

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



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

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO-GENERADORA
HIDROELÉCTRICA CON TURBINA TIPO TURGO EN EL PATIO DE
PRUEBAS DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD**

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

Autor:

Bryan David Cuasqui Tambi

Director:

MSc. Jhonny Javier Barzola Iza

Ibarra – Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
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 IDENTIDAD: | 100398612-0 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Cuasqui Tambi Bryan David | | |
| DIRECCIÓN: | Ibarra, San Francisco del Tejar sector norte, Final de la calle Princesa Pacha. | | |
| EMAIL: | bdcuasquit@utn.edu.ec | | |
| TELÉFONO FIJO: | | TELÉFONO MÓVIL: | 0994184433 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--------------------------------|--|
| TÍTULO: | IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO-GENERADORA HIDROELÉCTRICA CON TURBINA TIPO TURGO EN EL PATIO DE PRUEBAS DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD |
| AUTOR (ES): | Cuasqui Tambi Bryan David |
| FECHA: DD/MM/AAAA | 15/08/2023 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico |
| ASESOR /DIRECTOR: | Ing. Jhonny Barzola MSc. |

CONSTANCIAS

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 4 días del mes de septiembre de 2023

EL AUTOR:




Cuasqui Tambi Bryan David

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Yo, Jhonny Javier Barzola Iza en calidad de tutor del señor estudiante Bryan David Cuasqui Tambi certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO-GENERADORA HIDROELÉCTRICA CON TURBINA TIPO TURGO EN EL PATIO DE PRUEBAS DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD"**.

Para obtención del título de ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, aprobando la defensa, impresión y empastado.

Asunto: Certificación de grado

Con la presente se deja constancia que el estudiante Cuasqui Tambi David, de la carrera de Ing. en Mantenimiento Eléctrico además de haber sido admitido a examen, 

Ing. Jhonny Javier Barzola Iza MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

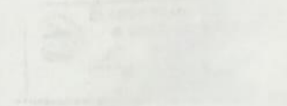
DEPENDENCIA

RECTORÍA

SECRETARÍA

SECRETARÍA DE ASISTENCIA

FIRMA DEL ASISTENTE







Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado principalmente a mis padres, Marianita Tambi y Miguel Cuasqui por su amor incondicional, por el esfuerzo y sacrificio que han hecho en toda mi etapa de estudiante universitario, gracias a ustedes he logrado culminar un logro más en mi vida.

A mis hermanos Nayeli, Jason y Ángel por ser mi apoyo incondicional y fuente de inspiración para superar cualquier adversidad y poder cumplir con mis objetivos.

A mi abuelita Mercedes por el amor y cuidados que me brindó durante muchos años de mi vida, por todas las reflexiones y experiencias vividas.

A familiares y amigos quienes me han abierto las puertas y me han brindado apoyo para poder culminar con éxito este trabajo.

Agradecimientos

A mis padres por sus consejos, valores y principios inculcados, por la confianza hacia mi y el apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos quienes fueron mi apoyo en la etapa de estudiante universitario, por las anécdotas y momentos vividos junto a ustedes los cuales siempre recordaré con alegría.

A la Universidad Técnica del Norte por su acogida durante tantos años, a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico y al personal docente y administrativo por los conocimientos brindados para nuestra formación profesional, en especial al Ing. Jhonny Barzola MSc. director de mi trabajo de grado, quien con su paciencia y conocimientos ha sido la guía fundamental para poder culminar con este trabajo.

Tabla de contenido

| | |
|---|-------------|
| Portada..... | I |
| IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA..... | II |
| CONSTANCIAS..... | III |
| Dedicatoria..... | V |
| Agradecimientos..... | VI |
| Tabla de contenido..... | VII |
| Índice de figuras..... | X |
| Índice de tablas..... | XII |
| RESUMEN..... | XIII |
| ABSTRACT..... | XIV |
| CONTEXTUALIZACIÓN..... | XV |
| A1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | XV |
| A2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | XV |
| A3. OBJETIVO GENERAL..... | XV |
| A4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | XVI |
| A5. JUSTIFICACIÓN..... | XVI |
| A6. ALCANCE..... | XVI |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| Analizar los parámetros de una pico-generadora hidroeléctrica..... | 1 |
| 1.1. Generación hidroeléctrica..... | 1 |
| 1.1.1. Tipos de energía..... | 1 |
| 1.2. Tipos de turbinas..... | 4 |
| 1.2.1 Clasificación de las turbinas..... | 4 |
| 1.2.1.1. Turbinas de acción..... | 4 |
| 1.2.1.1.1. Turbina Pelton..... | 5 |
| 1.2.1.1.2 Turbina Turgo..... | 5 |
| 1.2.1.1.3 Turbina Michell-Banki..... | 6 |
| 1.2.1.2 Turbinas de reacción..... | 7 |
| 1.2.1.2.1 Turbina Francis..... | 7 |
| 1.2.1.2.2 Turbina Kaplan..... | 8 |
| 1.3. Tipos de generadores..... | 9 |
| 1.3.1 Generador síncrono..... | 9 |
| 1.3.1.1 Velocidad de rotación de un generador síncrono..... | 11 |

| | |
|--|-----------|
| 1.3.1.2 Circuito equivalente de un generador síncrono..... | 11 |
| 1.3.1.3 Diagrama fasorial de un generador síncrono..... | 12 |
| 1.3.1.4 Generador síncrono que opera solo..... | 13 |
| 1.3.1.5. Generador síncrono que opera en paralelo..... | 14 |
| 1.3.1.6 Curva de capacidad de los generadores síncronos..... | 14 |
| 1.3.2. Generador asíncrono o de inducción..... | 15 |
| 1.3.2.1 Circuito equivalente de una maquina asíncrona..... | 16 |
| 1.3.2.2 Curva par velocidad de un generador asíncrono..... | 16 |
| 1.3.2.3 Generador de inducción aislado..... | 17 |
| 1.4. Parámetros de dimensionamiento de una pico-generadora..... | 18 |
| CAPÍTULO 2..... | 21 |
| Determinación del tipo de turbina de baja potencia a utilizar, selección y descripción de equipos e implementos..... | 21 |
| 2.1. Selección de la turbina..... | 21 |
| 2.2. Turbina turgo..... | 23 |
| 2.3. Generador de inducción de baja potencia..... | 23 |
| 2.3.1. Generador de inducción monofásico..... | 24 |
| 2.3.1.1 Generador de inducción..... | 24 |
| 2.3.1.2. Circuito equivalente..... | 24 |
| 2.4. Componentes..... | 25 |
| 2.4.1. Turbina Turgo marca Zensor..... | 25 |
| 2.4.2. Protección eléctrica..... | 27 |
| 2.4.3. Obra civil..... | 27 |
| 2.4.4. Llaves de paso de agua..... | 27 |
| 2.4.5. Tubería PVC..... | 27 |
| 2.4.6. Pernos..... | 27 |
| 2.4.7. Módulo de simulación de caudal..... | 28 |
| 2.5. Diagrama de bloques para la implementación de la pico-generadora..... | 28 |
| 2.6. Esquema de la pico-generadora hidroeléctrica con turbina tipo Turgo..... | 30 |
| CAPÍTULO 3..... | 31 |
| Implementar la pico-generadora hidroeléctrica mediante la utilización de una turbina tipo Turgo y un emulador de caudal en funcionamiento de forma aislada..... | 31 |
| 3.1. Construcción de estructura base..... | 31 |
| 3.2. Preparación del área de instalación..... | 31 |
| 3.3. Montaje del generador..... | 33 |
| 3.4. Instalación para salida de agua del generador..... | 34 |

| | |
|--|----|
| 3.4.1. Instalación de tubería de salida de agua del generador..... | 35 |
| 3.4.2. Instalación de tubería para el ingreso de agua al generador | 36 |
| 3.5. Instalación de la protección eléctrica..... | 37 |
| 3.6. Pruebas de funcionamiento y medición de parámetros eléctricos de la pico- generadora hidroeléctrica..... | 38 |
| CONCLUSIONES..... | 44 |
| RECOMENDACIONES..... | 45 |
| Bibliografía | 46 |
| Anexos | 47 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Turbina Pelton (Fuente: (Ortiz Flores, 2011)) | 5 |
| Figura 2 Turbina Turgo (Fuente: (Ortiz Flóres, 2011)) | 6 |
| Figura 3 Turbina Michell-Banki (Fuente: (Ortiz Flóres, 2011)) | 7 |
| Figura 4 Partes de una Turbina Francis (Fuente: (Sanz Osorio, 2016)) | 8 |
| Figura 5 Turbina Kaplan (Fuente: Kvaener Hydro) | 8 |
| Figura 6 Vista frontal y lateral de un rotor de polos no salientes. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 10 |
| Figura 7 Rotor de polos salientes. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 10 |
| Figura 8 Circuito equivalente completo de un generador síncrono trifásico. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 11 |
| Figura 9 Diagrama fasorial de un generador síncrono con un factor de potencia unitario. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 12 |
| Figura 10 Diagrama fasorial de un generador síncrono con un factor de potencia en retraso. | 13 |
| Figura 11 Diagrama fasorial de un generador síncrono con un factor de potencia en adelanto. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 13 |
| Figura 12 Efecto del incremento de carga sobre un generador a factor de potencia constante en el voltaje en sus terminales. a) Factor de potencia en retraso; b) factor de potencia unitario; c) factor de potencia en adelanto. | 13 |
| Figura 13 Curva de capacidad de un generador síncrono. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 15 |
| Figura 14 Constitución general de una máquina asíncrona. (Fuente: (Queijo, 2018)) | 16 |
| Figura 15 Circuito equivalente por fase de una maquina asíncrona. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 16 |
| Figura 16 Característica par-velocidad de una máquina de inducción que muestra la región de operación del generador. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 17 |
| Figura 17 Generador de inducción aislado con un banco de capacitores para suministrar potencia reactiva. (Fuente: (Chapman, 2012)) | 17 |
| Figura 18 Diagrama de bloques de la metodología utilizada (Fuente: Autor) | 21 |
| Figura 19 Diagrama de selección de los diferentes tipos de turbinas (CEDECAP, 2009).... | 22 |
| Figura 20 Características de una máquina asíncrona para los rangos de funcionamiento motor y generador..... | 24 |
| Figura 21 Circuito equivalente de una máquina de inducción monofásica (Mora, 2008) | 25 |
| Figura 22 Esquema de la instalación de la turbina micro hidráulica de 1 KW. (ZENSOR, 2021) | 26 |
| Figura 23 Instalación de base de la micro turbina hidráulica (ZENSOR, 2021)..... | 27 |

| | |
|---|----|
| Figura 24 Diagrama de bloques de los pasos para la implementación de la pico-generadora hidroeléctrica (Fuente: Autor) | 29 |
| Figura 25 Esquematación inicial para la implementación de la pico-generadora hidroeléctrica (Fuente: Autor) | 30 |
| Figura 26 Estructura base (Fuente: Autor) | 31 |
| Figura 27 Preparación del suelo para montaje de la base del generador (Fuente: Autor) ... | 32 |
| Figura 28 Instalación de la base del generador (Fuente: Autor) | 32 |
| Figura 29 Pernos utilizados para el montaje del generador sobre la base metálica (Fuente: Autor)..... | 33 |
| Figura 30 Vista superior del generador instalado en la base metálica (Fuente: Autor) | 33 |
| Figura 31 Generador montado sobre la base metálica (Fuente: Autor) | 34 |
| Figura 32 Adaptación de recipiente para la recolección de agua en la salida del generador (Fuente: Autor) | 34 |
| Figura 33 Acople de tubería PVC al recipiente para salida de agua del generador (Fuente: Autor)..... | 35 |
| Figura 34 Instalación de tubería PVC de 5" desde el generador al tanque de reserva de agua (Fuente: Autor) | 35 |
| Figura 35 Instalación del conducto de agua desde la motobomba hasta el generador (Fuente: Autor) | 36 |
| Figura 36 Pico-generadora hidroeléctrica instalada (Fuente: Autor) | 38 |
| Figura 37 Protección Eléctrica de 16A y Tomacorriente Monofásico (Fuente: Autor) | 37 |
| Figura 38 Prueba con medición de 117,3 voltios (Fuente: Autor) | 39 |
| Figura 39 Primera prueba de funcionamiento con una bombilla eléctrica de 30W (Fuente: Autor)..... | 39 |
| Figura 40 Voltaje inicial para pruebas - 118.1V (Fuente: Autor) | 40 |
| Figura 41 Caída de voltaje con carga de 40w - 95.4V (Fuente: Autor) | 40 |
| Figura 42 Corriente eléctrica con carga de 40W - 0.238A (Fuente: Autor) | 41 |
| Figura 43 Caída de voltaje con carga de 12W - 98.7V (Fuente: Autor) | 41 |
| Figura 44 Corriente eléctrica con carga de 12W - 0.092A (Fuente: Autor) | 42 |
| Figura 45 Caída de voltaje con carga de 8.5W - 105V (Fuente: Autor) | 42 |
| Figura 46 Corriente eléctrica con carga de 8.5W - 0.130A (Fuente: Autor) | 43 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia. (CEDECAP, 2009) | 23 |
| Tabla 2 Datos técnicos turbina tipo Turgo marca Zensor (ZENSOR, 2021)..... | 26 |
| Tabla 3 Tabla de valores de caídas de voltaje y corrientes medidos con tres cargas diferentes (Fuente: Autor) | 43 |

RESUMEN

El presente trabajo de grado describe la implementación de una pico generadora hidroeléctrica adaptada a un emulador de caudal ya existente en el patio de pruebas de la Carrera de Electricidad, se han descrito también los fundamentos teóricos y los parámetros que debe cumplir una pico generadora hidroeléctrica. Se incorporó también información y datos relevantes acerca de la generación hidroeléctrica debido a que las plantas de generación de este tipo son las que más contribuyen al abastecimiento de energía eléctrica al Sistema Nacional Interconectado de nuestro país.

