



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

TEMA

**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN CANAL ABIERTO MEDIANTE LA RUEDA  
HIDRÁULICA EN EL RÍO ARENILLAS, EL ORO ECUADOR**

AUTOR

Torres Ríos Juan Andrés

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de  
**INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO**

TUTOR

Ruilova Aguirre, María Luzmila

Guayaquil, Ecuador

18 de septiembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

### **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Torres Ríos Juan Andrés como requerimiento para la obtención del título de

**INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN  
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR

---

Ruilova Aguirre, María Luzmila

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 18 de septiembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Torres Ríos, Juan Andrés  
DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación **"ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANAL ABIERTO MEDIANTE LA RUEDA HIDRÁULICA EN EL RÍO ARENILLAS, EL ORO ECUADOR"**. Previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánico**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del trabajo de titulación referido.

Guayaquil, 18 de septiembre del 2018

EL AUTOR

---

TORRES RÍOS, JUAN ANDRÉS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

### **AUTORIZACIÓN**

**Yo, TORRES RÍOS, JUAN ANDRÉS**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación: “**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANAL ABIERTO MEDIANTE LA RUEDA HIDRÁULICA EN EL RÍO ARENILLAS, EL ORO ECUADOR**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 18 de septiembre del 2018

EL AUTOR

---

TORRES RÍOS, JUAN ANDRÉS

## Reporte Urkund

Informe del trabajo de titulación de la carrera de Ingeniería en Eléctrico Mecánica, con 4% de coincidencias pertenecientes al estudiante Juan Andrés Torres Ríos.

URKUND

Documento: [Titulación Torres Rios \(04000274\)](#)  
Presentado el: 2012-05-27 08:38 (40:00)  
Presentado por: Nestor Zamora (nestor.zamora@ua.esig.edu.ec)  
Enviado: nestor.zamora.esig@analisis.urkund.com  
Mensaje: Archivo Documento Titulación-Torres Rios.docx (11.computacion.com)

Lista de fuentes

Categoría	Enlace/Nombre de archivo
	<a href="http://descargas.01011482.com/files/11482-computacion-1-1-energia-computacion.html">http://descargas.01011482.com/files/11482-computacion-1-1-energia-computacion.html</a>
	<a href="http://pdf.america.pdf">http://pdf.america.pdf</a>
	<a href="http://www.america.comunicacion.com/2116/10/10/la-energia-y-la-educacion">http://www.america.comunicacion.com/2116/10/10/la-energia-y-la-educacion</a>
	PDF - GRUPO 7-Generador-Matematico.docx
	TESIS ALHANA FREDDY PEREZ UTIELTY.pdf

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAMAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:  
Análisis

para la generación de energía eléctrica mediante un sistema híbrido en canal abierto y su adaptabilidad en el río Arenalón, El Oro Ecuador

AUTOR: Torres Rios, Juan Andrés

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO

TUTOR: Luzmila Ruilova  
Guayaquil, Ecuador

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAMAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

IDENTIFICACIÓN

27/6/2018 5:17

Atte.

Ing. Luzmila Ruilova Aguirre.  
Profesora Titular Principal – Tutora.



**INFORME FINAL DEL TUTOR DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL-  
UTE**  
**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

---

Guayaquil, 4 de Septiembre de 2018

Ingeniero

**ARMANDO HERAS SÁNCHEZ**

Director

CARRERAS DE INGENIERÍAS EN TELECOMUNICACIONES, ELÉCTRICO-  
MECÁNICA

Y, ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

**ASUNTO: INFORME FINAL DE TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

En calidad de tutor del trabajo de titulación del estudiante JUAN ANDRÉS TORRES RÍOS con cédula de identidad No. 0706788718, con el tema "ANÁLISIS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA HIDRÁULICO EN CANAL ABIERTO Y SU ACEPTABILIDAD EN EL RÍO ARENILLAS, EL ORO ECUADOR".

Informo que he revisado el trabajo de titulación el mismo **que cumple** con los requisitos establecidos por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por lo que el estudiante se encuentra **APTO** para el proceso de sustentación. Adjunto al presente documento dos ejemplares del trabajo de titulación anillados.

