples campos como son: diseño, ingeniería medición de los recursos, servicios, fabricación local de componentes, mantenimiento,

etc., los cuales pueden ser explotadas por diferentes agentes económicos y así contribuir con el desarrollo del país (IPCC, 2011).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la viabilidad técnica en la construcción de una micro central hidroeléctrica en la represa de Chiquiurcu, cantón Ambato, mediante el cálculo de potencia hídrica para vender energía eléctrica al sistema interconectado del estado y generar recursos para la comunidad de Calamaca.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el caudal de diseño de operación, para la implementación de la micro central eléctrica, mediante un estudio de probabilidad de los caudales de salida de los últimos 5 años y su variación por época de año
- Determinar el tipo de turbina necesario para sistema de generación eléctrica, mediante las especificaciones técnicas de la represa y datos obtenidos.
- Realizar un análisis financiero mediante la evaluación correspondiente de los costos y beneficios de la implementación de la micro central hidroeléctrica en la zona de interés

2. CAPÍTULO II.

2.1. Área de estudio

La presa está localizada al noroccidente de la ciudad de Ambato, a 3.741,2 m.s.n.m. está localizada en la cuenca media del río Calamaca, dentro de propiedades de los miembros de las comunidades de Calamaca Grande, Calamaca Central y Santa Ana de Calamaca (Junta Parroquial de San Fernando), perteneciente a la parroquia de San Fernando del cantón Ambato.

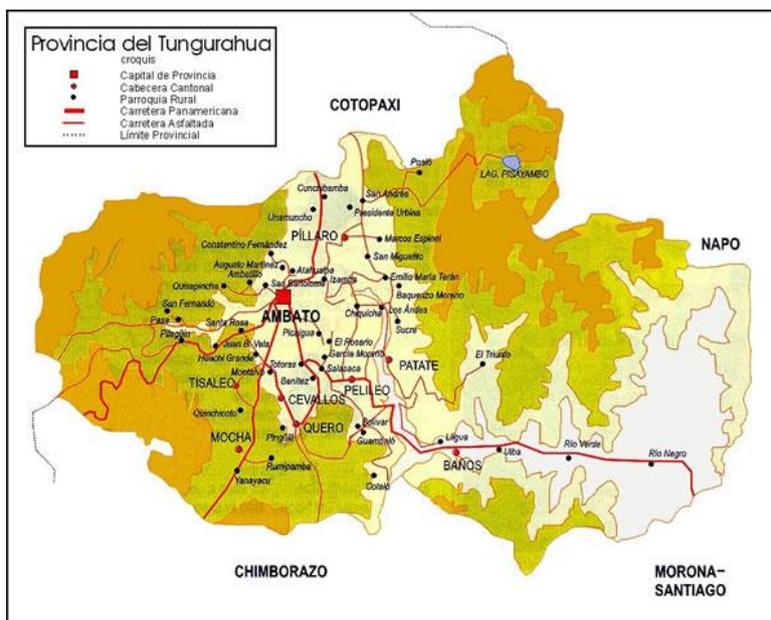


Figura 1: localización geográfica de la zona donde se va a realizar el proyecto de investigación

Fuente: (HGPT – Fundación MARCO, 2018)

El presente estudio de investigación se enfoca solamente la viabilidad técnica de la implementación de una micro central hidroeléctrica en la represa de Chiuiurcu, debido a que su tamaño y caudales son de importancia.

El embalse Chiquiurco almacena 3'250.000 metros cúbicos para posteriormente realizar descargas, los caudales en época de sequía cuenta con 450 litros por segundo que abarca los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero.



Figura 2: vista de superior de la represa de Chiquiurcu.

En las épocas de lluvia se tiene su mayor caudal que llega 2600 litros por segundo que comprende los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto hasta mediados del mes de septiembre; estos caudales tienen como fin cubrir las necesidades de agua potable, riego y caudal ecológico.

En la figura 3 se observa la localización geográfica del área de estudio, en donde se pueden evidenciar la represa de Chiquiurucu con sus principales afluentes hídricos

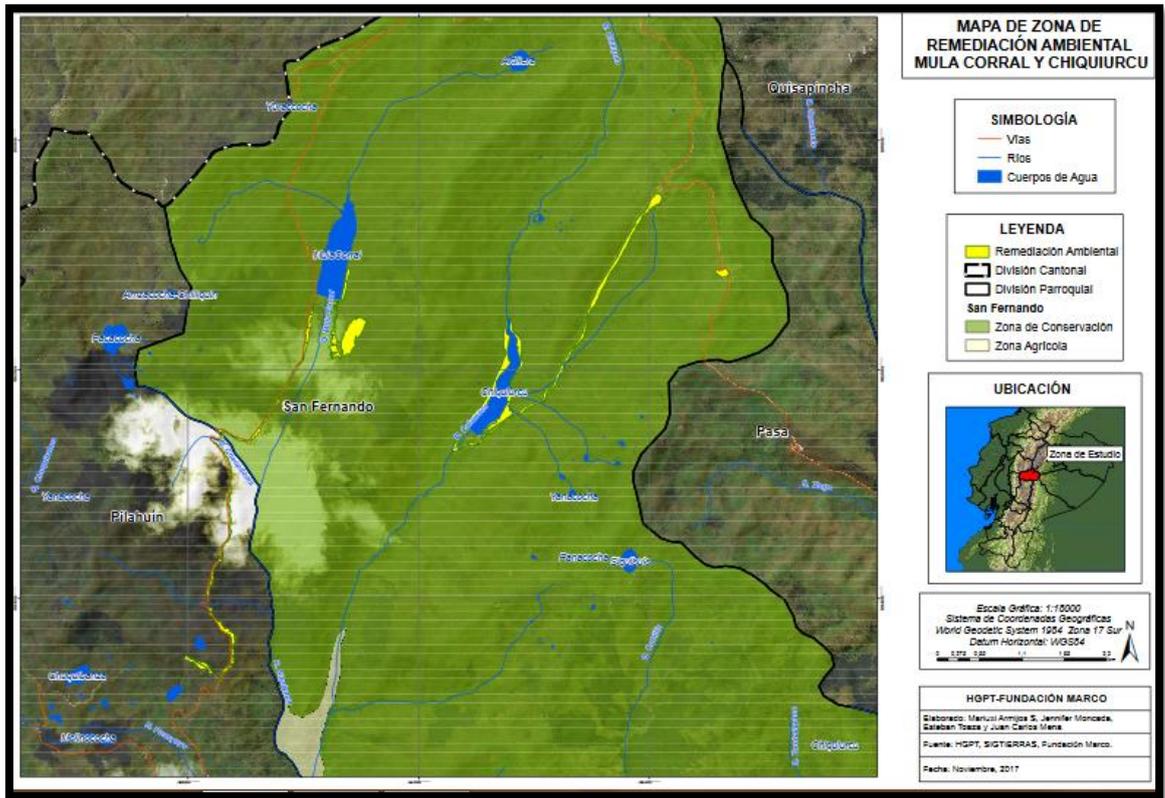


Figura 3: Localización Geográfica de los embalses Mulacorral y Chiquiurcu

Fuente. (HGPT – Fundación MARCO, 2018)

Los afluentes que abastecen la represa de Chiquiurcu provienen de la cuenca del río Calamaca, cuenca del Curiquingue, cuenca del Taucarrumi y cuenca del Podorrumi como se puede evidenciar en la figura 4.

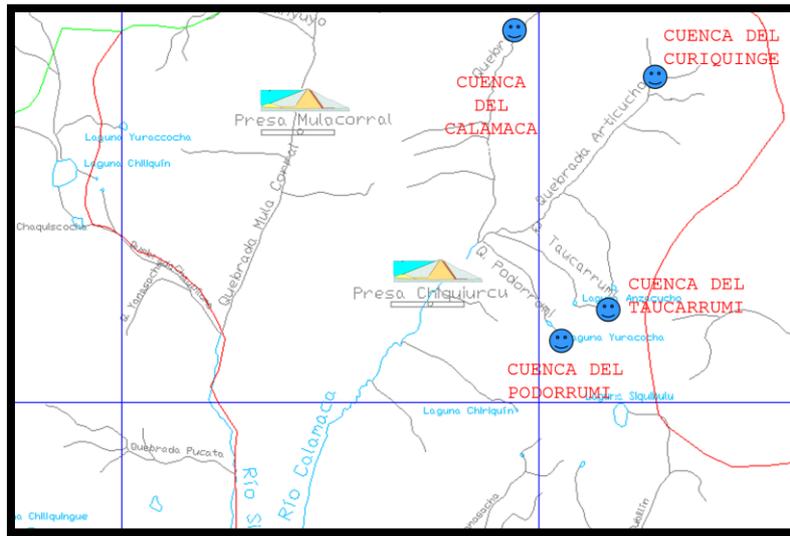


Figura 4: Localización Geográfica de las cuencas que aportan a la represa.