Se detalla la metodología utilizada para la implementación de la pico generadora hidroeléctrica, se especifican los materiales y equipos necesarios para la implementación del proyecto y así poder cumplir con los parámetros dentro de los cuales debe estar una generadora hidroeléctrica de este tipo, se describe la selección del tipo de turbina a implementar, sus parámetros y una esquematización para su implementación conjuntamente con el emulador de caudal.

Se incluye la descripción de los pasos realizados para la implementación de la pico generadora hidroeléctrica, la construcción de su base, instalación de tuberías para la conducción del caudal y la instalación de la protección eléctrica en la salida de energía del generador. Se presentan los resultados de la implementación y mediciones de los parámetros eléctricos con cargas de diferente potencia, sus caídas de tensión, corrientes eléctricas obtenidas en la medición y el resultado final de la implementación del proyecto.

Palabras clave: Pico generación, hidroeléctrica, caudal, implementación, emulador, protección eléctrica.

ABSTRACT

This degree work describes the implementation of a hydroelectric generator peak adapted to an existing flow emulator in the test yard of the Electricity Race, the theoretical foundations and parameters that a hydroelectric generator peak must meet have also been described. Relevant information and data about hydroelectric generation were also incorporated, since generation plants of this type are the ones that contribute the most to the supply of electrical energy to the National Interconnected System of our country.

The methodology used for the implementation of the hydroelectric generator peak is detailed, the materials and equipment necessary for the implementation of the project are specified and thus be able to comply with the parameters within which a hydroelectric generator of this type must be, the selection is described of the type of turbine to be implemented, its parameters and a schematic for its implementation together with the flow emulator.

The description of the steps carried out for the implementation of the hydroelectric generating peak, the construction of its base, the installation of pipes for flow conduction and the installation of electrical protection at the generator's power outlet are included. The results of the implementation and measurements of the electrical parameters with loads of different power, their voltage drops, electrical currents obtained in the measurement and the final result of the implementation of the project are presented.

Keywords: Peak generation, hydroelectric, flow, implementation, emulator, electrical protection.

CONTEXTUALIZACIÓN

A1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las energías renovables han ido ganando progresivamente mayor espacio dentro del bloque energético a nivel mundial. Ecuador se ha enfocado en la generación hidroeléctrica utilizando grandes fuentes hidrográficas para la construcción de represas de gran tamaño dejando de lado a las oportunidades de este tipo de generación a menor escala desaprovechando fuentes hídricas menores las cuales podrían ayudar a mejorar la producción de energía eléctrica en el país y de esta manera poder abastecer de energía a lugares remotos que no cuentan con este servicio.

Las pico-generadoras hidroeléctricas según la Organización Latinoamericana de Energía y del Caribe están clasificadas dentro de las pequeñas centrales hidroeléctricas y su potencia instalada debe estar en un rango de entre 0,5 y 5 kW.

En la actualidad existen diferentes tipos de turbinas que han sido diseñadas para poder funcionar bajo diferentes parámetros. Dentro de su clasificación más general podemos encontrar a las turbinas de acción como: Pelton, Turgo y Michell-Banki, y las turbinas de reacción: Francis y Kaplan.

La turbina Turgo está definida como una turbina de acción, de flujo axial y de admisión parcial cuyos elementos más importantes que forman la turbina son el distribuidor y el rodete. Otros elementos son: la carcasa, el eje y la tubería de presión. El Distribuidor consiste básicamente en un inyector del tipo Pelton que proyecta un chorro de agua inclinado respecto al plano del rodete, en un ángulo que oscila entre 20° a 22.5° y su rodete es similar a medio rodete de la turbina Pelton.

Debido a la falta de interés en la aplicación de generación hidroeléctrica a pequeña escala, ya sea esta micro o pico hidro generación, se ha dejado de lado la posibilidad de la implementación de este tipo de generación en lugares remotos que no cuentan con servicio eléctrico, pero cuentan con fuentes hídricas para poder aplicar pico generación eléctrica.

A2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo implementar una pico-generadora hidroeléctrica con turbina Turgo en el patio de pruebas de la carrera de electricidad?

A3. OBJETIVO GENERAL

Implementar una pico-generadora hidroeléctrica mediante la utilización de una turbina tipo turgo en el patio de pruebas de la carrera de electricidad.

A4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar los parámetros de una pico-generadora hidroeléctrica.
2. Determinar el tipo de turbina de baja potencia a utilizar.
3. Implementar la pico-generadora hidroeléctrica mediante la utilización de una turbina tipo Turgo en funcionamiento de forma aislada.

A5. JUSTIFICACIÓN

La turbina tipo turgo es un tipo de turbina confiable y sostenible utilizada en plantas hidroeléctricas, generalmente esta turbina es usada para aplicaciones de alturas media y alta. Las turbinas Turgo son confiables, robustas y capaces de operar de manera eficiente en una variedad de caudales.

La importancia de la creación de proyectos a pequeña escala de este tipo tiene ventajas económicas ya que el costo de la turbina y el costo de instalación son relativamente bajos. A diferencia de los grandes proyectos de generación hidroeléctrica los proyectos de pico-generación hidroeléctrica causan un impacto ambiental muy bajo ya que no hay que desviar caudales de ríos, no necesita represas y no hay que reubicar población para su implementación.

Sus aplicaciones pueden ayudar al desarrollo de lugares aislados y que nos están conectados al Sistema Nacional Interconectado ya que puede ayudar a suministrar energía a este tipo de hogares.

En conjunto los beneficios vienen a comprender el progreso de: energía, desarrollo, medio ambiente y mejora de la calidad de vida de la población en donde se implementas estos pequeños proyectos.

A6. ALCANCE

La Turbina Micro hidráulica tipo turgo está diseñada para sitios donde existen pequeños potenciales eléctricos y baja carga. Funciona desde 36 pies (11 m) de altura neto con flujo constante y genera hasta 1 KW en una turbina Turgo de accionamiento directo. Tiene una tasa de flujo de 0,008-0.01 m³/s, una velocidad de 800 hasta 1300 r/min, un voltaje nominal de 117V y corriente máxima de 12 amperios.

Esta turbina no necesita almacenar energía ni un equipo adicional ya que puede trabajar en operación constante las 24 horas. Tiene una estructura simple y peso ligero, es de fácil manejo e instalación.

En la actualidad la carrera de Electricidad cuenta con un simulador de caudal de agua controlado con el que se puede desarrollar e implementar la turbina para pruebas.

Para la implementación de la pico-generadora hidroeléctrica se desarrollarán simulaciones de funcionamiento y una metodología de investigación. Se estudiarán también los diferentes parámetros del generador. Su instalación se ejecutará de una manera aislada y posteriormente se colocarán cargas para pruebas de su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO 1

Analizar los parámetros de una pico-generadora hidroeléctrica

En el desarrollo de este capítulo se realizará una revisión bibliográfica de los tipos de generadoras hidroeléctricas, pequeñas centrales hidroeléctricas, partes y equipos eléctricos que componen una pequeña central hidroeléctrica y sus potencias, para finalizar se realiza la revisión literaria de una pico generadora hidroeléctrica, su potencia y partes que la conforman.

1.1. Generación hidroeléctrica

La generación hidroeléctrica viene desempeñando un papel de vital importancia para la operación segura, estable y eficiente de los sistemas de generación eléctrica lo que la ha llevado a ser la fuente renovable más grande del mundo y lleva a su cargo gran parte de la regulación y equilibrio en muchos sistemas generación hidroeléctrica. Este tipo de generación es considerada una de las energías renovables de gran importancia en el planeta ya que su potencial aprovechable en toda la Tierra está entre 2 y 3 TW.

La energía hidráulica se puede obtener a partir de cualquier concentración de agua en movimiento como la corriente de un río, corriente de agua que circula por una tubería provocado por la diferencia de altura entre sus extremos.

La energía cinética captada de la energía potencial del agua se transforma en energía mecánica con la ayuda de turbinas hidráulicas. La energía obtenida del agua es casi en su totalidad utilizada para la generación de energía eléctrica a través del acople de un generador eléctrico a la turbina (Carta Gonzáles, Calero Pérez, Colmenar Santos, Castro Gil, & Collado Fernández, 2013).

1.1.1. Tipos de energía

1.1.2. Fuentes de energía no renovables

Estas fuentes de energía son obtenidas de combustibles fósiles los cuales se encuentran de manera finita en yacimientos distribuidos por el mundo y, cada parte consumida de estos combustibles no se pueden recuperar de forma natural por lo que sus cantidades disponibles a nivel mundial van disminuyendo cada vez más con el paso del tiempo (Jarauta, 2015).

1.1.3. Fuentes de energía renovable

La energía renovable o alternativa comprende diferentes fuentes de energía naturales las cuales con dificultad podrían agotarse con el paso del tiempo. Comprenden:

- a) Eólica.
- b) Geotérmica.
- c) Hidráulica.
- d) Oceánica.
- e) Solar.
- f) Fusión Nuclear.

Se debe tomar en cuenta que, aunque una fuente de energía sea renovable no implica que no contamine, no tenga impacto en el medio ambiente natural y conlleve a un desarrollo sostenible. Las energías renovables pueden causar impacto en el medio ambiental (visual, acústico, etc.) (Creus, 2014, pág. 13).

1.1.4. Organización de centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica está considerada como una instalación la cual tiene la misión de transformar la energía potencial y cinética del agua en energía eléctrica. Para la clasificación de las centrales hidroeléctricas se toman en cuenta dos aspectos:

- a) Clasificación administrativa.
- b) Clasificación técnica.

1.1.4.1. Clasificación administrativa

La clasificación administrativa, según la potencia de la central hidroeléctrica se divide en tres grupos:

- a) Centrales con capacidad de más de 50 MW.
- b) Centrales con capacidades de entre 10 y 50 MW.
- c) Centrales con capacidad de menos de 10 MW.

1.1.4.2. Clasificación técnica

Debido a que las centrales hidroeléctricas no son exactamente iguales unas a otras y presentan una gran diversidad en todos sus aspectos técnicos se ha optado por segmentarlas en cuatro grupos:

- a) Centrales hidroeléctricas de embalse.
- b) Centrales hidroeléctricas de agua fluyente.
- c) Centrales hidroeléctricas mixtas.
- d) Otro tipo de centrales hidroeléctricas.

1.1.5. Partes principales

1.1.5.1. Obra de Conducción

El flujo de agua aprovechado para la generación de energía eléctrica es receptado en una bocatoma y conducido a través de canales, túneles, viaductos, sifones y rellenos, los cuales ayudan a que este caudal pueda llegar a el tanque de carga. La instalación y agrupación de todos estos elementos que sirven para que el caudal pueda fluir desde la bocatoma hasta el tanque de descarga están considerados dentro de la obra de conducción.

1.1.5.2. Desarenador

El desarenador está considerado como una obra hidráulica utilizado para la sedimentación de partículas de materia sólida que se encuentran comúnmente en el agua. Debido a que la velocidad de entrada del caudal en la bocatoma es elevada las partículas de material sólido se mantienen en suspensión.

La función que tiene el desarenador es desechar las partículas de material sólido que se encuentran en el agua. Para decantar este material solido se disminuye la velocidad, por este motivo el desarenador dispone de un área mayor.

1.1.5.3. Cámara de carga

Se conoce como cámara de carga a la cámara que se ubica en la terminación de una central y tiene el propósito de unir el sistema de baja presión del canal de conducción con el sistema de alta presión de la tubería de presión. La cámara de carga debe permitir tener un volumen de agua elevado para satisfacer las turbinas en los momentos de aumento brusco de la demanda, mantener la altura necesaria para evitar el acceso de aire, evitar el ingreso de compuestos solidos que se arrastran y flotan a la tubería de presión, depurar materiales sólidos en suspensión y verter el exceso de agua.

1.1.5.4. Conducción a presión

Cumple con la función de transportar el caudal desde el tanque de carga que llega a las turbinas. Está conformada por la tubería de presión, sistema de sujeción, sistema de suspensión y sus accesorios.