La calificación del trabajo escrito es de **10/10 ("APTO")**

Atentamente,

**Ing. Luzmila Ruilova A.**

cc. Decano

---

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme llegar a cumplir un logro más en mi vida y poder culminar mi carrera universitaria.

A mi familia por ser el apoyo diario e incondicional en el transcurso de mi vida y mi carrera universitaria.

A todos los profesores que fortalecieron cada día mi conocimiento y me compartieron todo su saber y brindarme sus experiencias durante toda la carrera universitaria para así poder conseguir este logro tan anhelado de graduarme.

Juan Andrés Torres Ríos

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por acompañarme en cada uno de mis pasos y llevarme por el camino del bien, para así poder cumplir cada una de mis metas realizadas con mucho esfuerzo y dedicación.

A mi padre, por siempre estar pendiente de mis actividades y brindarme su apoyo en cualquier situación, a mi madre, por su constancia, esfuerzo y amor.

A la motivación que me han proporcionado mi esposa e hijo siendo ellos la fuerza y empuje para culminar mi carrera y ser mejor cada día.

A mis abuelitos, que siempre están pendientes de mí en sus oraciones encomendándome a Dios para que no me abandone y me sepa guiar.

A mi querido hermano, que ha sido el amigo incondicional, brindándome todo su apoyo y en general a toda mi familia por ser mi soporte.

A la universidad, por haberme formado como profesional y en general a todos los profesores que aportaron con su enseñanza durante los años transcurridos de mi carrera para enriquecer y ampliar mis conocimientos.

Juan Andrés Torres Ríos



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**RUILOVA AGUIRRE, MARÍA LUZMILA**  
TUTOR

---

**HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO**  
DIRECTOR DE CARRERA

---

**PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO**

# COORDINADOR DE TITULACIÓN

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN .....	xviii
ABSTRAC .....	xx
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	2
1.1    Introducción .....	2
1.2    Antecedentes .....	4
1.3    Justificación del problema.....	5
1.4    Definición del problema.....	6
1.5    Objetivos del problema de investigación .....	6
1.5.1  Objetivo general .....	6
1.5.2  Objetivos específicos .....	6
1.6    Metodología de investigación .....	6
1.7    Hipótesis.....	7
1.8    Alcances .....	7
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE ENERGÍA HIDRÁULICA EN CANALES ABIERTOS .....	8
2.1    Energía .....	8

2.1.1	Medición de la energía .....	8
2.2	Energía eléctrica.....	8
2.3	Corriente eléctrica .....	9
2.3.1	Corriente alterna.....	9
2.3.2	Corriente continua.....	10
2.4	Energía no renovable.....	10
2.5	Carbón.....	11
2.6	Petróleo o Gas natural .....	11
2.6.1	Planta térmica convencional .....	12
2.7	Energía nuclear.....	13
2.8	Energía renovable.....	13
2.9	Energía solar.....	14
2.9.1	Energía solar térmica.....	15
2.9.2	Energía solar fotovoltaica .....	16
2.9.3	Energía solar pasiva .....	19
2.10	Energía eólica.....	19
2.10.1	Aerogeneradores .....	20
2.10.2	Parques eólicos.....	22
2.11	Energía geotérmica.....	22
2.11.1	Central de vapor de destello.....	23

2.11.2	Central de vapor seco .....	23
2.11.3	Central de ciclo binario .....	24
2.12	Energía del mar .....	24
2.12.1	Energía undimotriz.....	24
2.12.2	Energía mareomotriz.....	26
2.13	Energía por biomasa.....	27
2.13.1	Biomasa residual .....	27
2.13.2	Biomasa natural.....	28
2.14	Energía hidráulica .....	28
2.14.1	Turbinas Francis.....	30
2.14.2	Turbinas Kaplan .....	31
2.14.3	Turbinas Pelton .....	31
2.14.4	Aliviaderos .....	32
2.14.5	Casa de máquinas .....	32
2.14.6	Transformadores .....	32
2.14.7	Líneas de transmisión.....	32
2.15	La rueda hidráulica.....	32
2.15.1	Ruedas con admisión superior .....	33
2.15.2	Ruedas con admisión intermedia .....	33
2.15.3	Rueda de admisión inferior .....	34