Fuente: (HGPT – Fundación MARCO, 2018)

2.1.1. Metodología

El presente estudio de investigación se realizó mediante la metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos (Ortegon, 2010, p.15), y por el asesoramiento de Ingenieros civiles y eléctricos del H. Gobierno Provincial de Tungurahua, los cuales están encargados de la parte del diseño y control de la represa de Chiquiurcu.

Se puede observar en la figura 5 los pasos que se siguieron en el presente proyecto, con el fin de poder determinar la viabilidad técnica para la implementación de una micro central hidroeléctrica en la represa de Chiquiurucu



Figura 5: Esquema metodológico para la viabilidad técnica de la implementación de una micro central

2.1.2. Recolección de información

El primer paso fue identificar la información existente de la zona, la cual el Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, facilitó con los datos requerida para el presente estudio, en donde se realizó la tabulación y cuantificación de los recursos existentes de 5 años atrás, los cuales fueron obtenidos a través del sistema SCADA el cual guarda el promedio de resultados mensuales de caudal de salida de la tubería, con el fin de pronosticar valores y medios indispensables

Existe una variación de caudal, la cual obedece a varios factores, donde los más importantes son: las cuencas hidrográficas que vierten sus aguas en la represa, y condiciones climatológicas, y la época del año, por lo cual se partió de mediciones mensuales que realiza el Gobierno Provincial Tungurahua.

El salto de agua o caída de agua según Fromm (2012), es la diferencia que existe entre el nivel superior de agua (boca toma) y el fin de tubería donde se encuentra la turbina, la cual nos va a dar como la carga hidráulica, en donde se tiene que a una altura mayor se va a generar un incremento en la potencia teórica.

Para poder determinar la altura vertical que existe entre los dos puntos antes mencionados, se utilizó el método del alfiler, la cual se pudo confirmar con los planos de diseño de la represa, en el cual la diferencia de altura es de 60 m.

De igual forma se conoce el dato de la longitud de la tubería, la cual es de 170 m de largo y 0.7 m de diámetro como se puede observar en la figura 6, la cual consta de una reja al inicio, en donde se filtran los escombros y ramas que podrían dañar la tubería, seguida de una codo, tee de empalme, válvula, y tapón, los cuales son datos que se utilizaron para el cálculo de pérdidas por accesorios y por fricción en la tubería

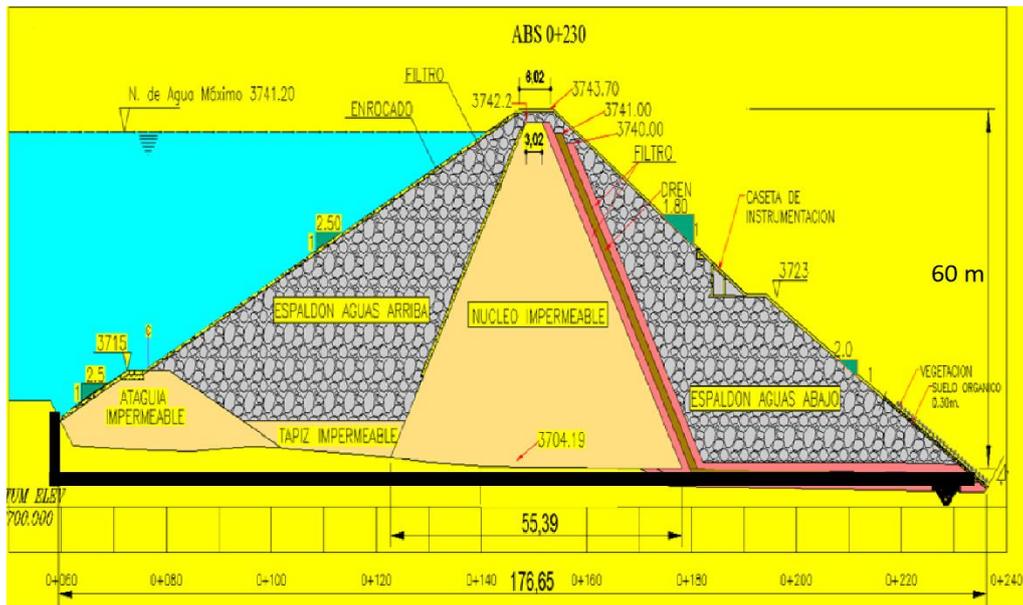


Figura 6: Diseño y dimensionamiento de la represa de Chiquiurcu.

Fuente: (Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, 2012)

Debido a la distancia apartada en la cual se encuentran los vasos de regulación y por posibles desastres naturales el Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua tiene instalado un sistema SCADA, que es una aplicación de software que se comunica con los dispositivos en el campo de manera remota y controla automáticamente los procesos desde la pantalla de un computador.

La aplicabilidad en el proyecto constituye la supervisión y control de los niveles de cota en la cual se encuentran los embalses y el caudal entregado por las válvulas como se puede observar en la figura 7 donde se muestra en tiempo real el caudal de salida de la represa el cual está conectado a la tubería (figura 9) y a la válvula, donde regula el porcentaje de apertura para determinar el nivel de caudal

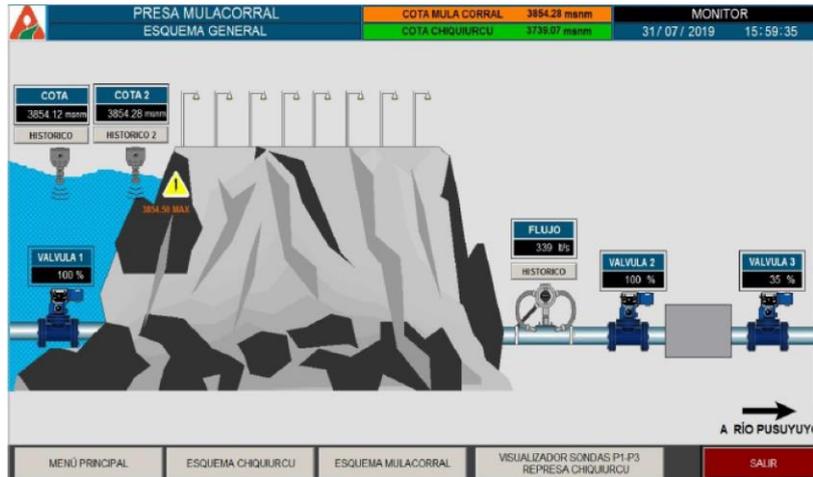


Figura 7; Esquema general de funcionamiento del sistema SCADA en la represa

Fuente: (Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, 2012)

El sistema SCADA que utiliza el Gobierno Provincial de Tungurahua fue el que se utilizó para poder cuantificar los datos de caudal mensual entregado de los últimos 5.



Figura 8: Dispositivo que regula el caudal de salida del sistema SCADA en la represa



Figura 9: Tubería conectada al sistema SCADA

2.2. Cálculo de caudal de diseño

El cálculo de la probabilidad de ocurrencia de caudales se lo realiza mediante la fórmula de weibull (ecuación 1), la cual toma en cuenta el número total de la muestra y calcula la probabilidad de ocurrencia ordenando los caudales de mayor a menor. Siendo los caudales menores los de mayor probabilidad de ocurrencia.

$$P = \frac{N}{\Sigma n+1} \quad (1)$$

Donde:

P: Probabilidad de ocurrencia

N: Posición del caudal de forma ascendente

Σn : Número total de caudales observados (60 datos)

Los datos mensuales de caudal se obtuvieron de los últimos 5 años en el punto de salida del sistema. Mediante este método se pudo obtener el caudal de diseño para la hidroeléctrica, el cual se establece en el caudal con una probabilidad del 85% según Castillo (2014) para micro centrales eléctricas. Mediante este caudal y la altura de caída

de la represa se puede seleccionar la turbina apropiada y los sistemas de instalación eléctrica.