1.1.5.5. Válvulas

Se encuentran ubicadas anterior a la turbina y son utilizadas para cerrar el caudal a través de la turbina y para maniobras de disposición. Para las pequeñas centrales hidroeléctricas se usan válvulas de compuerta para el ingreso de la turbina y válvulas de tipo mariposa para

caídas que varían entre 30 y 200 metros, cuanto la caída es superior a 200 metros se utilizan válvulas esféricas.

1.1.5.6. Sistema de apoyos

Son estructuras de concreto que sirven para sostener el sistema de tuberías de presión a cielo abierto, de esta manera el sistema de apoyos, ayuda al sistema de tuberías de presión a adaptarse a las condiciones del terreno con su respectiva pendiente.

1.1.5.7. Casa de máquinas

La casa de máquinas es una estructura civil la cual contiene gran parte del equipo electromecánico en los que se transforma la energía cinética del agua en mecánica y luego en energía eléctrica (Ortiz Flóres, 2011).

1.1.5.8. Turbinas

La turbina es una rueda hidráulica la cual gira a una velocidad constante accionada por el potencial de un caudal de agua a desnivel y transmite la energía mecánica conseguida a un eje que gira con esa energía.

La turbina es considerada como un motor hidráulico con características ideales ya que tiene un alto nivel de eficiencia, es fácil de controlar y es segura. (Cuesta & Vallarino, 2015)

1.2. Tipos de turbinas

La turbina es una rueda hidráulica la cual gira a una velocidad constante y es accionada por el potencial de un caudal de agua a desnivel y transmite energía mecánica alcanzada a un eje de giro. Es considerada como un motor hidráulico con características ideales ya que tiene un alto nivel de eficiencia, es fácil de controlar y es segura (Cuesta & Vallarino, 2015).

1.2.1 Clasificación de las turbinas

Actualmente existen diferentes tipologías de turbinas diseñados para su funcionamiento eficiente en diferentes campos, estas se catalogan en dos conjuntos que son:

- a) De acción.
- b) De reacción.

1.2.1.1. Turbinas de acción

En este tipo de turbinas se utiliza el caudal de agua en forma de chorro para lo cual se utiliza la presión atmosférica para transformar la energía potencial del agua en energía cinética (Cuesta & Vallarino, 2015, pág. 522). El rodete de este tipo de turbinas trabaja a presión constante y no dispone de tubo de aspiración (Ortiz Flóres, 2011).

Tenemos tres tipos de turbinas de acción que pueden ser usadas en mini centrales o pequeñas centrales hidroeléctricas, estas son:

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

1.2.1.1.1. Turbina Pelton

Este tipo de turbinas son utilizadas para saltos de entre 150 y 2.000 metros y caudales entre los 0.02 a 70 m³/s (Vargas, Haas, Reyes, Salinas, & Morata, 2020), están compuestas básicamente por un rodete el cual tiene alabes posicionados de forma regular en su periferia que son los que reciben el impacto de uno o varios chorros de agua que proceden de los inyectores los cuales sirven para poder transformar la energía potencial del agua en energía cinética. El rodete tiene un acoplamiento rígido con el eje del alternador para poder transmitir la energía cinética (Cuesta & Vallarino, 2015).

Los álabes de este tipo de turbinas tienen apariencia de doble cuchara con un tabicón divisor en el centro de esta y una endija en su estructura exterior como se muestra en la Figura 1.



Figura 1

Turbina Pelton (Fuente: (Ortiz Flores, 2011))

El chorro de agua que proviene de los inyectores choca en el centro del álabe y se divide en dos partes simétricas que se desplazan por el alabe hasta salir en dirección contraria. Este choque del agua con el álabe de la turbina debe ser lo más perpendicular posible para que su impacto pueda llegar a la efectividad máxima. (Cuesta & Vallarino, 2015).

1.2.1.1.2 Turbina Turgo

Las turbinas Turgo se encuentran conformadas por un rodete con alabes asimétricos que reciben el chorro de agua de los inyectores con un ángulo que puede oscilar entre los 20° a

22.5° con relación al plano del rodete, interceptando el chorro por un borde lateral y saliendo por el borde opuesto.

Este tipo de turbinas son usadas para saltos entre 10 y 250 metros con caudales entre 0.2 y 10 m³/s y con grupos de menos de 100 kW y, debido a que presenta menos rendimiento en comparación con las turbinas Pelton se usan con menos frecuencia para mayor potencia. (Cuesta & Vallarino, 2015)

Poseen un empuje axial debido a su chorro de agua inclinado, pueden operar con mayor cantidad de caudal debido a que el chorro de agua ingresa por un borde y es expulsado por el opuesto. La ventaja de estas turbinas es que las partes que la constituyen son de fácil acceso y tienen un nivel de tolerancia a la erosión muy bueno. (Ortiz Flóres, 2011)

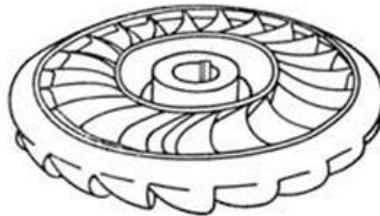


FIGURA 2
TURBINA TURGO (FUENTE: (ORTIZ FLÓRES, 2011))

1.2.1.1.3 Turbina Michell-Banki

Las Turbinas Michell-Banki son utilizadas para saltos entre 5 y 200 metros con caudales entre 0.2 y 10 m³/s y con potencias inferiores a 1 MW, su rendimiento es muy bajo en comparación con las Turbinas Pelton. Este tipo de turbinas tienen menor costo que los otros tipos de turbinas de acción, son más robustas y su fabricación e instalación es más fácil.

Su diseño es de forma horizontal y dispone de un rodete con un número de álabes cilíndricos que varía entre 10 y 30 los cuales forman dos etapas, en la primera etapa el chorro de agua entra por la periferia e incide inicialmente sobre una parte de sus álabes y en la segunda etapa incide al salir del rodete o cruzar el eje, por esta razón a estas turbinas también se las denomina turbinas de doble acción o impulso (Cuesta & Vallarino, 2015).

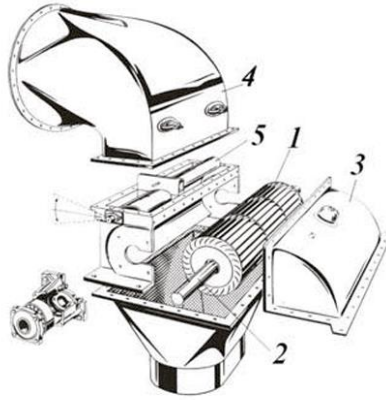


FIGURA 3
TURBINA MICHELL-BANKI (FUENTE: (ORTIZ FLÓRES, 2011))

1.2.1.2 Turbinas de reacción

En este tipo de turbinas se utiliza a una presión superior a la de la atmósfera, lo que quiere decir que solamente una parte de su energía es cinética.

Dentro de este grupo de turbinas tenemos:

- a) Turbina Francis.
- b) Turbina Kaplan.

1.2.1.2.1 Turbina Francis

Las turbinas Francis están constituidas por una cámara espiral la cual distribuye el agua por todo el rodete, esta realiza la admisión eficiente de agua con dimensiones mínimas y un máximo nivel de rendimiento. Las cámaras espirales pueden ser fabricadas con hormigón o metal en una sola pieza o en varias. Esta turbina es utilizada para saltos de hasta 200 metros y caudales de entre 2 y 200 m³/s.

Después de que el flujo de agua pasa a través de la cámara espiral llega al pre distribuidor o estator de la turbina el cual, transmite las cargas debidas a las partes fijas y móviles y al empuje axial sobre el rodete, su labor principal es la de trabajar de soporte a la turbina. Esta parte de las turbinas Francis puede constituirse en forma de columnas o pilares con bridas para su fijación o en una sola unidad la cual consta de dos anillos unidos entre sí por pilares fijos siendo esta la más utilizada por su rigidez (Sanz Osorio, 2016).

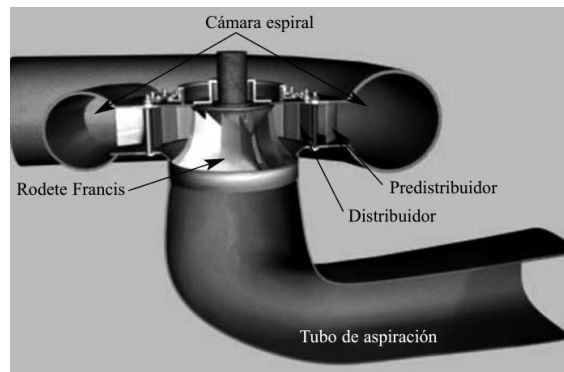


FIGURA 4

PARTES DE UNA TURBINA FRANCIS (FUENTE: (SANZ OSORIO, 2016))

1.2.1.2.2 Turbina Kaplan

Las turbinas Kaplan se utilizan comúnmente para caídas de entre 2 y 60 metros y para caudales de entre 4 a 2.000 m³/s (Vargas, Haas, Reyes, Salinas, & Morata, 2020). Dentro de los componentes que se pueden encontrar en este tipo de turbinas, el elemento más característico es su rodete el cual tiene la apariencia de una espira de un barco con un número de palas que puede variar entre 3 y 8. Este tipo de turbinas cuentan con doble regulación proporcionado por sus palas las cuales pueden girar para conseguir una orientación con máxima eficiencia en dependencia del salto disponible y del nivel de caudal que se va a turbinar. La doble regulación se lleva a cabo por medio de los alabes del distribuidor y por medio de las palas que están dispuestas en el rodete de la turbina.

Para la operación con pequeñas variaciones de salto y caudal se utilizan turbinas de regulación simple, se denominan semi Kaplan cuando los álabes del distribuidor son fijos y cuando las paletas del rodete se encuentran fijas son llamadas turbinas de hélice.

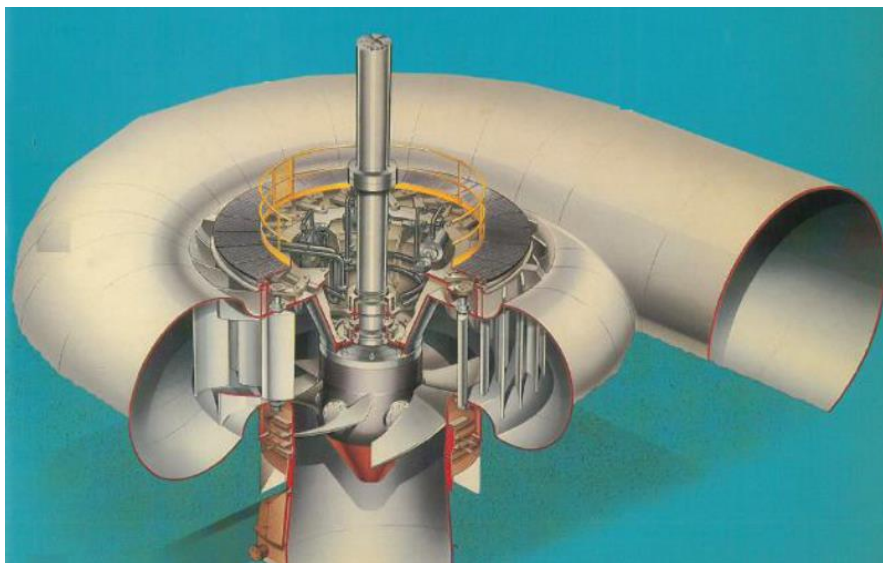


FIGURA 5

TURBINA KAPLAN (FUENTE: KVAENER HYDRO)

1.3. Tipos de generadores

Se conoce como un generador de energía eléctrica a aquel que cambia la energía mecánica en energía eléctrica, para que el proceso de conversión de energía pueda ser constante se necesita tener una velocidad mecánica estable y constante para lo cual el generador y la turbina deben estar acoplados directamente.

El acople directo entre la turbina y el generador hacen que los dos equipos tengan una velocidad mecánica igual por lo que los cambios de requerimiento de energía eléctrica tengan el mismo efecto en la turbina y el generador. Los cambios en la demanda de energía eléctrica exigen tanto al generador como a la turbina, en el generador se exige mayor o menor energía eléctrica y eso a su vez mayor o menor potencia mecánica (Ortiz Flóres, 2011).

Dentro de la clasificación de los generadores de energía eléctrica podemos establecer la siguiente:

- a) Generador síncrono
- b) Generador asíncrono o de inducción.

1.3.1 Generador síncrono

En un generador o máquina síncrona es esencial que la velocidad de giro sea igual a la velocidad de sincronismo cuando está en régimen permanente, esto debe cumplirse en cualquiera de las direcciones que se produzca la transformación de energía, es decir, ya sea como generador o motor (Alcázar Ortega, Cañas Peñuelas , Escrivá Escrivá, Fuster Roig, & Roger Folch, 2019).

En este tipo de generadores se origina un campo magnético en el rotor dependiendo del diseño del generador eléctrico, ya sea como imán permanente o inyectando al devanado una corriente DC para la creación del electroimán. El rotor del generador gira y causa un campo magnético que gira en el generador e introduce un grupo de voltajes al interior de los devanados del estator de la máquina.

