

Universidad Técnica del Norte



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA
MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA UTILIZANDO EL CAUDAL DE SALIDA DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR), IBARRA.**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Luis Daniel Ayala Itas

Director:

MSc. Jhonny Barzola

Ibarra – Ecuador

Junio, 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIFICACIÓN	1003626585		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ayala Itas Luis Daniel		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Isla Santa Cruz y Quito		
EMAIL:	ldayalai@utn.edu.ec, daniels.panda1994@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062-546-889	TELÉFONO MOVIL:	0990805983

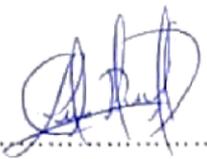
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA UTILIZANDO EL CAUDAL DE SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR), IBARRA
AUTOR(ES)	Ayala Itas Luis Daniel
FECHA:	21/06/2021
SOLO PARA TRABAJO DE GRADO	
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR/DIRECTOR	MSc. Jhonny Barzola

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de junio del 2021

EL AUTOR:



.....

Luis Daniel Ayala Itas

1003626585



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA
UNIVERSITARIA**

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE
GRADO**

Yo, Barzola Iza Jhonny Javier en calidad de tutor del señor, Ayala Itas Luis Daniel certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA UTILIZANDO EL CAUDAL DE SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR), IBARRA”**. Para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.

.....
Msc. Jhonny Javier Barzola Iza
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

CERTIFICADO DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO IBARR



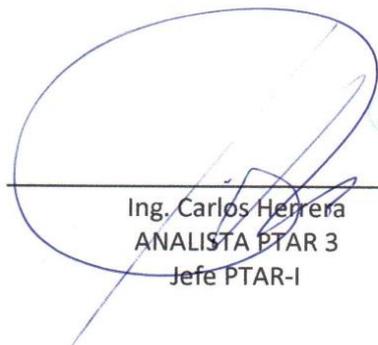
CERTIFICADO

Se certifica que:

El señor **AYALA ITAS LUIS DANIEL**, con cédula de identidad **100362658-5**, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte, se encuentra realizando su trabajo de titulación con datos proporcionados por los técnicos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el desarrollo del tema de tesis denominado: **"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA A PARTIR DEL CAUDAL DE SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDAULES (PTAR) IBARRA"**.

Se expide el siguiente certificado para los fines que el interesado considere pertinente.

Atentamente,



Ing. Carlos Herrera
ANALISTA PTAR 3
Jefe PTAR-I

DEDICATORIA

A Dios fuente de sabiduría, paciencia y amor.

A mi padre Luis Ayala por su apoyo, consejos, comprensión, ayuda en todo momento, quien me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi madre Noemí Itas quien no estuvo físicamente, pero sé que desde el cielo con sus oraciones supo entregarme esa fortaleza que tanto necesitaba.

A la memoria de mis abuelitos Luis Itas e Inés Sánchez quienes fueron parte importante en mi vida que ha muy tierna edad supieron entregarme todo su amor y ayuda incondicional.

A mis sobrinos Pamela y Daniel Chamorro Ayala quienes son mi más grande motivación para ser un ejemplo a seguir.

Gracias infinitas a todos por ser esa fuente de inspiración, que hoy me permite estar orgulloso de este logro importante en mi vida profesional y me motiva para continuar preparándome y ser mejor cada día.

Daniel Ayala

AGRADECIMIENTO

A las autoridades y catedráticos de la gloriosa Universidad Técnica del Norte por aportar sus conocimientos para culminar con éxito mi carrera profesional.

A mi asesor MSc. Jhonny Barzola catedrático de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas FICA, por la guía brindada en este trabajo de grado.

A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado EMAPA y al personal técnico que opera la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ibarra PTAR-I quienes facilitaron la información respectiva para la elaboración de este proyecto.

A mis hermanos Mónica Ayala y Stalin Ayala por su constante apoyo y motivación para cumplir mis objetivos.

A mis amigos y compañeros de clase con quienes hemos compartido conocimientos, experiencias y anécdotas en el transcurso de la carrera universitaria.

Y finalmente a mi padre por el gran esfuerzo realizado para poder concluir una meta importante en mi vida profesional y personal.

Daniel Ayala

TABLA DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
CONSTANCIA.....	III
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO	IV
CERTIFICADO DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO IBARR	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
TABLA DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
A1. Contextualización.....	XVII
A2. Planteamiento del problema.....	XVIII
A3. Formulación del problema.....	XVIII
A4. Justificación del trabajo	XVIII
A5. Alcance del trabajo.....	XIX
A6. Viabilidad del trabajo	XX
A7. Objetivo general	XX
A8. Objetivos específicos	XX
CAPÍTULO 1	1
Marco Teórico	1
1.1 Clasificación de las centrales por la energía primaria que utilizan.....	1
1.2 Generación hidroeléctrica	2
1.2.1 Energía del agua	2
1.2.2 Energía potencial.....	2
1.2.3 Energía cinética.....	2
1.2.4 Energía eléctrica.....	3
1.3 Centrales hidroeléctricas por la potencia generada.....	3

1.4 Centrales según el régimen de flujo	4
1.4.1 Centrales de agua fluyente	4
1.4.2 Centrales de embalse	5
1.4.3 Centrales de regulación diaria o semanal	6
1.4.4 Centrales de bombeo o reversa	6
1.5 Centrales según la altura de caída de agua	6
1.5.1 Centrales de alta presión	6
1.5.2 Centrales de media presión	7
1.5.3 Centrales de baja presión	7
1.6 Micro centrales Hidroeléctricas	7
1.6.1 Parámetros de diseño	7
1.6.2 Componentes de conducción y generación	10
1.7 Turbinas hidráulicas	12
1.7.1 Turbinas de reacción para saltos pequeños.....	12
1.7.2 Tipos de turbinas para saltos medios.....	14
1.7.3 Dimensionamiento y utilización de los distintos tipos de turbinas.....	17
1.8 Generadores Eléctricos.....	18
1.8.1 Generador Síncrono	19
1.8.2 Generador Asíncrono.....	20
CAPÍTULO 2	22
Desarrollo	22
2.1 Introducción	22
2.2 Descripción del lugar de estudio	22
2.3 Metodología del diseño de la micro central hidroeléctrica	23
2.4 Demanda energética.....	26
2.5 Parámetros de diseño	27
2.5.1 Caudal disponible	27
2.5.2 Medición del salto geodésico	27
2.5.3 Estimación del potencial de energía eléctrica	31
2.5.4 Dimensionamiento de tuberías	31
2.5.5 Dimensionamiento de la turbina hidráulica.....	33
2.5.6 Parámetros del Generador eléctrico	37
2.5.7 Cálculo de la caída de voltaje en el conductor.	42
2.5.8 Sistema de control	43

2.6 Obras civiles	43
2.6.1 tanque de carga.....	43
2.6.2 tubería de presión	44
2.7 Casa de máquinas	45
CAPÍTULO 3	48
Análisis técnico económico.....	48
3.1 Tubería de conducción.....	48
3.1.1 Diámetro interno de la tubería de presión	48
3.1.2 Velocidad de flujo en la tubería.....	48
3.1.3 Presión nominal en la tubería	48
3.2 Turbina hidráulica	48
3.2.1 Selección de la turbina de acuerdo a la potencia	48
3.2.2 Turbina Kaplan	49
3.2.3 Turbina Michell Banki.....	50
3.3 Generador eléctrico.....	50
3.3.1 Generador síncrono	50
3.3.2 Generador asíncrono	51
3.4 Red de distribución eléctrica	52
3.5 Flujo de caja	53
3.5.1 Evaluación de costos del proyecto.....	53
3.5.2 Costos de inversión	53
3.6 Análisis estadístico del consumo de energía eléctrica de la PTAR.....	56
3.7 Producción de energía eléctrica.....	56
3.8 Factibilidad económica.....	57
3.8.1 Indicador valor actual neto (VAN)	57
3.8.2 Indicador de la tasa interna de retorno (TIR).....	58
3.8.3 Relación beneficio costo (B/C).....	61
Conclusiones.....	63
Recomendaciones.....	64
Referencias	65
Anexos	69
Anexo A: Informe del caudal promedio vertido al Río Tahuando.....	69
Anexo B: Medición del salto del agua	70

Anexo C: Cotización tubería de polietileno.....	71
Anexo D: Cotización de la turbina Kaplan vertical.....	72
Anexo E: Cotización del transformador tipo seco.....	75
Anexo F: Características del conductor de cobre TTU N°2/0.....	76
Anexo G: Cotización de la turbina Michell Banki de eje horizontal.....	78
Anexo H: Consumo de energía eléctrica por parte de planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra.....	85
Anexo I: Planos arquitectónicos.....	86
Anexo J: Fotografías.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 Clasificación de las centrales a través de la energía primaria.	1
TABLA 1.2 Clasificación de las centras hidroeléctricas según su potencia.....	3
TABLA 1.3 Tabla comparativa de un generador síncrono y asíncrono	21
TABLA 2.1 Coordenadas geográficas del lugar de estudio.....	22
TABLA 2.2 Demanda de potencia nominal de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales Ibarra	26
TABLA 2.3 Caudal de salida de la PTAR, Ibarra.....	27
TABLA 2.4 Estimación del salto geodésico del agua	28
TABLA 2.5 Parámetros de cálculo para la turbina	34
TABLA 2.6 Nomenclatura de las protecciones eléctricas del generador.....	41
TABLA 2.7 Datos de la red de distribución.....	42
TABLA 3.1 Especificaciones de la turbina hidráulica Kaplan	49
TABLA 3.2 Especificaciones de la turbina hidráulica Michell Banki	50
TABLA 3.3 Especificaciones del generador eléctrico	51
TABLA 3.4 Especificaciones del generador asíncrono.....	51
TABLA 3.5 Parámetros de la línea de distribución.....	52
TABLA 3.6 Materiales requeridos para la Implementación de la micro central hidroeléctrica.....	53
TABLA 3.7 Materiales para la implementación de la micro central hidroeléctrica	55
TABLA 3.8 Registro del consumo eléctrico de la PTAR-I.....	56
TABLA 3.9 Ingresos por Generación Eléctrica.....	57
TABLA 3.10 Flujos Efectivo Neto, VAN y TIR	58
TABLA 3.11 Flujos Efectivo Neto, VAN y TIR	60
TABLA 3.12 Resultados Beneficio Costo	61
TABLA 3.13 Resultados Beneficio Costo	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Esquema de una central de agua fluyente	5
Fuente: (Fundación mundo sin fronteras ecologica , 2018)	5
Fig. 1.2 Esquema de una central de embalse	5
Fuente: (Fundación mundo sin fronteras ecologica , 2018)	5
Fig.1.3 Esquema de una central hidroeléctrica de bombeo	6
Fuente: (Fundación mundo sin fronteras ecologica , 2018)	6
Fig. 1.4 Caudal disponible del río Tahuando.....	8
Fuente: (La hora , 2020).....	8
Fig. 1.5 Salto geodésico de acuerdo a la altura	9
Fuente: (Rio, 2015)	9
Fig. 1.6 Componentes de una micro central hidroeléctrica	10
Fuente: (Cabal, S.A., 2014).....	10
Fig. 1.7 Esquema general de una turbina Kaplan	13
Fuente: (FLOVEL, 2018)	13
Fig. 1.8 Estructura de la turbina tipo Francis.....	14
Fuente: (Tecnología, 2016)	14
Fig. 1.9 Turbina tipo Pelton	15
Fuente: (Faeitch, 2012)	15
Fig. 1.10 Estructura de la turbina tipo Michell Banki	16
Fuente: (Hidráulica y Neumática S.A., 2020)	16
Fig. 1.11 Estructura de la turbina tipo Turgo	17
Fuente: (Divi, 2019).....	17
Fig. 1.12 Abaco de las turbinas de acuerdo al caudal y salto	18
Fuente: (APIE Informa, 2013)	18
Fig. 1.13 Estructura del generador síncrono	19
Fuente: (Sector Electricidad, 2017)	19
Fig. 1.14 Estructura del generador asíncrono	20
Fuente: (Fraile Mora, 2015).....	20
Fig. 2.1 Lugar de estudio.....	23
Fuente: (Google Maps, 2020)	23
Fig. 2.2 Metodología del diseño para la micro central Hidroeléctrica	25
Fuente: Elaborado por el autor.....	25

Fig. 2.3 GPS Diferencial.....	28
Fuente: (isetek s.a., 2020).....	28
Fig. 2.4 Salida de descarga desde el tubo Venturi.....	28
Fuente: Propia del autor.....	28
Fig. 2.5 Ubicación de la longitud del salto geodésico.....	29
Fuente: Propia del autor.....	29
Fig. 2.6 Sistema de velocidad ejecutado por el control de carga	36
Fuente: (Vásquez Huiracocha, 2015).....	36
Fig. 2.7 Sistema alternativo de excitación sin escobillas del generador.....	39
Fuente: Tomado de (Cascante Vindas & Quirós, 2003).....	39
Fig. 2.8 Diagrama de protecciones de la micro central hidroeléctrica	41
Fuente: (Vivas Rodríguez, 2020)	41
Fig. 2.9 Diagrama de control para el sistema.....	43
Fuente: (OLADE, 1995).....	43
Fig. 2.10 Tanque de Carga (Vista frontal)	44
Fuente: Elaborado por el autor.....	44
Fig. 2.11 Tanque de Carga (Vista lateral).....	44
Fuente: Elaborado por el autor.....	44
Fig. 2.12 Componentes de la tubería de presión	45
Fuente: Elaborado por el autor.....	45
Fig. 2.13 Casa de máquinas vista superior	46
Fuente: Elaborado por el autor.....	46
Fig. 2.14 Corte vista lateral de la casa de máquinas.....	47
Fuente: Elaborado por el autor.....	47

RESUMEN

La planta de tratamiento de aguas residuales de Ibarra es una obra emblemática para la ciudad de Ibarra y el Ecuador debido a su diseño, tecnología, y procesos que se emplean para depurar las aguas servidas, las cuales van al río Tahuando; producto de este tratamiento preliminar a las aguas se obtiene un caudal de salida. Este recurso hídrico, debido a su magnitud, puede ser aprovechado para la generación hidroeléctrica a pequeña escala.

Con el presente trabajo se detallan los parámetros de diseño de la micro central hidroeléctrica y un análisis técnico económico para determinar la pre-factibilidad.

Este proyecto tiene la finalidad de analizar la pre-factibilidad de una micro generadora hidroeléctrica utilizando el caudal de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ibarra, con el cual se pretende reducir el consumo de energía eléctrica efectivo.

Por este motivo se realizó un diagnóstico de la situación actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ibarra (PTAR-I) utilizando varias técnicas de investigación como: el análisis, la recopilación de información, definiciones, métodos para medir el salto geodésico como también los caudales promedios que se vierten mediante el caudal de salida, las estructuras civiles que conforman las micro centrales hidroeléctricas y finalmente su equipo electromecánico encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

Una vez identificado el sitio adecuado para el funcionamiento de la micro central hidroeléctrica se procedió a realizar cálculos, utilizando modelos matemáticos para estimar el dimensionamiento y diseño del diagrama que tiene los siguientes componentes como: tuberías de conducción, equipo turbina-generator, transformador, panel de control, panel de distribución y red de distribución, además se realizó un análisis técnico económico considerando valores monetarios de inversión y gasto.

El estudio muestra resultados factibles debido a que el aporte energético es de 120888 kWh al año, para la PTAR-I, además en el análisis técnico económico existieron dos propuestas reflejando resultados positivos para la aplicación de la primera propuesta.

Palabras claves: Pre-factibilidad, Micro Central Hidroeléctrica (MCH), Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ibarra (PTAR-I), Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I).

ABSTRACT

The Ibarra wastewater treatment plant is an emblematic work for the city of Ibarra and Ecuador due to its design, technology, and processes that are used to purify wastewater, which goes to the Tahuando River; product of this preliminary treatment to the waters an outflow is obtained. This water resource, due to its magnitude, can be used for small-scale hydroelectric generation.

This paper details the design parameters of the micro hydroelectric plant and a technical economic analysis to determine the pre-feasibility.

This project aims to analyze the pre-feasibility of a micro hydroelectric generator using the outflow of the Ibarra wastewater treatment plant, which aims to reduce the consumption of effective electricity.

For this reason, a diagnosis of the current situation of the Ibarra Wastewater Treatment Plant (PTAR-I) was made using several research techniques such as: analysis, information collection, definitions, methods to measure the geodesic jump as well as the average flows that are discharged through the outflow, the civil structures that make up the micro hydroelectric plants and finally their electromechanical equipment in charge of transforming the mechanical energy in electrical energy.

Once the appropriate site for the operation of the micro hydroelectric plant was identified, calculations were made, using mathematical models to estimate the sizing and design of the diagram that has the following components such as: conduction pipes, turbine-generator equipment, transformer, control panel, distribution panel and distribution network, in addition a technical economic analysis was carried out considering monetary values of investment and expenditure.

The study shows feasible results because the energy contribution is 120888 kWh per year, for the PTAR-I, in addition in the technical economic analysis there were two proposals reflecting positive results for the application of the first proposal.

Keywords: Pre-feasibility, Micro Hydroelectric Plant (MCH), Ibarra Wastewater Treatment Plant (PTAR-I), Municipal Public Company of Drinking Water and Sewerage of Ibarra (EMAPA-I).

INTRODUCCIÓN

A1. Contextualización

Las mini centrales hidroeléctricas, utilizan recursos hidroeléctricos aprovechables en pequeña escala. constituye una de las fuentes de energía no convencionales y renovables más fácilmente accesibles, considerando que incorporan tecnologías probadas que en muchos casos requieren solo de adaptaciones para reducir las inversiones necesarias. (OLADE , 2017)

Las micro centrales se definen por sus ventajas de producción de electricidad, debido a sus componentes básicos, como es la turbina y el generador entre los más importantes; asiendo un aprovechamiento de la eficiencia energética más alta que es el 85%, además tienen una vida útil mayor a las otras tecnologías que son >40 años. (Alvarado, López, & Hernández, 2013)

Las micro centrales de pasada o de salto establecen su generación a partir del agua que fluye por los ríos o saltos que se crean debido a embalses que se capta en un punto, para después aprovechar la altura máxima y el potencial que produce su caída; afectando lo menos posible el ecosistema; favoreciendo el desarrollo social, ambiental y económico. (Fundación solar, 2013)

La provincia de Imbabura dispone de una fuente hidrográfica que cubre los cantones de Otavalo, Cotacachi, Antonio Ante e Ibarra, esta última cuenta con varios recursos hídricos provenientes de las altas cordilleras, entre los que se puede nombrar los ríos Chorlavi, Tahuando, este último nace en las rinconadas orientales de la parroquia Angochagua atravesando la ciudad de Ibarra por las parroquias San Francisco y El Sagrario. (Yépez Valencia, 2018)

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ibarra, se construyó para la recuperación del rio Tahuando, esta infraestructura se encuentra entre la avenida Carchi y la calle María Angélica Idrobo, contando con una superficie de alrededor de 30.000 metros cuadrados de terreno, en dicha área se encuentra instalado centros de control, encargados del procesamiento de las aguas residuales; la planta está operando al 100 %, ingresando 416 litros de agua por segundo. (EMAPA-I, 2018).

El proceso de la planta de aguas residuales cuenta con una estructura de entrada y tratamiento preliminar, estableciendo sistemas de medición de caudales, tratamientos biológicos, captación secundaria, deshidratación y almacenamiento de lodos, haciendo una producción de gas y energía, además sistemas de calefacción y equipos de laboratorio. Debido a estos sistemas instalados se crea métodos en depuración y control

de aguas sin químicos, en donde no solo se eliminan los residuos, sino que se trata y estabiliza el proceso fisicoquímico, haciendo que las aguas hervidas proveniente de los hogares e industrias ibarreñas, queden tratadas y aptas para ser utilizadas en actividades como la agricultura. (AME, 2017)

A2. Planteamiento del problema

En la ciudad de Ibarra se encuentra operando la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), propiedad de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA-I). Esta tiene como objetivo realizar un tratamiento a las aguas residuales por medio de proceso fisicoquímico para su purificación y limpieza, todo esto sucede por la captación de las aguas en la parte suroeste del río Tahuando, mediante un sistema de entubamiento hasta la planta de tratamiento, y una vez cumplido la etapa de purificación se deposita las aguas al mismo río en la parte noreste.

En todo este procesamiento participan sistemas modernos de control, los cuales cumplen con una función determinada para el proceso de cada área de abastecimiento de aguas, los cuales realizan su funcionamiento mediante energía eléctrica proveniente del sistema de distribución de EMELNORTE. Esta planta no cuenta con generadoras eléctricas para poder disminuir en un porcentaje el consumo de energía.

Actualmente el caudal que se receipta del río Tahuando es de 262.85 l/s y se lo mantiene en un embalse de 268.80 l/s en el clasificador primario y 383.8 l/s en el clasificador secundario, luego del tratamiento el agua es vertida al río. El proceso que desempeña la PTAR-I es continuo y es importante que se aproveche este recurso hídrico de salida.

A3. Formulación del problema

¿Cómo realizar el estudio de pre-factibilidad para la implementación de una micro central hidroeléctrica utilizando el caudal de salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), Ibarra?

A4. Justificación del trabajo

La generación hidroeléctrica ha sido la primera fuente renovable utilizada para su generación. Así como aprovechamientos hidroeléctricos convencionales, ya que la captación de ríos, vertientes y caudales de salida, son expuestos para temas de interés,

como en este caso el de crear una micro central a partir del recurso hídrico, con este sistema podemos dar mejor uso del agua, produciendo una energía renovable, es considerada limpia que no contamina el aire ni el agua, además tiene algunos beneficios como es el riego, y la protección contra inundaciones, etc. Los costos de mantenimiento y explotación son bajos, debido a que la eficiencia y seguridad de la turbina hidráulica puede ponerse en funcionamiento con rapidez y de la misma manera detenerse, no necesita de constante vigilancia por parte del operario; Estos pequeños proyectos se pueden acoplar con facilidad a cualquier tipo de ecosistemas. (Marín Calderón, 2016)

En el Ecuador se establece el plan nacional de desarrollo “Toda Una Vida “. Una economía amigable con la naturaleza implica acoger el conjunto de saberes, conocimientos y aplicaciones tanto tradicionales como científicas, para marcar una nueva era de bioeconomía basada en el aprovechamiento sustentable de los recursos biológicos renovables para la producción de alimentos, energía y bienes industriales, obtenidos a través de transformaciones de material orgánico.” (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2017).

La conservación y uso sostenible de los ecosistemas generadores de agua, como los bosques altos andinos, páramos y humedales que proveen del recurso y mantienen el caudal ecológico de quebradas, ríos, acuíferos y manantiales, es prioritaria, ya que son las principales fuentes para consumo humano y riego, y para proyectos hidroeléctricos ([Const.], 2018)

El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. ([Const.], 2018).

A5. Alcance del trabajo

Con el presente trabajo de investigación se busca definir si es viable técnica y económicamente la ejecución de la micro central en la planta de tratamientos de aguas residuales PTAR-I, con base en la información del caudal de salida y elementos necesarios para la generación de energía eléctrica.

Con en el presente trabajo de investigación se quiere lograr un diseño que tenga una estructura sólida que servirá de guía para la implementación de la micro central

hidroeléctrica. Del mismo modo dar información de costos y equipos necesarios requeridos para la implementación.

A6. Viabilidad del trabajo

Este trabajo de grado es viable gracias a la aceptación del tema propuesto al jefe administrativo de la PTAR y EMAPA ya que proporcionan permisos necesarios para acceder a la información de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR-I), y el libre acceso a las instalaciones, de acuerdo a la certificación de compromiso con el jefe administrativo de la misma, y así realizar los estudios pertinentes a considerarse para determinar la pre-factibilidad que ofrecerá la implementación de la micro central a partir del caudal de salida del recurso hídrico ya tratado.

Este proyecto creará el uso adecuado del recurso hídrico tratado, estableciendo el tema de micro generación, el cual es confiable y sin perjuicios para el medio ambiente, en donde esta producción de energía eléctrica ayudara a la disminución del consumo eléctrico en la PTAR-I en un porcentaje significativo.

A7. Objetivo general

Realizar el estudio de pre-factibilidad para la implementación de una micro central hidroeléctrica utilizando el caudal de salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), de la ciudad de Ibarra.

A8. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros técnicos requeridos para elaborar un estudio de pre-factibilidad de micro centrales.
- Diseñar la micro central hidroeléctrica de acuerdo al recurso.
- Realizar un análisis técnico económico del estudio de la micro central hidroeléctrica.

CAPÍTULO 1

Marco Teórico

1.1 Clasificación de las centrales por la energía primaria que utilizan

Debido a la energía primaria en la actualidad existen diversas maneras de obtener la energía eléctrica a partir de fuentes de energía que se encuentran en nuestro medio ambiente. En la Tabla 1.1 se puede observar el tipo de central con su respectivo funcionamiento de acuerdo a la energía que utiliza cada una de ellas.

TABLA 1.1
Clasificación de las centrales a través de la energía primaria.

Tipo de Central	Funcionamiento
Centrales eólicas	Este tipo de central utiliza la fuente primaria de energía que es el viento, al inducirlo este a las palas del aerogenerador lo transforma en energía cinética, proporcionando energía de presión, la cual transmite un giro al eje y finalmente un generador transforma esta energía mecánica en energía eléctrica.
Centrales fotovoltaicas	Esta central utiliza fuente primaria de energía lumínica del sol, obteniendo así la radiación solar a través de un material semiconductor como los paneles solares, que tienen la característica de no utilizar generador para producir energía eléctrica.
Centrales termoeléctricas	Estas centrales utilizan toda aquella materia orgánica que está en proceso biológico para la obtención de hidrocarburos, siendo estos los componentes fundamentales que generan vapor, los cuales son introducidos en una turbina que produce energía mecánica, para ser transferida a su generador y producir energía eléctrica.
Centrales nucleares	Este tipo de centrales se caracterizan por la energía térmica que produce la fusión de átomos. En este proceso la energía es transformada en vapor para luego ser dirigida a una turbina de generación eléctrica.
Centrales hidroeléctricas	Estas centrales utilizan la fuente primaria que es el recurso hídrico, transformando la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica por medio de una turbina

acoplada a un generador, obteniendo así energía eléctrica. Las centrales de generación hidroeléctrica son bastante utilizadas en el medio por su eficiencia y cuidado con el medio ambiente de forma no contaminante.