Con el fin de poder obtener la altura neta que se va a utilizar para el cálculo de potencia, se determinó las pérdidas totales del sistema, mediante la ecuación 2 (Quezada, 2006, p.63).

$$h = h_t + h_s \quad (2)$$

Donde:

h : Altura real del sistema (m)

h_t : Pérdidas de energía longitudinal (m)

h_s : Pérdidas de energía singulares (m)

Las pérdidas longitudinales son igual a la sumatoria de los valores que se obtiene al entrar en contacto el fluido con las paredes de las tuberías y conductos, mientras que las perdidas singulares son la sumatoria de los cambios velocidad y de dirección que tienen el flujo.

Para el cálculo de la velocidad de flujo se utilizó la ecuación 3 (Quezada, 2006, p.64).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Donde

V : velocidad del flujo (m^3/s).

Q : caudal del flujo caudal de agua turbinable en litros por segundo (m^3/s).

A; área de la tubería en (m)

Para el cálculo de pérdidas longitudinales se utilizó la ecuación 3 de Darcy-Weisbach (disipación viscosa en fluidos y paredes)

$$h_t = f \frac{L}{D} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (4)$$

Donde:

L; longitud de la tubería (m)

D; diámetro nominal del conducto (m)

V: velocidad del flujo (m/s²).

f: Coeficiente de fricción (0.04)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

Para el cálculo de pérdidas de energía singulares (locales, menores y por accesorios)

$$h_s = K_S \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (5)$$

Donde:

L; longitud de la tubería (m)

D; diámetro nominal del conducto (m)

V: velocidad del flujo (m/s²).

K_S: Coeficiente de pérdidas singulares (0.04)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

Para el cálculo de pérdidas de energía se utilizó los coeficientes de pérdida singulares de la tabla 1

Tabla 1

Coefficiente de pérdidas singulares

Pérdidas singulares	Rejilla	Válvula	Tee de empalme	Codo	Tapón
Coefficiente de pérdidas singulares	0,8	5	1,8	0,9	1

Fuente: (Rivas & Sánchez, 2007, p.54).

2.3. Cálculo de potencia

La potencia electromecánica que se puede obtener al turbinar el caudal de entrega de la tubería de salida mediante la ecuación 5

$$P_t = g \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_d \times Q \times H \quad (5)$$

Donde:

Pt: Potencia teórica en (kW /h)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

η_t : Rendimiento de la turbina hidráulica (0.7).

η_g : Rendimiento del generador eléctrico (0.90).

Q: Caudal de agua turbinable en litros por segundo (L/s).

H: Altura neta (m).

η_d = Rendimiento de la distribución de energía (0.80).

2.4. Selección de turbina.

Para determinar la turbina que se requiere instalar, se utilizó el monograma para selección de turbinas en la figura 18, donde se toman en cuenta los valores obtenidos con anterioridad, los cuales dependerán de la altura neta o salto de caída, del caudal aprovechable que se obtuvo mediante el cálculo de probabilidad de ocurrencia para cálculo de diseño y la potencia teórica que va a tener la capacidad de generar la turbina (Bustamante & Arias, 2008).

2.5. Sistemas de transmisión eléctrica.

Es importante tomar en cuenta que en la represa de Chiquiurcu, ya cuenta con una oficina para el control y regulación del funcionamiento de la represa y una casa de máquina, por lo que se puede considerar la implementación de los sistemas de transmisión eléctrica en dicha zona.

Tiene como objetivo principal transformar energía mecánica en energía eléctrica, la cual se va a realizar a una velocidad mecánica constante, es importante que el eje de la turbina tenga un buen acople al generados, lo cual tendrá como resultado que los dos equipos giren a una misma velocidad mecánica y que cualquier cambio en la demanda de caudales, el sistema tenga la facilidad de poder trabajar correctamente (Ortiz Florez, 2011).

Comprende, torres de retención, tendido de cables, suspensión y subestación de elevación y complemento de la subestación de transformación

- **El generador de energía eléctrica**

Para micro centrales hidroeléctricas se utiliza un generados estacionarios kolbach de 200 kW, el cual va a tener la finalidad de convertir la energía mecánica a energía eléctrica, fundamental en una central hidroeléctrica, el cual será instalado con un alternador que se caracteriza por tener una velocidad sincrónica y auto inducida, en la cual su potencia máxima de generación es de 5000 vatios y 3600 rpm a un nivel de voltaje de 110/220 CA, y consta con sistema de transmisión de potencia por polea, el cual es fabricado con carcasa en aluminio.

- **Tablero de Control.**

El cual viene con equipo de protección y monitoreo, amperímetro, voltímetro y frecuencímetro, control electrónico de carga con conexión directa a resistencias lastre de disipación.

2.6. Obra Civil

La represa de Chiquiurcu cuenta con la infraestructura para la instalación de la micro central, en la cual será necesario realizar unas pequeñas adaptaciones ya que tiene una oficina de control, la cual puede ser utilizada como casa de control y la casa de máquinas que se encuentra al final de la tubería que entrega el caudal la cual cuenta con un cuarto de máquinas, donde se instalará el inyector, el generador y la turbina, la cual necesita una superficie de 4x4 m como se observa en la figura 10



Figura 10: casa de máquinas donde se va a instalar la micro central.



Figura 11: caudal de salida y vista posterior de la represa

El mantenimiento que va a ser necesario en la micro central hidroeléctrica es mínimo, básicamente se debe priorizar en la turbina, en los componentes externos aspas y rodete.

En cuanto al generador y el sistema eléctrico instalado, el mantenimiento lo realiza personal especializado en donde es importante considerar que cada 5 años se realiza un mantenimiento profundo de todo el sistema.

2.7. Estudio financiero

En base a los datos obtenidos, se realizó la evaluación correspondiente, en la cual se utilizaron principales indicadores para un análisis económico como son cálculo del Valor Actual Neto (VAN), cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Los rubros tomados en cuenta para la evaluación de la inversión inicial, los ingresos, costos de operación y mantenimientos realizados, fueron para un periodo de 10 años.

Los costos esperados y flujos de ingreso se actualizaron a año cero, donde se utilizó una tasa de interés que corresponde a la tasa de oportunidad de la entidad pública que se va a hacer cargo del proyecto, el cual sería el Honorable Gobierno de Tungurahua. La tasa de interés corresponde al 6% anual.

Los ingresos que va a tener la micro central hidroeléctrica se van a generar, mediante la venta de electricidad al estado, el cual será entregado al sistema nacional interconectado a través de una subestación

Para poner en marcha el proyecto de la micro central hidroeléctrica, se realizó un análisis económico el cual se contempló el valor de generación y el costo de kW/h propuestos por el CONELEC

Los factores y variables tomados en cuenta para el estudio económico de la micro central hidroeléctrica fueron los siguientes:

- Se consideró que se tiene disponibilidad del 100% de la potencia generada con las turbinas
- Se tomó en cuenta el tiempo en la que la micro central no está trabajando, la cual se tomó por concepto de mantenimiento de 10 días al año.
- El precio de venta del kW/h de 0,8 dólares el kW/h

3. CAPÍTULO III. Resultados

3.1. Caudales mensuales y promedios anuales

En la tabla 2 se muestran los datos de caudales mensuales y promedios anuales de salida de la tubería de la represa de Chiquiurcu, de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019, valores que fueron tomados por el sistema SCADA.

Tabla 2

Caudales mensuales y promedios anuales de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019

Mes	2015 (L/s)	2016 (L/s)	2017 (L/s)	2018 (L/s)	2019 (L/s)
Enero	326	653	752	753	775
Febrero	357	885	370	985	916
Marzo	410	728	455	654	686
Abril	808	797	458	900	562
Mayo	1015	900	1338	985	995
Junio	1434	1833	1221	1750	1734
Julio	1288	1810	1190	1900	1288
Agosto	1120	1163	1236	1845	1120
Septiembre	652	618	548	587	652
Octubre	567	452	350	512	567
Noviembre	400	608	350	608	400
Diciembre	323	441	536	654	523
Promedio anual	725,0	907,3	733,7	1011,1	851,5

En la figura 17 se puede observar las curvas comparativas de caudal de entrega de los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, en la que se muestra que las épocas con mayor flujo de agua son desde mayo hasta agosto la cual es considerada época de invierno por sus fuertes lluvias, lo que proporcionó el incremento de las vertientes de agua que alimentan a la represa, siendo Julio del 2017 el tope máximo, con un caudal de 1900 L/s, mientras que los meses de septiembre hasta marzo, considerada época de estiaje, se tienen caudales de salida más bajos siendo diciembre 2015 el punto más bajo con un caudal de

323 L/s. A partir de abril en adelante los caudales empiezan a crecer hasta llegar a su punto más alto entre los meses de junio y julio.