2.16	Generador eléctrico .....	35
2.16.1	Generador síncrono .....	35
2.16.2	Generador asíncrono .....	37
2.17	Sistema de transmisión.....	37
2.17.1	Transmisión por bandas .....	38
2.17.2	Transmisión por engranajes .....	38
2.18	Multiplicador de velocidad .....	39
2.19	Tablero de control .....	39
2.20	Elementos de control y línea de distribución eléctrica.....	40
2.20.1	Reguladores de carga .....	40
2.20.2	Baterías.....	41
2.20.3	Líneas de distribución .....	41
2.21	Obras de arte en la construcción .....	42
2.21.1	Cimentaciones .....	42
2.21.2	Casa de máquinas .....	43
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DESARROLLO .....		44
3.1	Análisis de la obtención de energía eléctrica en canal abierto en el río Arenillas provincia de El Oro .....	44
3.2	Normativa legal para el desarrollo de mini centrales de energía renovable en Ecuador.....	44

3.3	Estudio hidrológico en el río Arenillas .....	47
3.3.1	Datos hidrológicos y meteorológicos.....	50
3.3.2	Estadísticas de caudales medios.....	50
3.3.3	Caudal ecológico.....	51
3.3.4	Curva de duración de caudales.....	52
3.3.5	Caudal de diseño .....	53
3.4	Diseño del canal por el cual se transporta el caudal del río .....	54
3.4.1	Datos del canal .....	56
3.4.2	Ecuaciones para el cálculo de la pendiente, perímetro mojado y sección mojada.....	56
3.5	Diseño de la casa de máquinas.....	59
3.6	Selección del tipo de rueda hidráulica .....	61
3.6.1	Especificaciones de la rueda .....	61
3.6.2	Funcionamiento de la rueda .....	62
3.6.3	Teoría de la rueda de Poncelet .....	63
3.7	Cálculos para la fabricación de la rueda .....	65
3.7.1	Transferencia de energía .....	65
3.7.2	Momento de giro o torque.....	66
3.7.3	Velocidad tangencial.....	67
3.7.4	Velocidad angular de la rueda.....	67

3.7.5	Dimensiones de la rueda .....	68
3.7.6	Selección de chumaceras para la rueda hidráulica .....	68
3.8	Selección de la transmisión mecánica y multiplicador .....	68
3.9	Selección del generador .....	71
3.10	Transformador.....	73
3.11	Regulador .....	74
3.12	Banco de baterías .....	75
3.13	Inversor .....	76
3.14	Tablero de control .....	77
3.15	Líneas de distribución .....	78
3.16	Costos y análisis de factibilidad.....	79
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		82
4.1	Conclusiones .....	82
4.2	Recomendaciones.....	82
BIBLIOGRAFÍA .....		84

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla estadística de caudales medios.....	50
Tabla 2. Estadística para el cálculo de duración de caudales. ....	52
Tabla 3. Caudales correspondientes a cada mes. ....	53
Tabla 4. Valores correspondientes dependiendo del valor R.....	58
Tabla 5. Coeficiente de rugosidad según el tipo de material. ....	59
Tabla 6. Catálogo de generador de 12 polos.....	73
Tabla 7. Especificaciones del regulador .....	74
Tabla 8. Tabla de especificaciones del tipo de batería.....	76
Tabla 9. Especificaciones del inversor.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sentido de la corriente según su configuración por electrones. ....	9
Figura 2. Partes de una central eléctrica. ....	11
Figura 3. Sistema de energía térmica convencional.....	16
Figura 4. Elementos de una instalación fotovoltaica. ....	18
Figura 5. Modelo de casa con utilización de energía pasiva.....	19
Figura 6. Ejemplo de diferentes aplicaciones de los aerogeneradores.....	21
Figura 7. Curvatura de Poncelet.....	34
Figura 8. Diagrama de control. ....	40
Figura 9. Plano de implantación. ....	43
Figura 10. Situación y delimitación de la cuenca del río Arenillas. ....	49
Figura 11. Forma del canal. ....	54
Figura 12. Diseño del canal ....	56
Figura 13. Tipos de ruedas hidráulicas. ....	61
Figura 14. Forma de la rueda Poncelet ....	62
Figura 15. Demostración de transmisión de la rueda hidráulica hacia el eje del multiplicador.....	70
Figura 16. Catálogo de características del multiplicador.....	71
figura 17. Conexión correcta de las baterías.....	76
figura 18. Diagrama unifilar de la central de generación.....	78