Fuente: Tomado de (Ortiz Flóres, 2011), (Díaz Velilla, 2015)

1.2 Generación hidroeléctrica

La generación de electricidad a partir del agua ha sido uno de los primeros procesos en ser utilizados para generar movimiento y con el peso del agua hacer que las ruedas hidráulicas giren conjuntamente con un artilugio mecánico, produciendo así energía eléctrica que a su vez esta es transportada a grandes distancias de forma eficaz. Debido al avance tecnológico en la actualidad tenemos turbinas hidráulicas, las cuales aprovechan la fuerza del agua para conseguir el máximo potencial del recurso hídrico renovable, surgiendo proyectos innovadores para la creación de las primeras centrales hidroeléctricas, las cuales generan electricidad al transformar la energía cinética del agua en energía eléctrica.(Sanz Osorio, 2016)

1.2.1 Energía del agua

La energía producida por el movimiento del agua es renovable, por ende, este recurso hídrico es utilizado para la generación de electricidad en centrales hidroeléctricas, mediante el aprovechamiento del caudal y el desnivel o carga hidráulica de una corriente de agua, sea ésta natural o artificial. (Reed Czitrom, Trelles, & Hiriart, 2010)

1.2.2 Energía potencial

La energía potencial que tiene un cuerpo produce la capacidad para que el sistema genere trabajo de acuerdo a su posición en el plano de referencia. En el caso de una central hidroeléctrica es la función del desnivel que existe entre el embalse y el caudal máximo que se obtiene para hacer llegar a la turbina y posteriormente transformar mediante un generador eléctrico. (Trujillo Naharro, 2012)

1.2.3 Energía cinética

La energía cinética se produce debido al movimiento de un cuerpo que está definido como una masa dada para realizar el trabajo necesario, desde su reposo hasta la velocidad que se proporcione. Se establece la Ecuación 1 para el cálculo de la energía cinética. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, Castro Gil, & Collado Fernández, 2013)

$$E_c = \frac{1}{2}pv^2 \quad (1)$$

Dónde:

- p: Densidad de flujo
- v: Velocidad del fluido

1.2.4 Energía eléctrica

La energía eléctrica es una fuente indispensable la cual nos proporciona diferentes beneficios para el desarrollo económico, tecnológico y social, en donde los seres humanos realizan actividades diarias haciendo uso de este servicio. En la actualidad lo que se busca es integrar nuevas fuentes de energía primaria, que se encuentran inmersas en la naturaleza. (Ortiz Flóres, 2011)

1.3 Centrales hidroeléctricas por la potencia generada

Las centrales hidroeléctricas tienen diferentes rangos de generación eléctrica debido a que cada país posee diferentes normas eléctricas. Según la OLADE (2017) menciona que las hidroeléctricas debido a la potencia generada tienen la siguiente clasificación como se visualiza en la Tabla 1.2.

TABLA 1.2
Clasificación de las centras hidroeléctricas según su potencia

Tipo de central de acuerdo a su capacidad	Potencia instalada en (kW)	Características del tipo de central
Pico centrales	0.5 a 5	Este tipo de central consta de una potencia que va desde los 0.5 hasta los 5 kW. Estas centrales pueden ser construidas al paso de un filo de agua en zonas no interconectadas a la red de distribución de energía eléctrica.
Micro centrales	5 a 50	Este tipo de central consta de una potencia que va desde los 5 hasta los 50 kW. Las cuales pueden suministrar energía eléctrica a una industria rural o a una comunidad pequeña que se encuentre aislada a la red, además estas centrales pueden ser construidas a filo de agua.

Mini centrales	50 a 500	Este tipo de central consta de una potencia que va desde los 50 hasta los 500 kW, además pueden ser independientes por tener una mini-red o como también pueden ser conectadas a una red de distribución eléctrica.
Pequeñas Centrales	500 a 10000	Este tipo de central consta de una potencia que va desde los 500 hasta los 10000 kW. La mayoría de estas centrales no poseen represas y su implementación puede ser a filo de agua.

Fuente: Organización latinoamericana de energías (OLADE)

Con las explicaciones mencionadas anteriormente en la Tabla 1.2 se puede concluir que las potencias generadas por las centrales hidroeléctricas pico, micro y mini se encuentran categorizadas como energías renovables debido a que poseen pequeños aprovechamientos hidroeléctricos como por ejemplo presas ya construidas o caídas de aguas determinadas, pudiendo así diseñar el caudal del río o arroyo, mediante una desviación total o parcial del caudal hacia un canal y posteriormente a la cámara de carga, para conducir hacia la turbina y generar energía eléctrica. (Sanz Osorio, 2016)

1.4 Centrales según el régimen de flujo

- a) Centrales de agua fluyente
- b) Centrales de embalse
- c) Centrales de regulación diaria o semanal
- d) Centrales de bombeo o reversa

1.4.1 Centrales de agua fluyente

Las centrales de agua fluyente son recomendables para la construcción de mini centrales llamadas también borde de agua o pasada, se caracterizan por utilizar parte del fluido que existe en un río y de esta manera poder generar energía eléctrica. “Este tipo de centrales operan de manera continua porque no disponen de un embalse, además en estos casos la turbina puede ser de eje vertical cuando el río posee una pendiente alta y horizontal” (Sanz Osorio, 2016, pág. 29). Si posee una pendiente de río baja se puede hacer uso de este tipo de central como se muestra en la Fig. 1.1.

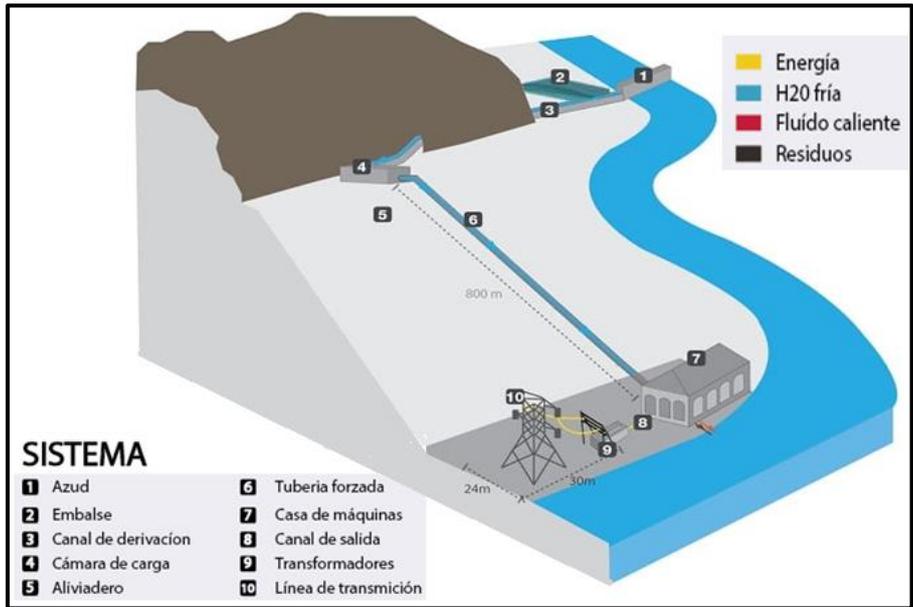


Fig. 1.1 Esquema de una central de agua fluyente
Fuente: (Fundación mundo sin fronteras ecologica , 2018)

1.4.2 Centrales de embalse

Este tipo de central es utilizado frecuentemente ya que al tener un embalse de agua permite una regulación del caudal y opera de acuerdo a la demanda en el transcurso del día sin correr peligros de pérdida de agua; este recurso hídrico se encuentra almacenado para generar energía todo el año y debe tener una reserva suficientemente grande para abastecer los requerimientos necesarios del servicio eléctrico, se debe tomar en cuenta que los recursos de inversión son más costosos. (Sanz Osorio, 2016). En la Fig. 1.2 se observa un esquema de cómo se encuentra constituido este sistema de generación.

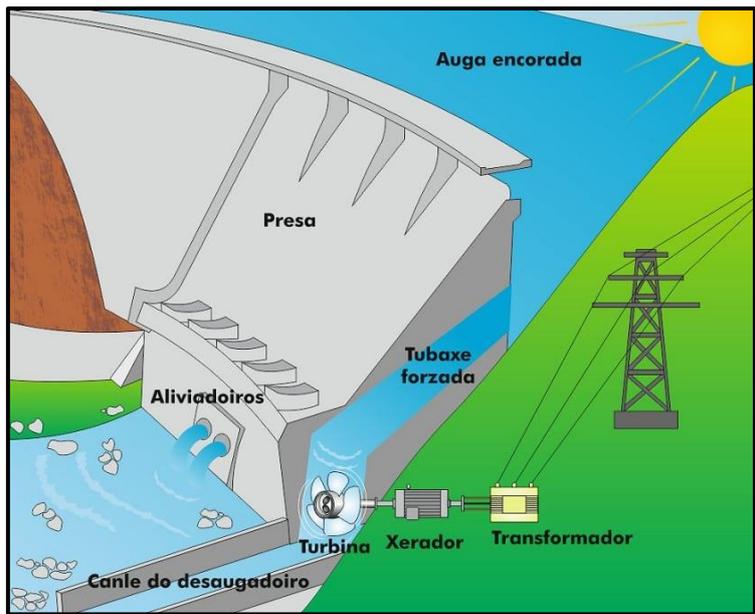


Fig. 1.2 Esquema de una central de embalse
Fuente: (Fundación mundo sin fronteras ecologica , 2018)

1.4.3 Centrales de regulación diaria o semanal

Este tipo de centrales poseen una pequeña capacidad de almacenamiento de agua, permitiendo su regulación modular del caudal que se dispone en el sitio para lograr el aumento de agua turbinada durante las horas de mayor consumo, permitiendo de esta manera abastecer de energía eléctrica a sus usuarios. (Cuesta & Vallarino, 2015)

1.4.4 Centrales de bombeo o reversa

Una central hidroeléctrica reversible transforma la energía potencial del agua en energía eléctrica, además tiene la capacidad de trabajar de forma inversa, es decir que realiza el proceso de aumentar la energía potencial del agua pero también consume energía eléctrica; este tipo de centrales se realizan para lograr cubrir la demanda de energía en horas pico y como también almacenar energía en las horas valles. (Trujillo Naharro, 2012). A continuación, en la Fig. 1.3 se puede observar su funcionamiento como también los parámetros que conforman este tipo de central hidroeléctrica.

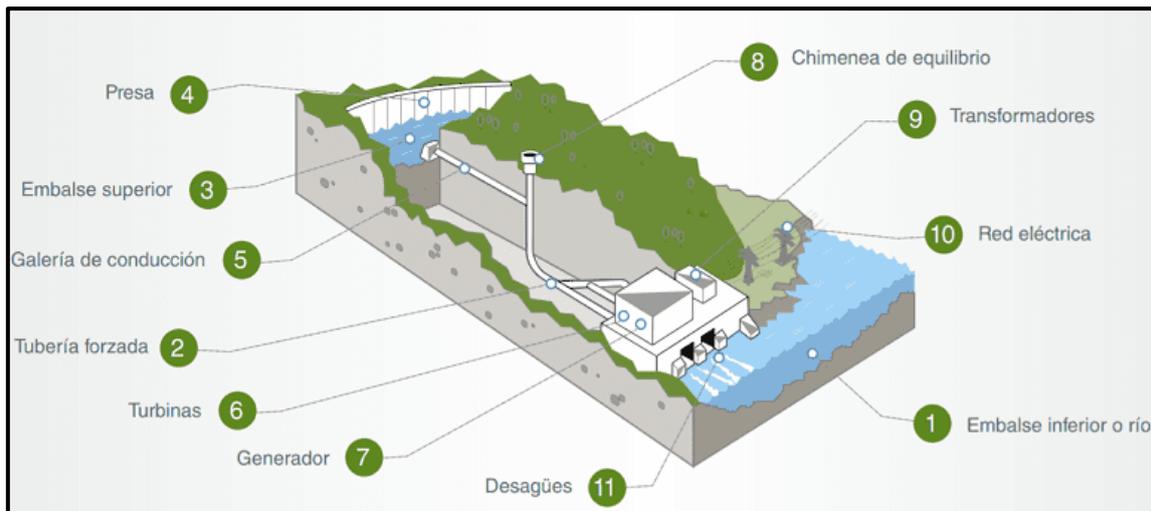


Fig.1.1 Esquema de una central hidroeléctrica de bombeo
Fuente: (Fundación mundo sin fronteras ecologica , 2018)

1.5 Centrales según la altura de caída de agua

- a) Centrales de alta presión
- b) Centrales de media presión
- c) Centrales de baja presión

1.5.1 Centrales de alta presión

Las centrales de alta presión poseen una caída de agua de más de los 200 m, en las cuales la turbina utilizada con mayor frecuencia es el tipo Pelton, siendo sumamente importante para construir presas con grandes embalses. (Trujillo Naharro, 2012)

1.5.2 Centrales de media presión.

Estas centrales poseen una topografía con inclinaciones de caída de agua de 20 a 200 m, en las cuales la turbina utilizada es de tipo Francis, aunque también se puede emplear el tipo Kaplan. (Trujillo Naharro, 2012)

1.5.3 Centrales de baja presión

Las centrales de baja presión poseen desniveles propios por su localización de suelos llanos y ondulados, sus saltos hidráulicos son inferiores a menos de 20 m, las turbinas utilizadas para estas centrales son de tipo Francis y especialmente Kaplan. (Trujillo Naharro, 2012)

1.6 Micro centrales Hidroeléctricas

La energía hidráulica caracterizada como un recurso renovable es prácticamente gratuita y limpia, en donde un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico puede ser diseñado sobre un sitio donde exista una presa construida o una caída de agua, para de esta manera usar el caudal del río o arroyo mediante una desviación total o parcial del caudal hacia un canal y posteriormente a la cámara de carga para ser dirigido a una tubería de presión y luego a la turbina. (Sanz Osorio, 2016)

La clasificación de las pequeñas centrales de generación eléctrica se establecen considerando tres aspectos importantes como: la capacidad de potencia generada, la función de su emplazamiento y el tipo de altura que posee la caída de agua que será utilizada para la generación eléctrica. (Ortiz Flóres, 2011)

1.6.1 Parámetros de diseño

La instalación de la micro central hidroeléctrica depende de los principales criterios de diseño como son:

- Caudal disponible en el sitio.
- Medición del salto geodésico o altura de caída del recurso hídrico.
- Estimación del potencial de energía eléctrica.

a) Caudal disponible

De acuerdo a las estaciones meteorológicas de lluvias que se presentan durante el año los caudales de los ríos varían, siendo necesario efectuar mediciones a diario o como también podrían ser semanales y mensuales. (Coz , Sánchez, Vianí, Segura, & Rodríguez, 1995)

De acuerdo al Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas para realizar la medición del caudal se establecen diferentes métodos que se detallan a continuación: solución salina, recipiente, área y velocidad, sección de control y regla graduada, vertedero de pared, pudiendo hacer uso de cualquiera de estos, debido a las ventajas y la particularidad que presentan cada uno de ellos. (INEA, 1997)

El caudal de diseño es empleado para alimentar la turbina y así poder generar energía eléctrica suficiente para el consumo, además este se utiliza para la determinación de la capacidad y el dimensionamiento de las diferentes obras que componen la micro central, los cuales son: bocatoma, desarenador, tuberías de conducción y de carga, tanque de carga. (INEA, 1997)

En la Fig. 1.4 se puede visualizar el caudal de agua fluyente que se encuentra en el río Tahuando.

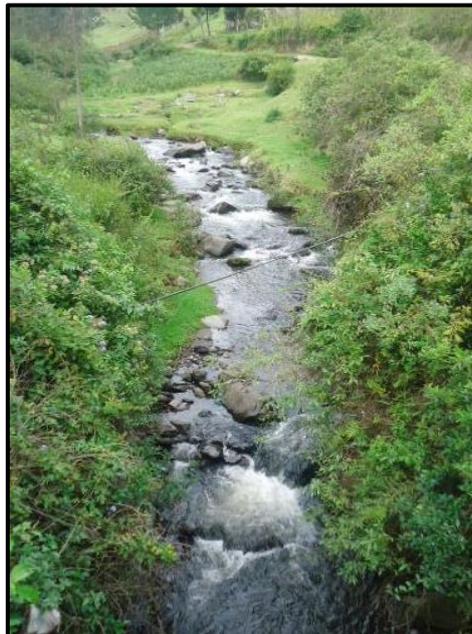


Fig. 1.4 Caudal disponible del río Tahuando.
Fuente: (La hora , 2020)

b) Salto geodésico

Es el desnivel de agua que existe entre dos alturas, la bocatoma que es de donde parte el recurso hídrico hasta llegar a descargarse en la turbina y de esta manera producir movimiento en la turbina y posteriormente en el generador eléctrico.

Para poder conseguir la mayor energía potencial y que esta se pueda transmitir a la turbina, se determina la pendiente más alta posible de acuerdo a los mapas de las curvas de nivel que permiten la estimación del salto disponible. (INEA, 1997)

Este salto se encuentra definido de acuerdo a la diferencia de las pérdidas por carga que se ejerce en la tubería como son: la fricción del agua en los lados de la tubería, ocasionando también una detención mínima del paso normal del agua.

Para realizar la medición del salto se establecen diferentes métodos como son: manguera de nivelación, nivel de carpintero, manguera y manómetro, altímetro, nivel de ingeniero, sistema de posicionamiento global (GPS). (INEA, 1997)

El salto neto se encuentra definido por la altura bruta que posee toda la caída menos las pérdidas, en conjunto con el caudal son los parámetros que se definen para el dimensionamiento de la micro central hidroeléctrica, siendo estos los que permiten generar movimiento a la turbina en su totalidad. (Bengoa, 2017)

En la Fig. 1.5 se puede observar las distintas alturas que se debe tener en cuenta para los cálculos de los parámetros técnicos y mecánicos como son: tuberías, potencia y turbina.

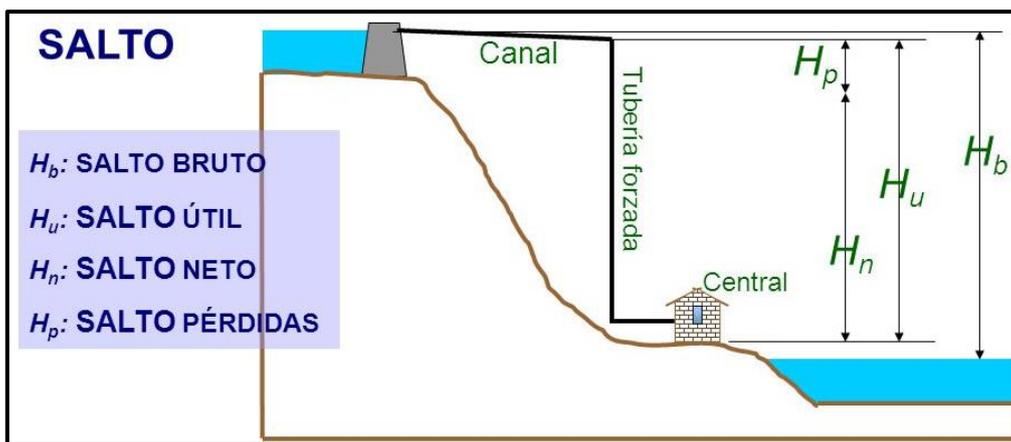


Fig. 1.5 Salto geodésico de acuerdo a la altura
Fuente: (Rio, 2015)

c) Potencial de energía eléctrica

Se define al potencial total de agua, llegando a ser un caudal que fluye naturalmente mediante un sistema de canal abierto o tubería, desde un punto superior a uno inferior, estableciendo que no existen pérdidas de ninguna naturaleza. (Coz, y otros, 1995)

Este potencial teóricamente es aprovechable, pero en lo que respecta a la práctica es inalcanzable, no por las pérdidas referidas, sino por la dificultad técnica del aprovechamiento debido a las causas geológicas, ecológicas, sociales, económicas, etc. (Muguerza, 1999)

La potencia obtenida debido a la generación de energía eléctrica es la relación que se tiene entre la potencia teórica y los rendimientos que posee cada uno de los equipos electromecánicos y sistemas de transmisión. (Coz et al., 1995).

1.6.2 Componentes de conducción y generación

Los parámetros que conforman una micro central son los encargados de tomar el agua de un río y transportarla a una cámara de carga, para que después el recurso hídrico sea descargado por una tubería de presión a las turbinas y luego depositarle al mismo río, y este sistema está compuesto por: obras civiles, equipo electromecánico y redes eléctricas de transmisión como de distribución. (Cuesta & Vallarino, 2015). En la Fig. 1.6 se presentan todos los parámetros que conforman la micro central hidroeléctrica a partir de la captación de agua en el lugar, hasta llegar al equipo electromecánico para la transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

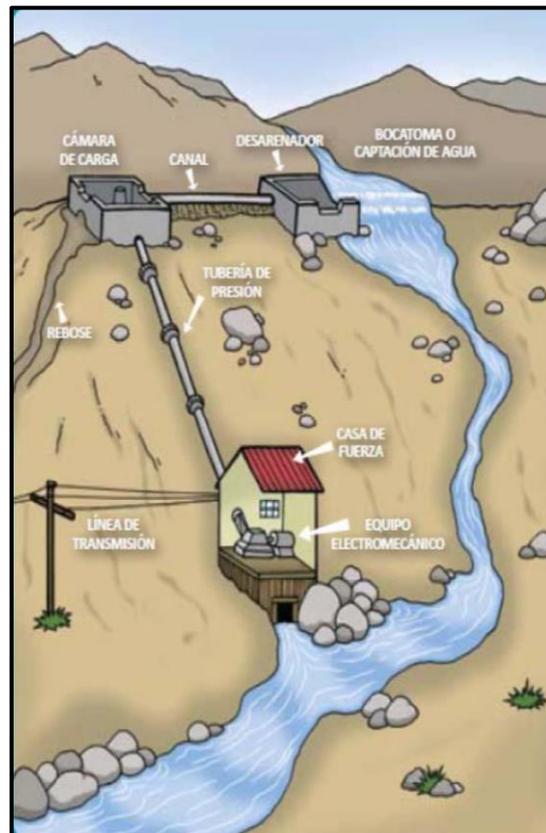


Fig. 1.6 Componentes de una micro central hidroeléctrica
Fuente: (Cabal, S.A., 2014)

a) Represa: Es la que se encuentra construida entre el cauce fluvial del río y la bocatoma de derivación, su propósito es acoplar y tomar el agua del río para poder soportar los desbordes que se puedan suscitar. Esta puede ser construida de diferentes formas y con distintos materiales de acuerdo a las necesidades y topografía del lugar.

B) Bocatoma: El propósito de la bocatoma es captar la cantidad justa y necesaria del agua de un río para generación de energía, la cual por lo general está construida en hormigón y es levantada junto con el barraje de derivación.

c) Desarenador primario: Es el sistema encargado de limpiar el agua depositada en el canal, para cumplir la función de no acarrear arena y piedras y de esta manera facilitar que los excesos sean devueltos al río.

d) Canal de conducción: Tiene la función de llevar el agua desde la bocatoma hasta el embalse si existiere, de lo contrario se dirige directamente a la cámara de carga.

e) Desarenador principal: Es la obra definida con el propósito de limpiar las aguas para que no contengan ninguna materia de arena. Este sistema hace disminuir grandemente la velocidad del agua para que la arena pueda sedimentarse.

f) Embalse de regulación: Es la obra construida para captar toda el agua posible y luego hacer la descarga a la turbina. Este sistema hace que se obtenga un tipo de embalse para regular el requerimiento según sea la necesidad de vender o consumir energía en horas pico.

g) Cámara de carga: Es la obra que se encuentra construida a la cabeza de la tubería de presión. Su diseño tiene el propósito de formar una presión positiva sobre la boca del tubo de presión, de tal manera que evita la entrada de aire a la tubería forzada. También es el punto donde se limpia de forma definitiva las aguas, eliminando hojas y ramas, además mediante una parrilla se lleva la arena al fondo de la cámara de carga mediante un desarenador.

h) Tubería forzada: Es la tubería que transporta el agua a partir de la cámara de carga hacia la casa de máquinas donde se tiene la turbina. Esta tubería se encuentra sometida a altas presiones de agua por lo que debe tener la capacidad de resistir la sobrepresión y los cierres repentinos del recurso hídrico que ingresa.

i) Casa de máquinas: Es la estructura que tiene la capacidad de alojar todos los equipos electromecánicos que realizan la función de transformar la energía cinética del agua en energía eléctrica. Los equipos que se encuentran dentro de esta casa son los siguientes:

- **Válvulas:** Son las encargadas de realizar la apertura y cierre del flujo de agua que llega hacia la turbina.
- **Turbina:** Es el equipo mecánico que realiza la función de transformar la energía cinética que posee el agua en energía eléctrica.
- **Canal de salida:** Es la estructura que conduce las aguas turbinadas, hacia el punto de origen como es el caso del río.
- **Generador:** Es el dispositivo que tiene la capacidad de transformar la energía mecánica producida por una turbina en energía eléctrica.

- **Subestación:** Es el sistema de elevación o reducción de voltaje que permite la conexión de dos o más puntos de generación, haciendo que la conducción de energía llegue a los centros de consumo.

1.7 Turbinas hidráulicas

Las turbinas a ser empleadas en una mini central hidroeléctrica deben cumplir con los parámetros de caudal y salto, tomando en cuenta su rendimiento para aprovechar todo el movimiento proporcionado por el agua. Cumplen la función de transformar la energía cinética del agua, a través de sus álabes rotativos denominado rodete, posteriormente este movimiento es enviado a su eje de salida que se encuentra acoplado a un generador produciendo energía eléctrica. Las turbinas hidráulicas de menor capacidad son utilizadas en pequeñas centrales hidroeléctricas debido a las características de fácil operación, construcción e implementación, además su costo monetario no es muy elevado. (Cuesta & Vallarino, 2015)

En el siguiente apartado se describen los distintos tipos de turbinas existentes, clasificándose en dos grupos principales que son las turbinas de reacción y de acción.

1.7.1 Turbinas de reacción para saltos pequeños

- a) Turbina tipo Kaplan
- b) Turbina tipo Francis

a) Turbina tipo Kaplan.

La turbina Kaplan es considerada una de las más eficientes debido al trabajo que realiza con grandes caudales y saltos pequeños, su construcción puede ser de eje vertical y horizontal. Son utilizadas para aplicaciones de pequeñas caídas inferiores a 30 m, se encuentran constituidas por un cojinete de deslizamiento, una semi espiral de hormigón. Esta turbina posee diferentes métodos de regulación para el fluido del agua, los cuales son: regulación del distribuidor y regulación del rodete, en donde su funcionamiento se ejecuta haciendo llegar el agua al rodete de forma axialmente. "Esta turbina posee la forma de hélices de barco con 3 a 8 palas". (Cuesta & Vallarino, 2015, pág. 549). Esta turbina se encuentra construida como se indica en la Fig. 1.7

- Rodete
- Tapas de la turbina
- Cámara espiral y ante distribuidor

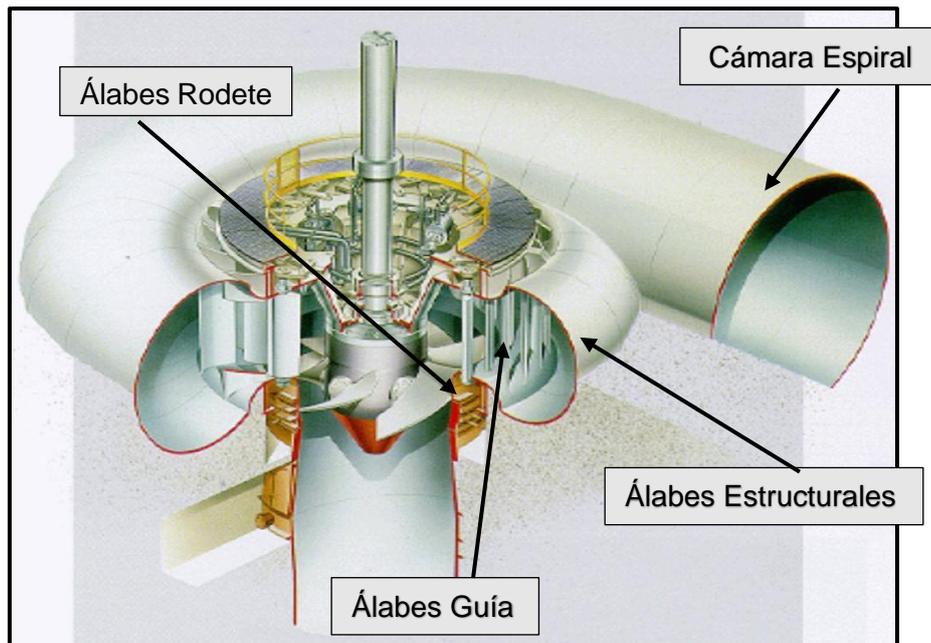


Fig. 1.7 Esquema general de una turbina Kaplan
Fuente: (FLOVEL, 2018)

Esta turbina de reacción es definida por su rodete que está compuesto por álabes regulables y tienen la forma de alas de un avión; para realizar la regulación adecuada del rodete que se encuentra girando alrededor del eje se hace mediante el accionamiento del sistema de manijas, el cual trabaja conjuntamente con las bielas que se conectan una cruceta, obteniendo así un desplazamiento hacia arriba o hacia abajo. El desplazamiento es realizado por un servomotor hidráulico el cual trabaja conjuntamente con la turbina en movimiento.