De forma general se tienen dos clases de devanados en una máquina, los devanados de campo que son los delegados de originar el campo magnético primordial de la máquina y los devanados del inducido que son los devanados en donde se induce el voltaje principal.

Los polos magnéticos del rotor de un generador de este tipo pueden ser de polos salientes y de polos no salientes. Un polo saliente es un polo magnético proyectado hacia la parte exterior del eje del rotor, un polo no saliente es un polo magnético diseñado al mismo nivel de la superficie del rotor (Chapman, 2012).

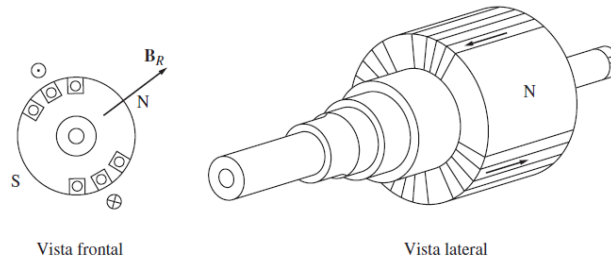


FIGURA 6

VISTA FRONTAL Y LATERAL DE UN ROTOR DE POLOS NO SALIENTES. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

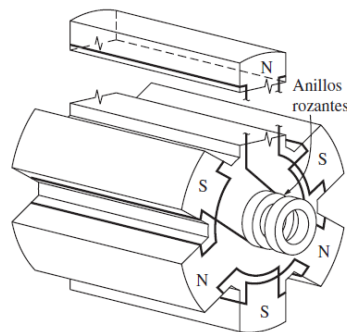


FIGURA 7

ROTOR DE POLOS SALIENTES. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

El rotor está sujeto a campos magnéticos variables, debido a esto están construido de láminas delgadas para tener un porcentaje los más bajo posible de pérdidas causadas por corrientes parasitas.

Se requiere un diseño especial para poder proporcionar de una corriente DC al circuito de campo del rotor ya que éste se encuentra en constante movimiento y es necesario que la corriente inyectada pueda llegar a los bobinados de campo, para lo cual existen dos modos muy comunes para poder inyectar esta corriente:

- a) Inyectar al rotor corriente DC a partir una fuente exterior por medio de escobillas o anillos rozantes.
- b) Inyectar al rotor corriente DC a partir una fuente específica ensamblada en el eje del generador.

En las maquinas síncronas de mayor tamaño se utilizan excitadores sin escobillas los cuales ayudan a inyectar la corriente de campo de DC. SE conoce como excitador a un pequeño generador de ac el cual tiene un circuito de campo acoplado en el estator y un circuito de armadura en el eje del rotor, su salida trifásica es rectificadora a partir de un circuito rectificador trifásico que se encuentra articulado en el eje del generador y luego sustenta al circuito de campo.

1.3.1.1 Velocidad de rotación de un generador síncrono

En las maquinas síncronas de generación la frecuencia eléctrica se provoca y se armoniza con la tasa mecánica de giro del generador.

En este tipo de generadores el rotor dispone de un imán al cual se le abastece de corriente directa. El campo magnético del rotor va en la trayectoria en que gira el rotor. El generador debe girar a una velocidad fija debido a que la potencia eléctrica se genera a 60 Hz, esto esta en manos de del número de polos del generador. Como muestra, para crear una potencia de 60Hz una máquina de dos polos debe rotar a 3600 r/min.

1.3.1.2 Circuito equivalente de un generador síncrono

Por lo general el voltaje central generado y producido en una de sus fases de un generador no es el voltaje que se exterioriza en las salidas del generador, el único instante donde el voltaje de entrada es igual al voltaje de salida de una fase es cuando se tiene la presencia de corriente de armadura en la máquina.

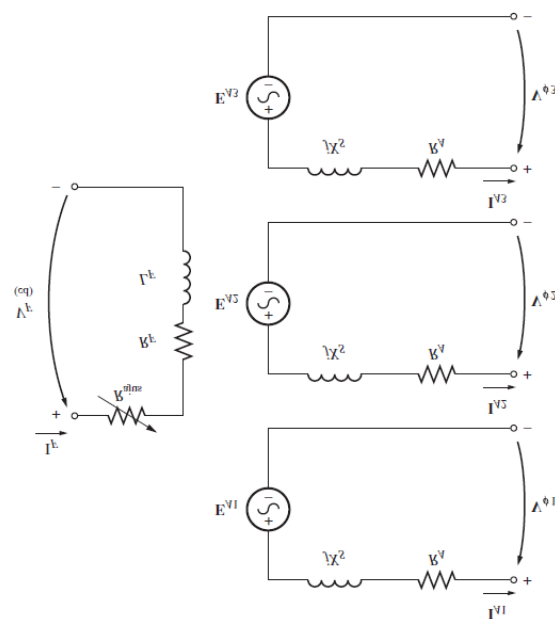


FIGURA 8

CIRCUITO EQUIVALENTE COMPLETO DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

Existen diferentes factores que ocasionan la diferencia entre el voltaje interno generado y el voltaje de salida:

- La distorsión del campo magnético del entrehierro debido a la corriente que fluye en el estator la cual se denomina relación del inducido.
- La autoinductancia de los devanados del inducido.

- c) La resistencia de las bobinas del inducido.
- d) La consecuencia del rotor de polos salientes.

1.3.1.3 Diagrama fasorial de un generador síncrono

A causa de que los voltajes en una maquina generadora síncrona son de corriente alterna se formulan como fasores y ya que los fasores poseen tanto magnitud como ángulo, la relación entre ellos debe ser expresada en un diagrama bidimensional. Cuando se quiere representar una gráfica con los voltaje y corrientes de una fase de tal forma que los relacione entre ellos, su grafica resultante se denomina diagrama fasorial (Chapman, 2012).

En la Fig. 9 se muestran las relaciones de corriente y voltaje en la fase cuando un factor está alimentando a una carga con un factor de potencia unitario, cuando la carga es resistiva pura. El voltaje total atrasa del voltaje en las terminales de la fase por las caídas de voltaje inductivo y resistivo, todas las corrientes están referenciadas en el voltaje de fase y se infiere que tienen un ángulo de 0° .



FIGURA 9

DIAGRAMA FASORIAL DE UN GENERADOR SÍNCRONO CON UN FACTOR DE POTENCIA UNITARIO. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

Se puede realizar una comparación en un diagrama fasorial en donde se opera con factores de potencia en adelanto y retraso. Podemos decir que, para un voltaje de fase y corriente del inducido se necesita un voltaje interno generado mayor para las cargas en retraso que para las cargas en adelanto, se demanda una corriente de campo mayor para obtener igual voltaje en las terminales en las cargas en retraso.

Si se consideran a estas máquinas en la vida real, generalmente la reactancia síncrona es mayor que la resistencia del devanado, por lo cual en la mayoría de los casos se desprecia el valor de la resistencia del devanado en el proceso del estudio de las diversificaciones de voltaje. Para adquirir valores justos debe considerarse la resistencia del devanado.

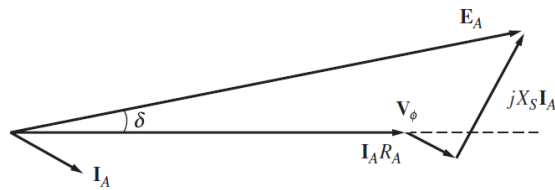


FIGURA 10
DIAGRAMA FASORIAL DE UN GENERADOR SÍNCRONO CON UN FACTOR DE POTENCIA EN RETRASO.

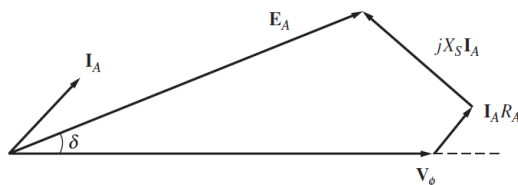


FIGURA 11
DIAGRAMA FASORIAL DE UN GENERADOR SÍNCRONO CON UN FACTOR DE POTENCIA EN ADELANTO. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

1.3.1.4 Generador síncrono que opera solo

El comportamiento de un generador síncrono varía mucho con una carga, esto depende del factor de potencia de la carga y de que el motor opere solo o en paralelo.

Un aumento de la carga implica un aumento de la potencia real, la potencia activa, o ambas, que se obtiene del generador. Un aumento de la carga resulta en el aumento de la corriente de la carga que se obtiene del generador. Dado a que la resistencia de campo no se modifica, la corriente de campo permanece constante y por lo tanto el flujo también, ya que el motor tiene una velocidad constante la magnitud del voltaje interno generado es constante.

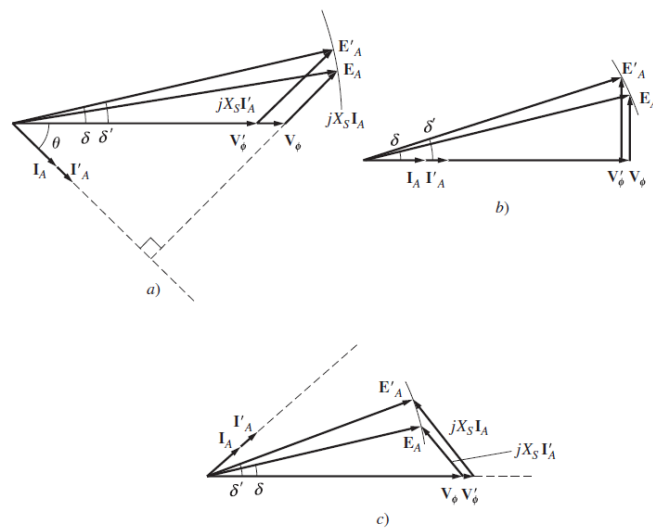


FIGURA 12
EFFECTO DEL INCREMENTO DE CARGA SOBRE UN GENERADOR A FACTOR DE POTENCIA CONSTANTE EN EL VOLTAJE EN

SUS TERMINALES. A) FACTOR DE POTENCIA EN RETRASO; B) FACTOR DE POTENCIA UNITARIO; C) FACTOR DE POTENCIA EN ADELANTO.

1.3.1.5. Generador síncrono que opera en paralelo

La combinación de varios generadores puede abastecer una carga significativamente más grande en comparación con el uso de una sola máquina. La presencia de múltiples generadores aumenta la confiabilidad del sistema, ya que, si alguno de los generadores falla, no resulta en una pérdida completa de potencia para la carga. Cuando se utiliza solamente un generador, este no puede operar cerca de su capacidad máxima, lo que lo hace relativamente ineficiente. Tener generadores en paralelo también simplifica la posibilidad de desconectar uno de ellos para llevar a cabo su mantenimiento respectivo.

Existen condiciones que se debe considerar al operar en paralelo, ya que el cierre del interruptor de manera arbitraria en cualquier momento puede causar daños significativos en los generadores y resultar en una pérdida de potencia para la carga. Para prevenir posibles daños y problemas, es esencial que cada una de las tres fases tenga la misma magnitud de voltaje que el conductor al que se conectará, evitando así flujos de corriente excesivos, y que los ángulos de fase coincidan. Para lograr esta igualdad en las magnitudes, deben cumplirse las siguientes condiciones:

- a) Los voltajes RMS de los dos generadores deben ser iguales.
- b) Los dos generadores deben tener la misma secuencia de fase.
- c) Los ángulos de fase de las dos fases *a* deben ser exactamente iguales.
- d) La frecuencia del generador que se está sincronizando debe ser ligeramente mayor que la frecuencia del sistema en funcionamiento.

1.3.1.6 Curva de capacidad de los generadores síncronos

Los límites de calentamiento del rotor y el estator, así como otros límites de un generador síncrono, se pueden representar gráficamente mediante un diagrama de capacidad del generador. Este diagrama de capacidad es una representación gráfica de la potencia compleja S obtenida a partir del diagrama fasorial del generador, suponiendo que el voltaje de fase se mantiene constante en su valor nominal. En la Figura 13 se muestra la curva de capacidad conclusiva de un generador síncrono, donde se pueden visualizar las potencias activa (P) y reactiva (Q). En este diagrama, P se encuentra en el eje horizontal, mientras que Q se encuentra en el eje vertical. Las líneas que representan corriente constante en el inducido se asemejan a círculos concéntricos alrededor del origen. Además, en este diagrama

también se pueden mostrar otros límites, como la potencia máxima del motor primario y el límite de estabilidad estática. (Chapman, 2012).

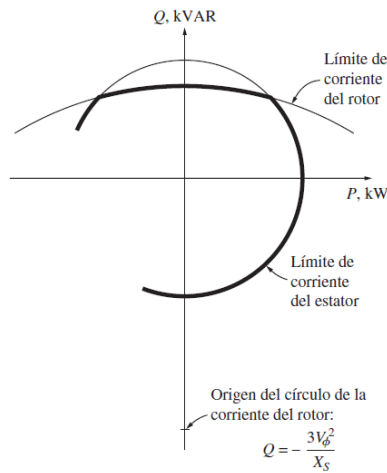


FIGURA 13
CURVA DE CAPACIDAD DE UN GENERADOR SÍNCRONO. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

1.3.2. Generador asíncrono o de inducción

El funcionamiento de una máquina asíncrona se basa en la generación de un campo magnético rotativo, que gira a una velocidad conocida como velocidad de sincronismo. En este tipo de máquina, un devanado en el estator crea un campo magnético e induce una corriente en el rotor, lo que la clasifica como una máquina de inducción. La particularidad de una máquina asíncrona radica en que la velocidad de rotación del rotor es diferente a la velocidad del campo magnético rotativo.