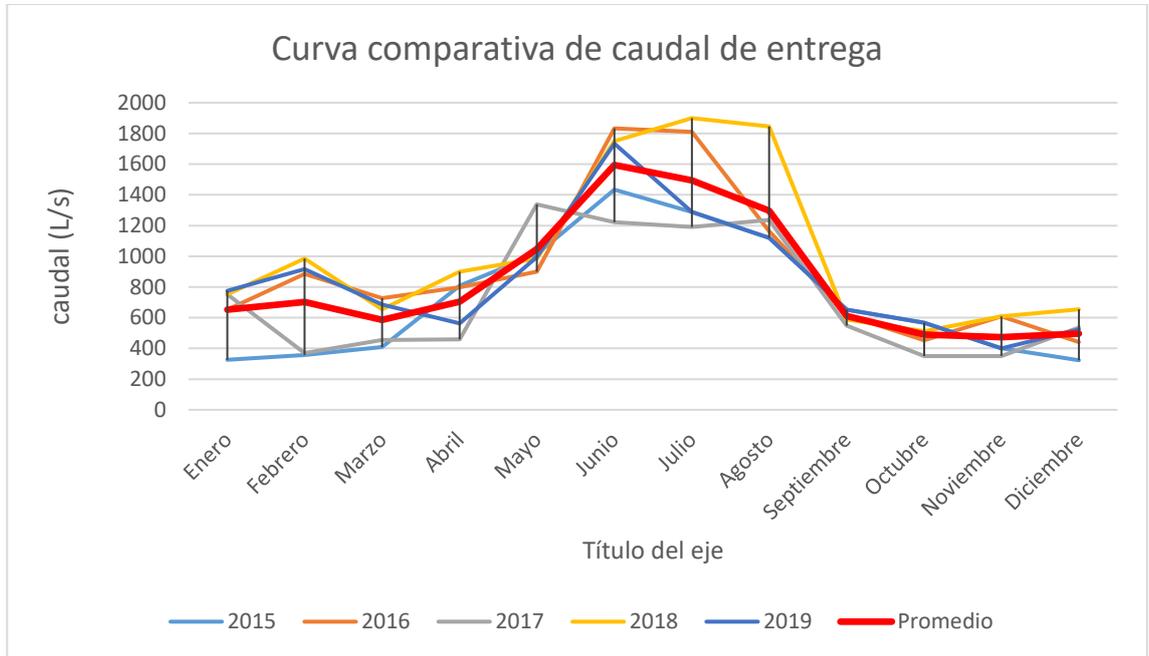


Figura 12: Grafico comparativo de caudales de entrega de los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019.

3.2. Cálculo del caudal de diseño

La represa cumple con una cota estable para aportar un máximo de 400Lt/s al rio Ambato en épocas de sequía, por lo cual se analiza los promedios móviles de caudales de los últimos 5 años en la figura13, asegurándose que el caudal de diseño no supere el mínimo de esta media móvil. Mediante este caudal y la altura de caída de la represa se puede seleccionar la turbina apropiada y los sistemas de instalación eléctrica.

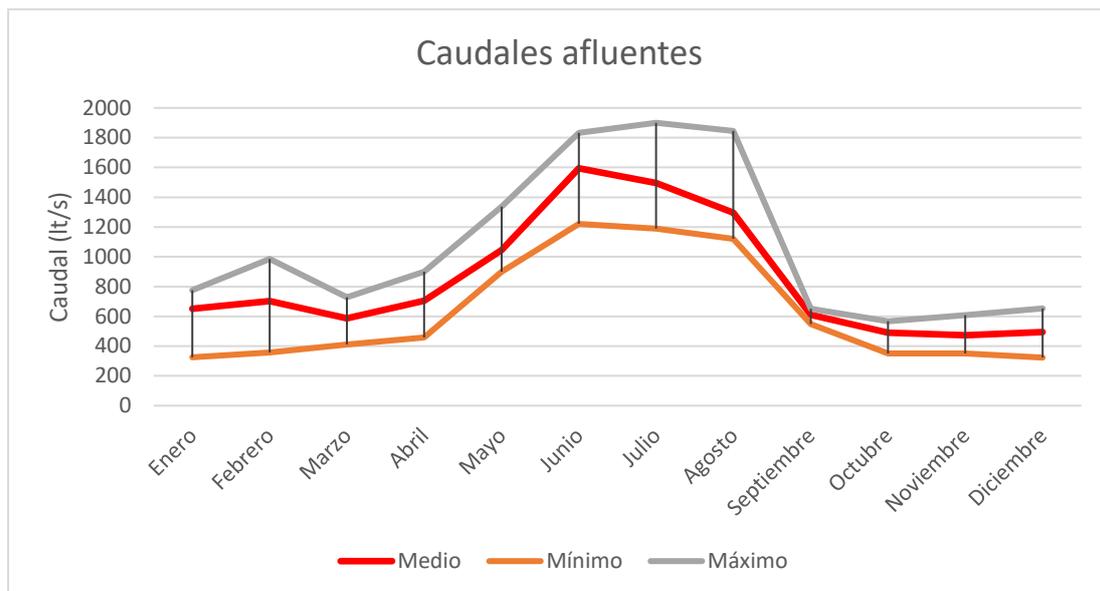


Figura 13: Promedios móviles máximos medio y mínimo de los caudales afluentes de los últimos 5 años.

En la figura 14 se muestra el hidrograma obtenido en base a los datos del sistema SCADA de la represa de Chiquiurucu. Se debe tomar en cuenta que estos datos no pertenecen a una medición del río Calamaca, sino, a un caudal regulado y entregado al río.

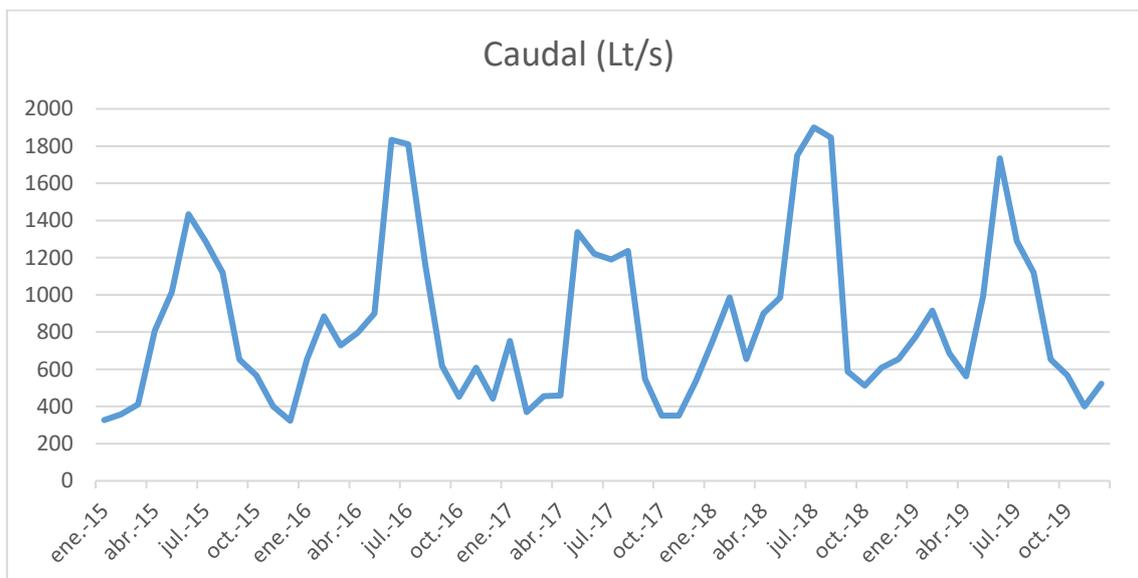


Figura 14: hidrograma en base a los datos del sistema SCADA.