Estas turbinas se caracterizan por tener los álabes del rodete y del distribuidor fijos y estos son utilizados cuando se tiene un caudal y salto constante.

b) Turbina tipo Francis.

Esta turbina de reacción está construida por una cámara espiral o caracol y un eje horizontal, la cual es empleada para saltos de agua de 20, 100 hasta 200 m, en lo que concierne a pequeñas turbinas y para turbinas de mayor tamaño llega hasta los 400 m de caída. Esta turbina posee de 10 a 16 álabes fijos ubicados entre dos anillos que se encuentran en el lado superior e inferior del estator y en el distribuidor se encuentran de 20 a 32 álabes móviles. La función de la turbina es recibir el caudal de agua por medio de la cámara espiral para luego dirigirle hacia el estator. La regulación del caudal que llega al distribuidor se produce mediante el movimiento longitudinal del pistón acoplado a un punto del anillo móvil, de manera que todas las palancas fijas de los álabes móviles giren, teniendo así la regulación del caudal de ingreso al rodete de la turbina. (Ortiz Flóres, 2011).

Este tipo de turbina se encuentra estructurada por diferentes partes como se observa en la Fig. 1.8.

- Cámara espiral y ante distribuidor
- Distribuidor
- Rodete
- Eje
- Tapas de la turbina
- Tubo de aspiración

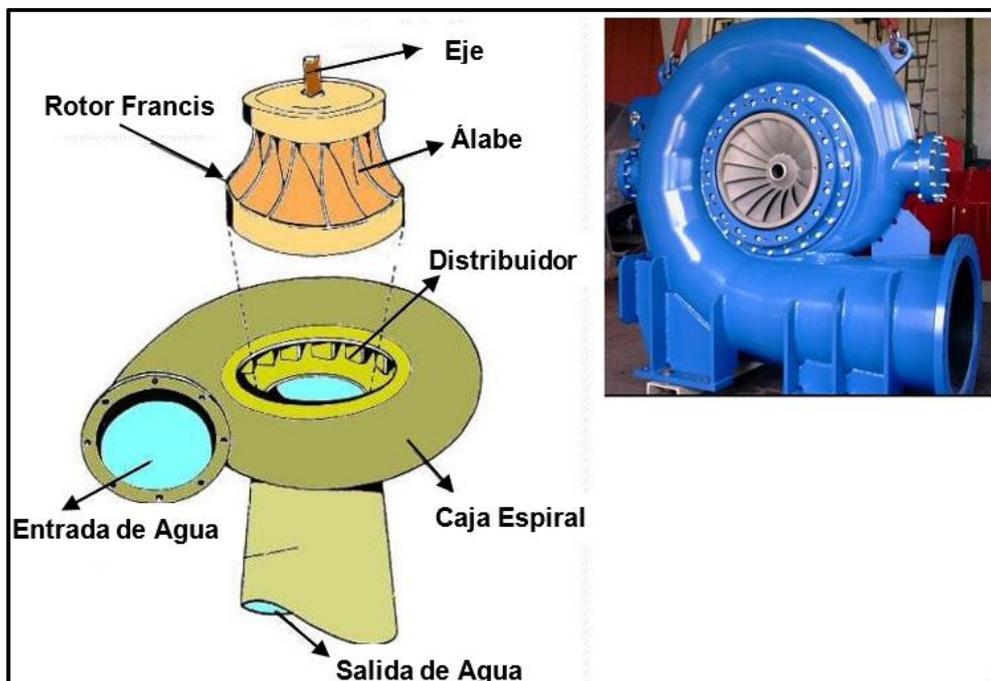


Fig. 1.8 Estructura de la turbina tipo Francis
Fuente: (Tecnología, 2016)

Este tipo de turbina realiza la función de hacer que el agua entre a la cámara de alimentación para ser distribuida por todo el contorno del rodete y luego pasar por el componente estático llamado pre distribuidor y así finalmente continuar por el componente de álabes llamado distribuidor. (Carta et al., 2019).

1.7.2 Tipos de turbinas para saltos medios

- a) Turbina tipo Pelton
- b) Turbina tipo Michell Banki
- c) Turbina tipo Turgo

a) Turbina tipo Pelton

Este tipo de turbina de acción puede construirse con eje horizontal o vertical, la cual es empleada en caídas de agua mayores a 100 m para potencias menores a 1 MW y en

lo que respecta a caídas de agua de 350 a 400 m es utilizada para potencias que van desde 4 a 10 MW. La turbina Pelton está equipada con una válvula esférica la cual sirve de protección, además cuenta con un conducto llamado distribuidor, un rodete, eje, carcasa e inyectores que pueden estar compuestos por uno o dos chorros. El inyector de un chorro es utilizado preferentemente para saltos elevados y caudales reducidos con velocidad de giro alto; en el caso de dos chorros se utiliza para instalaciones con saltos más pequeños o caudales mayores, el rendimiento que se alcanza con una turbina Pelton es mayor al 90%. (Cuesta & Vallarino, 2015). En la Fig. 1.9 se encuentra definido las partes de la turbina.

- Rodete
- Inyectores
- Eje
- Distribuidor
- Carcasa y foso

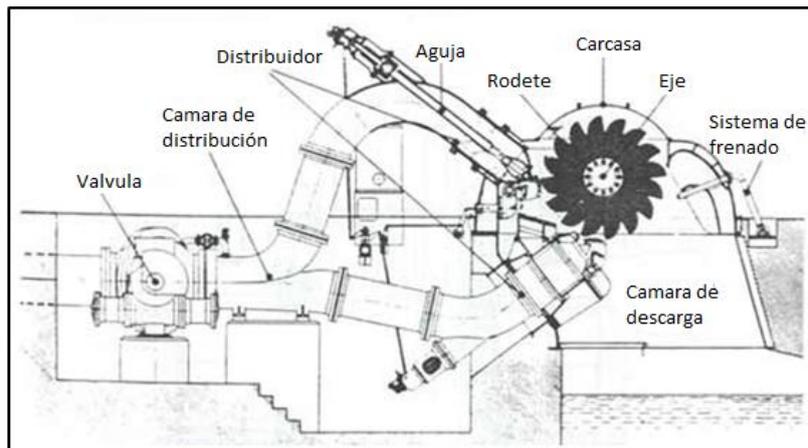


Fig. 1.9 Turbina tipo Pelton
Fuente: (Faeitch, 2012)

El tipo de turbina Pelton presenta topología de un sistema de admisión de agua por tubería forzada, en donde el chorro de agua dirigido y regulado por uno o varios inyectores que chocan contra el rodete que se encuentra formado de 14 y 26 cucharetas, lo que permite una eficiencia del 90%. (Cuesta & Vallarino, 2015).

b) Turbina Michell Banki

Este tipo de turbina de flujo transversal o flujo cruzado está constituida por un rodete ancho de 10 a 30 palas cilíndricas conforman la etapa de penetración y están construidas por elementos básicos y fundamentales que permiten obtener un rendimiento bajo a comparación de las turbinas tipo Pelton, además en lo que respecta a la composición son más robustas, baratas y fáciles para su construcción e instalación. Este

tipo de turbina es utilizada para saltos entre 5 y 200 m generando potencias menores a 1 MW, también se encuentran diseñadas y construidas como se puede observar en la Fig. 1.10 para facilitar la construcción y acople rápido de un proyecto de estas dimensiones (Cuesta & Vallarino, 2015).

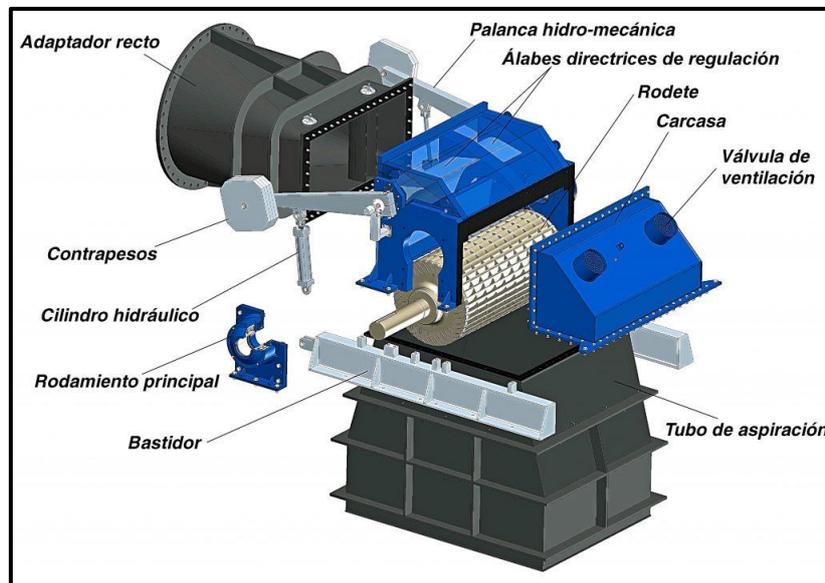


Fig. 1.10 Estructura de la turbina tipo Michell Banki
Fuente: (Hidráulica y Neumática S.A., 2020)

Este tipo de turbina realiza su funcionamiento en dos etapas, en la primera etapa se realiza una penetración de agua en la periferia hacia el interior para actuar con las palas y en la segunda etapa después de cruzar el eje, sale al exterior atravesando nuevamente el espacio entre las palas, además se encuentra acoplada a un alternador asíncrono de forma directa o mediante una correa de transmisión o un multiplicador dependiendo de su velocidad nominal de la turbina. (Cuesta & Vallarino, 2015).

c) Turbina Turgo

La turbina Turgo de acción se emplea para saltos de agua entre 50 y 250 metros, generando potencias menores a 5MW obteniendo un rendimiento del 85%. (Cuesta & Vallarino, 2015).

Esta turbina se encuentra constituida por cazoletas asimétricas que reciben el chorro de agua con una inclinación de 20° a relación al plano medio de la rueda, haciendo su entrada por un borne lateral y realizando su funcionamiento como se detalla en la Fig. 1.11 también se puede visualizar los componentes que la conforman para poder realizar todo el proceso de generación. (Cuesta & Vallarino, 2015).

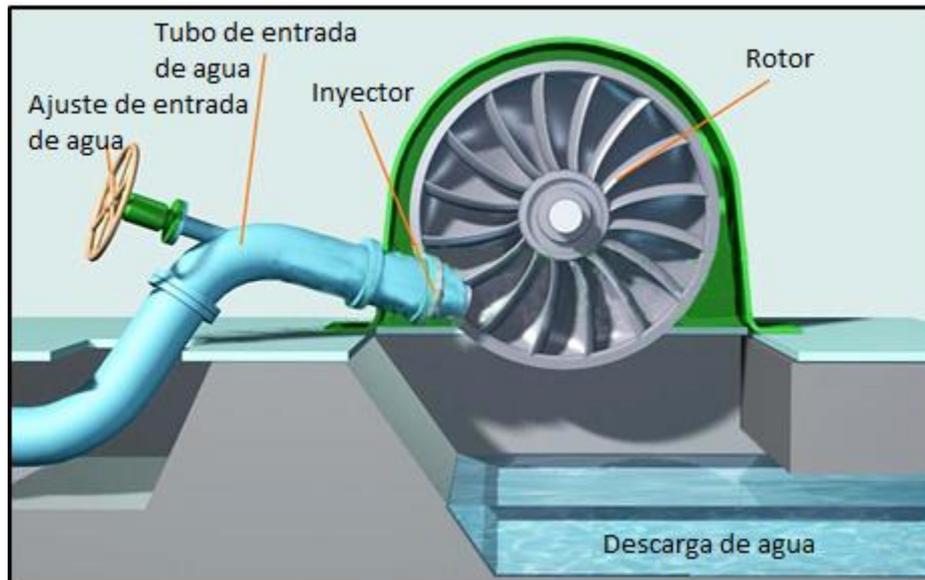


Fig. 1.11 Estructura de la turbina tipo Turgo
Fuente: (Divi, 2019)

1.7.3 Dimensionamiento y utilización de los distintos tipos de turbinas

Para relacionar los distintos parámetros de diseño que posee una mini, micro y pico central hidroeléctrica es necesario tomar en cuenta su salto y caudal adecuado para la selección de la turbina a ser utilizada, como también es importante tomar en cuenta las curvas de beneficio que proporcionan cada una de estas. (APIE Informa, 2013).

Scarone (2010) indica que las turbinas hidráulicas de grandes caídas y pequeños caudales se encuentran establecidas por las turbinas de acción como la Pelton y Turgo; existen también turbinas de acción como la Michell-Banki, que son utilizadas para medianas caídas y medianos caudales, además se cuenta con otro tipo de turbina de reacción llamada Francis. Existen turbinas de reacción llamadas Kaplan que son utilizadas para pequeñas caídas y grandes caudales.

En la Fig. 1.12 se encuentran definidos los rangos de trabajo, también se muestra en el eje de las abscisas el caudal en metros cúbicos por segundo y en el eje de las ordenadas la altura en metros, estos parámetros pueden variar de acuerdo al fabricante.

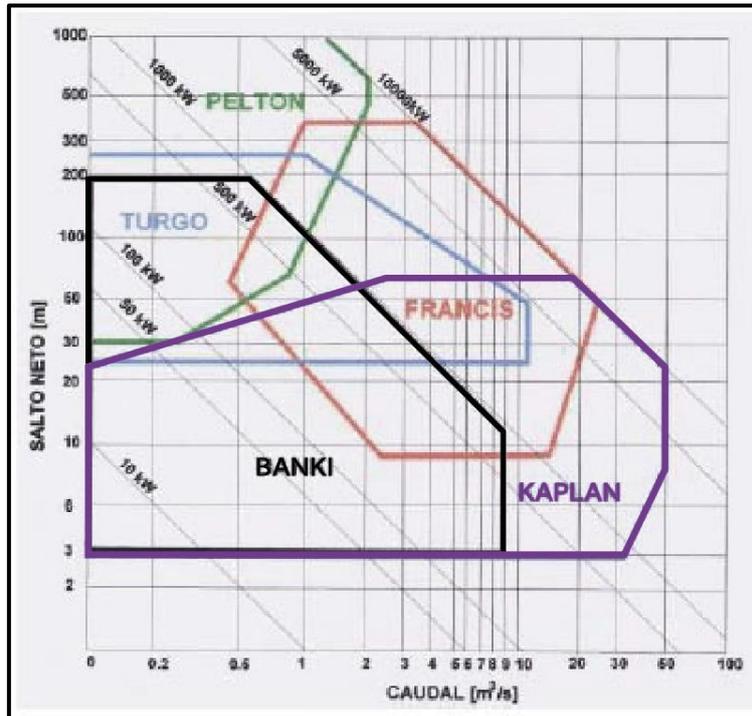


Fig. 1.12 Abaco de las turbinas de acuerdo al caudal y salto
Fuente: (APIE Informa, 2013)

En el diagrama se observa que en el eje de las abscisas está expresado el caudal y en el eje de las ordenadas se encuentra el salto neto, los cuales permitirán seleccionar el tipo de turbina adecuada de acuerdo a la disponibilidad del recurso hídrico en el lugar. Se visualiza que existen zonas en donde se superpone una turbina de otra, lo que define que ambos tipos pueden funcionar adecuadamente sin problema, aunque no se encuentren en la zona de trabajo.

1.8 Generadores Eléctricos

El generador eléctrico en pequeñas centrales hidroeléctricas es quien al final convierte la energía mecánica en energía eléctrica, realizando el proceso de mantener la diferencia de potencial entre sus dos polos, esta transformación se consigue por medio de la acción del campo magnético que proporcionan los devanados que se encuentran sobre el estator. El proceso de conversión de la energía es realizado continuamente a una velocidad mecánica constante lo cual establece tener un acople directo entre los ejes del equipo turbina-generador. (Ortiz Flóres, 2011)

Además, en las micro centrales hidroeléctricas las máquinas asíncronas constituyen a los motores y las máquinas síncronas constituyen a los alternadores, por lo tanto, estas dos máquinas en conjunto se las puede utilizar como un generador de energía eléctrica y se dividen en dos tipos como son:

- Generador síncrono
- Generador asíncrono

1.8.1 Generador Síncrono

Este generador se caracteriza por ser voluminoso debido a que la velocidad mecánica de la turbina es baja y funciona de 60 a 500 rpm, por lo cual conlleva a la instalación de un número considerable de polos en el rotor y también una transmisión amplificadora. Esta máquina cumple con el propósito de hacer girar el rotor y la velocidad síncrona al mismo tiempo, esta se realiza de forma mecánica produciendo un campo magnético en el estator. (Chapman, 2012).

El generador síncrono se acopla a las turbinas hidráulicas de forma directa o a través de sistemas de transmisión, para lo cual se realiza condiciones predeterminadas por las turbinas de eje vertical, horizontal o inclinado, de tal manera que la conversión de energía debe mantener el voltaje y la frecuencia constante, por lo tanto, es necesario regular la corriente de excitación y el par motor de la turbina. En la Fig. 1.13 se presenta la estructura que tiene un generador de tipo síncrono (Chapman, 2012).

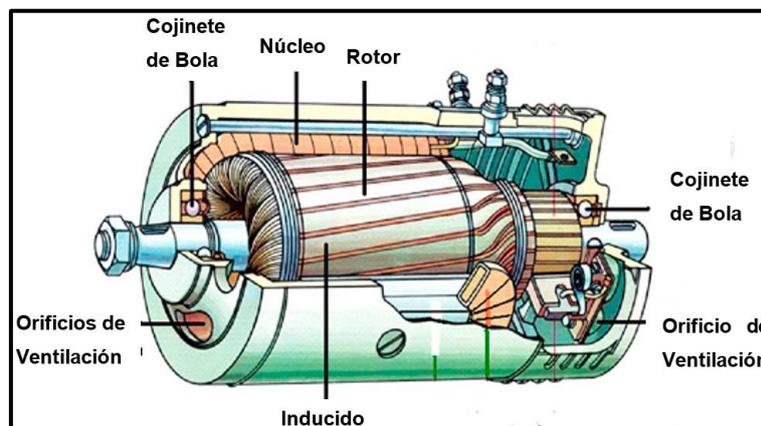


Fig. 1.13 Estructura del generador síncrono
Fuente: (Sector Electricidad, 2017)

Los generadores síncronos que proporcionan potencias menores a 1 MW se pueden utilizar para grupos electrógenos de bajas velocidades con una transmisión mecánica.

El generador síncrono está compuesto por dos partes principales el inductor (rotor) e inducido (estator) y se encuentran separadas por un entrehierro; cada una de estas partes está formada por un núcleo magnético y una bobina.

1.8.2 Generador Asíncrono

Este tipo de generador se caracteriza por su robustez y bajo costo por unidad de potencia, esta máquina tiene la propiedad de ser reversible; funcionando como generador exclusivo de potencia activa y en el caso de acoplar un primo motor hace que el rotor del generador sobrepase la velocidad síncrona. (Chapman, 2012).

“Este generador es destacado por no requerir equipamiento de sincronización, debido a que posee capacidad de sobre velocidad y protección inerte para los cortocircuitos”. (Fraile Mora, 2015, pág. 56). La generación de energía eléctrica de esta máquina puede ser monofásica como trifásica y dependiendo de la composición del tipo de rotor se clasifica en: rotor jaula de ardilla y rotor de devanados con anillos.

Una maquina asíncrona opera como generador en el instante que una fuente externa le suministra energía reactiva (banco de capacitores) al campo del estator; su deslizamiento es negativo y por lo tanto la fuerza electromotriz inducida al devanado del rotor hace cambiar la dirección. Esta particularidad le permite atender pequeñas potencias con generación monofásica para micro generación convencional menores a 5 kW y atender potencias de generación trifásica para niveles de mini centrales y picos centrales hidroeléctricas. En la Fig. 1.14 se presenta las características que tiene un generador de tipo asíncrono. (Ortiz Flóres, 2011).

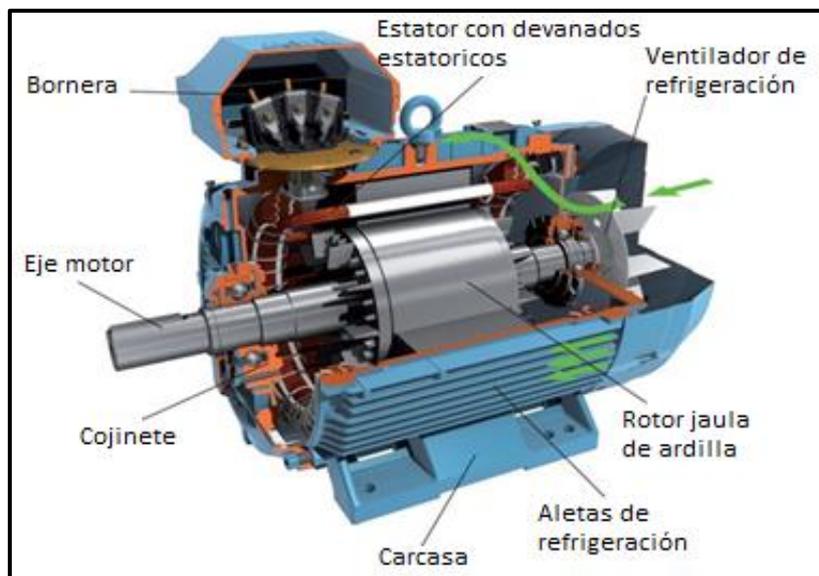


Fig. 1.14 Estructura del generador asíncrono
Fuente: (Fraile Mora, 2015)

El generador asíncrono está compuesto de dos partes principales, las cuales se encuentran separadas por un entrehierro que es el estator y rotor de manera que cada uno de ellos consta de un núcleo magnético y una bobina. En donde la bobina del estator es conectada a la red de forma primaria y la bobina del rotor como red secundaria.

En la Tabla 1.3 se detallan las diferencias que existen entre cada uno de estos generadores.

TABLA 1.3
 Tabla comparativa de un generador síncrono y asíncrono
 Fuente: (Calmet Soto, 2014)

Generador Síncrono	Generador Asíncrono
<ul style="list-style-type: none"> • Es utilizado para grandes potencias. • Para su funcionamiento requiere equipos de sincronismo. • Al ser acoplados la excitatriz se la puede controlar mediante la energía reactiva que se le proporcione al generador; no se puede realizar el control por medio de baterías de condensadores. • Estos equipos son muy costosos e implican un mayor mantenimiento. • En estos generadores, la velocidad del rotor y del estator son iguales por lo cual su deslizamiento es igual a cero. • Son utilizados en grandes industrias para realizar la corrección del factor de potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es utilizado para bajas potencias. • Se caracterizan por ser equipos más simples que los generadores síncronos. • Para el acoplamiento a la red se requiere baterías de condensadores. • Estos equipos son económicos y por lo tanto el costo de mantenimiento es bajo. • En estos generadores se establece que la velocidad del rotor nunca podrá igualarse a la velocidad del estator por lo que la velocidad de trabajo siempre será menor a la velocidad síncrona. • Este tipo de generador se utiliza mayormente por sistemas que utilizan turbinas eólicas y los sistemas de micro centrales hidroeléctricas.

Fuente: (Calmet Soto, 2014)

CAPÍTULO 2

Desarrollo

2.1 Introducción

La energía eléctrica a partir de los recursos renovables como es la generación hidroeléctrica se está convirtiendo en un desarrollo económico y social, para contribuir en el descenso de la contaminación ambiental que es producida por las energías no renovables. El presente trabajo de titulación tiene como objetivo realizar un estudio de pre-factibilidad para la implementación de una micro central hidroeléctrica en la Plata de Tratamiento de Aguas Residuales Ibarra (PTAR-I), la cual cumple con los requerimientos y las condiciones físicas para ser aplicables en beneficio de la misma debido a que se puede producir energía amigable con el medio ambiente a partir del recurso hídrico.

Además, se realiza el levantamiento respectivo de la información considerando los dos factores importantes que son la altura de caída y el caudal de agua fluyente; estos parámetros son determinados debido al lugar de estudio, los cuales con interpretación matemática proporcionan datos de potencia eléctrica a ser generada, para así convertir a esta energía en un eje primordial y alimentar en un pequeño porcentaje los dispositivos eléctricos existentes en la PTAR-I.

2.2 Descripción del lugar de estudio

El estudio de pre-factibilidad se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR-I), situada en la provincia de Imbabura perteneciente al cantón Ibarra, ubicándose en la parte suroeste del río Tahuando, entre la avenida Carchi y la calle María Angélica Idrobo.

El sitio de estudio se encuentra especificado por las siguientes coordenadas geográficas detalladas en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1
Coordenadas geográficas del lugar de estudio

Latitud	Longitud	Altitud
0.351013	-78.112361	2175

Fuente: (Google Maps, 2020)

Las coordenadas presentadas en la Tabla 2.1 indican que la PTAR se encuentra a una latitud de 0.3510 con una altitud de 2175 metros sobre el nivel del mar (msnm), y una longitud de -78.11; alcanzando una temperatura mínima anual de 14°C mínima y una temperatura máxima de 25°C. Actualmente esta planta beneficia a 181.175 personas que

habitan en el cantón Ibarra, datos que fueron tomados del último censo realizado en el 2010 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos , 2012).

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), propiedad de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA-I), es supervisada diariamente por personal técnico; los cuales realizan la función del tratamiento preliminar a las aguas residuales del río Tahuando.



Fig. 2.1 Lugar de estudio
Fuente: (Google Maps, 2020)

En la Fig. 2.1 se puede observar la ruta de acceso hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, tomando como punto de partida el campus de la Universidad Técnica del Norte y el punto de llegada el lugar de estudio; la distancia establecida entre los dos puntos de referencia es de aproximadamente 2.93 Km en automóvil pasando por la Av. 17 de Julio hasta llegar al camino de la Piedra Chapetona, teniendo un recorriendo de 7 minutos hasta llegar a la PTAR-I.

2.3 Metodología del diseño de la micro central hidroeléctrica.

Con anterioridad se realizó una fundamentación teórica, la cual permite la comprensión del funcionamiento de cada una de las partes que conforma la central hidroeléctrica.

Para el diseño de la micro central hidroeléctrica se parte de la estimación de la demanda energética que tiene el sitio de estudio, dependiendo también de los dos parámetros principales que son caudal de salida y salto geodésico.