Una máquina asíncrona típicamente consta de un estator que contiene conductores de cobre por los cuales circulan corrientes proporcionadas desde un circuito externo que forma parte del sistema eléctrico. Los devanados en el estator tienen como objetivo principal crear un flujo de campo magnético en el espacio entre el estator y el rotor. Por esta razón, a menudo se les llama devanados de inducción, de excitación o de campo.

Además del estator, la máquina asíncrona tiene un rotor, que está compuesto por una serie de espiras cortocircuitadas internamente y sin ninguna conexión eléctrica con el exterior. Este devanado del rotor recibe el flujo magnético generado por el estator, lo que induce corrientes en el rotor. Estas corrientes se cierran a través del cortocircuito interno del rotor (Queijo, 2018).

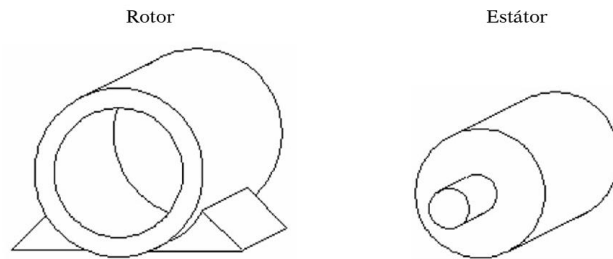


FIGURA 14
CONSTITUCIÓN GENERAL DE UNA MÁQUINA ASÍNCRONA. (FUENTE: (QUEIJO, 2018))

1.3.2.1 Circuito equivalente de una maquina asíncrona

Es el modelo matemático del motor que representa su funcionamiento. Para su operación, las máquinas de inducción están en dependencia de la inducción de voltajes y corrientes en el circuito del estator a partir del circuito del rotor.

Para la producción del circuito equivalente de una máquina de inducción es necesario referir la parte del rotor del modelo al lado del estator, este circuito cuenta con todos los efectos de variación de velocidad concentrados en términos de impedancia. (Chapman, 2012). Al igual que en un transformador, se relacionan las pérdidas en el cobre de la maquina por una resistencia, la energía necesaria para la inducción real de la maquina por unas bobinas y luego se determina la representación de la energía desarrollada por la maquina como una resistencia equivalente variable (Queijo, 2018).

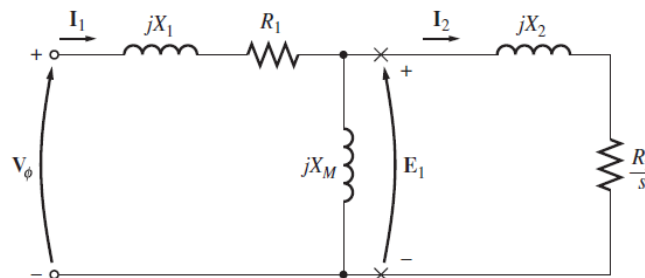


FIGURA 15
CIRCUITO EQUIVALENTE POR FASE DE UNA MAQUINA ASÍNCRONA. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

1.3.2.2 Curva par velocidad de un generador asíncrono.

El par se encuentra en función de los parámetros de la maquina asíncrona, del deslizamiento y de la tensión de alimentación. Si las especificaciones de la máquina y la tensión de alimentación se suponen constantes podemos determinar el deslizamiento que origina el par máximo.

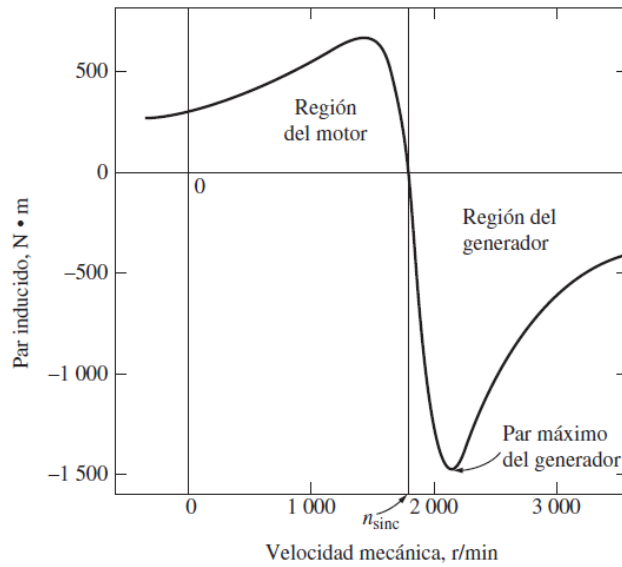


FIGURA 16

CARACTERÍSTICA PAR-VELOCIDAD DE UNA MÁQUINA DE INDUCCIÓN QUE MUESTRA LA REGIÓN DE OPERACIÓN DEL GENERADOR. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

El deslizamiento para el que se produce el par máximo depende solamente de los parámetros internos de la máquina. Es importante en algunos casos conocer la relación que tiene el par y la velocidad de giro del rotor (Queijo, 2018).

1.3.2.3 Generador de inducción aislado

Sin depender de cualquier sistema de potencia, un motor de inducción puede desempeñarse como un generador aislado, la presencia de capacitores es indispensable para que se pueda suministrar la potencia reactiva necesaria para el generador (Chapman, 2012).

A continuación, se muestra la Fig.17 en donde está representado un generador de inducción aislado.

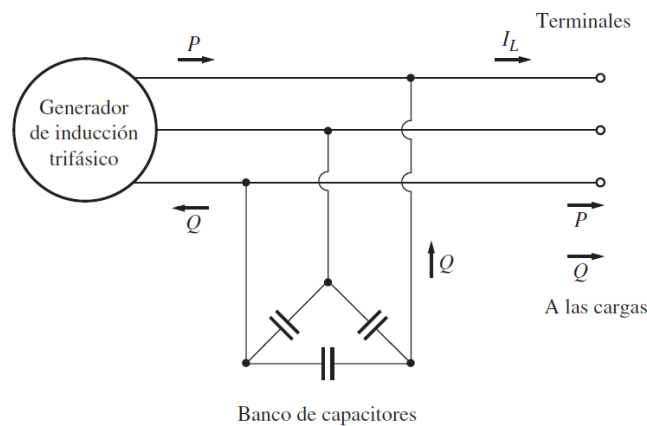


FIGURA 17

GENERADOR DE INDUCCIÓN AISLADO CON UN BANCO DE CAPACITORES PARA SUMINISTRAR POTENCIA REACTIVA. (FUENTE: (CHAPMAN, 2012))

La corriente de magnetización requerida por un generador de inducción en función del voltaje en los terminales puede ser encontrada si se opera la maquina como motor en vacío en donde se mide la corriente del inducido en función del voltaje que se encuentra en los terminales. Exactamente, para generar un nivel específico de voltaje en un generador asíncrono, los capacitores externos deben ser dimensionados de manera que puedan suministrar una corriente de magnetización que sea adecuada para alcanzar esa altura de voltaje.

La corriente reactiva generada por los capacitores está directamente relacionada con el voltaje aplicado a ellos, lo que significa que todas las combinaciones posibles de voltaje y corriente en un capacitor forman una línea recta en un gráfico. Cuando se conecta un conjunto de capacitores trifásicos a través de los terminales de un generador asíncrono, en vacío su voltaje se encuentra en el punto donde la curva de magnetización del generador y la línea de carga del capacitor se cruzan.

Al encender un generador asíncrono, el magnetismo residual en el circuito de campo provoca la generación de un voltaje inicialmente pequeño, lo que resulta en un flujo de corriente capacitiva que aumenta el voltaje, lo que a su vez incrementa aún más la corriente capacitiva hasta que se alcanza el voltaje completo.

Si no hay un flujo excedente en el rotor del generador, es necesario magnetizar el generador operándolo temporalmente como motor. El inconveniente más común en un generador de inducción es la variación significativa de voltaje en respuesta a cambios en la carga. Iniciar un motor de inducción cuando el sistema de potencia está siendo alimentado por un generador de inducción es complicado y requiere métodos especiales para aumentar la capacidad efectiva durante el arranque y luego reducirla para su operación normal.

La frecuencia de los generadores de inducción se altera con los cambios en la carga debido a sus características de par velocidad. Por lo general, la variación completa de frecuencia está restringida a menos del 5%, ya que la particularidad de par velocidad tiene una inclinación pronunciada en el rango de operación normal. Esta variación de menos del 5% es aceptable en aplicaciones de emergencia y sistemas aislados.

1.4. Parámetros de dimensionamiento de una pico-generadora

Un proyecto pico hidroeléctrico, a pesar de ser de escala baja en producción de potencia, sigue los mismos principios y cuenta con componentes esenciales similares a cualquier central hidroeléctrica. Estos componentes básicos incluyen: presa, bocatoma, tubería de

conducción de agua, turbina, generador, regulador electrónico, circuitos de medición y protección, transformadores, red de distribución e instalaciones eléctricas domiciliarias.

Para que un proyecto pico hidroeléctrico sea factible desde el punto de vista técnico y económico, se deben cumplir ciertas características clave, como:

- a) Caudal adecuado: El caudal de agua disponible debe estar en el rango de 5 a 10 l/s y mantenerse constante a lo largo del año para garantizar una producción estable de energía.
- b) Altura adecuada: La altura de caída del agua debe estar en el rango de 20 a 30 metros para aprovechar de manera efectiva la energía potencial del agua.
- c) Tubería de conducción: La longitud de la tubería de conducción de agua no debe superar los 200 metros para minimizar las pérdidas de fricción y maximizar la eficiencia del sistema.
- d) Red de distribución: La longitud de la red de distribución eléctrica no debe exceder los 600 metros para reducir las pérdidas.

Para el dimensionamiento de una pequeña central hidroeléctrica se deben tomar en cuenta diferentes aspectos que deben ser analizados en función de las diferentes características físicas y de la energía que se requiere generar.

Se debe identificar topográficamente el lugar en donde el proyecto va a ser implementado, el salto de agua y el comportamiento del agua fluyendo por los cauces naturales. Para poder analizar la viabilidad de un aprovechamiento es fundamental evaluar el potencial energético, es decir, el caudal que se va a poder turbinar y el salto.

Para calcular la producción de energía es necesario realizar una evaluación del recurso hidráulico del cual se dispone para el proyecto. Para la valoración del recurso hídrico se debe conocer la evolución que ha tenido el caudal a lo largo de al menos un año ya que un solo valor instantáneo del caudal no es representativo, el salto del que se dispone, mediciones del caudal, su régimen, presión y un estimado de la energía generada.

Se debe realizar un análisis del aprovechamiento y costo que tendrá la implementación de la pequeña central hidroeléctrica, es decir, los costos de la generación de energía para poder definir su factibilidad y sus beneficios a futuro.

Como siguiente paso se deben definir todos los equipos electromecánicos, electrónicos y el sistema de control que se van a implementar en la pequeña central hidroeléctrica para su operación.

El impacto ambiental que va a tener la pequeña central hidroeléctrica posterior a su ejecución y operación nos ayuda a determinar los cambios que tendrá de manera directa o indirecta el área donde se va a implementar el proyecto. Lo que se busca en este punto es analizar las alteraciones de ambiente tras la ejecución del proyecto y tratar de minimizar en lo posible el impacto que su implementación tenga en el medio ambiente.

Un análisis económico es fundamental para poder aprovechar los recursos económicos de la mejor manera posible y conseguir la mejor manera de financiamiento para la ejecución del proyecto.

Luego de haber realizado los análisis y evaluaciones de los diferentes parámetros para el dimensionamiento de la pequeña central hidroeléctrica se debe ajustar el proyecto a estándares y normas vigentes (Ortiz Flóres, 2011).

CAPÍTULO 2

Determinación del tipo de turbina de baja potencia a utilizar, selección y descripción de equipos e implementos.

El desarrollo de este capítulo se menciona la metodología y procesos utilizados para poder llegar a la implementación del proyecto en la Universidad Técnica del Norte, en el patio de pruebas de la Carrera de Electricidad. En esta sección también se realiza la descripción de los materiales que se van a utilizar para su desarrollo y de sus equipos y elementos que se van a utilizar para la implementación de la pico-generadora hidroeléctrica con turbina tipo turgo.