## **RESUMEN**

En el siguiente trabajo de titulación se mencionan las formas más usadas por el hombre para la obtención de energía eléctrica, detallando su clasificación según las fuentes de origen y resaltando que la mejor manera de obtener energía es de una manera limpia utilizando recursos renovables que son de bajo impacto ambiental, dando realce a la energía hidráulica por ser el método que utiliza uno de los recursos más abundantes en la tierra como lo es el agua de los ríos y remontándonos a épocas pasadas en las que se empleaba otro tipo de método para la transformación de energía como lo es la rueda hidráulica que data de años antes de Cristo y que dio paso a lo que hoy son las grandes turbinas empleadas en las centrales hidroeléctricas.

En esta etapa de fundamentos que respaldan este trabajo de titulación se tiene información teórica con la cual se tendrá una idea más clara y precisa del tipo de sistema utilizado para la transformación de energía como, los datos estadísticos, ecuaciones para la elección de materiales, estructuras civiles para la adecuación del terreno, estudios hidrológicos, tipos de conexiones y generalidades de la rueda hidráulica.

Se da énfasis a la transformación de energía mediante el aprovechamiento del caudal del río por la rueda hidráulica, para de esta manera adaptar un sistema de rueda hidráulica al río Arenillas de la provincia de El Oro Ecuador por ser un método de obtención de energía limpia y que beneficiará a personas tanto como al medio ambiente y dar un aporte para que las personas tengan conciencia y se

decidan por usar energía limpia libre de contaminación, con todos los datos y ecuaciones se espera que sea de un fácil entendimiento para la generación de la energía.

**Palabras clave:** RUEDA HIDRÁULICA, ENERGÍA LIMPIA, ELÉCTRICA, HIDROELÉCTRICA, MEDIO AMBIENTE, CONTAMINACIÓN.

## **ABSTRAC**

The following degree work mentions the most used forms by the man for the obtaining of electrical energy, detailing its classification according to the sources of origin and highlighting that the best way to obtain energy is in a clean way using renewable resources with low environmental impact, accent hydraulic energy as the method that uses one of the most abundant resources on earth such as river water and going back to past times in which another type of method was used for the transformation of energy such as the hydraulic wheel that dates from years before Christ and gave way to what are now the large turbines used in hydroelectric power plants.

The foundations that support our research work are theoretical information with which will help us to have a clearer and more precise idea of the type of system used for the transformation of energy such as statistical data, formulas for the choice of materials, civil structures for the adaptation of the land, hydrological studies, types of connections and generalities of the hydraulic wheel.

Emphasis is given to the transformation of energy through the use of the river flow by the hydraulic wheel, in order to adapt a hydraulic wheel system to the Arenillas River in the province of El Oro, Ecuador, as it is a method of obtaining clean energy. that would benefit people as well as the environment and we would be able to give a contribution so that people have a conscience and decide to use clean energy free of contamination, with all the data and formulas it is expected that it will be easy for the generation of the Energy to be understand.

Keywords: HYDRAULIC WHEEL, CLEAN ENERGY, ELECTRICAL,  
HYDROELECTRIC, ENVIRONMENT, POLLUTION.

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Introducción**

El siguiente trabajo de titulación se refiere a la obtención de energía limpia mediante un sistema hidráulico en un canal abierto aprovechando la energía cinética que se genera tras el movimiento del agua del río, que a su vez golpea con los álabes de la rueda y transmitiendo su movimiento, generando el movimiento giratorio de la rueda y así su aprovechamiento para captar la energía mecánica y transformarla en energía eléctrica y poder ser aprovechada de diferentes maneras como pueden ser en el alumbrado, motores para riego, uso de cámaras de seguridad y más aplicaciones que son necesarias para la humanidad.