El caudal de diseño para la hidroeléctrica, se estableció con una probabilidad del 85% tomado de las recomendaciones de OLADE (2014) y Márquez, (2017), la cual dio como resultado 410 Lt/s, con un tiempo de retorno de 1,2 meses, como se muestra en la tabla 3. De igual forma para la selección del caudal de diseño, se consideraron que se busque la máxima generación posible, sin afectar la dotación de caudal hacia el río Ambato, ya que este cuenta con una mínimo 400 Lt/s, que es el caudal requerido de la captación de agua del río Ambato y el canal Huachi-Pelileo y que no se exista un efecto negativo por variabilidad natural de caudales en el río.

Tabla 3

Cálculo de probabilidad de ocurrencia para caudal de diseño

Datos de caudal medio mensual de mayor al menor (2015-2019)	Total de valores	Tiempo de retorno (meses)	Tiempo de retorno (años)	Probabilidad de ocurrencia
1900	1	61,0	5,08	2%
1845	2	30,5	2,54	3%
1833	3	20,3	1,69	5%
1810	4	15,3	1,27	7%
1750	5	12,2	1,02	8%
1734	6	10,2	0,85	10%
1434	7	8,7	0,73	11%
1338	8	7,6	0,64	13%
1288	9	6,8	0,56	15%
1288	10	6,1	0,51	16%
1236	11	5,5	0,46	18%
1221	12	5,1	0,42	20%
1190	13	4,7	0,39	21%
1163	14	4,4	0,36	23%
1120	15	4,1	0,34	25%
1120	16	3,8	0,32	26%
1015	17	3,6	0,30	28%
995	18	3,4	0,28	30%
985	19	3,2	0,27	31%
985	20	3,1	0,25	33%
916	21	2,9	0,24	34%
900	22	2,8	0,23	36%

900	23	2,7	0,22	38%
885	24	2,5	0,21	39%
808	25	2,4	0,20	41%
797	26	2,3	0,20	43%
775	27	2,3	0,19	44%
753	28	2,2	0,18	46%
752	29	2,1	0,18	48%
728	30	2,0	0,17	49%
686	31	2,0	0,16	51%
654	32	1,9	0,16	52%
654	33	1,8	0,15	54%
653	34	1,8	0,15	56%
652	35	1,7	0,15	57%
652	36	1,7	0,14	59%
618	37	1,6	0,14	61%
608	38	1,6	0,13	62%
608	39	1,6	0,13	64%
587	40	1,5	0,13	66%
567	41	1,5	0,12	67%
567	42	1,5	0,12	69%
562	43	1,4	0,12	70%
548	44	1,4	0,12	72%
536	45	1,4	0,11	74%
523	46	1,3	0,11	75%
512	47	1,3	0,11	77%
458	48	1,3	0,11	79%
455	49	1,2	0,10	80%
452	50	1,2	0,10	82%
441	51	1,2	0,10	84%
410	52	1,2	0,10	85%
400	53	1,2	0,10	87%
400	54	1,1	0,09	89%
370	55	1,1	0,09	90%
357	56	1,1	0,09	92%
350	57	1,1	0,09	93%
350	58	1,1	0,09	95%
326	59	1,0	0,09	97%
323	60	1,0	0,08	98%

Caudal de
diseño

En la figura 13 se tiene la gráfica de la curva de descarga en función del caudal de entrega del sistema SCADA y la probabilidad de ocurrencia, donde se toma el caudal de diseño de 410 (L/s), con una probabilidad de ocurrencia del 85%, a.

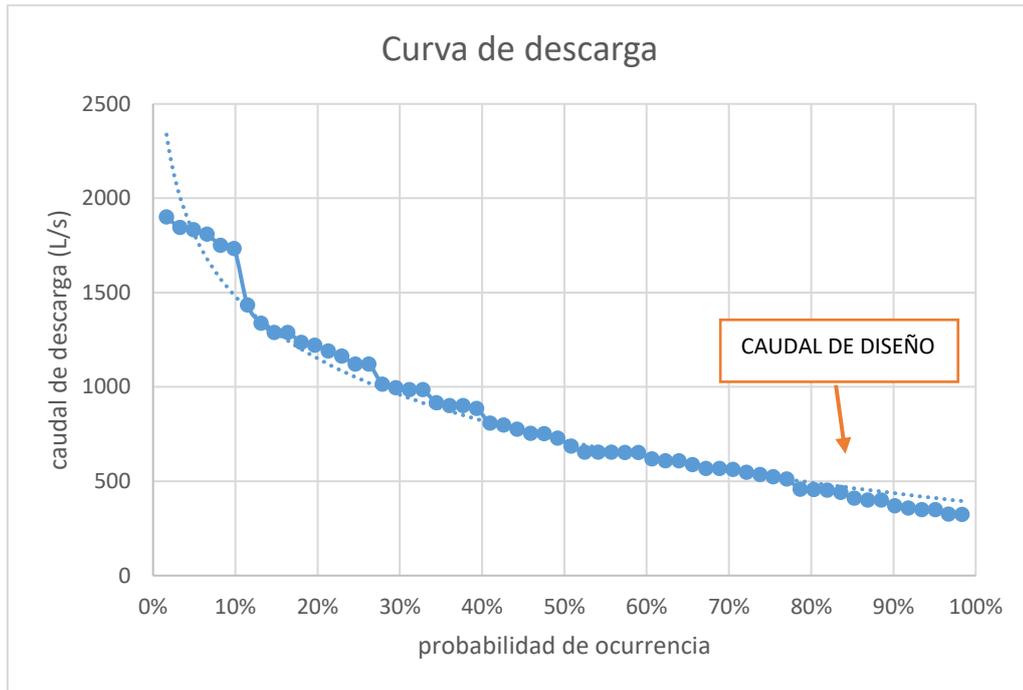


Figura 15: Curva de descarga para cálculo de probabilidad de ocurrencia

3.3. Cálculo de potencia

En la tabla 4 se realizó el cálculo de velocidad de flujo en la turbina, dato que se va a utilizar para el cálculo de pérdidas

Tabla 4

Cálculo de velocidad de flujo en la turbina

Unidad de medida	m/s ²
Velocidad del flujo turbinable	1.07

En la tabla 5 se realizó el cálculo de pérdidas de los componentes que conforman la tubería de descarga de caudal y se determinó la altura neta del sistema

Tabla 5

Cálculo de pérdida de energía de la tubería y altura neta.

Unidad de medida	m
Pérdidas de energía longitudinales	0.53
Coefficiente de pérdidas singulares	0.55
Altura de caída	60
Altura neta	58.9

Conociendo el dato de altura neta que se tiene en la represa, se determinó el cálculo de potencia, valor que se espera obtener al turbinar el caudal de salida en la turbina.

Tabla 6

Cálculo de potencia teórica de la micro central con un factor de planta de 0.9.

Unidad de medida	kW/h
Potencia teórica	141,226

3.5. Selección de la turbina

Según las especificaciones técnicas que se obtuvieron del caudal de entrega, salto de agua o caída vertical disponible y potencia eléctrica, se utilizó el monograma para selección de turbinas que se puede observar en la figura 16, en la cual se pudo determinar que el tipo de turbinas idónea para este caso son las turbinas Pelton.