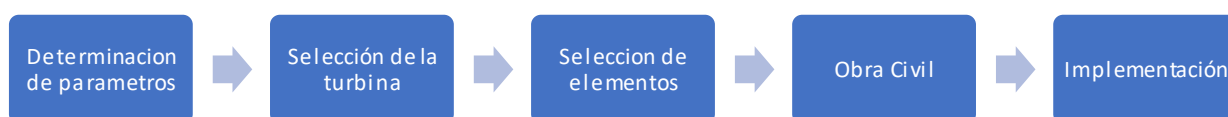


FIGURA 18
DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA (FUENTE: AUTOR)

Como primer paso se determinan los parámetros dentro de los cuales trabaja una pico-generadora hidroeléctrica para posteriormente seleccionar la turbina que, en este caso es una turbina tipo Turgo. Como tercer paso se seleccionan los elementos y equipos que se van a instalar para la implementación del proyecto. En el cuarto paso hacemos referencia a la obra civil sobre la cual se va a instalar la pico-generadora y posteriormente llegar a su implementación, realización de pruebas y funcionamiento del proyecto.

2.1. Selección de la turbina

La elección del tipo de turbina en un proyecto hidroeléctrico depende en gran medida de las características específicas del salto de agua (altura neta de cabeza) y el caudal disponible en la ubicación del proyecto, así como de la cantidad de potencia eléctrica que se necesita generar. Estos factores son esenciales para determinar la turbina más adecuada para aprovechar la energía hidráulica disponible de manera eficiente.

El siguiente diagrama representa las regiones recomendadas para diferentes tipos de turbinas hidráulicas. Cada tipo de turbina tiene sus propias ventajas y desventajas. La selección de la turbina se ha realizado tomando en cuenta los parámetros que debe cumplir para la implementación de una pico-generadora hidroeléctrica y su disponibilidad en el mercado.

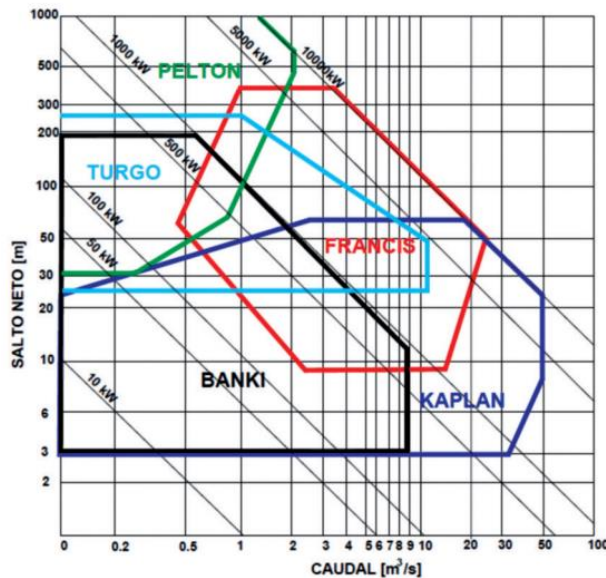


FIGURA 19
DIAGRAMA DE SELECCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TURBINAS (CEDECAP, 2009)

La generación hidroeléctrica es fundamentalmente transformar la energía potencial, presente en un curso de agua tomando un caudal y un salto de agua, en energía mecánica. Esta energía se transforma en energía eléctrica mediante un generador. Las pequeñas centrales hidroeléctricas se encuentran dentro de un rango de potencias de 0,5 a 5 kW. Se localizan en áreas remotas y permiten abastecer de energía eléctrica a las poblaciones rurales. Entre las ventajas significativas de estos sistemas se pueden mencionar:

- Una alta eficiencia, pudiendo operar con bajos caudales de agua y pequeños saltos
- Confiabilidad, pueden originar un suministro continuo de energía eléctrica si lo comparamos con otras opciones de generación en la misma escala.
- Bajo impacto ambiental, la mayoría de los sistemas son de tipo agua fluyente, es decir que el agua pasa al generador y es devuelto al flujo principal con el menor impacto en el ambiente local.
- Poca variación en el flujo suministrado, la variación en la energía generada varía gradualmente entre días, su variación es más lenta en comparación con otras tecnologías las cuales varían de minuto en minuto.

Según las características consideradas de salto, caudal y de la potencia que se requiera, es posible, identificar el tipo de la turbina y el tamaño más apropiado. En el caso de microsistemas existen modelos que se aplican a las circunstancias del lugar o a los medios que existan para su instalación. Los contrastes entre las máquinas vienen vinculadas al mayor aprovechamiento que se le puede dar al potencial energético del agua para la generación de energía eléctrica.

| Región | Institución | Micro Central | Mini Central | Pequeña Central |
|---------------|-------------|---------------|--------------|-----------------|
| Mundial | ONUDI | < 100 kW | 101-2000 kW | 2000-10000 kW |
| Latinoamérica | OLADE | < 50 kW | 51-500 kW | 500-5000 kW |

TABLA 1
CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS SEGÚN SU POTENCIA. (CEDECAP, 2009)

2.2. Turbina turgo

Este tipo de turbinas están conformadas por un rodete con alabes asimétricos que reciben el chorro de agua de los inyectores con un ángulo que puede oscilar entre los 20° a 22.5° con relación al plano del rodete, interceptando el chorro por un borde lateral y saliendo por el borde opuesto.

Este tipo de turbinas son usadas para saltos entre 10 y 250 metros y con grupos de menos de 100 kW y, debido a que presenta menos rendimiento en comparación con las turbinas Pelton se usan con menos frecuencia para mayor potencia. (Cuesta & Vallarino, 2015)

Poseen un empuje axial debido a su chorro de agua inclinado, pueden funcionar con mayor caudal ya que el chorro de agua ingresa por un borde y sale por el opuesto. La ventaja de estas turbinas es que ofrecen bajo riesgo de cavitación, las partes que la constituyen son de fácil acceso y tienen un nivel de tolerancia a la erosión muy bueno (Ortiz Flóres, 2011).

Para el funcionamiento del proyecto debemos mencionar que se va a utilizar en caudal en ambiente controlado a través de un emulador de caudal para pico generación hidroeléctrica existente en el patio de pruebas de la Carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte.

2.3. Generador de inducción de baja potencia

Una máquina de inducción es un dispositivo versátil con la capacidad de operar como motor o como generador. La corriente que circula en el rotor se obtiene por medio de inducción electromagnética.

Se la denomina máquina síncrona ya que su rotor nunca alcanza la velocidad de sincronismo (N_s). Esta velocidad de sincronismo es aquella a la cual gira el campo magnético generado por el devanado del estator o la velocidad a la que cambia la polaridad magnética en la parte estacionaria. Las máquinas asíncronas son muy versátiles porque tienen la capacidad de funcionar como generadores en diversas configuraciones, ya sea de forma autónoma, alimentando una carga, o conectadas a la red eléctrica.

2.3.1. Generador de inducción monofásico

Gracias a la robustez y bajo costo la máquina de inducción es ideal para muchos procesos industriales, además de estas ventajas este tipo de máquinas se las considera como reversibles por sus características para poder trabajar como motor o generador (Ortiz Flóres, Sánchez Barón, & Collazos Pino, Microcentrales hidroeléctricas con aplicación de máquinas reversibles, 2015).

2.3.1.1 Generador de inducción

Este tipo de máquinas pueden ser utilizadas como generador de potencia activa en el momento que es conectada a una fuente de reactivos capacitivos y acoplándola mecánicamente a un motor el cual le permita superar su velocidad de sincronismo. Este tipo de máquinas al funcionar como generador no tienen la necesidad de equipos de sincronización, posee protección inherente contra sobre velocidad y cortocircuitos.

Dentro del régimen de generador esta máquina tiene un valor de deslizamiento negativo por lo cual la fuerza electromotriz inducida en el devanado del rotor cambia de sentido (Ortiz Flóres, Sánchez Barón, & Collazos Pino, Microcentrales hidroeléctricas con aplicación de máquinas reversibles, 2015).

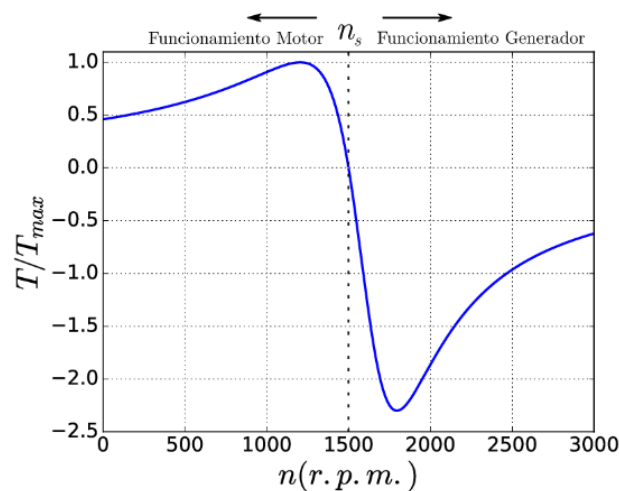


FIGURA 20
CARACTERÍSTICAS DE UNA MÁQUINA ASÍNCRONA PARA LOS RANGOS DE FUNCIONAMIENTO MOTOR Y GENERADOR

Los avances de la electrónica de potencia y el control han hecho que estos generadores sea una de las primeras opciones para las situaciones en donde la velocidad de la maquina no puede controlarse con exactitud (Wagemakers & Escribano, 2017).

2.3.1.2. Circuito equivalente

Se puede lograr obtener el circuito equivalente de un motor monofásico asíncrono considerando el ya conocido de un motor trifásico y la teoría del doble campo giratorio. Basándonos en la teoría del doble campo giratorio, podemos considerar que un motor

monofásico es equivalente a dos motores trifásicos idénticos, con rotores ubicados en el mismo eje y estatores conectados en serie de manera que los campos magnéticos generados por ellos giran en direcciones opuestas (Mora, 2008).

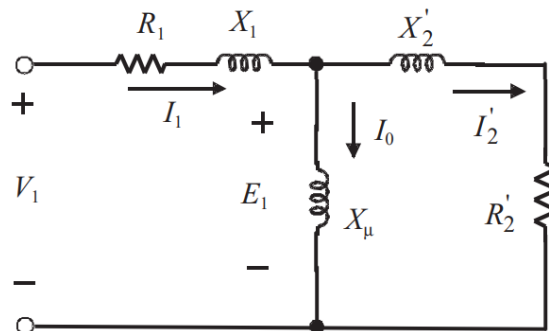


FIGURA 21
CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA MÁQUINA DE INDUCCIÓN MONOFÁSICA (MORA, 2008)

2.4. Componentes

Para el desarrollo y construcción del proyecto de grado se utilizarán diferentes elementos, equipos y dispositivos para poder llegar a su implementación. Los componentes por utilizar se describen a continuación.

2.4.1. Turbina Turgo marca Zensor

La Turbina Micro hidráulica tipo Turgo marca Zensor está diseñada para sitios donde existen pequeños potenciales eléctricos y baja carga. Funciona desde 36 pies (11 m) de altura neto con flujo constante y genera hasta 1 KW en una turbina Turgo de accionamiento directo. Ideal para zonas rurales que cuenten con pequeños arroyos.

La turbina de golpe oblicuo que utiliza alta carga, bajo flujo, se puede utilizar para iluminación doméstica, vida y electricidad de maquinaria de micro procesamiento. Con una turbina pequeña de 1kW se puede iluminar una casa de hacienda completa. No necesitas almacenar energía en baterías ni equipo adicional, pues la generación es constante, las 24 horas. La estructura es simple, con un peso ligero, una integridad fuerte, facilidad de manejo e instalación, una operación simple y fácil de usar (ZENSOR, 2021).

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Tipo | Turgo |
| Potencia generada | 1kW |
| Tasa de Flujo | 0.008-0.01 m ³ /s |
| Altura tubería descarga | 11 metros |
| Velocidad | 800-1300 r/min |
| Voltaje nominal | 117 VDC |
| Diámetro de la tubería de instalación | 90 mm |
| Corriente máxima | 12 amperios |
| Operación continua | 24x7 |

TABLA 2
DATOS TÉCNICOS TURBINA TIPO TURGO MARCA ZENSOR (ZENSOR, 2021)

La micro turbina recibe un impacto de flujo de agua, para hacer girar el rodete de la turbina y accionar el rotor del generador girado por el eje. El devanado pasa a la corriente continua de la bobina del rotor en el rotor del generador, la bobina del rotor producirá un campo magnético giratorio. Las líneas magnéticas son cortadas por la bobina del estator durante la rotación, de acuerdo con el principio de inducción electromagnética, se genera un voltaje en las bobinas del estator, después de que ellas estén conectadas a la carga y genere una corriente. Por lo tanto, el agua se puede volver a encaminar al cauce normal del riachuelo después de la turbina, porque el desfogue está por debajo de la misma (ZENSOR, 2021).