Para analizar este tema es necesario mencionar las causas que llevan a elaborarlo, entre algunas de las razones se encuentra el hecho que existen lugares a los cuales no llegan los tendidos eléctricos porque son alejados y cuentan con un río cercano, pueden ser beneficiados para que puedan gozar de energía eléctrica sin la necesidad de generadores a combustión haciendo uso de este sistema.

Este sistema de generación no solo va orientado hacia las poblaciones donde la energía eléctrica no llega, también aplica para cualquier zona donde exista un río y que la población se quiera beneficiar para ser auto generadores de la energía que ellos consumen.

La importancia de este tema está enfocada, en las necesidades de las personas y en el cuidado de nuestro medio ambiente ya que se genera energía limpia obtenida de un recurso renovable. Teniendo presente que cada día se ve más

afectada la capa de ozono por las grandes cantidades de dióxido de carbono producidas por centrales de energía con recursos no renovables, por lo que se debería contribuir con ideas para mantener y cuidar nuestro medio ambiente que es el único lugar donde podemos vivir y que, a causa de las malas decisiones, malos hábitos, cultura general lo perjudicamos y ponemos en riesgo nuestra vida y la de los demás.

Este tema de investigación se basa en una idea extraída de la ingeniería de 200 años antes de Cristo donde los romanos y griegos usaban grandes molinos de agua con el fin de moler granos y producir harina o en herrerías para elaborar artefactos metálicos, esta idea es llevada con el paso de los años a lo que hoy son las grandes represas de agua (XIX congreso nacional de ingeniería mecánica, 2012).

La idea principal de esta investigación es aprovechar el caudal de los ríos sin la necesidad de represarlos y así satisfacer una necesidad humana como lo es la energía eléctrica. En agricultura también sería de gran apoyo ya que con la misma estructura se podría llevar la misma agua del río hacia lugares apartados del mismo y poder servir de almacenamiento para riego o para el consumo de personas y animales.

## **1.2 Antecedentes**

En la antigüedad los romanos y griegos aprovechaban el caudal de los ríos para usar esa energía; utilizando molinos hidráulicos para obtener harina o para llevar el agua por tuberías a lugares lejanos al río y usarlo para regadío o consumo de las personas y los animales. Sin embargo, la posibilidad de emplear esclavos y animales de carga retrasó su aplicación hasta el siglo XII. En la edad media, las ruedas hidráulicas generaban una potencia de cincuenta caballos (Espacio Eureka , 2016).

La energía hidráulica en los tiempos de la revolución industrial fue de mucha ayuda ya que se empezaba a aprovechar el trabajo de los ríos o canales y las industrias cada vez necesitaban de menos hombres para realizar sus trabajos ya que fueron sustituidos por las máquinas (Velasco, 2009).

La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América. Para la instalación de más de una rueda en el mismo río era necesario la adecuación de canales para asegurar un flujo permanente y de la misma manera cuando el desnivel era mayor a cinco metros se elaboraban represas, la construcción de grandes represas de contención todavía no era posible

Las represas más primitivas se elaboraban a base de troncos atravesando el río, dejando en él parte del ramaje de manera que los materiales, que eran arrastrados por el río, iban a parar entre las ramas, de esta forma la represa se construía de forma natural, por acumulación de estos materiales.

Los romanos conocían y usaban las ruedas hidráulicas como una fuente de fuerza mecánica, y la historia recoge el nombre de Vitruvius como el ingeniero que llevó a cabo tal modificación (Universidad Politecnica de Valencia, 1995).

### **1.3 Justificación del problema**

En el desarrollo de este sistema de obtención de energía limpia por el caudal del río, es justificada ya que se está utilizando un recurso renovable que se puede aplicar a cualquier zona en la que se encuentre un río cercano, beneficiándola de energía eléctrica.

También se puede decir que el medio ambiente no se ve afectado y más bien es un aporte para mantener nuestro ecosistema libre de contaminación, poniendo en segundo plano los generadores a combustión.

Desde el punto de vista económico también es una ventaja ya que estaría dejando atrás la energía de la empresa eléctrica y usaría la energía que esta pequeña central genera, los gastos que se deben tener en cuenta serían los gastos de mantenimiento de la pequeña central que se debe hacer cada cierto tiempo para mantenerla siempre en funcionamiento y brindando una energía de calidad.