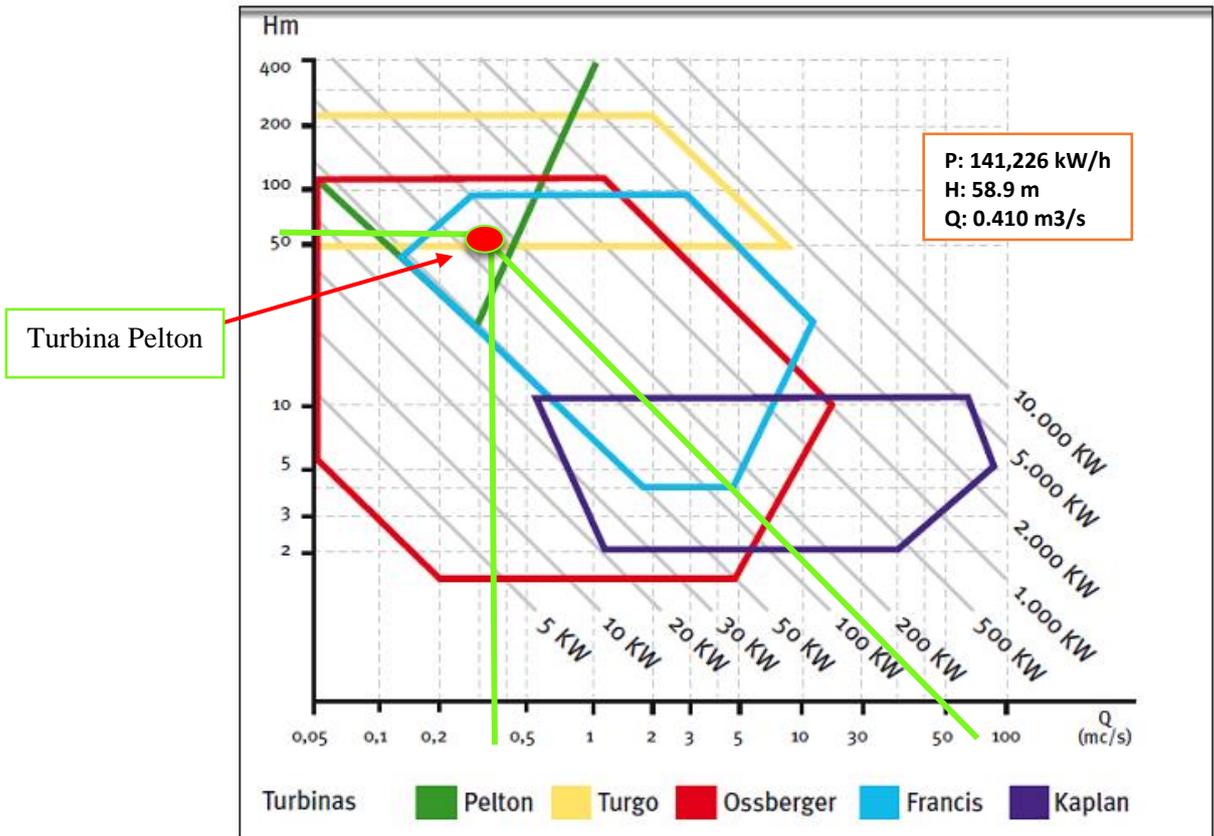


Figura 16: selección de turbina mediante monograma

Fuente: (Manual de Pequeña Hidráulica, 1998.)

Las turbinas turgo y michell-banki tienen la capacidad de turbinar caudales con mayor flujo que la pelton, debido a que su velocidad de rotación es mucho mayor y rodets más grandes. A menores potencias las turbinas de tipo pelton y turgo tienen una mayor eficiencia de trabajo con un valor de 90% siendo mayor que la turgo con 80% por lo que se determina que la pelton como se muestras en la figura 17 es más óptima para el presente caso

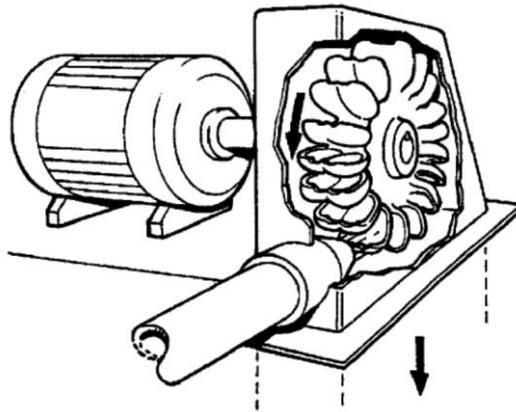


Figura 17: Turbina Pelton

Fuente: (Paish, 2002)

3.6. Análisis de económico de la implementación de la micro central hidroeléctrica

En base a los datos obtenidos, se realizó la evaluación correspondiente, en la cual se utilizaron principales indicadores para un análisis económico como son cálculo del Valor Actual Neto (VAN), cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Los rubros tomados en cuenta para la evaluación de la inversión inicial, los ingresos, costos de operación y mantenimientos realizados, fueron para un periodo de 10 años.

Los costos esperados y flujos de ingreso se actualizaron a año cero, donde se utilizó una tasa de interés que corresponde a la tasa de oportunidad de la entidad pública que se va a hacer cargo del proyecto, el cual sería el Honorable Gobierno de Tungurahua.

Los ingresos que va a tener la micro central hidroeléctrico se van a generar mediante la venta de electricidad al estado, el cual será entregado al sistema nacional interconectado a través de una subestación

- **Costos de la implementación de la microcentro**

En la tabla 7 se consideran los costos de inversión que se van a realizar en la implementación de la micro central valor que el Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua se encargara de asumirlo, para la implementación de la micro central.

Es importante tomar en cuenta que valores de obra civil no son muy elevados ya que en la represa existe la infraestructura necesaria, la cual estará sujeta a cambios, con el fin de poder adaptar las instalaciones necesarias para el correcto funcionamiento de la micro central

Se realizó un listado de los implementos que se necesitaran y se estimó su costo en el mercado actual.

Tabla 7

Costos de inversión de la micro central

Costo de inversión	Dólares
Turbina	\$112.000,00
Generador Asincrónico de eje vertical.	\$ 1.000,00
Transformador de interconexión.	\$ 500,00
Aceros para inyector y turbina	\$ 400,00
Armario de Control y Protecciones.	\$ 250,00
Transmisión	\$ 300,00
Inyector	\$ 300,00
Prensa estopas y empaques	\$ 50,00
Pernos inoxidables para turbina	\$ 50,00
Balanceo de turbina	\$ 45,00
Material estructural	\$ 3.000,00
Accesorios	\$ 2.000,00
PLC para automatización.	\$ 400,00
Instalación eléctrica	\$ 5.000,00
Fuente de Alimentation.	\$ 400,00
Construcción mano de Obra	\$ 6.000,00
Regulador de voltaje	\$ 400,00
Tendido de red trifásica	\$ 46.000,00
Banco de capacitores	\$ 500,00
Inyectores	\$ 1.000,00
Puente Grúa	\$ 2.500,00
Distribución de equipos de protección y seccionamiento.	
TOTAL	\$182.095,00

A pesar de que la micro central tiene la facultad de trabajar en forma continua es importante tomar en cuenta los mantenimientos o contratiempos que podrían suceder por lo que se ha tomado 10 días en la cual no estaría funcionando la turbina

Con forme a las regulaciones vigentes del sector eléctrico nacional, el precio al que el estado compraría la electricidad es de cuatro centavos de dólar el kW

En la tabla 8 se muestra el ingreso bruto anual, el cual está sujeto a los gastos de operación, mantenimiento y personal encargado de la micro central.

Tabla 8

Ingreso bruto anual que se espera generar con la venta de electricidad

Potencia (kW /h)	Potencia (kW /año)	Factor de planta	10 días mantenimiento (horas)	Pt neto (kW /año)	Precio (kW /h)\$	Ingreso bruto anual \$
141,226	1234141,51	0.9	-240	1336941,4	0,08	\$ 96.259,78

En la tabla 9 se muestra el costo fijo por pago al personal de trabajo y los costos variables, los cuales cada 5 año tendrán un aumento de 4 000 ya que se necesita un mantenimiento total de la micro central.

Tabla 9

Estimación de los costos de operación y mantenimiento.

Costo fijo	Año \$	Costo variable (Varia cada 5 años)	Año \$
Ingeniero supervisor	\$12.000,00	Materiales varios	\$ 3.600,00
Operario	\$ 4.800,00	Mantenimientos	\$ 6.000,00
TOTAL	\$ 16.800,00		\$ 9.600,00

En la tabla 10 se observan los activos fijos de mayor importancia los cuales son costos contables que deben ser tomados en cuenta ya que no constituyen desembolsos de efectivo desde el punto de vista de la elaboración de los flujos de caja.

Tabla 10

Depreciación de activos fijos

Activos fijos	Valor \$	Años	Costo anual \$
Transmisión eléctrica	35000	25	1400
Casa de maquinas	2000	30	100
Presa / generador	95000	25	3800
TOTAL			5300

Flujo de caja del proyecto

Con la información anterior sobre inversión inicial, ingresos y costos esperados se elabora el flujo de caja respectivo para 10 años.