En primer paso se estima el caudal de salida que tiene el lugar de estudio y también la trayectoria total por donde se realizará la obra de construcción para de esta manera obtener la longitud total; esto permite saber el diámetro y la presión necesaria que soportará la tubería que conduce el fluido de agua,

En segundo paso se estima el salto geodésico, en el cual se consideran las pérdidas por fricción del agua en la tubería, como también se toma en cuenta la altura bruta que posee el lugar, para de esta manera poder determinar el salto geodésico neto.

Con los dos parámetros mencionados anteriormente se logrará establecer la potencia eléctrica aproximada, que será capaz de generar la micro central hidroeléctrica y así implementar el equipo electromecánico necesario para la generación de energía eléctrica.

A continuación, en la Fig. 2.2 se visualiza el esquema que se tomara en cuenta para el diseño de la micro central hidroeléctrica.

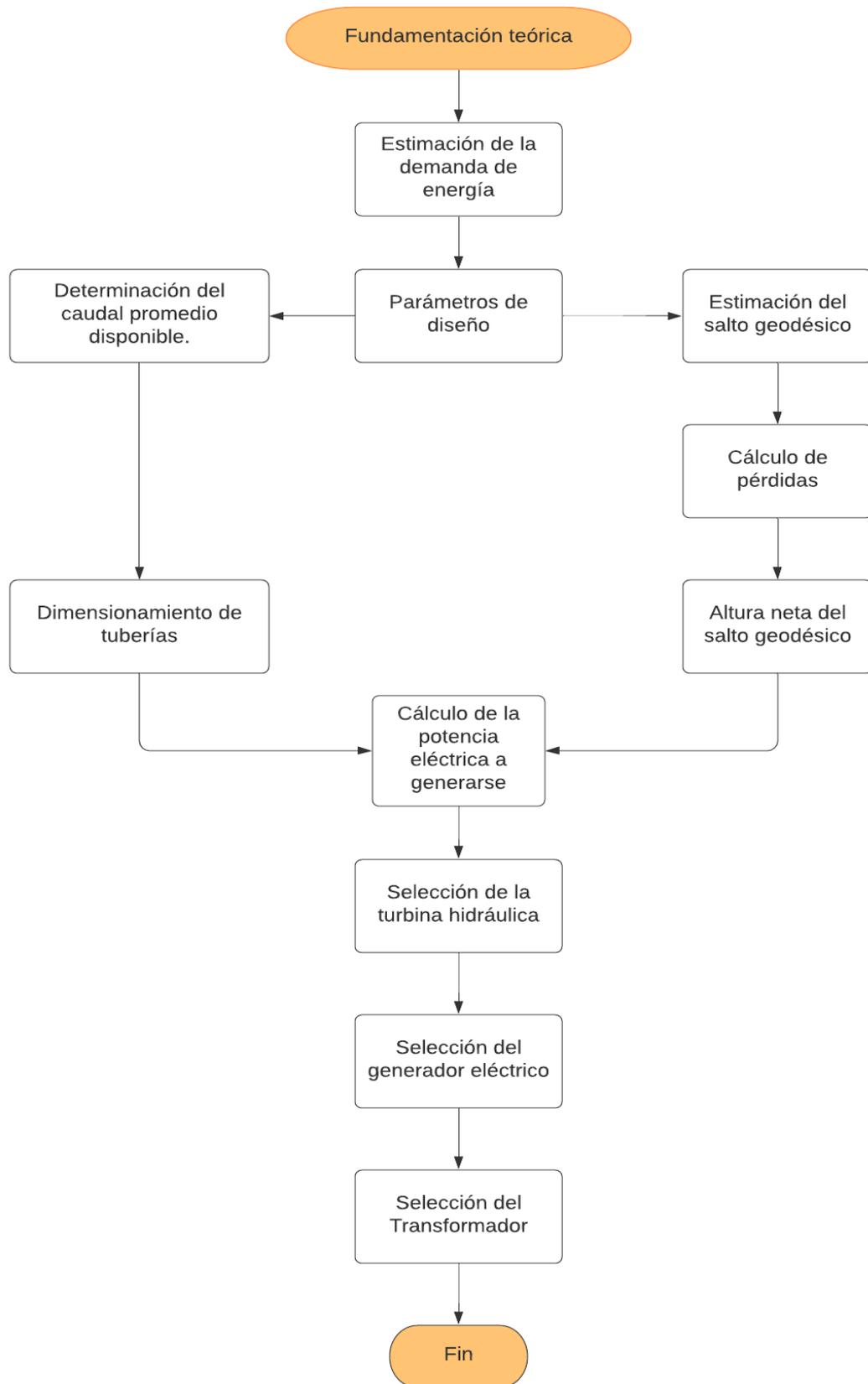


Fig. 2.2 Metodología del diseño para la micro central Hidroeléctrica
Fuente: Elaborado por el autor

2.4 Demanda energética

La estimación de la demanda energética que tiene el sitio de estudio, se establece debido a que la planta de tratamiento de aguas residuales tiene instalado los siguientes equipos eléctricos, que se encuentran detallados en la Tabla 2.2 con su respectiva potencia nominal.

TABLA 2.2
Demanda de potencia nominal de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales Ibarra

Equipo	Cantidad	Potencia nominal (kW)
Bomba fangos Secundarios	1	75
Bomba fangos primarios en exceso	1	4
Bomba de impulsión aguas de servicio	1	7.5
Agitadores	2	4 y 1.8
Polipasto	2	3.5 y 0.7
Ventilador extractor	1	3.57
Quemador mixto de gas o gasóleo	1	1.5
Grupo gas y gasóleo	1	3.57
Centrifuga de deshidratación	1	82.5
Tamiz de fangos primarios	1	0.55
Bomba de recirculación de agua caliente	1	0.55
Tornillo centrifugas de deshidratación	1	4
Bomba dosificadora poli electrolito	1	0.75
Bomba dosificadora cloruro	1	0.99
Bomba dosificadora cloruro férrico	1	0.12
Espesor de fangos	1	1.1
Tajadera de descarga	1	1.1
Agitador digestor de fangos	1	9.2
Volteador de fangos	1	7.9
Potencia total		213.9

Fuente: Elaborado por el autor

Al encender todos los equipos eléctricos que se encuentran instalados en la PTAR-I se genera una potencia nominal de 213.9 kW y con la implementación de la micro central hidroeléctrica se pretende destinar la energía eléctrica para el autoconsumo de la planta de tratamiento de aguas residuales.

2.5 Parámetros de diseño

La instalación de la micro central hidroeléctrica depende de los principales criterios de diseño como son:

- Caudal disponible en el sitio.
- Medición del salto geodésico o altura de caída del recurso hídrico.
- Estimación del potencial de energía eléctrica.

2.5.1 Caudal disponible

El caudal seleccionado para la micro central hidroeléctrica es el afluente hídrico de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales, el cual se encuentra disponible constantemente para que la MCH trabaje a plena carga y de esta manera aprovechar el número de horas en su totalidad. Este caudal será el encargado de proporcionar energía mecánica debido al movimiento de las palas o álabes que posee la turbina hidráulica.

La información obtenida sobre el caudal promedio de salida que la planta de tratamiento de aguas residuales vierte al río, fue proporcionada por su personal técnico, quienes realizaron un análisis de acuerdo a las mediciones diarias y tabulaciones mensuales para lograr los resultados detallados en el (Anexo A). En la Tabla 2.3 se especifica el valor promedio del caudal de salida.

TABLA 2.3
Caudal de salida de la PTAR, Ibarra

Caudal Efluente Final		
Qe :	0.3309	m^3/s
Qe :	330.9	l/s

Fuente: EMAPA (PTAR)

2.5.2 Medición del salto geodésico

Para conseguir la energía potencial mayor que se pueda transmitir a la turbina se determina la pendiente más alta posible.

Para la obtención de los datos topográficos, de acuerdo a la medición de la longitud vertical y horizontal del lugar se utilizó un sistema de posicionamiento global (GPS) diferencial, este dispositivo se caracteriza principalmente por la toma de puntos para obtener la medición del salto de agua.

El instrumento de la Fig. 2.3 se utilizó como un receptor móvil teniendo como objetivo proporcionar coordenadas con gran exactitud en tiempo real, fijar su escala mundial y la posición de objetos sobre la superficie terrestre. (Montes de Oca & Yelichich, 2012)

El GPS diferencial mediante la triangulación de los puntos realiza la medición del posicionamiento, latitud y longitud del sitio.



Fig. 2.3 GPS Diferencial
Fuente: (isetek s.a., 2020)

En la Tabla 2.4 se puede observar las medidas obtenidas para dos puntos de referencia, los cuales fueron determinados desde el tubo del caudal de salida hasta caer al río y la última medida se tomó desde el caudal de salida hasta unos 10 metros aguas abajo, obteniendo el salto más alto y también para poder conocer el lugar idóneo en donde se realizará la construcción de la casa de máquinas.

TABLA 2.4
Estimación del salto geodésico del agua

Medición	Aplicación	Altura Z1	Altura Z2
1	GPS	2175.34	2172.26
2	GPS	2166.62	2159.12

Fuente: Mediciones tomadas con GPS

En la Fig. 2.4 se puede observar el tubo Venturi, el cual fue tomado como referencia para el punto de altura de inicio, siendo este el caudal de descarga de agua hacia el nivel del río, además permite recuperar la presión diferencial que se tiene debido a las exigencias bajas de caudal en la entrada y salida del mismo.



Fig. 2.4 Salida de descarga desde el tubo Venturi
Fuente: Propia del autor

El uso del dispositivo GPS permitió la toma de los puntos aguas abajo del río para determinar la altura de salto que posee el lugar; además se obtuvo la longitud y el desnivel que tiene la tubería de conducción para de esta manera hacer que el agua llegue de forma eficaz a la salida y poder devolverla al río sin ninguna dificultad. En la Fig. 2.5 se visualiza el salto de la caída de agua y la toma de puntos aguas abajo.



Fig. 2.5 Ubicación de la longitud del salto geodésico
Fuente: Propia del autor

a) Altura bruta del salto de agua

La medición de altura se tomó de acuerdo al desnivel que se encuentra entre la toma de agua establecida como altura Z_1 y en donde se ubicará la casa de máquinas como la altura Z_2 .

Para determinar el cálculo que permite conocer la altura bruta en el sitio, se utiliza la Ecuación 2. (Bengoa, 2017)

$$h_b = Z_1 - Z_2 \quad (2)$$

Donde.

- h_b : Es la altura bruta (m)
- Z_1 : Es la altura base que tiene el tanque de carga (msnm)
- Z_2 : Es la altura base que tiene la casa de máquinas (msnm)

La altura bruta que se obtuvo de acuerdo al cálculo es de 7,5 m, aquella que se establece desde el punto de salida del caudal de agua hasta el desnivel de la casa de máquinas que es el punto de llegada.

b) Cálculo de pérdidas por altura

Como se encuentra establecido en el apartado 1.6.1 literal b) las pérdidas no se pueden medir, debido a que el agua se encuentra fluyendo constantemente; una causa específica de las pérdidas se debe a la tubería porque esta reduce la velocidad nominal que está teniendo el caudal, además en los grandes caudales aumentan las pérdidas por fricción en la tubería.

Al implementar tuberías de gran tamaño se produce menos pérdidas por fricción, lo cual conlleva al aumento de costos por el precio más elevado. “Las pérdidas permitidas se encuentran en un rango entre el 10% al 15% del salto bruto”. (Coz, y otros, 1995, pág. 56).

Para calcular las pérdidas que se producen en la tubería se define la Ecuación 3, (Canyon Hydro, 2014)

$$h_{pérd} = \frac{15}{100} * h_b \quad (3)$$

Donde:

- $h_{pérd}$: Altura causada por pérdidas (m)
- h_b : Altura bruta (m)

El resultado obtenido de acuerdo al cálculo realizado anteriormente refleja que las pérdidas tienen una medida del 1,12 m, altura que no será aprovechada, pero servirá para estimar los cálculos a realizarse más adelante.

c) Altura neta del salto de agua

Se define a la altura específica que será aprovechada en su totalidad por la turbina, debido a que se encuentra definida por la altura bruta de toda la caída de agua menos las pérdidas existentes por fricción, las cuales se producen cuando hay rozamiento del agua con la tubería, la longitud de la tubería, el acople de válvulas, etc. (Bengoa, 2017)

La altura neta por ende será siempre inferior a la altura bruta; esta altura en conjunto con la medición del caudal servirá para dimensionar los componentes de la MCH, como también el cálculo de la energía a generarse. Para su respectivo cálculo se utilizará la Ecuación 4.

$$h_n = (h_b - h_{pérd.}) \quad (4)$$

Donde:

- h_n : Altura neta (m)
- h_b : Altura bruta (m)

- $h_{pérd.}$: Altura causada por pérdidas (m)

Para el cálculo de la altura neta se tomó en cuenta la altura bruta y el cálculo de las perdidas por altura establecidos en el apartado 2.4.2 del literal a) y b), obteniendo como resultado una altura de 6,37 m.

2.5.3 Estimación del potencial de energía eléctrica

La potencia disponible en el sitio, es designada como potencia de entrada hacia el grupo turbina-generator, siendo esta mayor a la potencia útil debido a que no se consideran las pérdidas presentadas en forma de fricción, calor, etc.; tampoco se estima la eficiencia que entrega el grupo turbina-generator.

A continuación, se presenta la Ecuación 5 para determinar la potencia hidráulica. (Ortiz Flóres, 2011).

$$P_H = 9,81H_{est}Q \quad (5)$$

Donde:

- P_H : Potencia hidráulica [kW]
- H_{est} : Altura estática [m]
- Q : Caudal promedio disponible [m^3/s]

El potencial de energía eléctrica disponible en el sitio es de 20.7kW; potencia calculada sin estimar el porcentaje de eficiencia que tiene el sistema.

2.5.4 Dimensionamiento de tuberías

Para determinar la longitud de la tubería que llevará el recurso hídrico hasta la casa de máquinas, se realizó la medición mediante el GPS, en donde el punto de inicio parte desde la tubería de Poliéster Reforzado de Fibra de Vidrio (PRFV) ya implementada en el sitio, hasta el punto de llegada que es la conexión con la turbina; la distancia que tiene toda la trayectoria es de 67.66 m.

a) Cálculo del diámetro interno de conducción

Para realizar el cálculo del diámetro interno de la tubería de conducción se obtiene mediante la aplicación de la Ecuación 6 descrita a continuación. (Vásquez Huiracocha, 2015).

$$D = 0,3 * \sqrt[5]{\frac{Q^2 * L}{h_b}} \quad (6)$$

Donde:

- D : Diámetro interno de la tubería (m)
- Q : Caudal promedio disponible (m^3/s)
- L : Longitud total de la tubería (m)
- h_b : Altura bruta (m)

El diámetro interno de conducción que tendrá la tubería a implementar será de 0.299 m lo que tiene un equivalente a 299 mm

De acuerdo al estándar establecido en el mercado se sugiere implementar una tubería de conducción de 315 mm de diámetro.

b) Cálculo del diámetro interno de la tubería de presión

Para el cálculo del diámetro interno de la tubería de presión del flujo de agua que pasará por el conducto, se aplicará la Ecuación 7. (Vásquez Huiracocha, 2015)

$$D = 0,3 * \sqrt[5]{\frac{Q^2 * L}{h_n}} \quad (7)$$

Donde:

- D : Diámetro interno de la tubería (m)
- Q : Caudal promedio disponible (m^3/s)
- L : Longitud total de la tubería (m)
- h_b : Altura neta del salto de agua (m)

De acuerdo al cálculo realizado anteriormente, el diámetro de la tubería de presión será de 0.309 m, valor equivalente a 309 mm

La tubería elegida de acuerdo a mediciones estándares que se encuentran en el mercado será de un diámetro nominal de 315 mm

c) Cálculo de la velocidad de flujo en la tubería

La velocidad del flujo que pasará por la tubería se encuentra definida mediante la Ecuación 8. (Bula Picón, 2017).

$$v = \frac{4Q}{\pi \cdot Dt^2} \quad (8)$$

Donde:

v : Es velocidad (m/s)

Q : Es el caudal disponible (m^3/s)

Dt : Es el diámetro de la tubería (m)

Para el cálculo de la velocidad de flujo se reemplazó los datos del caudal disponible presentados en la Tabla 2.3 y el diámetro de la tubería calculado en el apartado 2.5.4 literal b), mediante estos cálculos se determinó una velocidad de 4.41m/s.

d) Cálculo de la presión nominal en la tubería

Debido a la existencia de presión en la tubería se debe determinar la presión nominal que se está ejerciendo en la misma, por lo que es necesario calcular este parámetro y para el respectivo análisis se establece la Ecuación 9. (Vásquez Huiracocha, 2015)

$$p = d \cdot g \cdot h_n \quad (9)$$

Donde:

- p : Presión nominal de la tubería (Pa)
- D : Densidad de fluido equivalente a1000 (kg/m^3)
- g : Aceleración de la gravedad 9.81 (m/s^2)
- h_n : Altura neta del salto de agua (m)

Al aplicar los datos correspondientes en la Ecuación 9 se pudo determinar una presión nominal ejercida en la tubería de 0.0625 MPa, la cual permite conocer la presión máxima producida por el agua que se encuentra fluyendo dentro de la tubería de conducción.

La longitud de la tubería de presión para la conducción de agua hacia la casa de máquinas es de 67.66 metros, además se determinó utilizar un material de polietileno para esta tubería. Coz et al. (1995) afirma que “La tubería de polietileno posee un nivel 5 en pérdidas por fricción, 5 por peso, 5 por corrosión, 3 en costo y 4 en presión de trabajo”, en donde el rango establecido se define como nivel 1 considerado malo y nivel 5 como excelente. (Coz , Sánchez, Vianí, Segura, & Rodríguez, 1995).

2.5.5 Dimensionamiento de la turbina hidráulica

Para el dimensionamiento es importante conocer los parámetros que se determinaron anteriormente en el apartado 2.4.1 y 2.4.2 como son la altura neta del agua y el caudal de diseño.

Para el cálculo de la potencia de la turbina se toma como base los siguientes parámetros detallados en la Tabla 2.4 y la Ecuación 4.

TABLA 2.5
Parámetros de cálculo para la turbina

Parámetro de medida	Valor de medida	Unidad de medida
Densidad de agua	1000	(kg/m ³)
Gravedad	9.81	(m/s ²)
Caudal	0.3309	(m ³ /s)
Altura neta	6.37	(m)
Rendimiento de la turbina	70	(%)

Fuente: Elaborado por el autor

a) Cálculo de la potencia de la turbina

Para establecer la potencia que se obtiene debido al movimiento de la turbina se determinará mediante la Ecuación 10. (Delgado Bermeo, 2007)

$$P_T = g \cdot Y \cdot Q \cdot h_n \cdot n_T \quad (10)$$

Donde:

P_T : Potencia a generarse en la turbina (W)

g : Gravedad del agua (m/s²)

Y : Densidad del agua (kg/m³)

Q : Caudal promedio disponible (m³/s)

h_n : Altura neta del salto de agua (m)

n_T : Rendimiento de la turbina (%)

La potencia a generarse en la turbina será de 14.47 kW, debido a que se estimó un rendimiento de la turbina equivalente al 70%, definido de acuerdo al fabricante que se realizó la respectiva cotización, la cual se puede observar detalladamente en el (Anexo D).

b) Velocidad de giro de la turbina

El giro que se produce en el eje de la turbina es el primordial para que el generador rote al mismo tiempo y así de esta manera seleccionar la disponibilidad de trabajo del grupo (turbina-generador).

La velocidad síncrona como base debe hacer girar el generador a una frecuencia de 60Hz de acuerdo al número de polos; para realizar la interconexión del sistema turbina generador es favorable el acoplamiento directo debido a que es el más eficaz al momento de la velocidad de giro.

Para el cálculo de la velocidad de giro de la turbina se determinará con la Ecuación 11. (Delgado Bermeo, 2007)

$$N = \frac{60 \cdot f}{P} \quad (11)$$

Dónde:

N = Número de revoluciones por minuto (rpm)

f = Frecuencia (Hz)

P = Número de polos del alternador

Realizando el cálculo pertinente se determinó que la velocidad de giro de la turbina es de 1800 r.p.m.

c) Velocidad específica de la turbina

La turbina es seleccionada de acuerdo a la velocidad específica (N_s), la cual representa el número necesario de revoluciones que daría la turbina, consiguiendo de esta manera la normativa respectiva para la construcción de sus rodetes, como también determinar la turbina adecuada para el caudal y salto de agua conocido.

Para el cálculo de la velocidad específica de la turbina, se define la Ecuación 12. (Delgado Bermeo, 2007)

$$N_s = \frac{n_{st} \sqrt{P}}{h_n^{5/4}} \quad (12)$$

Dónde:

N_s = Numero específico de revoluciones de la turbina (r.p.m.)

n_{st} = Velocidad síncrona de la turbina (r.p.m.)

P = Potencia de la turbina expresada en (HP)

h_n = Altura neta del salto de agua (m)

Remplazando los datos calculados anteriormente en este apartado se obtuvo una velocidad específica de la turbina de 676.6 r.p.m.

(OLADE, 1995, pág. 240) indica que “La turbina Kaplan trabaja en un rango de 350-1000 revoluciones por minuto”. Por lo tanto, se realizó la respectiva cotización para este tipo de turbina. En el Anexo D se puede observar las características que tiene la misma.

d) Control de velocidad de la turbina

El control de la velocidad y la carga que llega hacia la turbina está conformado por un equipo de inspección y accionamiento, el cual tiene la finalidad de regular el flujo de agua que atraviesa por la turbina y la unidad de velocidad que regula la potencia de entrada suministrada por la turbina, para que se conecte al generador.

La regulación se puede realizar por medio del caudal o también por regulación de carga, como puede ser de forma manual como automática. Por seguridad y confiabilidad, es necesario realizar la regulación de velocidad con regulador automatizado para que el sistema se accione de forma directa sobre la válvula, el arranque, la sincronización y el control de la carga; en el cual se proporcione un sistema de frecuencia y voltaje estables para ocasiones en que varíe instantáneamente la demanda; como también las respuestas frente a exigencias de sensibilidad, estabilidad y seguridad.

En la Fig. 2.6 se establece un esquema donde se puede observar claramente el sistema de control de la turbina, por medio del control de carga.

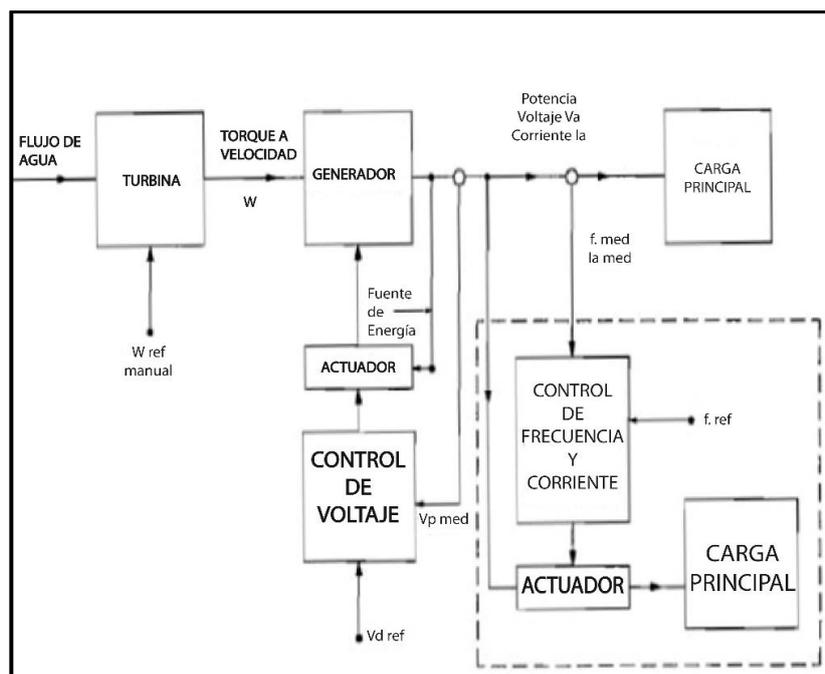


Fig. 2.6 Sistema de velocidad ejecutado por el control de carga
Fuente: (Vásquez Huiracocha, 2015)

e) Requerimientos para regular la velocidad

- Sensor de velocidad para el control de arranque y parada.
- Seleccionador de régimen de velocidad a establecerse.
- Indicadores y activación de velocidad cuando exista embalamiento, posición de parado, excitación y momento de sincronización.
- Indicadores en condiciones de funcionamiento.

2.5.6 Parámetros del Generador eléctrico

Para el dimensionamiento del generador es importante conocer los parámetros, que se determinaron en el apartado 2.5. Como son las revoluciones por minuto y la eficiencia de trabajo del grupo turbina-generador.

a) Velocidad síncrona

El número de polos que tendrá el generador se define por la Ecuación 13. (Vásquez Huiracocha, 2015)

$$p = \frac{120 \cdot f}{n_{st}} \quad (13)$$

Donde:

p = Numero de polos

f = frecuencia (Hz)

n_{st} = Velocidad síncrona de la turbina (rpm)

De acuerdo a los parámetros ya determinados anteriormente, se utilizó una frecuencia de trabajo de 60 Hz establecida en Ecuador para las maquinas eléctricas; mediante el cálculo se obtuvo así 4 número de polos.

El acople del eje de la turbina se establece directamente con el eje del generador, para que este gire a la misma velocidad.

Para el cálculo de la velocidad síncrona del generador se utilizará la Ecuación 14. (Vásquez Huiracocha, 2015)

$$n_s = 120 \cdot \frac{f}{p} \quad (14)$$

Donde:

n_s = Velocidad síncrona de la turbina (rpm)

f = frecuencia (Hz)

p = Numero de polos

Después de obtener el dato de numero de polos, permitió conocer la velocidad síncrona a la que trabajará el generador, dando como resultado el valor de 1800 rpm, velocidad a la que trabajará sin ninguna circunstancia.

b) Potencia de salida del generador

Para el cálculo de la potencia activa del generador se define la Ecuación 15. (Chapman, 2012)

$$P_G = P_T \cdot n_G \quad (15)$$

Donde:

P_G = Potencia del generador (W)

P_T = Potencia de la turbina (W)

n_G = Rendimiento del generador (%)

Al determinar el cálculo de la potencia activa que tendrá el generador a ser implementado es de 10.3kW.

Para el cálculo de la potencia aparente del generador se define la Ecuación 16. (Chapman, 2012)

$$S_G = \frac{P_G}{fp} \quad (16)$$

Donde:

S_G = es la potencia aparente del generador (kVA)

P_G = es la potencia activa del generador (W)

fp = es el factor de potencia

Para determinar esta potencia, se optó por un factor de potencia de 0.8 como lo establece el fabricante de acuerdo a la cotización realizada, la cual se encuentra detallada en el Anexo D con sus respectivas características.