## **1.4 Definición del problema**

La contaminación a la capa de ozono se ha convertido en el principal problema, con el desarrollo continuo del ser humano y su afán de generar energía ha producido un gran daño al medio ambiente mediante la utilización de materiales inflamables que liberan gran cantidad de dióxido de carbono.

## **1.5 Objetivos del problema de investigación**

### **1.5.1 Objetivo general**

Realizar un estudio para la generación de energía limpia mediante el aprovechamiento del caudal del río, sin necesidad de represar el agua y su aplicabilidad en el río Arenillas de la provincia de El Oro.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Analizar el tipo de estructura y sus características según la cantidad de energía que se desea obtener.
- Comprobar datos obtenidos de ecuaciones y analizar si el proyecto es factible.
- Realizar y analizar costos de construcción y recuperación de la inversión.

## **1.6 Metodología de investigación**

El tipo de metodología utilizado es explicativo, ya que se detalla el funcionamiento de una mini central de generación eléctrica en canal abierto empleando la rueda hidráulica de una manera fácil de entender, con el fin de

aportar a la humanidad para que se pueda hacer uso de este tema de titulación para el aprovechamiento de ideas y poder implementarlo o mejorarlo.

### **1.7 Hipótesis**

La generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de recursos naturales renovables, son un aporte significativo para la lucha contra la contaminación del medio ambiente y al aprovechar el caudal de un río sin necesidad de represararlo para generar electricidad, se contribuye positivamente a la reducción de la contaminación.

### **1.8 Alcances**

- Implementación de la mini central de generación en canal abierto mediante la rueda hidráulica de tal manera que se pueda comprobar los datos recolectados en este tema de titulación.
- Beneficiar a personas que no poseen energía eléctrica debido a que se encuentran en zonas donde los tendidos eléctricos no llegan.
- Aportar a la reducción de la contaminación del medio ambiente.

## **CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE ENERGÍA HIDRÁULICA EN CANALES ABIERTOS**

### **2.1 Energía**

La energía es la capacidad de un cuerpo para efectuar un trabajo (aprendemostecnologia.org, 2015).

El principio de conservación de la energía expresa que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. (aprendemostecnologia.org, 2017).

#### **2.1.1 Medición de la energía**

Las unidades de medición más empleadas son las siguientes:

- Julios (J).
- Kilovatio por hora (Kwh).
- Caloría (Cal).

### **2.2 Energía eléctrica**

La energía eléctrica es la forma de energía más empleada debido a su gran capacidad de transformarse en otras formas de energía, el transporte a largas distancias es sencillo y las pérdidas son relativamente bajas.

## 2.3 Corriente eléctrica

La corriente eléctrica se la define como el flujo de electrones a través de un material conductor, existen dos tipos de corriente eléctrica y se los menciona a continuación:

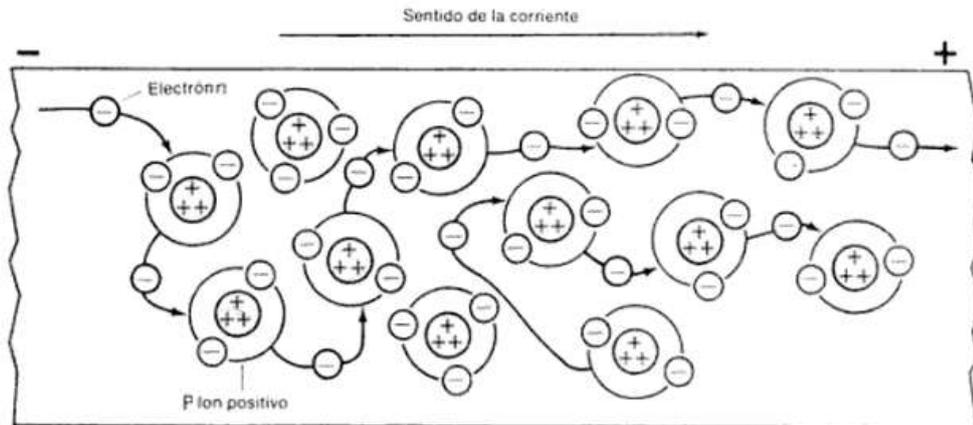


Figura 1. Sentido de la corriente según su configuración por electrones.