Tabla 11

Flujo de caja para la viabilidad técnica para la implementación de una micro central Hidrológica

Ingresos	\$ 96.265,00	\$ 96.265,00	\$ 96.265,00	\$ 96.265,00	\$ 96.265,00	
Periodo (Años)	0	1	2	3	4	5
Inversión	\$ -182.095,00					
Depreciación	\$ -5.300,00	\$ -5.300,00	\$ -5.300,00	\$ -5.300,00	\$ -5.300,00	\$ -8.300,00
Coste Fijo	-16800	-16800	-16800	-16800	-16800	-16800
Coste Variable	-9600	-9600	-9600	-9600	-9600	-13600
flujo	\$ 64.565,00	\$ 64.565,00	\$ 64.565,00	\$ 64.565,00	\$ 64.565,00	\$ 57.565,00
15% de utilidades	\$ -9.684,75	\$ -9.684,75	\$ -9.684,75	\$ -9.684,75	\$ -9.684,75	\$ -8.634,75
flujo después de utilidades	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 48.930,25
flujo neto	\$ -182.095,00	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 48.930,25
flujo neto descontado	-182095	45733,54	38111,28	31759,40	26466,16	19663,97

Ingresos		\$ 96.265,00	\$ 96.265,00	\$ 96.265,00	\$ 96.265,00	\$ 96.265,00
Periodo (Años)		0	6	7	8	9
Inversión	\$ -182.095,00					
Depreciación		\$ -5.300,00	\$ -5.300,00	\$ -5.300,00	\$ -5.300,00	\$ -8.300,00
Coste Fijo		-16800	-16800	-16800	-16800	-16800
Coste Variable		-9600	-9600	-9600	-9600	-13600
flujo		\$ 64.565,00	\$ 64.565,00	\$ 64.565,00	\$ 64.565,00	\$ 64.565,00
15% de utilidades		\$ -9.684,75	\$ -9.684,75	\$ -9.684,75	\$ -9.684,75	\$ -8.634,75
flujo después de utilidades		\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25
flujo neto	\$ -182.095,00	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 54.880,25	\$ 48.930,25
flujo neto descontado	-182095	18379,28	15316,07	12763,39	10636,16	7902,50
VAN	44636,78					
TIR	27%					
Payback	\$ 4,08					

4. CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN.

Al realizar una comparación de resultados con una tesis de investigación similar (Castañeda, 2016), en la que se obtuvo una potencia de 100 kW /h y una altura neta de 70 m donde de igual forma se dio la selección de una turbina pelton, sin embargo para el cálculo de potencia no se realizó mediante un estudio de caudal de diseño, solo se tomó como referencia un promedio de los caudales obtenidos durante todo el año, el cual se utilizó para calcular la potencia teórica con la que se va a realizar el estudio de pre factibilidad, sin embargo no se tomó en cuenta que al utilizar un promedio de caudal, la implementación de la micro central, la cual tuvo un costo de 500 000 dólares, es más costosa y sobre utilizada, ya que en ciertas épocas del año donde el caudal este por debajo de la media, no se podrá realizar el trabajo requerido para generar la energía eléctrica necesaria.

Al realizar una simple comparación con el presente estudio de investigación, tomando en cuenta que existen factores externos que pueden variar entre los proyectos, se puede determinar que los costos de inversión son menores, el potencial teórico es superior y existe una mejor eficiencia energética, ya que la turbina no sea subutilizada y se busca que funcione en su mayor potencial.

De igual forma al comparar con la viabilidad económica, se pudo evidenciar que los valores son más bajos y su rentabilidad no es la mejor teniendo un Valor Actual Neto (VAN) que dio como resultado 331,59 y Tasa Interna de Retorno (TIR), donde se obtuvo un 1%.

Otro estudio similar se realizó en Colombia es en la sub cuenca del rio Padora (Romero, 2014), donde se realizó un estudio de pre factibilidad para la operación de una mini central hidroeléctrica, en la cual se determinó que la turbina optima es la turgo, en la que se pudo evidenciar que los datos obtenidos son similares a los de la represa de Chiquiurcu, como se muestra en la tabla 12

Tabla 12

Depreciación de activos fijos Datos comparativos entre Chiquiurucu y Rio Padora

Datos	Chiquiurcu	Rio Padora
Potencia	141,226 kW/h	161,226 kW/h
Altura	58.9 m	66 m
Caudal	0.410 m ³ /s	0.534 m ³ /s

Sin embargo aunque los datos para la selección de turbina sean similares, al realizar la comparación de por qué se seleccionaron diferentes turbinas, se identificó en la instalación de la turbina de tipo turgo requiere un diámetro mucho menor para su instalación, mientras que la pelton necesita aproximadamente el doble de superficie, por lo que se determinó que para este caso, la mejor opción es la turbina tipo turgo

En la provincia de Tungurahua, en la población de Tiliví, cantón Ambato, está instalado un proyecto de micro central hidroeléctrica el cual está ejecutado mediante el HGPT, en donde se realizó una inversión inicial de 270 000 dólares (Guerrero, 2010).

La micro central hidroeléctrico de Tiliví tiene una captación de 100 L/s, de tres acequias de la zona de Punduco para el funcionamiento de la turbina que genera 120kW/h, que al compararla con la de Chiquiurucu, se puede evidenciar que los costos de inversión son más altos debido a que el proyecto inicio desde cero y debido a sus características se tuvo que considerar la construcción de una desarenador lo que aumentos sus gastos por obra civil por lo que su tasa interna de retorno es mayor.

Mientras que en Chiquiurucu, ya se cuenta con la infraestructura necesaria la cual dependerá de ciertas modificaciones, las cuales no representan un costo tan elevado.

De igual forma se realizó una comparación del presente estudio de investigación con una tesis (Lazo, 2015), desde el punto de vista de contaminación ambiental. El proyecto de investigación realizó una evaluación del ciclo de vida y energético de las centrales hidroeléctricas de Paute y Agoyan con el fin de poder identificar en que etapas

de la implementación de un proyecto hidroeléctrico se identifica un mayor impacto ambiental. Se determinó que el punto más crítico, es la etapa de construcción, donde el principal problema es la producción y transporte de cemento debido a la gran cantidad de material que es necesario para la construcción de una represa. Una de las principales propuestas para una mejora que se manifestó en el estudio, consistió en tener una optimización de los procesos de diseño y mantenimiento de las centrales hidroeléctricas para alargar su vida útil y reducir el consumo excesivo de recursos. Al compararlo con la implementación de la micro central hidroeléctrica se puede determinar que los procesos que implican mayor contaminación ambiental asociado al consumo de energía, son las etapas de construcción de la represa, las cuales ya están instaladas, por lo que el impacto ambiental que se va a obtener es muy bajo, es importante mencionar que el HGPT mantienen ya 10 años un plan de remediación ambiental desde el inicio de construcción de la represa, en el cual se busca recuperar los bosques de páramo de Yagual que fueron afectados por la apertura de vías, construcción y transporte de material.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó que la viabilidad técnica para la implementación de la micro central hidroeléctrica en la represa de Chiquiurucu es factible, donde los resultados de caudal de diseño de 410 L/s, tendrá la capacidad de trabajar constantemente en su totalidad del tiempo al año, tomando en cuenta 10 días de paro por año por cuestión de mantenimiento o algún posible altercado que se pueda presentar, la cual tendrá la capacidad de generar 141,226 kW/h para venderlo al estado Ecuatoriano y así generar montos económicos, los cuales serán destinados a la comunidad de Calamaca.

Mediante las especificaciones técnicas y resultados obtenidos de caudal de diseño: 0.410 m³/s, potencia: 141,226 kW/h y altura neta: 58.9 m, considerando las pérdidas de energía, se determinó que la turbina para el presente proyecto de investigación es la tipo pelton.

Se determinó que el caudal de diseño con la que la turbina pelton va a tener una mayor eficiencia es de Q: 85% a 410 L/s, mediante un estudio de probabilidad de los caudales de salida en los últimos 5 años y su variación por época de año, por lo que se concluye que va a tener un trabajo constante durante todo el año, donde los caudales de salida cumplen con el flujo requerido para su correcto funcionamiento.