Remplazando los datos anteriormente descritos y la potencia activa calculada se obtuvo una potencia aparente de 12.8kVA.

c) Cálculo de la corriente nominal del generador

Para el cálculo de la corriente al que opera el generador se tiene en cuenta que el voltaje en los bornes de salida es trifásico. Esta corriente se determinará de acuerdo a la Ecuación 17. (Chapman, 2012)

$$I = \frac{S_G}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (17)$$

Donde:

I = Corriente nominal del generador (A)

S_G = Potencia aparente del generador (kVA)

V = Voltaje de línea a línea (V)

La corriente calculada es de 33.6 A y de acuerdo a la cotización expuesta en el Anexo D realizada al fabricante; se detalla que el generador proporciona 400V en trifásico y 220V en una fase, por lo tanto, se procederá a implementar un transformador reductor para poder autogenerar para la PTAR-I.

d) Regulador de voltaje

Los reguladores de voltaje se encuentran fabricados de forma electrónica, lo cual constan de una precisión del ± 1 , con las variaciones de velocidad del 10%, como también proporcionan de estabilidad al sistema. (INEA, 1997)

Se utiliza un regulador de estado sólido porque permite controlar de forma automáticamente la corriente de excitación del generador, para lograr que los voltajes se encuentren en los rangos definidos por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), Con esto se obtendría un voltaje con carga o como puede ser en vacío.

e) Sistema de excitación del generador

El sistema de excitación define que el generador consta de un sistema que invierte el campo del excitador y su armadura, por lo tanto, se elimina el juego entre anillos colectores y el voltaje de salida del generador se controla mediante el campo excitador del estator.

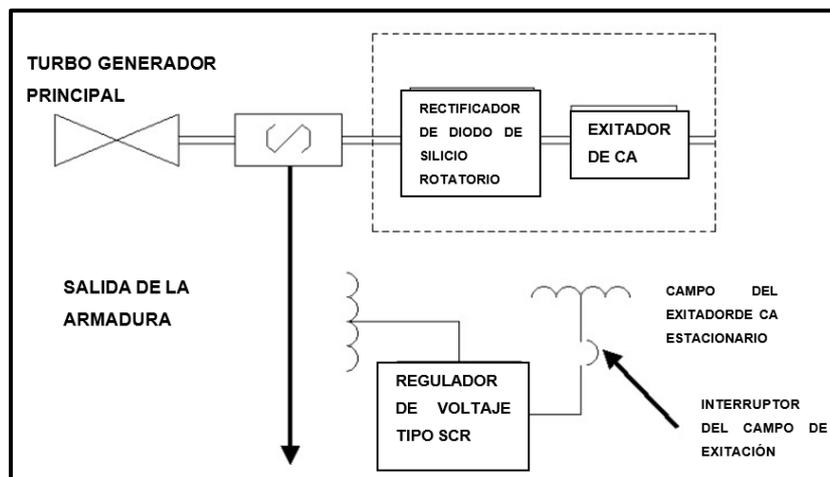


Fig. 2.7 Sistema alternativo de excitación sin escobillas del generador
Fuente: Tomado de (Cascante Vindas & Quirós, 2003)

En el diagrama de la Fig. 2.7 se muestra los elementos que operan entre el campo y la armadura de la excitatriz del generador, los cuales son los encargados de realizar el control de voltaje y corriente de la excitatriz, para lograr el voltaje a la salida del generador.

El voltaje que proporciona la excitatriz se establece desde los 24V en corriente continua hasta los 125V, este voltaje y las características de funcionamiento vienen establecidas de acuerdo al fabricante. (Coz, y otros, 1995)

f) Equipos de protección del generador

Estos equipos de protección están diseñados principalmente para los factores de perturbación interna como externa, frente a un problema eléctrico.

- Protección de sobre corriente
- Protección de bajo voltaje
- Protección de sobre voltaje
- Protección de baja y sobre frecuencia
- Protección de sobrecarga térmica
- Protección de sobre velocidad

En la Fig. 2.8 se muestra los equipos de protección para el generador, los cuales actúan de forma eficaz frente a las perturbaciones internas como externas.

Este esquema de protecciones se tomará en cuenta para la micro central hidroeléctrica debido a que las mismas serán calculadas de acuerdo a los parámetros de velocidad síncrona, potencia y corriente eléctrica que se calcularon anteriormente en este mismo apartado en el literal a), b) y c). Por lo tanto, será necesario la implementación de una protección falla a tierra, una protección para baja y sobre frecuencia, una protección para la sobre corriente y una protección para bajo y sobre voltaje, las cuales son de suma importancia para tener un funcionamiento óptimo en lo que respecta a su seguridad, pudiendo además hacer uso de protecciones que puedan complementar a la seguridad de la micro central.

En gran cantidad de centrales hidroeléctricas que existen en nuestro país se puede evidenciar que usualmente sus equipamientos de protecciones eléctricas son de forma simple debido a su baja potencia y para su funcionamiento no es necesario la implementación de algunas de estas.

El esquema planteado en la Fig. 2.8, no es utilizado en su totalidad debido a que se pretende abaratar costos, sin embargo, en el proyecto de la micro central hidroeléctrica se plantea esta topología al poseer todos los requerimientos que generalmente se adaptan a este tipo de proyectos.

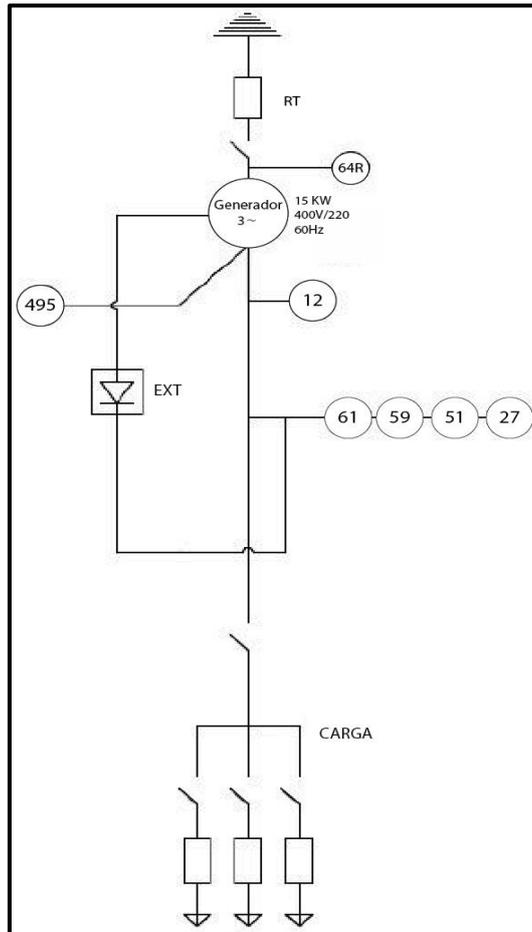


Fig. 2.8 Diagrama de protecciones de la micro central hidroeléctrica
Fuente: (Vivas Rodríguez, 2020)

En la Tabla 2.6 se detalla la nomenclatura de las protecciones eléctricas que se observan en la Figura 2.8, con su respectivo significado.

TABLA 2.6
Nomenclatura de las protecciones eléctricas del generador

Símbolo	Equipo	Definición
64R	Relé de falla a tierra	Esta protección actúa cuando hay falla a tierra en un punto del devanado ubicado en el rotor.
12	Relé de sobre velocidad	Esta protección no realiza la desconexión de la máquina, si no cierra la válvula de admisión de la turbina.
49S	Relé de sobre carga térmica	Esta protección actúa frente a sobrecalentamientos producidos en la unidad, y actúa conjuntamente con los relés de sobre corriente.

81	Relé de baja y sobre frecuencia	Esta protección actúa frente a un exceso flujo magnético, el cual podría dañar al núcleo del entrehierro
59	Relé de sobre voltaje	Esta protección ayuda a la protección de equipos eléctricos que se encuentran conectados a los terminales del generador.
51	Relé de sobre corriente	Esta protección actúa frente a fallas externas del generador y resulta ser una protección complementaria a las demás protecciones seleccionadas.
27	Relé de bajo voltaje	Esta protección actúa frente a la caída de voltaje del 40% del voltaje establecido.

Fuente: Adaptado de (Coz, y otros, 1995)

2.5.7 Cálculo de la caída de voltaje en el conductor.

Para definir el tipo de sección del conductor se empleó la metodología del cálculo de caída de voltaje, este dato permite saber cuál es la sección específica que se debe emplear y así transportar la corriente máxima que puede soportar el mismo. Su cálculo se realiza mediante la Ecuación 18. (Herman, 2014)

$$S = \rho_{cu} \frac{\sqrt{3}.L.I}{\Delta V} \quad (18)$$

Donde:

S = Sección del conductor (mm^2)

ρ_{cu} = Resistividad del cobre (ohm)

L = Longitud (m)

I = Intensidad de la carga (A)

ΔV = Variación de la caída de voltaje (V)

TABLA 2.7
Datos de la red de distribución

Distancia (m)	Corriente (A)	Voltaje de generación (V)	Caída de voltaje (V)	Sección (mm ²)	Calibre (AWG)
C.G.-R.D.=110	33.6	220	1.63 0.74 %	67.42	2/0

Fuente: Elaborado por el autor

Para la determinación del cálculo de la sección del conductor se tomó en cuenta la resistividad del cobre, debido a que es el material que se va a utilizar, dando como resultado una sección del conductor de 67.42 mm^2 , el cual es un conductor de calibre número 2/0 AWG.

2.5.8 Sistema de control

Para el sistema de control y monitoreo de la micro central hidroeléctrica se define el siguiente esquema, en el cual se encuentran especificados los instrumentos de medida que son de suma importancia al momento de monitorear la carga de acuerdo al voltaje, corriente, frecuencia, potencia y energía; además estos instrumentos deben permanecer en los rangos establecidos de operación para no tener fallos en todo el sistema.

En la Fig. 2.9 Se visualiza el diagrama de conexión para la medición del sistema de generación que se encuentra operando en la micro central hidroeléctrica.

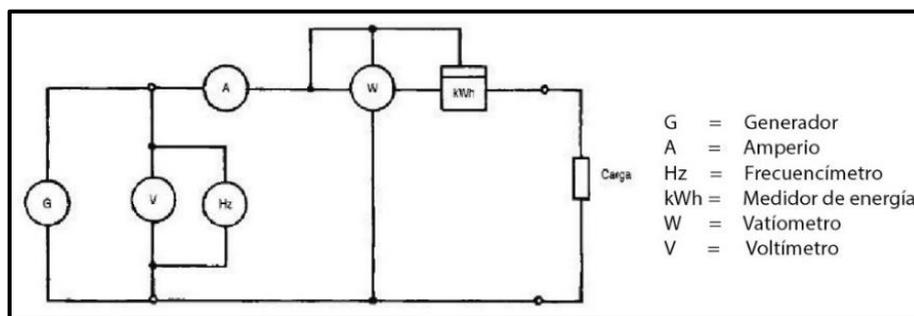


Fig. 2.9 Diagrama de control para el sistema
Fuente: (OLADE, 1995)

2.6 Obras civiles

Estas obras se diseñarán con el fin de construir e implementar todo el sistema de la micro central hidroeléctrica para que de esta manera se pueda aprovechar al máximo las condiciones del sitio.

Los aspectos económicos para la implementación de estos estudios son de gran relevancia, debido a que las obras civiles y los equipos electromecánicos demandan una inversión elevada, por lo tanto, la obra civil no va a ser estudiada a fondo ya que no se encuentra estipulada en el alcance del proyecto, sin embargo, va a ser considerada dentro del presupuesto de una forma estimada.

2.6.1 tanque de carga

Una vez realizado el debido proceso preliminar a las aguas captadas por la PTAR, se dirigirán a través de una tubería de conducción hasta hacer llegar al tanque de carga. En la Fig. 2.10 se observa el tanque de carga el cual tiene la función de reservar el agua y se encuentra ubicado al final del canal de conducción.

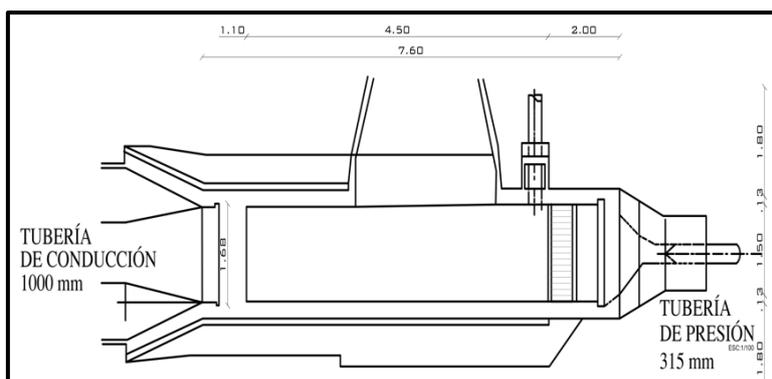


Fig. 2.10 Tanque de Carga (Vista frontal)
Fuente: Elaborado por el autor

Esta cámara de carga está diseñada para mantener la presión de la caída del recurso hídrico, de manera que requiere una entrada continua de agua hacia el canal para tener el nivel máximo de agua, además se establece un alivio de caudal por si este alcanza su nivel máximo de capacidad.

Para mayor seguridad se implementará una compuerta a la entrada de la cámara de carga y otra a la salida de la misma; estas compuertas tendrán la función de apertura y cierre del caudal de agua.

En la Fig. 2.11 se puede observar una pequeña tubería de limpieza, la cual se utilizará para drenar el agua después del respectivo mantenimiento y expulsar objetos sólidos que se encuentren en su interior.

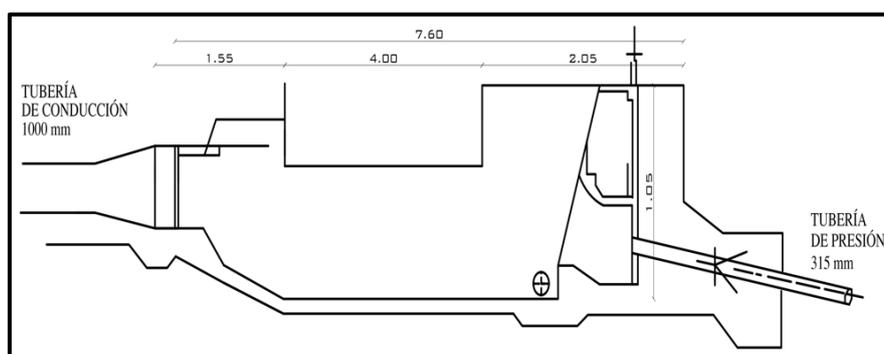


Fig. 2.11 Tanque de Carga (Vista lateral)
Fuente: Elaborado por el autor

Este tanque de carga alcanzará su capacidad máxima de llenado en 5 min con el caudal de 330.9 l/s, además se puede dar otras aplicaciones de uso al tanque de carga según se disponga el respectivo recurso hídrico.

2.6.2 tubería de presión

La tubería seleccionada para la MCH será de polietileno de alta densidad, la cual se determinó de acuerdo a los cálculos detallados en el apartado 2.5.4. En el Anexo C se detallan las especificaciones de la tubería a ser implementada.

Además, esta tubería posee una inclinación de 5.43° , como también tendrá válvula de apertura y cierre de forma automática, apoyos para que no se produzca movimiento de la misma, anclajes para que no se produzca sedimentación en la base y una válvula de purga para reparaciones, mantenimiento y evitar la cavitación.

A continuación, en la Fig. 2.12 se explica la forma de la tubería que necesita ser implementada en el lugar.

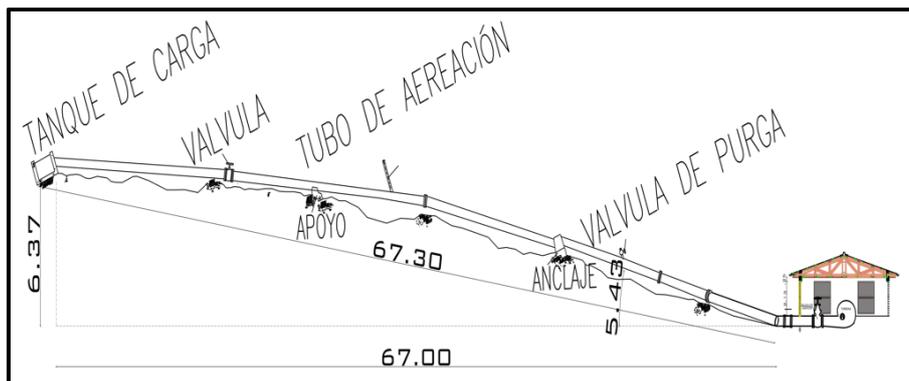


Fig. 1.12 Componentes de la tubería de presión
Fuente: Elaborado por el autor

2.7 Casa de máquinas

La casa de máquinas consta de una sala de máquinas en donde se encuentra la turbina, el generador, el panel de control y distribución, el transformador y el sistema de regulación.

La cámara de la turbina para saltos pequeños es de tipo abierto, debido a que el distribuidor de la turbina llega directamente a la tubería de presión. Dependiendo el caso se puede utilizar una turbina con eje horizontal o vertical.

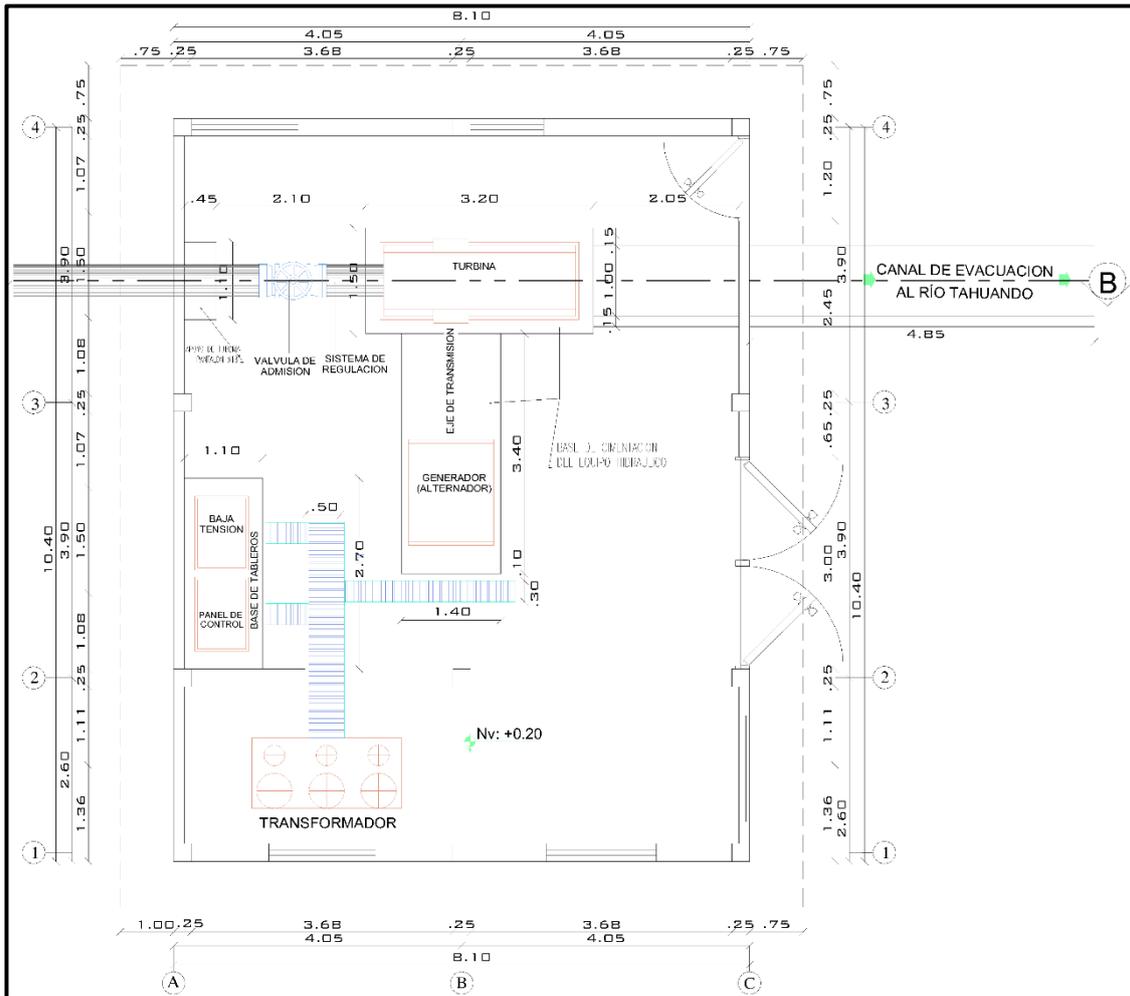


Fig. 2.13 Casa de máquinas vista superior
Fuente: Elaborado por el autor

En la Fig. 2.13 se puede apreciar la casa de máquinas desde una vista superior, donde se encuentra dividida en sus respectivos espacios de alojamiento de cada equipo electromecánico como es: la base del transformador, la base de los dos tableros, la base del equipo hidráulico y la base para el generador, de tal manera que cada uno de estos equipos se encuentren separados con su espacio correspondiente para su funcionamiento y así evitar algún riesgo eléctrico o mecánico, además su infraestructura está diseñada de forma sencilla y segura para obtener costos bajos en lo que respecta a su obra civil.

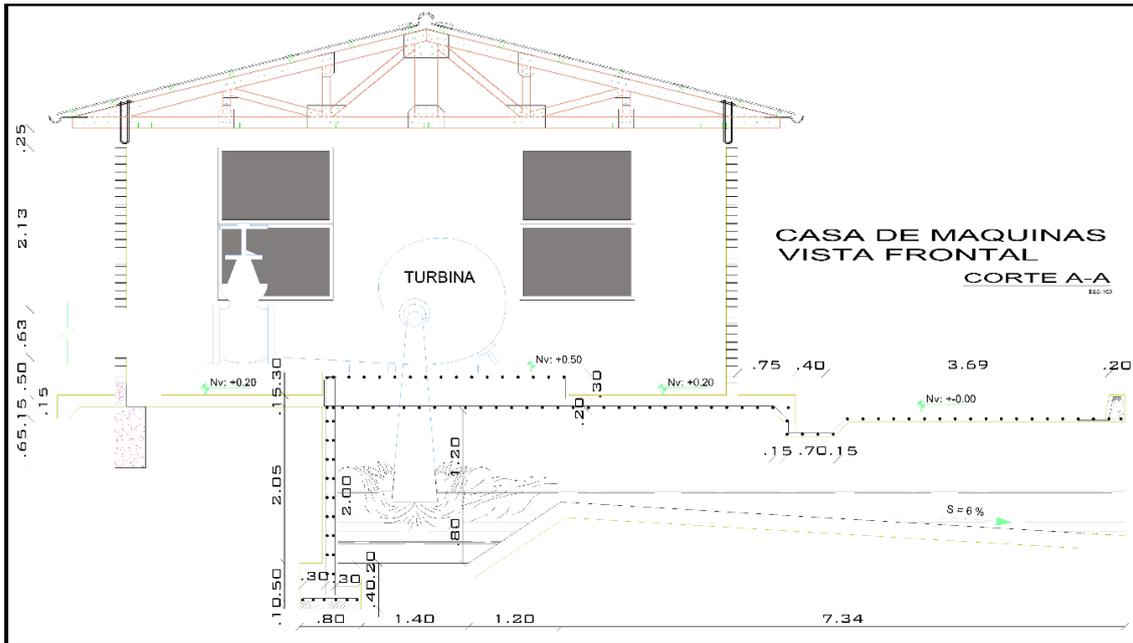


Fig. 2.14 Corte vista frontal de la casa de máquinas
 Fuente: Elaborado por el autor

En la Fig. 2.14 se representa el corte de la vista lateral de la casa de máquinas, donde se puede observar la tubería de presión que lleva el caudal hacia la turbina para de esta manera realizar la generación de energía eléctrica y posteriormente se da salida a través del canal de descarga para hacer llegar el recurso hídrico nuevamente al río Tahuando. En el Anexo I se puede observar los planos arquitectónicos con sus respectivas medidas.

CAPÍTULO 3

Análisis técnico económico

En este capítulo se realiza el análisis técnico económico que conlleva la implementación de la micro central hidroeléctrica, además se mencionan los elementos seleccionados a conformar la casa de máquinas.

Se hace un análisis de los diferentes equipos electromecánicos para realizar la selección y conocer el monto total del recurso económico que será necesario para desarrollar el proyecto; se establece determinar la pre-factibilidad económica. Para lo cual se establecen los indicadores de rentabilidad que son: el TIR, VAN, B/C, como también la vida útil del proyecto que será de 15 años.

3.1 Tubería de conducción

Esta tubería es el medio de transporte para que el fluido llegue a la cámara de carga, dicha tubería ya se encuentra instalada en el sitio y consta de 1000 mm de diámetro y su construcción está fabricada de un material de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

3.1.1 Diámetro interno de la tubería de presión

Para el cálculo del diámetro interno de la tubería de presión del flujo de agua se determinó con la Ecuación 7. En donde el diámetro calculado es de 0.309m, el cual no se encuentra en el mercado por lo que se toma la serie de fabricación, que corresponde a 315 mm

3.1.2 Velocidad de flujo en la tubería

La velocidad del flujo que produce el caudal dentro de la tubería de salida se determinó por la Ecuación 8, en donde el resultado obtenido fue de 4.41m/s.

3.1.3 Presión nominal en la tubería

La presión nominal que se ejerce en la tubería se determinó empleando la Ecuación 9, dando como resultado 0.06 MPa.

3.2 Turbina hidráulica

La elección de la turbina a ser implementada en el sitio de estudio se define de acuerdo al ábaco establecido por el fabricante con los parámetros de salto y caudal, como también al dimensionamiento de cada equipo que se encuentre conectado a la misma.

3.2.1 Selección de la turbina de acuerdo a la potencia

De acuerdo al Abaco de la Fig. 1.12 se observa los parámetros del salto geodésico en función del caudal disponible en el sitio, en donde se trazó una línea de color plomo y negra que son los rangos en los cuales se puede utilizar cualquiera de estos dos tipos de turbina de acuerdo al fabricante.

Para el cálculo de la potencia a generarse en la turbina se utilizó los parámetros calculados en el apartado 2.5.5 literal a, obteniendo una potencia de 14,47 kW.

Propuesta N°1

3.2.2 Turbina Kaplan

Debido a los resultados ya determinados en el apartado 2.5.5, se detallan los parámetros de funcionamiento como también las características técnicas que se consideraron para la turbina a ser implementada en la micro central hidroeléctrica.

Las características y costos de adquisición de las diferentes turbinas se encuentran dadas por los distintos fabricantes que hay en el mercado, por lo cual la turbina que se requiere para la generación se obtuvo debido a una cotización del grupo turbina-generador, en donde se estableció una turbina Kaplan vertical de flujo radial, con sistema de cierre de compuerta y tipo de multiplicador paralelo, además opera con bajos saltos y grandes caudales.

En el Anexo D se encuentra detallado las características que posee esta turbina.

TABLA 3.1
Especificaciones de la turbina hidráulica Kaplan

Parámetros de funcionamiento		
Variable	Valor	Unidad
Presión del agua	>0.7	bar
Caudal nominal	0,3309	m^3/s
Salto neto disponible	6.37	m
Rendimiento de la turbina	70	%
Características técnicas		
Tipo de Turbina	Kaplan Vertical	Global
Diámetro de entrada y salida	350	mm
Velocidad de giro	1800	rpm
Potencia de la turbina	15	kW

Fuente: Elaborado por el Autor

Propuesta N°2

3.2.3 Turbina Michell Banki

Debido a los resultados ya determinados en el apartado 2.5.5, se detallan los parámetros de funcionamiento como también las características técnicas que se consideró para la turbina a ser implementada en la micro central hidroeléctrica.

Las características y precios establecidos en el mercado para la adquisición de la turbina, se obtuvo debido a una cotización del grupo turbina-generator, en donde se definió a una turbina Michell Banki de eje horizontal con rodete de acero inoxidable, con sistema de cierre de válvula de mariposa, la cual opera a bajas alturas y grandes caudales; en el Anexo G se puede observar detalladamente la hoja de características de la misma.