### 2.3.1 Corriente alterna

Este es el tipo de corriente utilizado cotidianamente en hogares, su forma de onda es senoidal.

Esta corriente puede ser transformada en corriente directa por medio de rectificadores.

Este tipo de corriente es adecuada para la distribución de energía eléctrica.

### **2.3.2 Corriente continua**

Este tipo de corriente es utilizada para la transmisión a largas distancias, una vez que llega a subestaciones es transformada en corriente alterna para su debida distribución a viviendas, escuelas, entre otros.

La forma de su señal es una recta, esto quiere decir que los electrones circulan en un solo sentido (Senner, 1994).

### **2.4 Energía no renovable**

La forma de obtención de este tipo de energía afecta al medio ambiente y al recurso que se utilice para la generación de la misma, estos recursos tardan varios años en regenerarse (Josep Puig, 1990).

Este tipo de energía es obtenida a través de un recurso natural que a diferencia con la energía renovable dicho recurso no es aprovechado nuevamente y son obtenidas de fuentes que tienen un largo tiempo en renovarse por lo tanto son limitadas.

La generación de energía de un recurso no renovable tiene como ventaja su bajo costo.

Las desventajas de esta energía son:

- No es un recurso renovable.
- Contaminación de la capa de ozono por la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono.
- Se corre un mayor riesgo en las plantas de generación.

Las fuentes de energía no renovable son las siguientes:

## 2.5 Carbón

Es una fuente de origen vegetal, que puede encontrarse con la quema de madera.

Es una de las principales fuentes de energía usadas hace muchos años con el descubrimiento del fuego, este método de obtención de energía fue el primero en la historia y su uso fue disminuyendo con el descubrimiento de nuevos métodos de generación, en la actualidad se puede encontrar sitios en los que este tipo de energía es utilizado a manera de hornos o estufas.

Su uso para la generación de energía demanda una gran cantidad de contaminación para el medio ambiente por su cantidad de dióxido de carbono y la tala de vegetación para la producción del carbón.

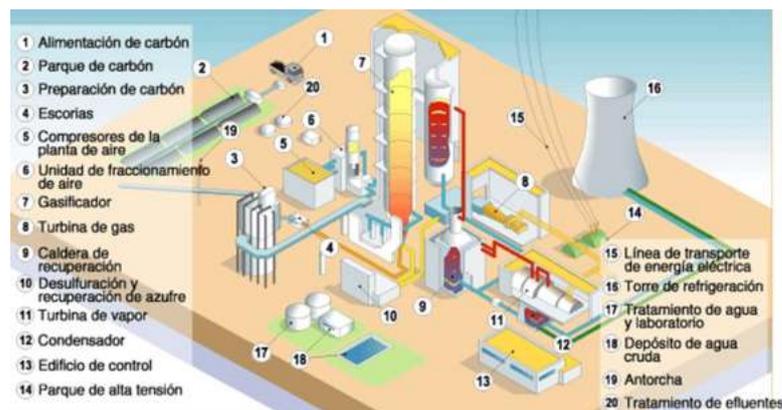


Figura 2. Partes de una central eléctrica.

## 2.6 Petróleo o Gas natural

Estos dos tipos de fuente de energía son recursos naturales no renovables, siendo una desventaja para este tipo de energía.

Estos son encontrados en el interior de la tierra, la obtención de estas fuentes de energía viene de la descomposición de microorganismos y animales que existieron hace muchos años atrás y están sepultados en las entrañas de la tierra.

El uso de este tipo de recurso tiene un gran impacto ambiental siendo uno de los principales en causar el efecto invernadero y los cambios climáticos que se han presentado como, grandes olas de calor, afectando el deshielo de los polos y poniendo especies en peligro de extinción.

### **2.6.1 Planta térmica convencional**

Este tipo de centrales producen energía a base de combustibles fósiles en los que participan el carbón, petróleo o gas natural, a continuación la descripción de su funcionamiento (unesa, s.f.).