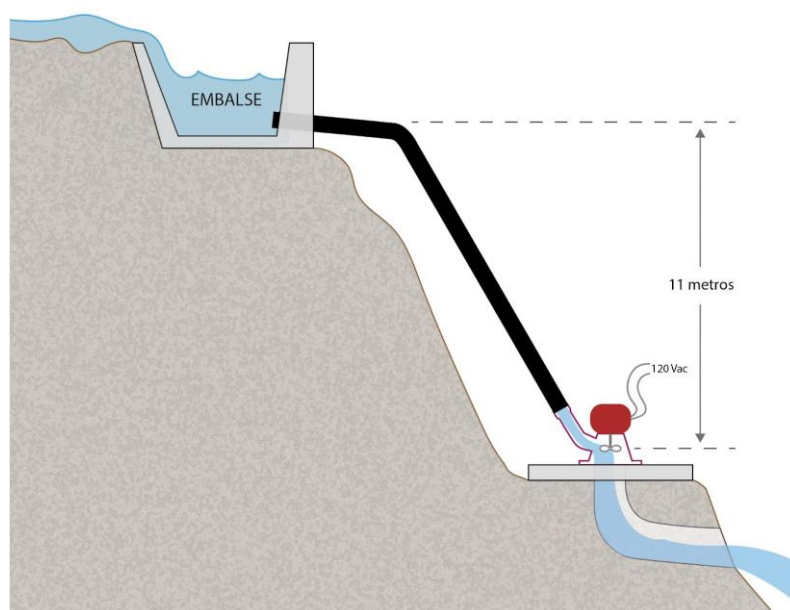


FIGURA 22
ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN DE LA TURBINA MICRO HIDRÁULICA DE 1 KW. (ZENSOR, 2021)

2.4.2. Protección eléctrica

Se debe colocar un breaker de 1,25 veces más que la corriente de salida del generador en la salida de energía eléctrica generada por la turbina (ZENSOR, 2021).

La protección eléctrica es un dispositivo de seguridad el cual entra en funcionamiento cuando la corriente sobrepasa el nivel de corriente establecida proporcionada por el proveedor y de esta manera evitar daños en el sistema.

2.4.3. Obra civil

La base para instalar la turbina debe encontrarse firmemente asentada en el terreno para evitar al máximo vibraciones que puedan afectar su funcionamiento. Una práctica recomendada es construirla de concreto y fijar la turbina a la base con pernos de expansión. En el centro de la base, justo debajo de la turbina, debe ubicarse un canal de descarga (ZENSOR, 2021).

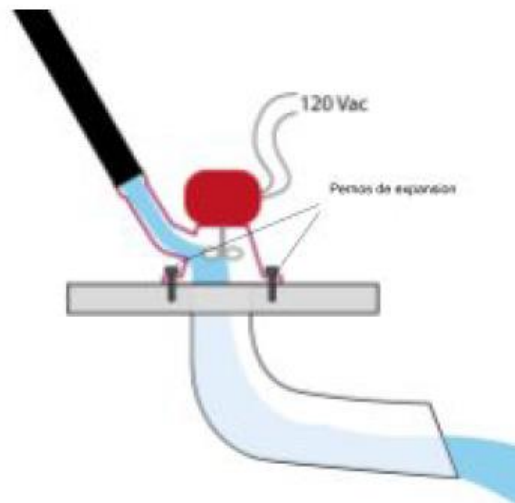


FIGURA 23
INSTALACIÓN DE BASE DE LA MICRO TURBINA HIDRÁULICA (ZENSOR, 2021)

2.4.4. Llaves de paso de agua

Se debe colocar una llave de paso inmediatamente antes de que la tubería de descarga se conecte a la turbina (ZENSOR, 2021).

Esta llave de paso permitirá nos permite poder controlar el paso del caudal controlado entre el emulador de caudal para pico generación y la turbina tipo turgo.

2.4.5. Tubería PVC

La tubería PVC nos permitirá realizar la instalación del conducto del caudal desde la salida del emulador de caudal hasta el ingreso del caudal de la turbina tipo turgo.

2.4.6. Pernos

Para lograr evitar la menor cantidad de vibración y la mejor sujeción a la base se utilizan pernos los cuales ayudaran a mantener estable y sin movimientos no deseados al generador.

2.4.7. Módulo de simulación de caudal

Para el desarrollo de este trabajo de grado se utilizará un emulador de caudal del cual dispone la Carrera de Electricidad ubicado en su patio de pruebas, esto nos permitirá el funcionamiento de la pico-generadora con un caudal controlado.

2.5. Diagrama de bloques para la implementación de la pico-generadora

Durante el avance y desarrollo del proyecto se han ido estableciendo diferentes pasos los cuales nos permitirán llegar a la implementación. A continuación, se presenta un diagrama de bloques en donde se muestran los pasos a seguir para la implementación de la pico-generadora hidroeléctrica con una turbina tipo Turgo.

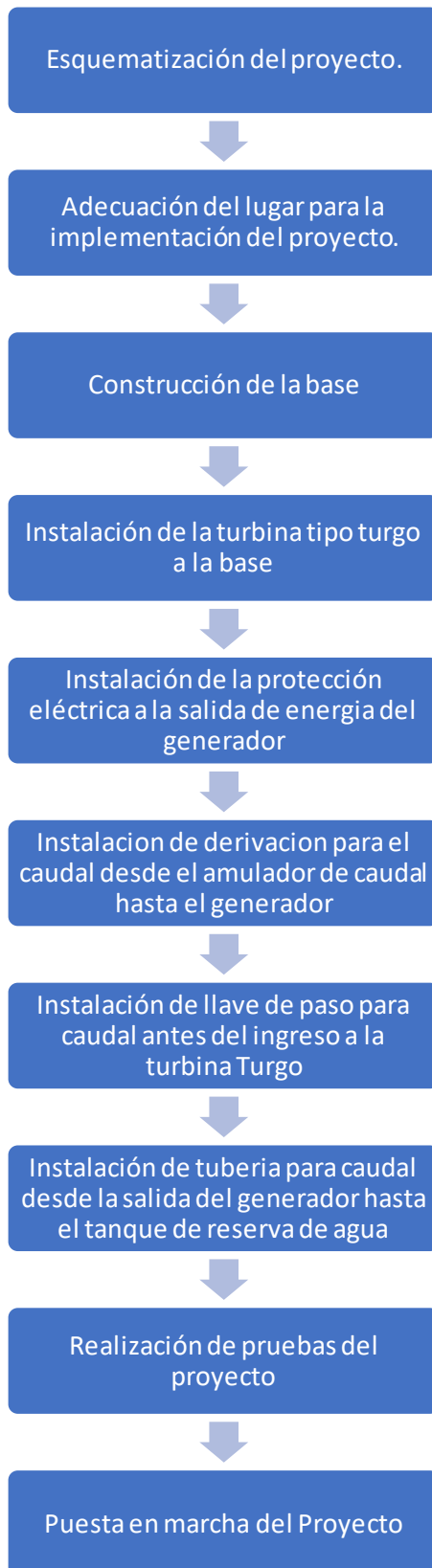


FIGURA 24

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PICO-GENERADORA HIDROELÉCTRICA (FUENTE: AUTOR)

2.6. Esquema de la pico-generadora hidroeléctrica con turbina tipo Turgo

Para llevar a cabo la instalación de la pico-generadora hidroeléctrica es necesario realizar una esquematización de la ubicación de los equipos y diferentes elementos que se van a utilizar para su implementación. A continuación, se realiza la esquematización de los diferentes componentes del proyecto sobre una imagen del lugar donde se va a realizar la instalación del proyecto.



FIGURA 25

ESQUEMATIZACIÓN INICIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PICO-GENERADORA HIDROELÉCTRICA (FUENTE: AUTOR)

1. Turbina tipo Turgo marca Zensor
2. Base
3. Protección eléctrica
4. Llave de paso
5. Tubería para caudal
6. Pernos

En la figura anterior se puede observar la esquematización para la implementación del proyecto en el patio de pruebas de la Carrera de Electricidad, la esquematización se ha realizado sobre una imagen actualizada del patio de pruebas en donde también se puede observar el emulador de caudal para pico generación existente en el lugar. A continuación, se indican el nombre de los elementos principales con referencia a la figura anterior.

CAPÍTULO 3

Implementar la pico-generadora hidroeléctrica mediante la utilización de una turbina tipo Turgo y un emulador de caudal en funcionamiento de forma aislada

3.1. Construcción de estructura base.

Para la implementación de la pico-generadora hidroeléctrica se realizó la construcción de una base metálica de acuerdo a las condiciones en donde se va a realizar la implementación de la generadora hidroeléctrica. La estructura construida se muestra a continuación en la figura.



FIGURA 26
ESTRUCTURA BASE (FUENTE: AUTOR)

La estructura base fue construida con tubo cuadrado de acero galvanizado, cuenta también con una plancha de acero de 7mm de espesor con dimensiones de 40cm por 45cm en la parte superior en la cual se realizó una apertura circular de 25cm de diámetro para la salida de agua del generador.

3.2. Preparación del área de instalación

Para la preparación del lugar de instalación se realizó una limpieza previa del lugar en donde va a ser instalada la base del generador, después de limpiar el lugar y dejar solamente una parte expuesta de tierra en el lugar se procedió a realizar 5 agujeros de 50cm de profundidad cada uno para poder enterrar la parte inferior de la base en donde va a ser colocado el generador.



FIGURA 27
PREPARACIÓN DEL SUELO PARA MONTAJE DE LA BASE DEL GENERADOR (FUENTE: AUTOR)



FIGURA 28
INSTALACIÓN DE LA BASE DEL GENERADOR (FUENTE: AUTOR)

3.3. Montaje del generador

Para le montaje del generador sobre su base se utilizaron 5 pernos de 2" en el contorno de la base del generador los cuales se colocaron con sus respectivas rodela y arandelas de presión.



FIGURA 29

PERNOS UTILIZADOS PARA EL MONTAJE DEL GENERADOR SOBRE LA BASE METÁLICA (FUENTE: AUTOR)



FIGURA 30

VISTA SUPERIOR DEL GENERADOR INSTALADO EN LA BASE METÁLICA (FUENTE: AUTOR)



FIGURA 31
GENERADOR MONTADO SOBRE LA BASE METÁLICA (FUENTE: AUTOR)

3.4. Instalación para salida de agua del generador

Para la salida de agua en la base del generador se adaptó un recipiente plástico el cual recepta en agua saliente del generador y poder conectarla con la tubería que lleva el agua de regreso al tanque de reserva. Se realizó un orificio circular de 5" en la base el recipiente plástico para poder adaptar a tubería para la salida del agua del generador.



FIGURA 32
ADAPTACIÓN DE RECIPIENTE PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUA EN LA SALIDA DEL GENERADOR (FUENTE: AUTOR)

3.4.1. Instalación de tubería de salida de agua del generador

Para la conducción de agua desde el recipiente de la salida de agua del generador hasta el tanque de reserva se utilizó tubería PVC de 5" de diámetro. Como primer paso se adaptó un codo PVC de 5" al recipiente que recibe el agua de la salida del generador como se muestra en la siguiente figura.



FIGURA 33
ACOPLE DE TUBERÍA PVC AL RECIPIENTE PARA SALIDA DE AGUA DEL GENERADOR (FUENTE: AUTOR)

Para poder acoplar el tubo al recipiente se utilizó adhesivo líquido para tubo de PVC.

Para completar el ducto desde el recipiente de la salida de agua del generador hasta el tanque de reserva se utilizaron 3 codos de 5" y un tubo del mismo diámetro, se utilizó adhesivo líquido para tubo de PVC para la unión de todos los codos y tubería de PVC. Para conectarlo con el tanque de reserva se realizó un orificio en la parte superior del mismo al cual se conectó la tubería de PVC y se realizó un sellado con silicona fría de tipo industrial.



FIGURA 34
INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE 5" DESDE EL GENERADOR AL TANQUE DE RESERVA DE AGUA (FUENTE: AUTOR)

3.4.2. Instalación de tubería para el ingreso de agua al generador

Para la instalación del ducto de agua desde la salida de la motobomba hasta el ingreso del caudal del generador se utilizaron diferentes elementos como: acople de aumento de 2" a 3" de acero galvanizado, niple roscado de 5cm, niple roscado de 15cm, T de acero galvanizado de 2", llave plástica de paso de 2", adaptador PVC para manguera de 3", codo de PVC de 3", manguera de agua de 3", manguera de tipo bombero de 3" y abrazaderas de acero.



FIGURA 35
INSTALACIÓN DEL CONDUCTO DE AGUA DESDE LA MOTOBOMBA HASTA EL GENERADOR (FUENTE: AUTOR)

En la figura podemos observar el acople de los elementos antes mencionados para poder lograr la conexión para el paso del agua entre la motobomba y el generador, para poder lograr un sellado adecuado y evitar fugas de agua todas las uniones fueron ajustadas con la ayuda del uso de teflón y selladas con pegamento para tubería de tipo industrial.

Para la correcta sujeción de la manguera a los adaptadores de PVC se usaron abrazaderas de acero para lograr una mejor sujeción entre la manguera y los adaptadores para evitar las posibles fugas.

3.5. Instalación de la protección eléctrica

Para la instalación de la protección eléctrica se utilizaron una caja metálica de un espacio y un breaker de la marca Schneider.

Se utilizó un breaker de 16 amperios ya que el valor de la protección eléctrica debe superar en 1.25 veces más el valor de la corriente del generador eléctrico, se ha seleccionado la protección de 16 amperios debido que es el valor comercial superior mas aproximado al valor de la corriente de salida del generador.