TABLA 3.2
Especificaciones de la turbina hidráulica Michell Banki

Parámetros de funcionamiento		
Variable	Valor	Unidad
Presión del agua	>0.7	bar
Caudal nominal	0,3309	m^3/s
Salto neto disponible	6.37	m
Rendimiento de la turbina	60	%
Características técnicas		
Tipo de Turbina	Michell Banki	Global
Diámetro de entrada y salida	670-1100	mm
Velocidad de giro	220	rpm
Potencia de la turbina	20	kW

Fuente: Elaborado por el Autor

3.3 Generador eléctrico

El generador eléctrico se encuentra definido de acuerdo a los parámetros ya establecidos en el apartado 2.5.6, los cuales son los indicados para asumir estos valores y poder así obtener el dimensionamiento para su correcto funcionamiento.

Propuesta N°1

3.3.1 Generador síncrono

Debido a los resultados ya determinados en el apartado 2.5.6, se detallan los parámetros de funcionamiento que se consideró para el generador a ser implementado en la micro central hidroeléctrica.

Las características y precios establecidos en el mercado para el generador requerido, se obtuvieron de acuerdo a una cotización del grupo turbina-generador, en donde este será un generador síncrono de excitación sin escobillas, con tres fases y trabaja a una frecuencia de 60Hz, obteniendo así una eficiencia de trabajo del 70%.

En el Anexo D se puede observar detalladamente la hoja de características del mismo.

TABLA 3.3
Especificaciones del generador eléctrico

Parámetros de funcionamiento		
Variable	Valor	Unidad
Tipo	3 fases	Global
Aislamiento eléctrico	Clase B/B	Global
Potencia	15	kW
Acoplamiento	Separado	Global
Velocidad de giro	1800	rpm
Polos	4	Polos
Frecuencia	60	Hz
Factor de potencia	0.8	Global
Voltaje	400 a 220	V
Regulador de voltaje	Automático	Global

Fuente: Elaborado por el autor

Propuesta N°2

3.3.2 Generador asíncrono

Debido a los resultados ya determinados en el apartado 2.5.6, se detallan los parámetros de funcionamiento que se consideró para el generador a ser implementado en la micro central hidroeléctrica.

Las características y precios establecidos en el mercado para el generador requerido, se obtuvieron de acuerdo a una cotización del grupo turbina-generador, en donde este será un generador asíncrono, con tres fases y a una frecuencia de 60Hz, obteniendo así una eficiencia de trabajo del 70%; en el Anexo G se puede observar detalladamente la hoja de características del mismo.

TABLA 3.4
Especificaciones del generador asíncrono

Parámetros de funcionamiento		
-------------------------------------	--	--

Variable	Valor	Unidad
Tipo	3 fases	Global
Aislamiento eléctrico	Clase F/B	Global
Potencia	15	kW
Acoplamiento	Directo	Global
Velocidad de giro	900	rpm
Polos	8	Polos
Frecuencia	60	Hz
Factor de potencia	0.74	Global
Voltaje	400	V
Regulador de voltaje	Automático	Global

Fuente: Elaborado por el Autor

3.4 Red de distribución eléctrica

La micro central hidroeléctrica se encuentra ubicada a 110 m. desde el punto de generación hasta el punto de carga. Esta red de distribución tiene la finalidad de abastecer de energía eléctrica a los distintos equipos que se encuentran instalados en la PTAR.

Para el cálculo de la sección del conductor se utilizó el cálculo de caída de voltaje, con el propósito de conocer la corriente máxima que puede transportar el conductor, en donde se utilizó la Ecuación 18 del apartado 2.5.7. Además, contara con las debidas protecciones para el grupo turbina-generador contra las sobre corrientes que se ocasionan debido a fallos.

En la Tabla 3.5 se puede observar los elementos a conformar la red de distribución.

TABLA 3.5
Parámetros de la línea de distribución

Ítem	Valor	Unidad
Conductor	67.42	(mm^2)
Distancia de la red	110	m
Varilla Copperweld	1.8	m
Tablero de control	1300 x 1600	mm
Fusible del transformador	50	A
Protección para el generador	35	A

Fuente: Elaborado por el autor

3.5 Flujo de caja

El análisis del flujo de caja es la parte principal para definir la rentabilidad de la inversión que se realiza para un proyecto, siendo así la proyección del comportamiento para obtener los egresos e ingresos a lo largo de la vida útil del proyecto. (Lalvay Guamán & Vidal Jaramillo , 2013)

Al realizar esta proyección se busca medir la rentabilidad técnica-económica y la capacidad de pago que se tenga para poder sustentar el proyecto.

3.5.1 Evaluación de costos del proyecto

Se debe tomar en cuenta cada uno de los costos en los que se incurrirá como consecuencia de poner en marcha el proyecto, a continuación, se detallan costos de inversión, costos de operación, y costos de mantenimiento, los cuales serán de gran importancia debido a que influirán considerablemente para la toma de decisiones.

3.5.2 Costos de inversión

El costo de inversión está representado por el valor monetario que será el necesario para adquirir, el transporte e instalación de los equipos y materiales a ser destinados a la producción de energía eléctrica.

Los costos de inversión del proyecto se encuentran divididos en cinco secciones, la primera se centrará en las obras civiles, la segunda sección en las partes electromecánicas, la tercera sección será el análisis de los costos de inversión en la red de distribución eléctrica, en la cuarta sección se establece los costos que tendrá la mano de obra e instalación y por último se detalla el costo de operación con su respectivo mantenimiento.

A continuación, en la Tabla 3.6 se desglosa los materiales y equipos que son necesarios para la implementación de la micro central hidroeléctrica con sus pertinentes costos, los cuales fueron tomados de mercados nacionales e internacionales de las plataformas en línea.

Propuesta N°1

TABLA 3.6
Materiales requeridos para la Implementación de la micro central hidroeléctrica

Obras civiles				
Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Tubería de polietileno 13"	In	12	65	780
Codo a 6° de 13"	In	2	35	70

Válvula 13"	In	1	150	150
Casa de maquinas	m ²	1	8240	8240
Misceláneos	-	-	-	462
Subtotal			9702	
Equipo electromecánico				
Grupo (Generador – Turbina)	Global	1	7550	7550
Protecciones eléctricas	Global	8	20	160
Tablero de control	Global	1	420	420
Importación de Equipos	Global	-	-	447.6
Subtotal			8577.6	
Red de distribución				
Conductor (TTU 2/0 AWG)	m	220	5.93	1304.6
Tablero de distribución	Global	1	220	220
Varilla Copperweld	Global	1	9.95	9.95
Misceláneos	Global	-	-	76.72
Subtotal			1611.27	
Costos de mano de obra e instalación				
Instalación de tuberías	Global	2	30	60
Instalación de los equipos electromecánicos y tableros	Global	3	30	90
Subtotal		150		
Costos de operación y mantenimiento				
Mantenimiento preventivo a los equipos	Global	2	20	40
Mantenimiento del grupo turbina generador	Global	2	80	160
Mantenimiento de red	Global	2	20	40
Misceláneos	Global	-	-	30
Subtotal			270	
Total			20310.87	

Fuente: Elaborado por el Autor

La inversión total para la implementación de la micro central hidroeléctrica es de 20310.87 USD, costos establecidos de acuerdo a las distintas cotizaciones que se realizaron a los fabricantes de plataformas en línea en mercados nacionales como internacionales.

Propuesta N°2

TABLA 3.7

Materiales para la implementación de la micro central hidroeléctrica

Obras civiles				
Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Tubería de polietileno 13"	ln	12	65	780
Codo a 6° de 13"	ln	2	35	70
Válvula 13"	ln	1	150	150
Casa de maquinas	m ²	1	8240	8240
Misceláneos	-	-	-	462
Subtotal			9702	
Equipo electromecánico				
Grupo (Generador – Turbina)	Global	1	56221.61	56221.61
Protecciones eléctricas	Global	3	20	60
Importación de Equipos	Global	-	-	447.6
Subtotal			56281.61	
Red de distribución				
Conductor (TTU 2/0 AWG)	m	220	5.93	1304.6
Tablero de distribución	Global	1	220	220
Varilla Copperweld	Global	1	9.95	9.95
Misceláneos	Global	-	-	76.72
Subtotal			1611.27	
Costos de mano de obra e instalación				
Instalación de tuberías	Global	2	30	60
Instalación de los equipos electromecánicos y tableros	Global	3	30	90
Subtotal		150		
Costos de operación y mantenimiento				
Mantenimiento preventivo a los equipos	Global	2	20	40
Mantenimiento del grupo turbina generador	Global	2	80	160
Mantenimiento de red	Global	2	20	40
Misceláneos	Global	-	-	30

Subtotal	270
Total	68014.88

Fuente: Elaborado por el Autor

La inversión total para la implementación de la micro central hidroeléctrica con la propuesta número 2 es de 68014.88 USD, costos establecidos de acuerdo a las distintas cotizaciones que se realizaron a los fabricantes de plataformas en línea en mercados nacionales como internacionales.

3.6 Análisis estadístico del consumo de energía eléctrica de la PTAR

Para el análisis del consumo energético de la PTAR, se tomó los datos obtenidos durante el periodo de enero 2019 – diciembre 2019. En la Tabla 3.8 se muestra detallado el consumo de energía eléctrica mensual y su respectiva facturación del servicio eléctrico se encuentra detallado en el Anexo H.

TABLA 3.8
Registro del consumo eléctrico de la PTAR-I

Mes	Consumo (kWh)
Enero	23000
Febrero	214000
Marzo	95000
Abril	215000
Mayo	196000
Junio	236000
Julio	230000
Agosto	179000
Septiembre	193000
Octubre	220000
Noviembre	198000
Diciembre	208000
Total	2414000

Fuente: Elaborado por el Autor

3.7 Producción de energía eléctrica

Para la producción de energía eléctrica que se generara al año se determina que sea constante en el transcurso de la vida útil que tiene la MCH. Esta generación se calcula considerando la potencia instalada, la cual es de 15 kW. Las horas que operará al año la micro central serán de acuerdo a la disponibilidad de trabajo, debido a que el

mantenimiento corresponde al 92% y el factor de planta al 0.92 para micro centrales hidroeléctricas. (Coz , Sánchez, Viani, Segura, & Rodríguez, 1995)

$$P_{EA} = P_{nom} instalada Horas_A \quad (19)$$

Donde:

P_{EA} = Producción energética anual

$P_{nom} instalada$ = Potencia activa nominal instalada

$Horas_A$ = Disponibilidad de horas al año de la central

La MCH durante el año tendrá el funcionamiento de 8059.2 horas, por lo tanto, tendrá una generación de energía eléctrica anual de 120888 kWh durante los 30 años de la vida útil que se establece para la generación hidráulica de acuerdo a la REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-001/2021. En la Tabla 3.9 se indica el ingreso obtenido debido a la generación eléctrica.

TABLA 3.9
Ingreso por Generación Eléctrica

Energía (kWh) al año
120888

Fuente: Elaborado por el Autor

3.8 Factibilidad económica

Para la etapa final del proyecto se realiza la viabilidad económica, en donde se busca saber si es conveniente ejecutar el proyecto en cuanto se refiere al aspecto económico y al aspecto de factibilidad saber si la ejecución del proyecto conllevará pérdida o no en la inversión. Por lo tanto, se trabajará con los indicadores del valor del dinero en el tiempo como lo es el VAN, el TIR y el B/C. (Baca , 2013)

3.8.1 Indicador valor actual neto (VAN)

Para determinar el VAN se utilizará el flujo de caja obtenido anteriormente, es decir los ingresos y egresos de cada periodo del año, como la vida útil del proyecto. Para el cálculo del VAN se utilizará la Ecuación 20. (Baca , 2013)

$$VAN = \sum_{t=1}^T B_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t(1+r)^{-t} \quad (20)$$

Donde:

B_t = Beneficio anual del proyecto

C_t = Costo anual del proyecto

$(1 + r)^{-t}$ = Factor de actualización

T = Número de años de vida útil del proyecto

t = Periodo de capitalización (tiempo)

Criterios:

- Si $VAN > 0$ Define que el proyecto genera ganancias económicas.
- Si $VAN = 0$ Define que el proyecto no genera ganancias ni pérdidas.
- Si $VAN < 0$ Define que el proyecto genera una pérdida económica.

3.8.2 Indicador de la tasa interna de retorno (TIR)

Para determinar la tasa interna de retorno se mide la rentabilidad promedio que tendrá el proyecto, el cual a mayor tasa interna de retorno (TIR) mayor rentabilidad.

Para el cálculo del TIR se utilizará la Ecuación 21. (Baca , 2013)

$$TIR = \sum_{t=1}^T B_t(1 + r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t(1 + r)^{-t} = 0 \quad (21)$$

Donde:

B_t = Beneficio anual del proyecto

C_t = Costo anual del proyecto

$(1 + r)^{-t}$ = Factor de actualización

T = Número de años de vida útil del proyecto

t = Periodo de capitalización (tiempo)

Criterios:

- Si $TIR \geq$ Que la tasa de descuento de (9.92%). El proyecto en sí genera ganancias económicas.
- Si $TIR <$ Que la tasa de descuento de (9.92%). El proyecto en sí genera una pérdida económica.

Al emplear las Ecuaciones 20 y 21 se determinaron los valores del VAN y el TIR presentados en la Tabla 3.10, además se presenta los flujos de caja correspondientes para cada una de las propuestas establecidas, como también se define una vida útil del proyecto que será de 30 años como se encuentra establecido en el apartado 3.7.

Propuesta N°1

TABLA 3.10
Flujos Efectivo Neto, VAN y TIR

Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo neto	Tasa de interés
0		\$ 20310.87		
1	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
2	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
3	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
4	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
5	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
6	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
7	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
8	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
9	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
10	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
11	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
12	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
13	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
14	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
15	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	9,92%
16	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
17	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
18	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
19	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
20	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
21	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
22	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
23	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
24	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
25	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
26	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
27	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
28	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
29	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
30	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
VAN			\$ 15444.94	
TIR			18%	

Fuente: Elaborado por el Autor

Como se puede visualizar en la Tabla 3.10 el VAN es mayor que cero por lo que se puede determinar que la inversión generará ganancias a lo largo del tiempo, además se determina que la inversión realizada para el proyecto se recuperará a los 5 años con 7 meses y el tiempo restante que son de 24 años, generará un valor de \$ 92718.93 dólares a favor de la PTAR-I.

La TIR demuestra que el proyecto de implementación de la micro central hidroeléctrica en la PTAR es factible su ejecución, debido a que la tasa interna de retorno es mayor a la tasa de descuento.

Propuesta N°2

TABLA 3.11

Flujos Efectivo Neto, VAN y TIR

Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo neto	Tasa de interés
0		\$ 68014.88		
1	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
2	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
3	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
4	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
5	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
6	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
7	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
8	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
9	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
10	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	9.92%
11	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
12	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
13	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
14	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
15	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
16	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
17	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
18	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
19	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
21	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
22	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
23	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
24	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
25	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
26	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
27	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
28	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
29	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
30	\$ 4037.66	\$ 270	\$ 3767.66	
VAN			\$ -32259.07	
TIR			4%	

Fuente: Elaborado por el Autor

Como se puede visualizar en la Tabla 3.11 el VAN es negativo, por lo que se puede determinar que la inversión generará pérdidas por lo que no es conveniente la inversión en el proyecto de la segunda propuesta.

La TIR demuestra que el proyecto de implementación de la micro central hidroeléctrica en la PTAR no es factible su ejecución, debido a que la tasa interna de retorno es menor a la tasa de descuento.

3.8.3 Relación beneficio costo (B/C)

Es un indicador financiero el cual permite saber la factibilidad del proyecto. A diferencia del VAN que determina los resultados en valores absolutos. La relación beneficio costo establece los resultados de factibilidad en términos relativos, utilizando la Ecuación 22 detallada a continuación. (Sanchez & García, 2014)

$$R_{B/C} = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}} \quad (22)$$

Donde:

- B_j = Flujo neto positivo en el periodo j
- C_j = Flujo neto negativo en el periodo j
- i = Tasa de descuento
- n = horizonte de evaluación

Criterios:

- Si $B/C > 1$ se determina que la inversión generara ganancias económicas.
- Si $B/C = 1$ se determina que la inversión no generará ni ganancias ni pérdidas económicas.
- Si $B/C < 1$ se determina que la inversión producirá pérdidas económicas.

Al aplicarse la Ecuación 22 se obtuvieron los resultados planteados en la Tabla 3.12.

Propuesta N°1

TABLA 3.12
Resultados Beneficio Costo

Descripción	Cantidad (USD)
Suma ingresos	\$ 38318.16
Suma egresos	\$ 2562.35
Costo de inversión	\$ 22873.22
B/C	1.67

Fuente: Elaborado por el Autor

Como podemos observar en la Tabla 3.12 la relación B/C generará ganancias a través de los años de la vida útil que tendrá el proyecto, dando como resultado una ganancia de 0.6 centavos por cada dólar invertido.

Propuesta N°2

TABLA 3.13
Resultados Beneficio Costo

Descripción	Cantidad (USD)
Suma ingresos	\$ 38318.16
Suma egresos	\$ 2562.35
Costo de inversión	\$ 70577.23
B/C	0.5

Fuente: Elaborado por el Autor

Como podemos observar en la Tabla 3.13 la relación B/C generará pérdidas a través de los años de la vida útil que tendrá el proyecto, debido a que no genera ganancias por la inversión.

Una vez analizadas todas estas observaciones sobre el diseño para la prefactibilidad de la micro central, se realizó un estudio del costo de inversión para dos casos, en donde se realizó las respectivas cotizaciones de equipos a ser utilizados para la implementación de lo que podría ser la micro central hidroeléctrica en la PTAR-I.

De acuerdo a la información que fue proporcionada por personal técnico de la EMAPA se obtuvo el caudal que existe en el sitio. Se utilizó el método del GPS para el cálculo del salto de agua tomando en cuenta las condiciones del lugar para de esta manera evitar una obra civil de gran tamaño. Además, se determinó la utilización de la turbina Kaplan debido a que esta turbina se acopla a las condiciones del sitio y cálculos ya establecidos anteriormente; este tipo de turbina trabaja en caudales grandes y saltos pequeños.

Por lo tanto, en el análisis técnico económico se demuestra que la propuesta número 1 es la más factible debido a que sus costos presentan mayor beneficio para el presupuesto de la PTAR, lo cual facilitara su implementación, mantenimiento y operación, además, la segunda propuesta no es factible incluso luego de los 30 años de la vida útil.

Conclusiones

- Los pequeños proyectos hidroeléctricos son una alternativa confiable para el uso de energías renovables debido a que se realiza un aporte energético a menor escala. Una micro central hidroeléctrica aprovecha el recurso hídrico que se encuentra en ríos, riachuelos de agua fluyente y como es el caso del presente proyecto que se utilizó el caudal de salida de la planta de tratamiento para generar energía a partir del salto y caudal que posee el sitio sin causar perjuicios en el medio ambiente. Este tipo de centrales abarca lineamientos como es la obra civil para la casa de máquinas, la tubería de conducción del recurso y los equipos electromecánicos que realizan la transformación de la energía cinética que posee el agua en energía eléctrica.
- Para realizar el diseño del proyecto se tomó en cuenta los siguientes parámetros: un caudal promedio de 330.9 l/s y un salto neto de 6.37 m., aquellos que fueron de suma importancia para el dimensionamiento de las obras civiles, el grupo turbina-generador y sus respectivas protecciones. Con los datos obtenidos anteriormente se calculó una potencia teórica de 12.89 kVA, produciendo un estimado de energía eléctrica anual de 120888 kWh, energía que se aportara para cubrir la demanda energética que posee la planta de tratamiento actualmente.
- La selección de tuberías, turbina hidráulica, generador eléctrico, elementos de control, regulación, protección y red de distribución se dimensionó de acuerdo a la potencia eléctrica a generarse. Al realizar el análisis técnico económico que conllevaría a la implementación de la micro central se planteó dos propuestas definidas por valores de adquisición de distintas empresas, en donde la primera propuesta planteada nos permitió obtener una inversión de \$ 20310.87 dólares para la implementación de la micro central, además se realizó el cálculo del VAN, TIR y B/C, dando como resultado valores positivos, los cuales determinan que el proyecto es factible económicamente y que la energía a ser generada proporciona un aporte del 5% al total de la energía demanda por la planta.

Recomendaciones

- Fomentar el estudio de energías renovables que incentiven el aprovechamiento de los recursos hídricos que posee el Ecuador, realizando así, un aporte al sector eléctrico mediante el desarrollo de proyectos de generación eléctrica a pequeña escala.
- Para proyectos futuros se recomienda analizar la topografía del lugar para de esta manera, tener un mayor conocimiento de las obras civiles requeridas.
- Para la tubería de presión se sugiere utilizar un material de policloruro de vinilo (PVC), con recubrimiento externo para evitar la construcción de apoyos, anclajes y disminuir costos del proyecto.
- Se recomienda realizar una búsqueda de elementos de la micro central en el mercado nacional con el objetivo de reducir costos de importación de algunos componentes.
- Se recomienda revisar la normativa y regularización vigente en el país al momento de decidir la implementación del proyecto.

Referencias

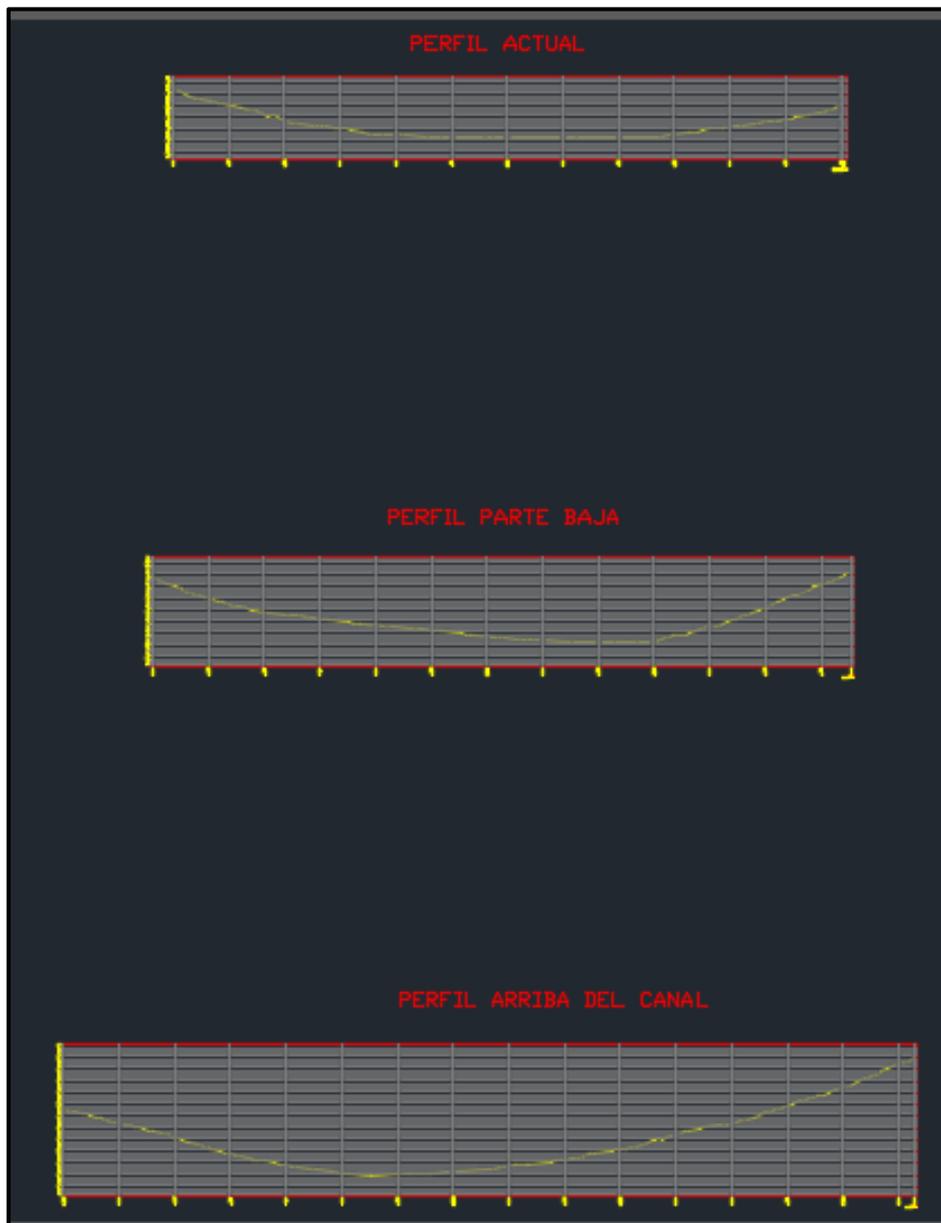
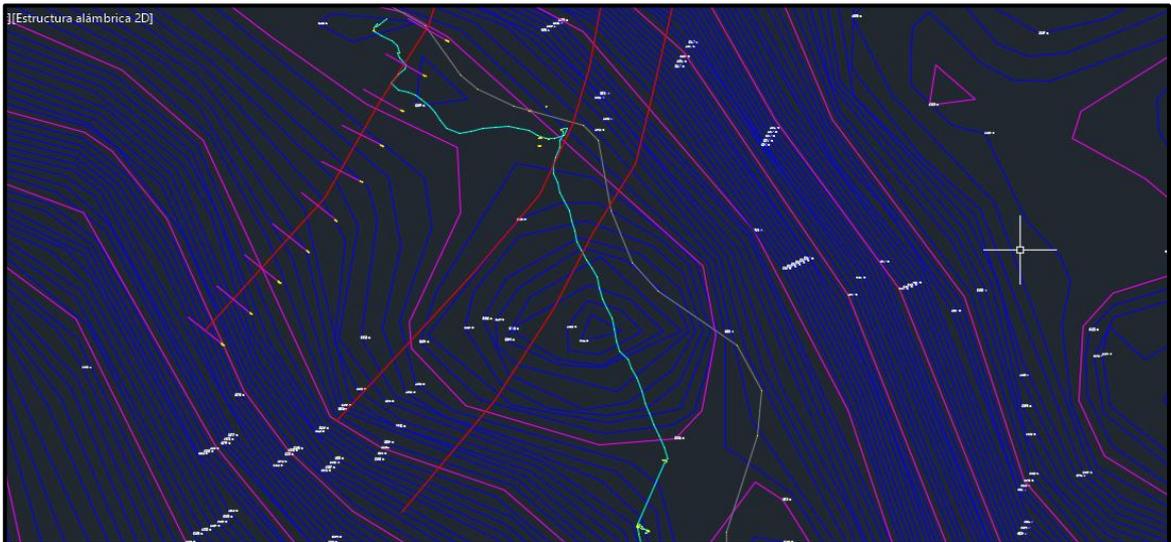
- Alvarado, L., López, M., & Hernández, W. (2013). Proyecto de factibilidad de implementación de micro generadoras hidroeléctricas Rurales en Cundinamarca. (*Tesis de Especialista en gerencia de proyectos*). Universidad EAN, Bogotá.
- AME. (29 de 11 de 2017). *Asociación de Municipalidades Ecuatorianas*. Obtenido de ame.gob.ec: <http://ame.gob.ec/ec/2017/11/29/ibarra-cuenta-planta-automatizada-tratamiento-aguas-residuales/>
- APIE Informa. (27 de Marzo de 2013). *Asociación Profesional de Ingenieros Especialistas* . Obtenido de apie.com.ar/Boletines/boletin-27/oferta-hidro.html
- Baca , G. (2013). *Evaluación de proyectos* . Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- Bengoa, J. (24 de Enero de 2017). *Análisis de altura neta y potencia generada para una turbina pelton*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/marcwilynarnshover/anlisis-de-altura-neta-y-potencia-generada-para-una-turbina-pelton>
- Bula Picón, M. (8 de Julio de 2017). *Flujo en tuberías y pérdidas*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/miguelbula75/problema-2-flujo-en-tuberias-y-prdidas>
- Cabal, S.A. (2014). *Guía de buenas prácticas minicentrales hidroeléctricas*. Managua.
- Calmet Soto, J. A. (2014). Planificación y diseño de una pequeña central hidroeléctrica. (*Tesis de pregrado*). Universidad de San Martín de Porres, Lima.
- Canyon Hydro. (2014). *Guide to hydropower*. Obtenido de <http://www.canyonhydro.com/guide/HydroGuide9.html>
- Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., Castro Gil, M. A., & Collado Fernández, E. (2013). *Centrales de energías renovables*. Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Cascante Vindas, J., & Quirós, B. (2003). *Manual técnico sobre microgeneración hidroeléctrica*. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas*. Distrito Federal, México: Mc Graw Hill.
- Coz , f., Sánchez, T., Viani, B., Segura, J., & Rodríguez, L. (1995). *MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRÁULICAS*. Perú: ITDC.
- Coz, F., Sánchez Teodoro, Viani, B., Segura, J., Rodríguez , L., Miranda, H., . . . Muñoz, I. (1995). *Manual de mini y microcentrales hidráulicas*. Perú: OCDE.