Se realizó el estudio económico de la rentabilidad del proyecto, en donde la inversión total dio como resultado 182 095 dólares, tomando en cuenta que la represa, tubería y obra civil ya se encuentra instalada, la cual solo se necesitarían ciertas modificaciones para instalar la turbina y el sistema eléctrico. El precio por kilovatio hora que el estado Ecuatoriano es de 8 centavos de dólar, valor que se utilizó para realizar el flujo de caja, donde se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) que dio como resultado 44636,78 y Tasa Interna de Retorno (TIR), donde se obtuvo un 27%, con un periodo de

recuperación de 4.08 años, concluyendo que tiene una buena rentabilidad la implementación del proyecto

5.2. Recomendaciones

Garantizar el suministro del agua es fundamental para el correcto funcionamiento del proyecto, aunque no se puede manipular el clima, si se pueden realizar acciones que promuevan la conservación de los ecosistemas a los cuales pertenece determinada corriente de agua

Conociendo los periodos más lluviosos en el año, los cuales van de junio a agosto, resulta importante tenerlos en cuenta en la programación de las obras a construir e instalación de maquinaria, con el fin de que no genere atrasos en la ejecución del proyecto

En Ecuador existen muchos lugares carentes de energía eléctrica y en los cuales se demostró, que es factible la implementación de una micro central hidroeléctricas mediante el apoyo del gobierno por lo cual es importante que se siga incentivando este tipo de propuestas de energías limpias.

REFERENCIAS

- Analuisa, A., & Javier, D. (2014). El control de la gestión del Honorable Consejo Provincial de Tungurahua (Master's thesis, Quito: EPN, 2008.).
- Bazmi, A. A., & Zahedi, G. (2011). Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(8), 3480-3500.
- Borroto Nordelo, A., Lapidó Rodríguez, M., Monteagudo Yanes, J., Armas Teyra, M. A. D., Montesinos Pérez, M., Delgado Castillo, J., ... & González Pérez, F. (2005). La gestión energética: una alternativa eficaz para mejorar la competitividad empresarial. *Energética*, (33).
- Castronuovo, E. D., & Lopes, J. P. (2004). On the optimization of the daily operation of a wind-hydro power plant. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(3), 1599-1606.
- Fontaine, G. (Ed.). (2004). *Petróleo y desarrollo sostenible en Ecuador: las apuestas* (Vol. 2). Flacso-Sede Ecuador.
- Brooks, D., Tiwari, V., & Martonosi, M. (2000). Wattch: A framework for architectural-level power analysis and optimizations (Vol. 28, No. 2, pp. 83-94). ACM.
- Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. *World Watch*, 22(3440.16).
- Alcantud, J. L., Pérez, D. G., Vilches, A., & González, E. (2005). Papel de la energía en nuestras vidas Una ocasión privilegiada para el estudio de la situación del mundo. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(2), 53-91.

- Segovia, F. C. (2011). Situación energética del cantón Cuenca y líneas de acción preferentes para fortalecer la investigación y el desarrollo a nivel local. *Ingenius*, (6), 87-96.
- Lutz, W. F. (2001). Reformas del sector energético, desafíos regulatorios y desarrollo sustentable en Europa y América Latina.
- Yang, H., Lu, L., & Zhou, W. (2007). A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system. *Solar energy*, 81(1), 76-84.
- DIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN ENERGÉTICA. (2006). Prospectiva del sector eléctrico 2005-2014. MEXICO.
- Harvey, A. (1998). *Micro-Hydro Design Manual*. London: IT. Publicacions.
- Minister of Natural Resources Canada. (2004). *Small Hydro Power Analysis*. M39-98/2003E-PDF
- Ortiz, R. (2001). *Pequeñas Centrales Hidroelectricas*. Bogotá. McGraw-Hill
- Pacheco, E & Pallo, M. (2010). Factibilidad de una Micro central Hidráulica en el Rio Mangayacu del Cantón Mera, Provincia de Pastaza y su Aprovechamiento en el Marco del Ecoturismo Aplicado al Proyecto Las Cascadas De Mangayacu. Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/878/1/T-UTC-0628.pdf>
- Paish, O. (2002). *Small hydro power: technology and current status* Small hydro power: technology and current status. Elsevier: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, 537-556.
- Rodríguez, L. & Suarez, L. (2013). *Diseño de una micro central hidroeléctrica para la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes*. Costa Rica.

- Ruiz, A. (2008). Métodos y técnicas de investigación científica. Las Choapas Mexico.
Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion-cientifica/>
- Segura, X. (2010). Análisis Técnico y Económico de la Inserción de Generadores de Energía Renovable en Redes de Distribución. Quito-Ecuador Recuperado de: [file:///C:/Users/Home/Downloads/CD-2790%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Home/Downloads/CD-2790%20(2).pdf)
- Vélez, R. (2013). Factibilidad de Sistemas de Micro y Mini Hidroeléctricas Comunitarias Rurales en el Azuay. Cuenca Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3240/1/TESIS.pdf>
- Quesada, J. L. D., & y Certificación, A. E. D. N. (2009). Huella ecológica y desarrollo sostenible. AENOR-Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Vargas, F. E. S., Alarcón, A. F. S., & Fajardo, C. A. G. (2011). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. *Informador Técnico*, 75.
- Tuapanta, R., & Jaqueline, D. (2014). Gestión del plan de manejo de páramos y su impacto en el desarrollo socioeconómico de los beneficiarios de las comunidades campesinas e indígenas de Pasa durante el período 2011-2013(Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Contabilidad y Auditoría. Carrera de Economía.).
- Dekker, R. (1996). Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. *Reliability engineering & system safety*, 51(3), 229-240.
- Roundy, S., Wright, P. K., & Rabaey, J. (2003). A study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes. *Computer communications*, 26(11), 1131-1144.
- Black, M. (2005). *El secuestro del agua: la mala gestión de los recursos hídricos* (Vol. 31). Intermón Oxfam Editorial.

- Crespo Pérez, D. (2015). *Propuesta de Procedimiento para la Evaluación y Diagnóstico de obras Hidráulicas* (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas).
- García, M. L., & Vergara, J. M. R. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(3), 473-486.
- Pool, I., & Roy, T. (2013). *Análisis de sistemas de generación eléctrica mediante micro-redes en la Universidad Central de las Villas* (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas).
- Ramos, A. M. (2004). *Fundamentos para la constitución de un mercado común de electricidad* (Vol. 73). United Nations Publications.
- Rivas, A., & Sánchez, G. (2007). 4 PÉRDIDAS DE CARGA EN LOS COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS. *GUIONES DE LAS PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS*, 55.
- Antuña Yudego, E., & Álvarez Álvarez, E. (2017). Estudio de viabilidad de la transformación parcial de una central de turbinado simple en reversible: el caso de la central hidráulica de La Barca (Asturias, España). *Ingeniería del agua*, 21(1), 1-34
- Morales Rodríguez, V. O., & Castaño Gamboa, N. (2017). Desarrollo de un Estudio de Viabilidad Técnica, Administrativo, Legal, Ambiental y Financiera de una Pequeña Central Hidroeléctrica en la Quebrada San José-Tolima.
- Salazar Roalcaba, E. (2019). Estudio de viabilidad económica de una Minicentral Eólica de 94, 5 Kw de potencia nominal en la presa Cirato Central Hidroeléctrica Carhuaquero.

- Aizpuru Dominguez, A. A. (2015). Estudio de viabilidad de la central hidroeléctrica de Plazakola.
- Alesanco Solís, J. (2018). *Plan de viabilidad de una central hidroeléctrica* (Bachelor's thesis).
- Iturain Barron, G. (2017). Estudio de viabilidad de minicentral hidroeléctrica en el embalse de Urrunaga en Legutio (Álava).
- Torres Sarmiento, J. D. (2015). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca* (Bachelor's thesis).
- Álvarez, C., Felipe, P., González González, D., Alemán, P., & Grey, J. (2016). Energías renovables y medio ambiente: su regulación jurídica en Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 179-183.
- Dafermos, G., Kotsampopoulos, P., Latoufis, K., Margaris, I., Washima, F. P., Ariza-Montobbio, P., & López, J. (2015). Energía: conocimientos libres, energía distribuida y empoderamiento social para un cambio de matriz energética. In *Buen Conocer-FLOK Society. Modelos sostenibles y políticas públicas para una economía social del conocimiento común y abierto en el Ecuador* (pp. 431-486). Asociación aLabs.
- Castro, M. (2011). Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador. *Quito: CEDA*.
- LeCalvez, M. (2011). La dependencia del petróleo: ¿obstáculo o estímulo para un cambio de matriz energética? *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (8), 4-6.
- Eras, A. A., & Barragán, E. A. (2013). Mecanismos de Promoción y Financiación de las Energías Renovables en el Ecuador. *ENERGÍA*, 128-135.