FIGURA 36
PROTECCIÓN ELÉCTRICA DE 16A Y TOMACORRIENTE MONOFÁSICO (FUENTE: AUTOR)

La instalación se ha realizado desde la salida del generador con cable de calibre 10AWG flexible de cobre uniendo sus empalmes y cubriendo con material termo retráctil. Desde la salida del generador se llevó el conductor de calibre 10AWG por el interior de una canaleta hasta la caja de la protección en donde se realizó la conexión al breaker de protección de 15 amperios.

También se realizó la implementación de un tomacorriente monofásico para facilitar la conexión de las cargas al sistema instalado.

Como resultado se obtuvo la implementación entre el generador, la motobomba y el tanque de reserva ya existentes en el patio de pruebas, en la siguiente figura se muestra del resultado de la instalación completa de la pico-generadora hidroeléctrica y todos los elementos utilizados para su construcción.



FIGURA 37
PICO-GENERADORA HIDROELÉCTRICA INSTALADA (FUENTE: AUTOR)

3.6. Pruebas de funcionamiento y medición de parámetros eléctricos de la pico-generadora hidroeléctrica

Para la realización de la prueba de funcionamiento de la generadora se procedió a conectar el voltímetro en los cables de salida del voltaje del generador, después de esto se encendió la motobomba iniciando con el nivel más bajo posible de caudal.

Para la medición del voltaje se manipuló manualmente el regulador de caudal en la motobomba y hasta lograr llegar a un voltaje aproximado a los 110 voltios. En esta prueba del generador se obtuvo una medición de 117,3 voltios, como se muestra en la figura a continuación.



FIGURA 38
PRUEBA CON MEDICIÓN DE 117,3 VOLTIOS (FUENTE: AUTOR)

Como siguiente prueba de funcionamiento de la pico-generadora hidroeléctrica se conectaron tres cargas diferentes y de diferente potencia para proceder a medir la caída de voltaje en el sistema y la corriente eléctrica obtenida en cada una de las cargas conectadas al sistema. Se procedió a conectar como primera carga una bombilla de 40W, como segunda carga una bombilla de 8.5W y como tercera carga se conectó una pistola térmica de silicón de 12W.

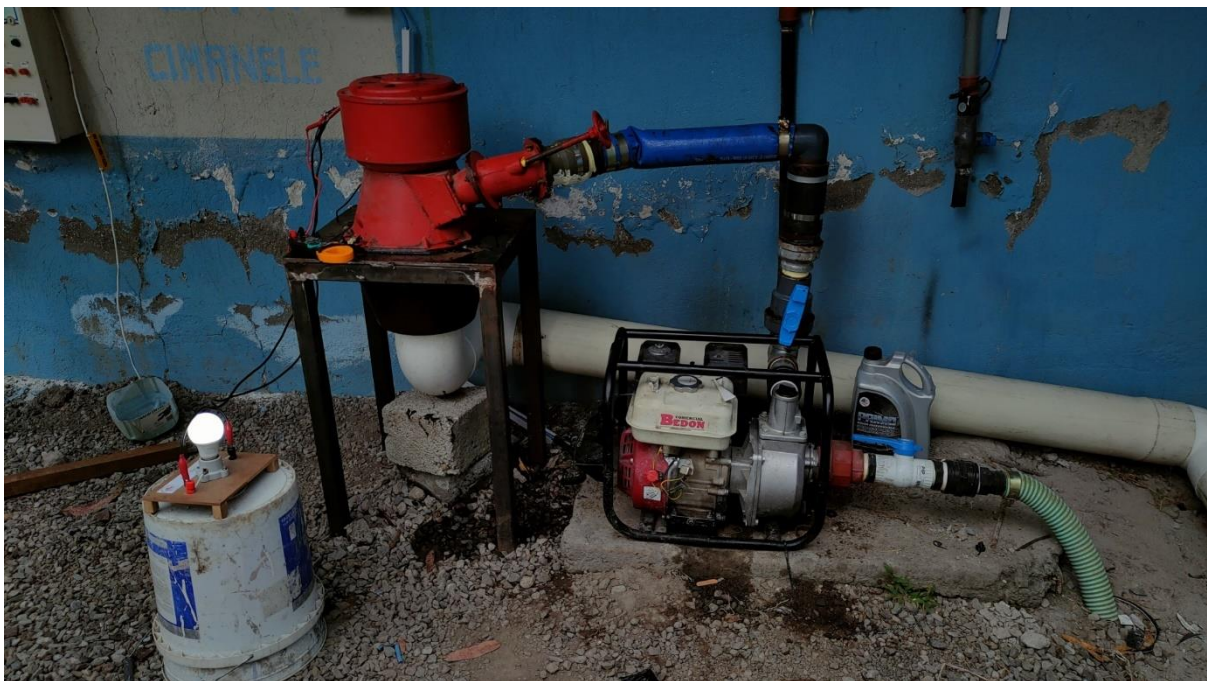


FIGURA 39
PRIMERA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CON UNA BOMBILLA ELÉCTRICA DE 30W (FUENTE: AUTOR)

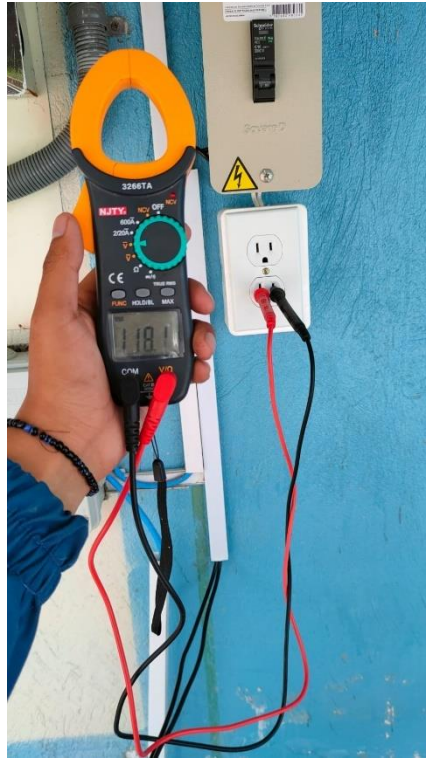


FIGURA 40
VOLTAJE INICIAL PARA PRUEBAS - 118.1V (FUENTE: AUTOR)

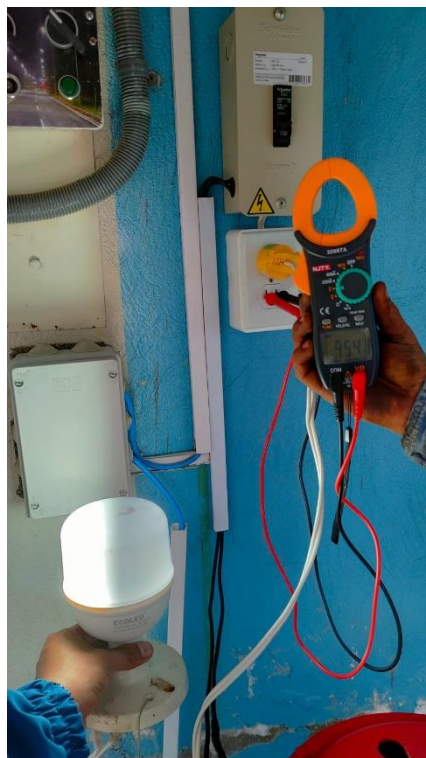


FIGURA 41
CAÍDA DE VOLTAJE CON CARGA DE 40W - 95.4V (FUENTE: AUTOR)



FIGURA 42
CORRIENTE ELÉCTRICA CON CARGA DE 40W - 0.238A (FUENTE: AUTOR)



FIGURA 43
CAÍDA DE VOLTAJE CON CARGA DE 12W - 98.7V (FUENTE: AUTOR)



FIGURA 44
CORRIENTE ELÉCTRICA CON CARGA DE 12W - 0.092A (FUENTE: AUTOR)



FIGURA 45
CAÍDA DE VOLTAJE CON CARGA DE 8.5W - 105V (FUENTE: AUTOR)



FIGURA 46
CORRIENTE ELÉCTRICA CON CARGA DE 8.5W - 0.130A (FUENTE: AUTOR)

| TABLA DE VALORES DE CAÍDAS DE VOLTAJE Y CORRIENTES MEDIDOS CON TRES CARGAS DIFERENTES | | | |
|---|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| Voltaje inicial (V) | Potencia de la carga (W) | Caída de voltaje (V) | Corriente eléctrica (A) |
| 118.1V | Carga 1 = 40W | 95.4V | 0.238A |
| | Carga 2 = 12W | 98.7V | 0.092A |
| | Carga 3 = 8.5W | 105V | 0.130A |

TABLA 3
TABLA DE VALORES DE CAÍDAS DE VOLTAJE Y CORRIENTES MEDIDOS CON TRES CARGAS DIFERENTES (FUENTE: AUTOR)

EN LA TABLA PRESENTADA SE VISUALIZAN LOS VALORES DE CAÍDAS DE VOLTAJE Y CORRIENTES OBTENIDOS DESPUÉS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS CON TRES CARGAS DE DIFERENTES POTENCIAS. PODEMOS OBSERVAR QUE, PARA LA PRIMERA CARGA CONECTADA DE 40W TENEMOS UNA CAÍDA DE 22.7V Y UNA CORRIENTE DE 0.238A, PARA LA SEGUNDA CARGA CONECTADA DE 12W SE OBTUVO UNA CAÍDA DE 19.4V Y UNA CORRIENTE 0.092A Y PARA LA TERCERA CARGA CONECTADA DE 8.5W OBTUVIMOS UNA CAÍDA DE VOLTAJE DE 13.1V Y UNA CORRIENTE DE 0.130A.

CONCLUSIONES

- Del análisis bibliográfico realizado se puede concluir que las picos centrales hidroeléctricas no son muy utilizadas en la actualidad y que su uso en lugares alejados del sistema nacional interconectado y con caudales bajos ayudaría a solucionar el problema de la falta de servicio eléctrico en estos lugares.
- La determinación del tipo de turbina a utilizar se ejecutó tomando en cuenta los parámetros dentro de los cuales debe estar una pico generadora hidroeléctrica y su disponibilidad en el mercado.
- Para la instalación e implementación de la pico generadora hidroeléctrica se adaptó la obra civil para reducir las vibraciones causadas, para esto se realizó el montaje del generador sobre una estructura metálica con su base enterrada sobre el piso del patio de pruebas de la carrera de Electricidad.

RECOMENDACIONES

- Es de mucha importancia impulsar el estudio y generar el interés en este tipo de proyectos los cuales pueden ser implementados para aprovechar las pequeñas fuentes hidrográficas con las que se cuenta en nuestro país.
- La pico generadora hidroeléctrica presenta un buen funcionamiento, se recomienda implementar un sistema que se encargue de la regulación de voltaje para compensar la caída de voltaje obtenida durante la conexión de las diferentes cargas.

Bibliografía

- Alcázar Ortega, M., Cañas Peñuelas, C., Escrivá Escrivá, G., Fuster Roig, V., & Roger Folch, J. (2019). *Generación, transporte y distribución de energía eléctrica*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia.
- Carta Gonzáles, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., Castro Gil, M. A., & Collado Fernández, E. (2013). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables* (2 ed.). Madrid, España: Pearson Education .
- CEDECAP. (2009).
- Chapman, S. (2012). *Máquinas eléctricas*. México: McGraw-Hill.
- Creus, A. (2014). *Energías Renovables 2da Edición*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Cuesta, L., & Vallarino, E. (2015). *Aprovechamientos hidroeléctricos 2da edición*. Madrid, España: Garceta.
- Jarauta, L. (2015). *Las energías renovables*. Barcelona: UOC.
- Mora, J. F. (2008). *Máquinas Eléctricas*. Madrid: McGraw-Hill.
- Ortiz Flóres, R. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas* . Bogotá: Ediciones de la U.
- Ortiz Flóres, R., Sánchez Barón, V. H., & Collazos Pino, A. (2015). *Microcentrales hidroeléctricas con aplicación de máquinas reversibles*. Cali: Universidad del Valle.
- Queijo, G. (2018). *Fundamentos de tecnología eléctrica*. Madrid: UNED.
- Sanz Osorio, J. F. (2016). *Energía hidroeléctrica* (2 ed.). Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Vargas, L., Haas, J., Reyes, L., Salinas, F., & Morata, D. (2020). *Generación de energía eléctrica con fuentes renovables*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria de Chile.
- Wagemakers, A., & Escribano, F. (2017). *Introducción a la teoría de circuitos y máquinas eléctricas*. Madrid: Dextra Editorial S.L.
- ZENSOR. (2021). *Manual de instalación y uso de turbina turgo 1kW*. Guayaquil.

Anexos



Identificación de reporte de similitud. oid:21463:260275221

NOMBRE DEL TRABAJO

BRYAN CUASQUI TESIS FINAL2.docx

AUTOR

Bryan Cuasqui Tambi

RECuento DE PALABRAS

12421 Words

RECuento DE CARACTERES

64934 Characters

RECuento DE PÁGINAS

63 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

12.2MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 4, 2023 3:11 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 4, 2023 3:12 PM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

Resumen