- Cuesta, L. D., & Vallarino, E. (2015). *Aprovechamientos Hidroeléctricos*. Madrid, España: Garceta.
- Delgado Bermeo, V. H. (2007). Guía para el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. (*Tesis de ingeniería*). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Díaz Velilla, J. P. (2015). *Sistemas de energías renovables*. Madrid, España: Paraninfo.
- Divi. (2019). *Divi*. Obtenido de (smallhydroturbine.com)
- EMAPA-I. (27 de septiembre de 2018). *emapai Barra.gob.ec*. Obtenido de <http://emapai Barra.gob.ec/inaugurada-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-ibarra/>
- Faeitch. (28 de Febrero de 2012). *Turbinas Pelton*. Obtenido de <https://faeitch2012.wordpress.com/2012/02/28/turbinas-pelton/>
- FLOVEL. (2018). *FLOVEL*. Obtenido de Turbinas Kaplan: (<https://flovel.net/es/nuestros-productos/turbinas-kaplan/>)
- Fraile Mora, J. (2015). *Máquinas eléctricas* (1° ed.). Madrid, España: Garceta.
- Fundación mundo sin fronteras ecologica . (14 de Septiembre de 2018). *Central hidráulica*. Obtenido de Energías limpias : <https://fundacionmundosinfronteras.org/central-hidraulica-funcionamiento-y-tipos/>
- Fundación solar. (Enero de 2013). *Centrales hidroeléctricas de pequeña escala, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala*. Guatemala: Tritón imagen & comunicaciones.
- Google Maps. (10 de Abril de 2020). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/dir/Universidad+Tecnica+del+Norte+%22UTN%22,+Avenida+17+de+Julio,+Ibarra/0.3507315,-78.1124201/@0.3494958,-78.1159779,2106m/data=!3m1!1e3!4m9!4m8!1m5!1m1!1s0x8e2a3cad309ad309:0xc97eab5c0f6a095e!2m2!1d-78.1115082!2d0.3581887!1m0>
- Herman, S. L. (2014). *Electrical wiring industrial* (15 TH ed.). United States: CENGAGE Learning.
- Hidráulica y Neumática S.A. (2020). *Hidráulica y Neumática*. Obtenido de (<http://www.hnsa.com.co/turbinas-ossberger/>)
- INEA. (1997). *Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas*. Santafé de Bogotá.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos . (2012). *Población y Demografía*. Obtenido de INEC: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

- isetek s.a. (2020). *GNSS Diferenciales y navegadores GPS*. Obtenido de <https://n9.cl/uuo73>
- La hora . (04 de 12 de 2020). *La hora lo que necesitas saber* . Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/1102064901/hoy-pueblos-indc3adgenas-declararc3a1n-patrimonio-sagrado-al-rc3ado-tahuando-:shorturl.at/kIBD7>
- Lalvay Guamán , E. J., & Vidal Jaramillo , J. P. (2013). Estudio técnico-económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás. (*tesis de ingeniería*). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Marín Calderón, D. E. (2016). *Estudio de Pre factibilidad para la Generación de Energía Eléctrica a Partir del Río Consotá y Capacidad de Generación con Energía Solar en la Zona del Parque Consotá Pereira*. Pereira.
- Montes de Oca , S., & Yelicich, R. (2012). Estudio de metodologías utilizadas en relevamientos y replanteos topográficos con destino a obra lineal. (*tesis de pregrado*). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Muguerza, D. (1999). *Micro centrales hidroeléctricas*. Argentina.
- OLADE . (2017). *Organización Latinoamericana de Energía*. Obtenido de <http://www.olade.org/>.
- OLADE. (1995). Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. En *Guía de diseño de obras civiles de pequeñas centrales hidroeléctricas* (segunda ed.). Bucaramanga, Colombia .
- Ortiz Flóres, R. (2011). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Reed Czitrom, S. P., Trelles, S. A., & Hiriart, G. (2010). Energía del Agua . *Ciencia*, 52.
- Rio, Y. (2015). *Microcentrales hidroeléctricas* . Obtenido de shorturl.at/egCF3
- Sanchez, A., & García, V. (2014). Evaluación de la prefactibilidad de un sistema de generación eléctrica a partir de biogás con estiércol de ganado vacuno o porcino en Cundinamarca. *Tekhnê*, 11, 37-50.
- Sanz Osorio, J. F. (2016). *Energía hidroeléctrica* (2° ed.). España: CIRCE.
- Scarone, M. (30 de Julio de 2010). *Observatorio de energías renovables en Uruguay*. Obtenido de Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en Uruguay: https://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/Anexo_30._PCH_Diganostivo_Uruguay.pdf
- Secretaría Técnica Planifica Ecuador. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo "Toda una Vida"*. Quito: H. Consejo de la Constitución del Ecuador.

- Sector Electricidad. (7 de Junio de 2017). *La comunidad de profesionales en Ingeniería eléctrica*. Obtenido de (<http://www.sectorelectricidad.com>)
- Tecnología. (2016). *Turbinas hidraulicas*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>
- Trujillo Naharro, S. (Diciembre de 2012). Modelado y control de una Central Hidroeléctrica. (*tesis de maestría*). Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Sevilla, España.
- Vásquez Huiracocha, V. R. (2015). Estudio y diseño de un sistema micro-hidroeléctrico para generación y abastecimiento de energía eléctrica mediante energía renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón Cuenca. (*Tesis de Ingeniería Eléctrica*). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca.
- Vivas Rodríguez, B. E. (2020). Diseño de una micro central hidroeléctrica para la hacienda las Garzas. (*tesis de ingeniería*). Universidad técnica del norte, Ibarra.
- VOITH. (2019). *Direct Industry*. Obtenido de (http://voith.com/corp-en/Pelton_Turbine)
- Yépez Valencia, L. (septiembre de 2018). Recuperación de las riberas del río Tahuando en el Tramo de Romerillo. Quito.

Anexo B: Medición del salto del agua



Anexo C: Cotización tubería de polietileno

		OFERTA DE VENTAS			
Plásticos Rival Cia Ltda Ruc: 0190050033001 CUENCA - RICAURTE SECTOR EL TABLON TLF: (593) 72890144 (593) 72890493 FAX: (593) 72890499		Número de documento:	Fecha de documento:	Página	
		300004740	16/11/2020	1/1	
		Nro. Identificación:	1003626585		
		Socio de Negocio:	AYALA ITAS LUIS DANIEL		
		Dirección entrega:	IBARRA IMBABURA ECUADOR		
		Valido hasta:	16/12/2020		
		Vendedor:	Damian Sarzosa 0998958132 dsarzosa@plasticosrival.com		
entrega en Ibarra, 5 dias posterior a confirmacion y pago					
		Moneda: USD			
Código Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
12234100315	TUBERIA DE POLIETILENO (HDPE) PE 100 DE 315 MM PN10 SDR 17	m	68	65.9520	4,484.74
Condición de pago:		Contado	Subtotal de la oferta:		USD 4,484.74
			Total antes del impuesto:		USD 4,484.74
			Impuesto 12%:		USD 538.17
			Importe total:		USD 5,022.91
Planta Industrial principal Cuenca Sector El Tablon Cuenca Ecuador 593 7 2890144		Planta Industrial Guayaquil PRFV Galaxia S/N. Vía Perimetral Km 26 Teléfono 593 4 4801895	Oficinas Guayaquil Ciudadela Bahía Norte Edificio SCF BUSIDMS Piso 9 Ofc 904 901 Teléfono 593 4 4801890	Oficinas Quito Catalina de Aldas y Portugal Torre Bristol Park 2 Piso 6 Ofc 604-601 Teléfono 593 2 3325032	Bodegas Quito Parque Industrial de Guamaní Calle Novena diagonal a Rassa Teléfono 593 2 2890328

Anexo D: Cotización de la turbina Kaplan vertical

Forward Hydro Power Equipment CO.,LTD.			
QUOTATION			
Client	Daniel Ayala	ATTN	
E-mail	daniels.panda1994@gmail.com	Date	Oct 20th, 2020
Tel:	+683 98 080 8883	Lay out No.	
Address:	Ecuador	Valid Period	30 dias
15KW Vertical Kaplan turbine			
POS	QTY	Description	Price (USD)
1	1	Turbina - Model: Kaplan turbina vertical - Output: 15KW - Rated Water head: 6m - Rated flow rate: 0.33m ³ /s - Rated Speed: 1800 r/min	
2	1	Generador - Model: SPW15-4/390 - Synchronous brushless excitation generator - Rated Capacity: 15KW - Voltage: 400V three phase or 220V single phase - Rated Speed: 1800 r/min (f=60Hz) - Power factor: 0.8 - Insulation class: B/B	
3	1	AVR (Auto voltage regulator)	
Total Final CIF			: USD 7,550
*SUPPLY CONDITION:			
*Terms of payment: 40% T/T at order date and 60% before delivery.			
*Lead time: Reach China forwarder in <u>30</u> days after payment down			
Features:			
1.Axial flow turbine is suitable for low head hydraulic power resource. Micro axial flow turbine of VFORWARD is propeller turbine (fixed blade axial flow turbine).			
2.Turbine and generator of this unit are separated, which is easier to maintain. Unlike conventional axial turbine operated in opening system. This turbine operated in closed system, which is easier easy to install and has higher efficiency. Design of turbine with 3 bearings and generator 2 bearings makes the unit rather reliable.			
Add: Hi-tech Industry Park, Pingxiang, Jiangxi, China. Zip Code: 337100 Mobile: +86-138-2240-8874			

Forward Hydro Power Equipment CO.,LTD.

3. Generator adopted by FORWARD is brushless excitation type, which installed AVR device for ensuring a steady output voltage. Voltage and frequency all are customizable.

Photos of 5KW kaplan flow turbine



Add: HI-tech Industry Park, Pingxiang,
Jiangxi, China.
Zip Code: 337100
Mobile: +86-139-2240-9874

Forward Hydro Power Equipment CO.,LTD.



Add: Hi-tech Industry Park, Pingxiang,
Jiangxi, China.
Zip Code: 337100
Mobile: +86-139-2240-9874

Anexo E: Cotización del transformador tipo seco

		<p align="center">Industria Andina de Transformadores S.A.</p> <p align="center">Calle F No. 123 y Avda. Manuel Valdivieso , Pinar Alto Quito - Ecuador Telefonos : 327003944/70996460050 fropi@iata.net.ec RUC: 0990169640001 TELEFONOS : 3270038447 QUITO</p>																																
Señores EMAPA Quito		PROFORMA No. 1120/877																																
		 																																
		Attn : Daniel Ayala																																
		REF : OFERTA DE TRANSFORMADOR TIPO SECO																																
ITEM	CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	P.TOTAL																														
1	1	Transformador trifasico, tipo seco, convencional, para trabajar a régimen continuo a una temperatura de 40 ° C. y un sobrecalentamiento de 45 ° C. Total 85° Celcius. En Gabinete, para montaje INTERIOR Potencia Nominal : 15 KVA Voltaje Primario : 400 Voltios Voltaje Secundario : 220/127 voltios Conexión Dyn5 TAPS +/-2 x 2.5% (TAP 3) Aislamiento : Clase H, 150 °C., 10 KV BIL Frecuencia : 60 Hz Nivel de Ruido : 5/15 Db. Normas ANSI C-57-12-01 Marca INATRA , Fabricación Nacional , Cuenta con ISO 9001 e INEN factor k=1 SIN CARCAZA	US \$	1.320,00																														
				1.320,00																														
			SUMAN	1.320,00																														
			12 % IVA	158,40																														
			TOTAL VALOR EX-FABRICA GUAYAQUIL	1.478,40																														
SON : MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y OCHO DOLARES 40/100																																		
<table border="1"> <tr> <td colspan="5">CONDICIONES</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE ENTREGA</td> <td colspan="4">: 30 DIAS (DEBIDO A QUE LA FABRICA NO ESTA AL 100% DE SU OPERATIVIDAD Y SUJETO A CUALQUIER MEDIDA QUE TOMA EL GOBIERNO POR LA EMERGENCIA SANITARIA)</td> </tr> <tr> <td>GARANTIA</td> <td colspan="4">: TRES AÑOS</td> </tr> <tr> <td>FORMA DE PAGO</td> <td colspan="4">: 50% DE ANTICIPO CON LA O/C Y 50% PARA LA ENTREGA</td> </tr> <tr> <td>VALIDEZ DE LA OFERTA</td> <td colspan="4">: UNA SEMANA</td> </tr> <tr> <td colspan="5">NO INCLUYE TRANSPORTE</td> </tr> </table>					CONDICIONES					TIEMPO DE ENTREGA	: 30 DIAS (DEBIDO A QUE LA FABRICA NO ESTA AL 100% DE SU OPERATIVIDAD Y SUJETO A CUALQUIER MEDIDA QUE TOMA EL GOBIERNO POR LA EMERGENCIA SANITARIA)				GARANTIA	: TRES AÑOS				FORMA DE PAGO	: 50% DE ANTICIPO CON LA O/C Y 50% PARA LA ENTREGA				VALIDEZ DE LA OFERTA	: UNA SEMANA				NO INCLUYE TRANSPORTE				
CONDICIONES																																		
TIEMPO DE ENTREGA	: 30 DIAS (DEBIDO A QUE LA FABRICA NO ESTA AL 100% DE SU OPERATIVIDAD Y SUJETO A CUALQUIER MEDIDA QUE TOMA EL GOBIERNO POR LA EMERGENCIA SANITARIA)																																	
GARANTIA	: TRES AÑOS																																	
FORMA DE PAGO	: 50% DE ANTICIPO CON LA O/C Y 50% PARA LA ENTREGA																																	
VALIDEZ DE LA OFERTA	: UNA SEMANA																																	
NO INCLUYE TRANSPORTE																																		
Muy Atentamente																																		
			p.p.INATRA Ing.Francisco Volpi C. REPRESENTANTE	 INDUSTRIA ANDINA DE TRANSFORMADORES																														

Anexo F: Características del conductor de cobre TTU N°2/0

CONDUCTORES DE COBRE

TTU (0.6 o 2 kV)



- › Conductor de cobre para (0.6 o 2 kV) aislado con polietileno (PE) y chaqueta de policloruro de vinilo (PVC), resistente a la humedad y calor. Puede ser enterrado directamente.

CONSTRUCCIÓN

Los conductores de tipo TTU (0.6, 2 kV) son cableados y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico polietileno (PE) resistente a la humedad y al calor, sobre la cual se aplica una cubierta protectora de policloruro de vinilo (PVC). Se suministran en color negro siempre y con distintas formas de embalaje.

APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo TTU (0.6, 2 kV) son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales y comerciales, son especialmente aptos para instalaciones a la intemperie o directamente enterrados. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 75 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones son de 0.6 o 2 kV.

ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo TTU (0.6 o 2 kV) fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- › **ASTM B3**: Alambres de cobre recocido o suave.
- › **ASTM B8**: Conductores trenzados de cobre en capas concéntricas.
- › **ASTM B787**: Conductores trenzados de cobre de 19 hilos, formación unilay para ser aislados posteriormente.
- › **ANSI/NEMA WC 70**
ICEA 5-95-658 : Cables de potencia nominal 2 kV. o menos, para distribución de energía eléctrica.

Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.

Conductor de cobre para 0.6 kV aislado con polietileno (PE) y chaqueta de policloruro de vinilo (PVC), resistente a la humedad y calor.

Puede ser enterrado directamente.

0.6 kV tipo TTU

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Espesor de Chaqueta (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Masa total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	No. Hilos					
FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO							
8	8,367	7	1,14	0,38	6,75	104,23	50
6	13,3	7	1,14	0,76	8,47	168,36	65
4	21,15	7	1,14	0,76	9,69	249,12	85
FORMACIÓN UNILAY							
8	8,367	19	1,14	0,38	6,66	103,05	50
6	13,3	19	1,14	0,76	8,36	166,44	65
4	21,15	19	1,14	0,76	9,56	246,34	85
2	33,62	19	1,14	0,76	11,06	370,60	115
1	42,4	19	1,40	1,14	13,22	488,43	130
1/0	53,49	19	1,40	1,14	14,23	602,87	150
2/0	67,44	19	1,40	1,14	15,35	741,79	175
3/0	85,02	19	1,40	1,14	16,61	915,51	200
4/0	107,2	19	1,40	1,14	18,03	1133,05	230
FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO							
250	126,7	37	1,65	1,65	21,22	1385,72	255
300	152	37	1,65	1,65	22,60	1634,95	285
350	177	37	1,65	1,65	23,90	1880,46	310
400	203	37	1,65	1,65	25,09	2133,64	335
500	253	37	1,65	1,65	27,26	2619,28	380
600	304	61	2,03	1,65	30,04	3127,61	420
750	380	61	2,03	1,65	32,72	3856,32	475
1000	507	61	2,03	1,65	36,62	5066,52	545

*Capacidad máxima de corriente, para no más de 3 conductores en tensión en ducto, cable o tierra (directamente enterrados), para temperatura ambiente de 30 °C. Ref NEC (Tabla 310.16)

Anexo G: Cotización de la turbina Michell Banki de eje horizontal

		IREM	
Borgone. 27.10.2020			
Modelo:	TBA 4-1,2 200MLA8 RE VGE	Estimado	
Ref.:		DANIEL AYALA	
Oferta n°:	O201650-RF	Isla Santa Cruz y Quito	
Atn.:	Sr. Daniel AYALA	Ibarra	
		ECUADOR	
			
IREM <i>Ecowatt Hydro</i>			
CONDICIONES DE VENTA			
Entrega:	a definir	Envío:	a definir
Origen:	Italia	Embalaje:	al precio de coste
Garantía:	Ver las condiciones generales de venta adjuntas.	Moneda:	Euro (€)
Plazo de entrega:	12/14 semanas de trabajo	Validez:	60 días
Pago:	Trasferencia bancaria: 50% a confirmación del pedido - 50% aviso bienes listos		
Banco:	INTESA SANPAOLO S.p.A. - Agenzia Collegno (To) - c/c n° 1574 IBAN: IT 35 V 03069 30130 100000001574 - BIC: BCITITMME48		
			
IREM SpA a socio unico Sede / Headquarters Via Abegg 75 - 10050 Borgone (Torino) ITALY Tel. +39 011 9648211 - Fax +39 011 9648222	Sede legale / Registered Office Via Roccamelone 58 10050 S. Antonino di Susa (Torino) ITALY	Cap.soc. EUR 1.080.000 int.verb. Registro Imprese TO - C.F. e P.IVA 00389830013 - VAT No. IT00389830013 e-mail: irem@irem.it - www.irem.it	

ECOWATT HYDRO GRUPO TURBINA GENERADOR

qtà

TBA 4-1,2 200MLA8 RE VGE

1

Grupo turbina y generador completamente ensamblado, probado y certificado compuesto de:

- Turbina Banki de eje horizontal con rodete en acero inoxidable AISI 304 mod.4-1,2
- Introducitor y caja en acero al carbono S355/S275 con tratamiento superficial de chorro de arena, galvanización, pintura epoxica
- Puerta de inspección y limpieza
- Sistema de regulación de flujo (15%-100%) para deflector en acero inoxidable AISI304 accionado para activador eléctrico 230 Vac
- Grupo generador asincrono trifásico mod. 200MLA, 8 polos de eje horizontal, colocado sobre guías correderas para tensar la correa de transmisión
- Sensor de velocidad rotación del generador
- PTC sensores de temperatura en bobinas (n°3 en serie)
- Grupo de transmisión y multiplicador de revoluciones para correa dentada y poleas.
- Estructura en acero al carbono S355/S275 con tratamiento superficial de chorro de arena, galvanización, pintura epoxica, para una fijación rápida al suelo de apoyo
- Brida, contrabrida de soldar y juntas para la conexión a la tubería.



Pict. illustrativa

Incluidos:

- Válvula de mariposa wafer DN450 PN10 accionada para activador eléctrico 24 Vdc

PRECIO NETO OPCIONAL EXCLUIDOS**€ 47.400****Certificación de productos según las normas:**

- 2006/42/CE (Directiva sobre Máquinas)
- 2014/35/UE (BT)
- 2014/30/UE (CEM)



IREM SpA a socio unico
Sede / Headquarters
Via Abegg 75 - 10050 Borgone (Torino) ITALY
Tel. +39 011 9848211 - Fax +39 011 9848222

Sede legale / Registered Office
Via Roccamelone 58
10050 S. Antonino di Susa
(Torino) ITALY

Cap.soc. EUR 1.080.000 int.vern.
Registro Imprese TO - C.F. e P.IVA
00380830013 - VAT No. IT00380830013
e-mail: irem@irem.it - www.irem.it

QPR-SA-20

1

Diseñado para el grupo turbina generador Ecowatt Hydro con ajuste del caudal a través de actuadores eléctricos, gestiona la conexión en paralelo a la red, la puesta en marcha/parada automática de la máquina y el ajuste del caudal. Está equipado con dispositivos de protección y los instrumentos necesarios para el buen funcionamiento de la máquina.

Gestiona la apertura y el cierre de las válvulas ON/OFF equipadas con un actuador eléctrico 24V.

- Sección de potencia incluye:
 - Interruptor de paralelo
 - condensadores de corrección del factor de potencia $\cos\phi$
 - fuente de alimentación auxiliar de 24V con comprobación del estado de acumuladores
 - acumuladores herméticos de plomo
 - acumulador hermético al plomo

- Sección de automatización y control incluye:
 - Control automatización con PLC
 - Dispositivo de protección y de control para auto productor en baja tensión (BT) que cumple con la norma CEI 0-21, incluyendo el informe de prueba y de calibración.
 - Gestión de la regulación del caudal abriendo y cerrando las válvulas ON/OFF – Hasta 6 válvulas equipadas con un actuador eléctrico.



Cada sección incluye los terminales necesarios para las conexiones eléctricas

Panel frontal incluye:

- Panel del operador HMI con pantalla táctil de 4.3"
- Analizador de red digital (voltímetro, amperímetro, vatímetro, medidor de factor de potencia, $\cos\phi$, potencia activa, reactiva, aparente)
- Botones y luz de advertencia en función de la lógica de control de la planta hidroeléctrica

Cables para la conexión eléctrica no incluidos



IREM SpA a socio unico
Sede / Headquarters
Via Abegg 75 – 10050 Borgone (Torino) ITALY
Tel. +39 011 9648211 – Fax +39 011 9648222

Sede legale / Registered Office
Via Rocclamelone 58
10050 S. Antonino di Susa
(Torino) ITALY

Cap.soc. EUR 1.080.000 Int.ver.
Registro Imprese TO – C.F. e P.IVA
00380830013 – VAT No. IT00380830013
e-mail: irem@irem.it - www.irem.it



Borgone 27.10.2020

Modelo: TBA 4-1,2 200MLAB RE VGE
Ref.:
Oferta n°: O201650-RF
Atn.: Sr. Daniel AYALA

Estimado
DANIEL AYALA
Isla Santa Cruz y Quito
Ibarra
ECUADOR

PRECIO NETO TOTAL OPCIONAL EXCLUIDOS

€ 59.750

Presencia de técnicos IREM para asistencia en la puesta en servicio de la planta.
Precio por día para cada técnico. Excluyendo gastos de viaje, comidas, alojamiento y transporte/logística local.

€ 500

Gastos de transporte y embalaje

A definir

Datos de instalación

Calda neta	6,37 m
Caudal	330,9 l/s
Potencia eléctrica generada	12 kW
Tensión	480V 60Hz
Instalación	Paralelo a la red

Los productos están diseñados, fabricados y probados de acuerdo con las normas CE.
Los plazos de entrega anteriormente mencionados son indicativos. La fecha límite de salida de nuestro almacén será indicada en la confirmación del pedido.

Esta oferta está reglada por las condiciones de venta generales de IREM aquí adjuntas.

La garantía IREM sobre los productos no se aplicará, ni IREM será responsable por los usos y/o aplicaciones de los productos en Países en los cuales no sean aplicables las normas según las cuales los productos han sido diseñados, fabricados y testados, y/o en Países donde el comprador decidirá utilizar y/o comercializar los productos, y en el cual sea reclamada por la ley local la aplicación de normas diferentes o adicionales (en vía ejemplificativa, pero no limitativa, en lo relacionado con el embalaje, etiquetado, seguridad y/o normas técnicas)

Certificación de la empresa según las normas: ISO 9001, ISO 14001, BS OHSAS 18001.

IREM S.p.A.

Fabrizio ROCCI
Area Sales Manager

DANIEL AYALA



IREM SpA a socio unico
Sede / Headquarters
Via Abegg 75 - 10050 Borgone (Torino) ITALY
Tel. +39 011 9648211 - Fax +39 011 9648222

Sede legale / Registered Office
Via Roccliametone 58
10050 S. Antonino di Susa
(Torino) ITALY

Capsoc. EUR 1.080.000 int.vers.
Registro Imprese TO - C.F. e P.IVA
00380830013 - VAT No. IT00380830013
e-mail: irem@irem.it - www.irem.it



IREM Ecowatt Hydro

Hydroelectric Turbine Generator Group

Ficha de datos

Referencia cliente: Daniel AYALA-Ecuador

Modelo: TBA 4_1,2 200MLAS_RE VGE

Características grupo turbina generador

Carga neta nominal (eje de la correa)	6,37 m
Caudal nominal	330,9 l/s
Potencia hidráulica nominal	20 kw
Potencia eléctrica generada nominal	12 kw
Dimensiones indicativas grupo turbina generador (A x B x H)	2485 x 1815 x 1010 mm
Dimensiones de descarga	870 x 1100 mm
Peso indicativo grupo turbina generador	1880 kg
Conexión grupo de alimentación / tubería	DN450 PN10
Temperatura ambiente	de 0°C a +40°C
Temperatura de almacenamiento	de -15°C a +50°C

Características turbina

Diámetro rodete nominal	480 mm
Anchura rodete	555 mm
Velocidad de revolución	220 rpm
Sistema de regulación flujo 15% - 100%	Accionado por servomotor
Tensión / corriente activador eléctrico	230V 50/60 Hz 1,6A
Circulación máxima de los cuerpos sólidos	14 mm
Material rodete	AISI 304 acero inoxidable
Material eje rodete	C40
Rodamientos rodete	Rodamientos de rodillos, con engrasador
Material caja y introductor	S355/S275 acero
Tratamiento superficial estructura y introductor	Chorro de arena, galvanización, pintura epóxica
Resistencia térmica PTC en rodamientos (N. 2x)	Bajo pedido
Resistencia térmica PT100 en rodamientos (N. 2x)	Bajo pedido
Sensores de vibraciones 4-20 mA (N.1x)	Bajo pedido
Retroalimentación de posición señal 4-20 mA del sistema de regulación de flujo	Bajo pedido

Válvula general

Tipo:	Válvula de mariposa DN450 PN10 accionada por ac
Tensión y corriente nominales actuador eléctrico válvula general	24 Vdc - 4 A

Características generador

Tipo	Asíncrono
Potencia nominal	15 kw
Tensión	400 V
Conexión	Delta
Frecuencia	60 Hz
Nº polos	8
Corriente nominal	32,4 A
Velocidad de revolución	900 rpm
Cos.φ 4/4	0,74
Sistema de refrigeración	Ventilado
Clase de protección	IP55
Clase de aislamiento / temperatura	F / B
Rodamientos	De bolas lubricados de por vida
Peso	217 kg
PTC sensores de temperatura en bobinas	Incluido (3 en serie)
PT100 sensores de temperatura en bobinas	Bajo demanda
PT100 sensores de temperatura en rodamientos	No disponible

Certificaciones

Producto: 2006/42/CE (Directiva Maquina); 2014/35/UE (Baja tensión); 2014/30/UE (EMC)
Azienda: UNI EN ISO9001; UNI EN ISO14001; BS OHSAS 18001



IREM SpA e socio unico
Sede / Headquarters
Via Abegg 75 - 10090 Borgone (TO) ITALY
Tel. +39 011 9640211 - Fax +39 011 9640222

Sede legale / Registered Office
Via Roccamareone 58
10090 S. Antonio di Susa
(TO) ITALY

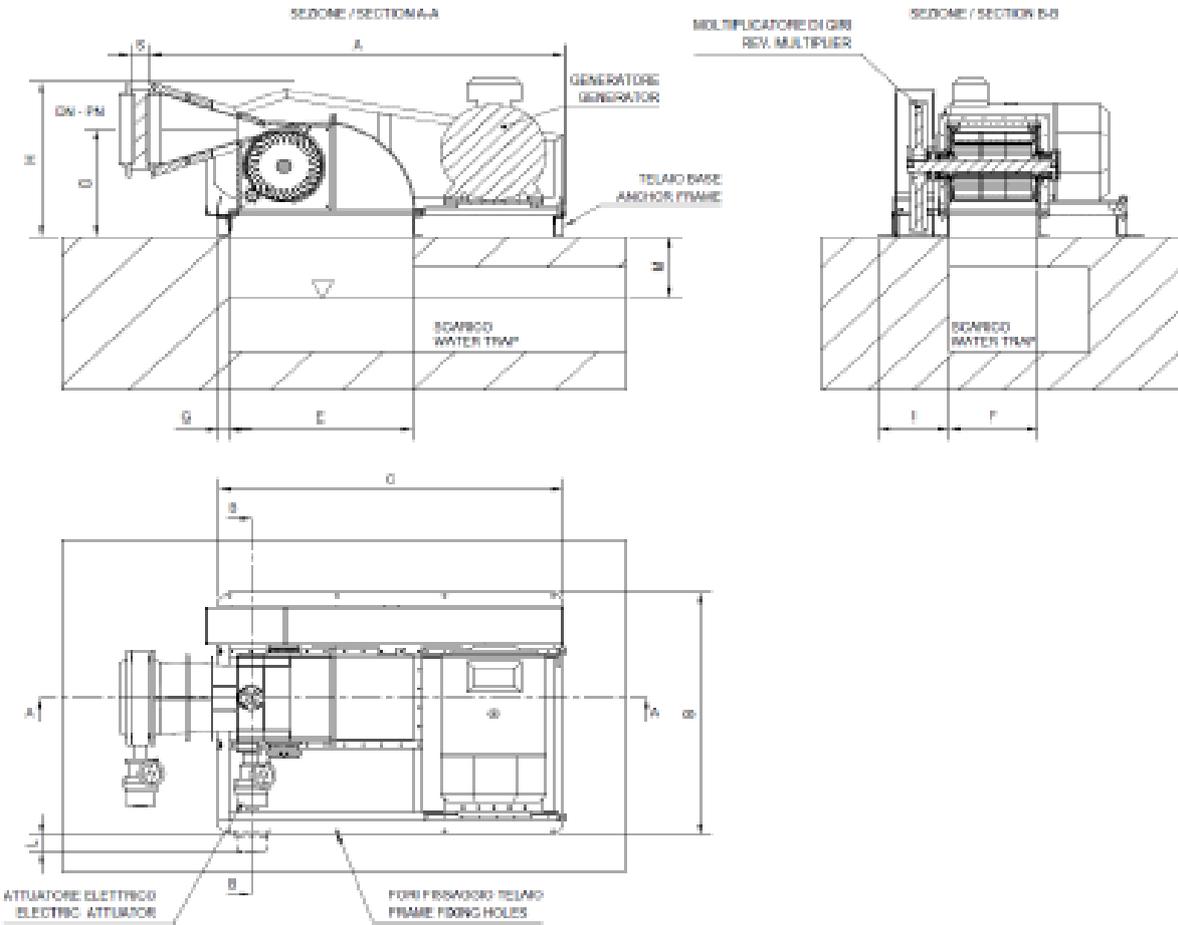
Cap. soc. EUR 1.000.000 int. vers.
Registro Imprese TO - C.F. e P. IVA
0009602013 - V.K.T. No. 00039602013
e-mail: irem@irem.it - www.irem.it



IREM Ecowatt Hydro
Hydroelectric Turbine Generator Group

Layout

Ref. Client: Daniel AYALA-Ecuador
Model: TBA 4_1,2 200MLA8_RE VGE



Dimensioni-Dimensions [mm]

A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	S	DN	PN
2485	1815	2080	700	1100	870	80	1010	425	0	2400	114	450	10

Peso-Weight [kg] 1650

Dimensioni indicative non vincolanti - Indicative dimensions



IREM SpA a socio unico
Sede / Headquarters
Via Azecco 75 - 10050 Borgone (TO) ITALY
Tel. +39 011 9548211 - Fax +39 011 9548222

Sede legale / Registered Office
Via Roccamorone 58
10050 S. Antonino di Suva
(TO) ITALY

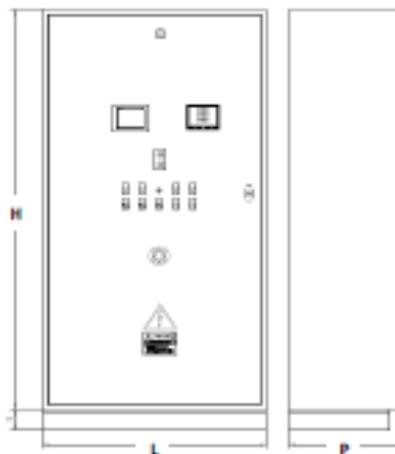
Cap. soc. EUR 1.080.000 int. vers.
Registro Imprese TO - C.F. e P.IVA.
00248200011 - VAT No. IT00248200011
e-mail: irem@irem.it - www.irem.it



IREM Ecowatt Hydro
Hydroelectric Turbine Generator Group

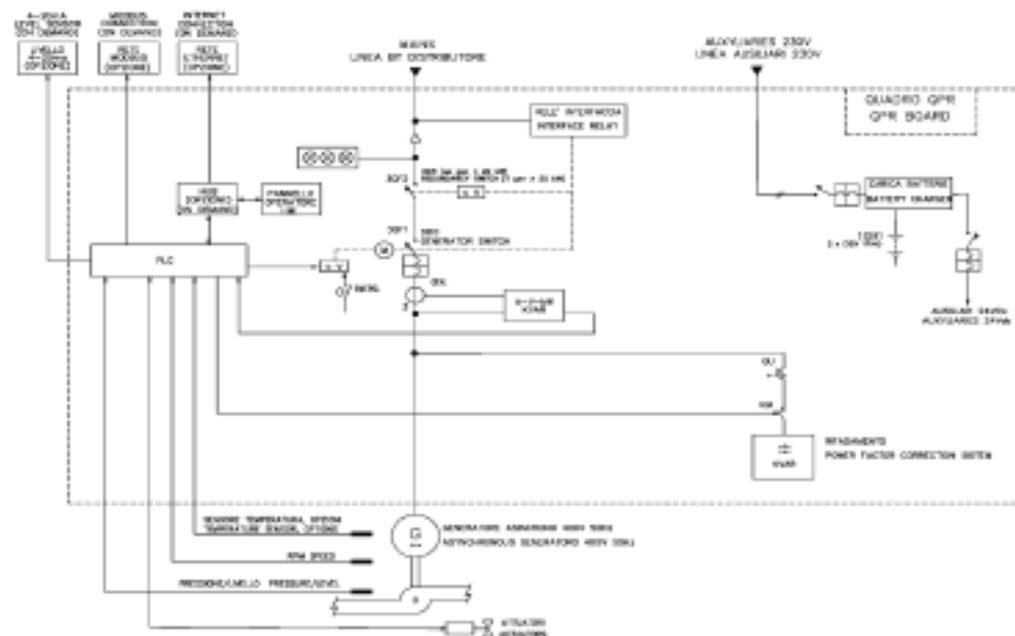
QPR-S/SA

Ref. client: Daniel AYALA-Ecuador
Model: QPR-SA-20



(Dimensioni indicative / Indicative dimensions)

L [mm]	H [mm]	P [mm]	Peso Weight [kg]
800	1600	500	230



Certificazioni / Certifications

Prodotto/Product: CEI 61438-1, CEI 61438-2, CEI0-21/A70
Azienda/Company: UNI EN ISO9001; UNI EN ISO14001; BS OHSAS 18001



IREM SpA a socio unico
Sede / Headquarters
Via Abegg 75 - 10050 Borgone (TO) ITALY
Tel. +39 011 964211 - Fax +39 011 964222

Sede legale / Registered Office
Via Roccamorone 56
10050 S. Antonio di Susa
(TO) ITALY

Cap. soc. EUR 1.000.000 Int. vers.
Registro Imprese TO - C.F. e P.IVA
0038630013 - VAT No. IT0038630013
e-mail: irem@irem.it - www.irem.it

Anexo H: Consumo de energía eléctrica por parte de planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra.

<TOHIST> Análisis de Consumos

Análisis de Consumo | Medidores | Lecturas | Más Información | Más Informac

Sieeg Comercial
EmeNorte

EMELNORTE

Suministro: 412567 - 3

Fecha Lectura	Consumos Activa			Consumo Reactiva	Dem. Horas Pico		Dem. Otras Horas	
	Total	Incre. PEC	Fact.PEC		Leída	Facturada	Leída	Facturada
20/06/19	236000			0		371		384
21/05/19	196000			0		393		447
22/04/19	215000			0		413		401
21/03/19	95000			0		313		317
21/02/19	214000			0		396		409
21/01/19	230000			0		428		431
19/12/18	154000			0		397		401
20/11/18	192000			0		424		438
22/10/18	192000			0		399		457

Tiene 9 Medidores

T3R5017 - ABB EMPRESA PUBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALC BombeoAguaServiPublicDemHora
92 - 98 - 06 - 603 - 0145 RIO TAHUANDO PARQUE SAN MARTIN PUENTE LA VICT El Sagrario

<TOHIST> Análisis de Consumos

Análisis de Consumo | Medidores | Lecturas | Más Información | Más Informac

Sieeg Comercial
EmeNorte

EMELNORTE

Suministro: 412567 - 3

Fecha Lectura	Consumos Activa			Consumo Reactiva	Dem. Horas Pico		Dem. Otras Horas	
	Total	Incre. PEC	Fact.PEC		Leída	Facturada	Leída	Facturada
20/01/20	216000			0		356		389
19/12/19	208000			0		389		389
20/11/19	198000			0		361		381
21/10/19	220000			0		382		376
19/09/19	193000			0		395		421
20/08/19	179000			0		315		345
22/07/19	230000			0		385		386
20/06/19	236000			0		371		384
21/05/19	196000			0		393		447

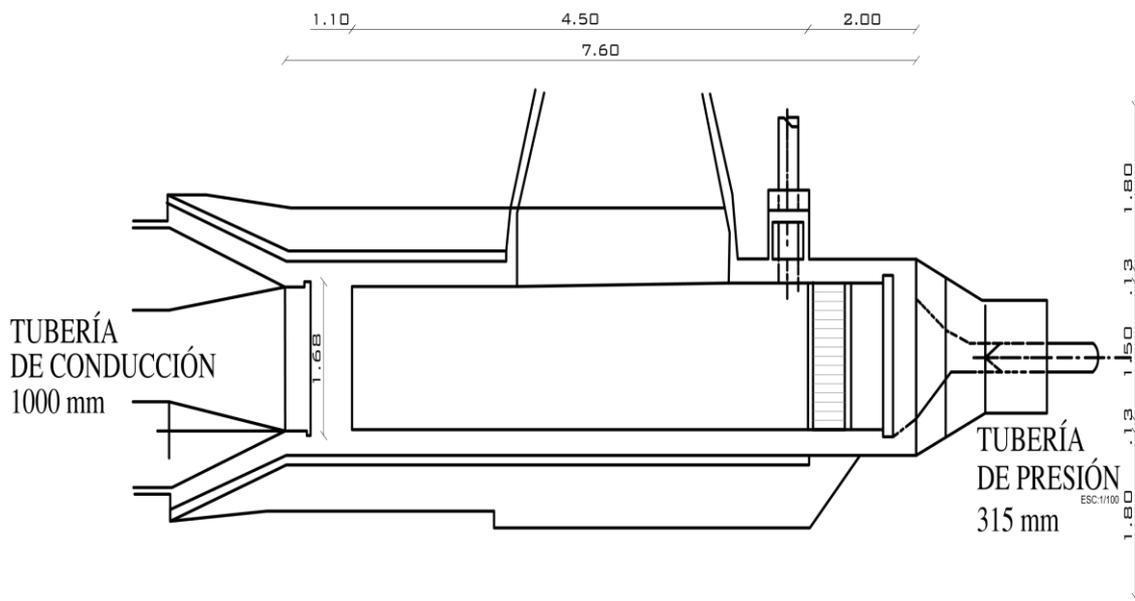
Tiene 9 Medidores

T3R5017 - ABB EMPRESA PUBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALC BombeoAguaServiPublicDemHora
92 - 98 - 06 - 603 - 0145 RIO TAHUANDO PARQUE SAN MARTIN PUENTE LA VICT El Sagrario

Salir

Anexo I: Planos arquitectónicos

**TANQUE DE CARGA
VISTA FRONTAL**



Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

IBARRA - ECUADOR



ESCALA: 1:1

FECHA: 09 de Abril del 2021

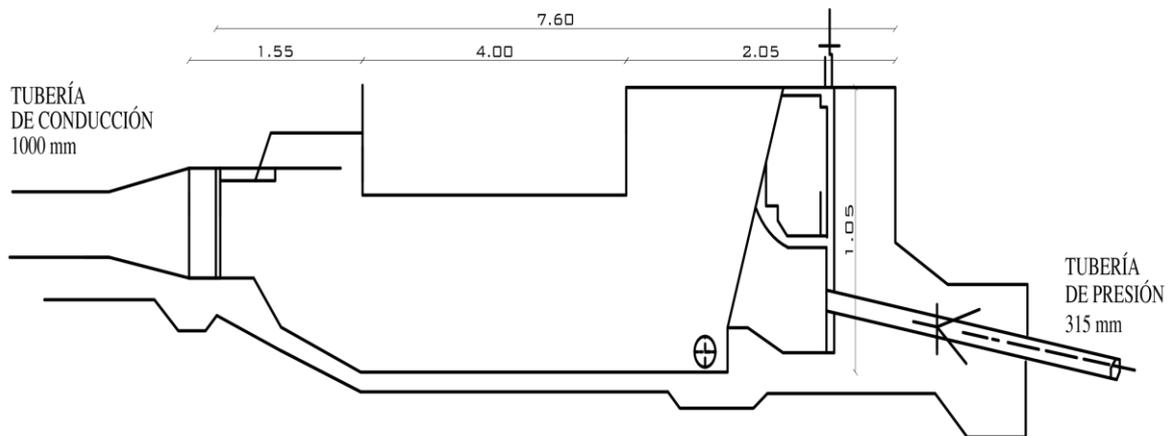
DIBUJO: DANIEL AYALA

LAMINA: 1

MicroCentral

TANQUE DE CARGA VISTA SUPERIOR

ESC: 1/100



Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

IBARRA - ECUADOR



ESCALA: 1:1

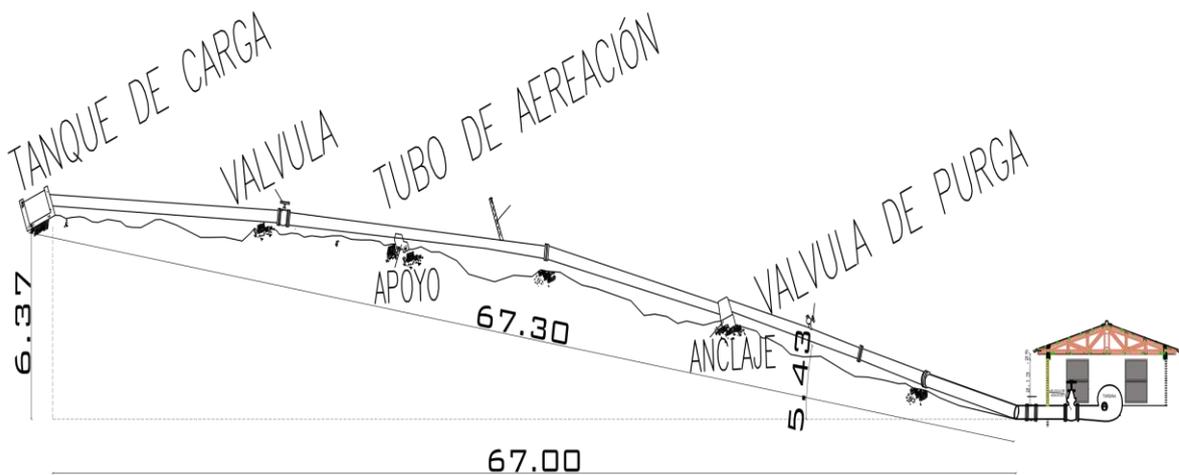
FECHA: 09 de Abril del 2021

DIBUJO: DANIEL AYALA

LAMINA: 2

MicroCentral

TUBERIA
VISTA FRONTAL



Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

IBARRA - ECUADOR



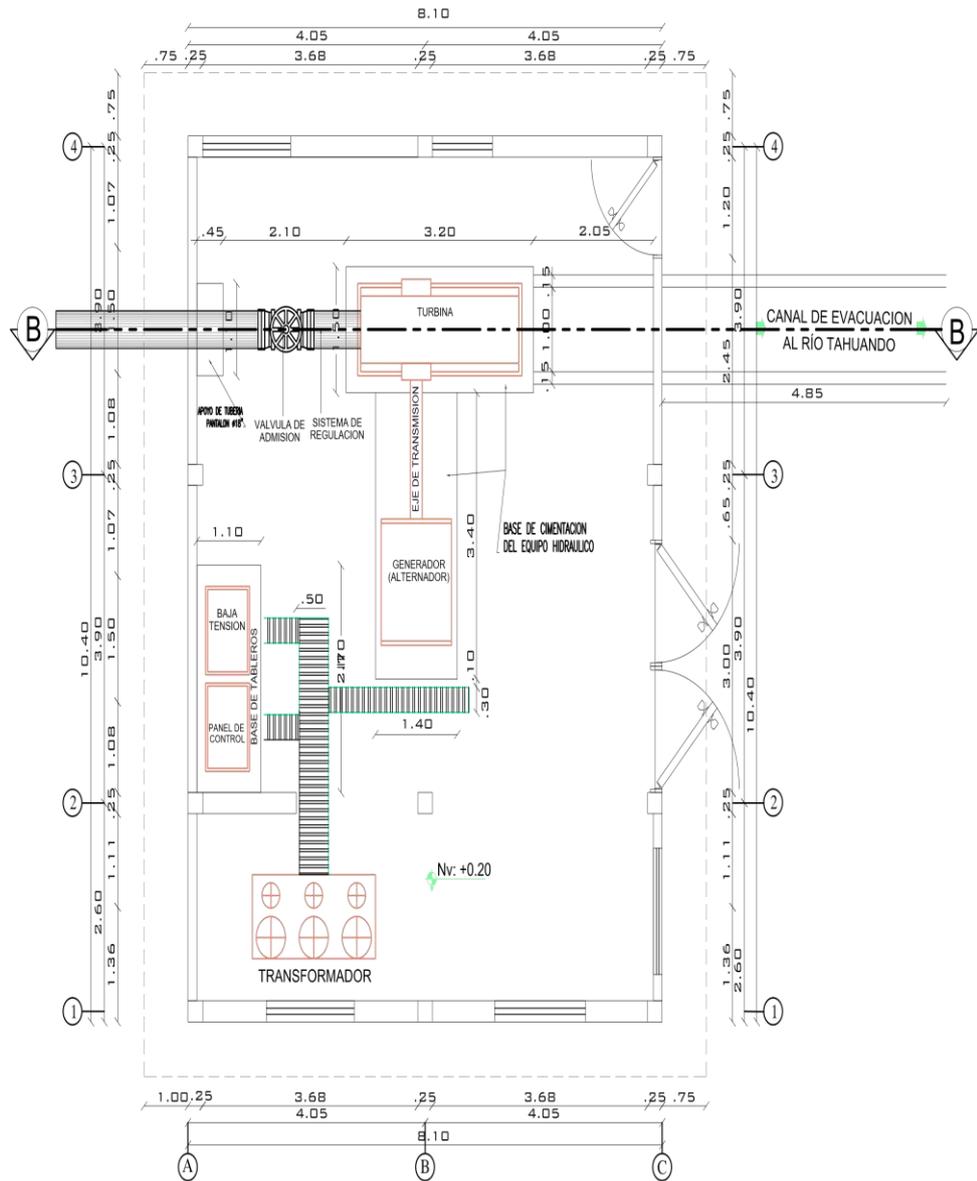
ESCALA: 1:1

FECHA: 09 de Abril del 2021

DIBUJO: DANIEL AYALA

LAMINA: 3

MicroCentral



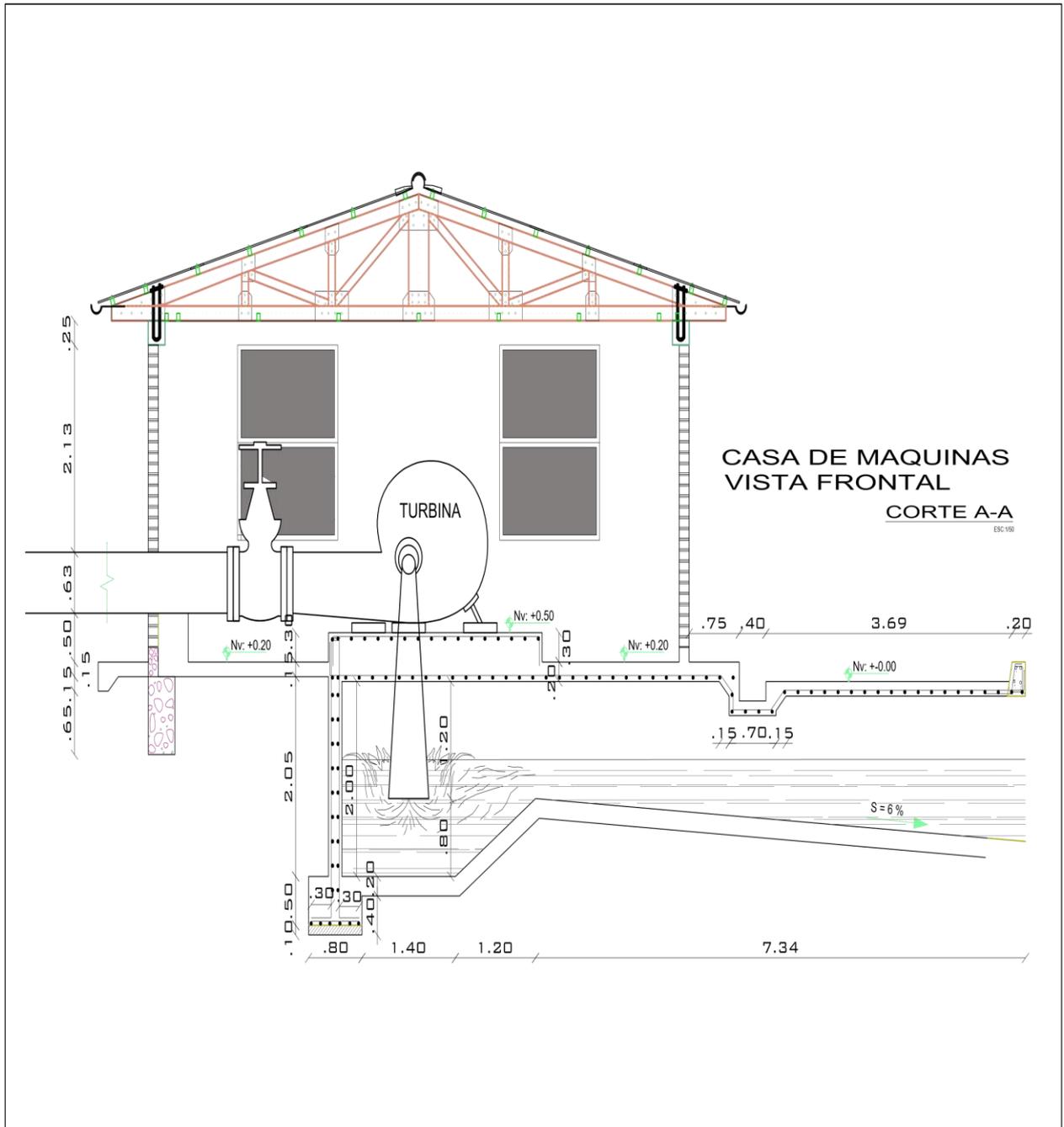
CASA DE MAQUINAS
 ESC: 1/100

Universidad Técnica del Norte
 Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
 Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
 IBARRA - ECUADOR



ESCALA: 1:1 FECHA: 09 de Abril del 2021

DIBUJO: DANIEL AYALA LAMINA: 4 *MicroCentral*



Universidad Técnica del Norte
 Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
 Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
 IBARRA - ECUADOR



ESCALA: 1:1 FECHA: 09 de Abril del 2021

DIBUJO: DANIEL AYALA LAMINA: 5

MicroCentral

Anexo J: Fotografías



Toma de puntos con el GPS diferencial



Toma de punto referencial de la caída del agua



Sitio de estudio PTAR-I



Puntos de trayectoria que tiene la MCH