Una gran cantidad de carbón es almacenado en un parque para su posterior uso, siendo transportado hacia una tolva para ser pulverizado por un molino, obteniendo una mejor combustión con este proceso, se transporta el carbón pulverizado hacia la cardera donde se va a realizar la combustión (unesa, s.f.).

La caldera está formada por varios tubos que contienen agua, de esta manera el calor de la combustión evapora el agua dentro de ellos y finalizan en la turbina del generador o alternador, el vapor es transferido a un condensador que lo enfría y se convierte en líquido y regresa a los tubos de la caldera (unesa, s.f.).

## **2.7 Energía nuclear**

Este tipo de energía resulta del uso de un recurso natural no renovable y su nivel de contaminación es el más alto en comparación con otros métodos de generación de energía, el riesgo que se tiene con el material que se manipula en estas centrales es muy peligroso, en caso de una catástrofe en una planta de generación nuclear sus consecuencias serían fatales (energía solar fotovoltaica, 2007).

El funcionamiento de estas plantas nucleares se basa en la equivalencia que existe entre masa y energía, el proceso usado es el de fisión nuclear que consiste en provocar la ruptura de un núcleo atómico y por lo general es de uranio o plutonio.

## **2.8 Energía renovable**

Es una forma de energía amigable con el medio ambiente ya que es obtenida de un recurso natural y no afecta al mismo recurso. Siendo una de las energías más aconsejables por su bajo efecto ambiental (Viloria, 2013; unesa, s.f.).

Los avances tecnológicos que se han realizado por el ser humano hasta la actualidad, han permitido generar por varios métodos una energía libre de contaminación, a continuación, una reseña de cada método por el cual es recolectada la energía y transformada en energía eléctrica.

## 2.9 Energía solar

Este tipo de energía es extraída de la radiación producida por el sol, que llega a la tierra y es captada mediante diferentes tipos de colectores de energía, a continuación se menciona las ventajas de este tipo de energía (Luis Jutglar Banyeras, 2004):

- No requiere de ningún proceso en el que exista la combustión de ningún elemento por lo tanto no contamina el medio ambiente.
- Proveniente de un recurso natural inagotable.
- La materia prima de sus equipos es reciclable.
- Es aplicable en zonas alejadas donde no llegan los tendidos eléctricos como en montañas o en islas.
- Es de fácil mantenimiento.

Desventajas de la energía solar:

- Las centrales son de bajo rendimiento.
- Tienen un costo alto y su recuperación es a largo plazo.
- En el caso de la agronomía las instalaciones ocuparían lugares donde se pueda sembrar o ser aprovechada la tierra para funciones agrónomas.

Tipos de energía solar:

Se tienen distintos tipos, dependiendo del método, transformación y aplicación que se realice a la energía:

- Energía solar térmica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Energía solar pasiva.

### 2.9.1 Energía solar térmica

Es la recolección de la energía de los rayos del sol para poder crear vapor y de esta manera poder calentar agua o poner en funcionamiento sistemas de calefacción.

Los tipos de centrales termo-solar

existentes son nueve, las más recomendables y usadas son los que utilizan concentrador cilindro parabólicos, para realizar la transformación de la radiación solar en energía eléctrica y a continuación mencionaremos los nueve tipos de centrales termo-solares:

- Central de concentrador parabólico.
- Central de concentrador cilindro parabólico con almacenamiento térmico utilizando sales inorgánicas.
- Central de concentrador lineal Fresnel.
- Central de receptor central con generación directa de vapor.
- Central de receptor central con sales inorgánicas fundidas.
- Central de discos parabólicos equipados con motor Stirling.
- Central híbrida con caldera de gas.
- Central de concentrador cilindro parabólico con hibridación con biomasa.
- Central de concentradores cilindros parabólicos hibridados con centrales de ciclo combinado.



*Figura 3.* Sistema de energía térmica convencional.

### **2.9.2 Energía solar fotovoltaica**

Es la recolección de la energía de los rayos del sol mediante celdas fotovoltaicas que transforman los fotones en energía eléctrica. Los elementos a usar en una instalación solar fotovoltaica son los siguientes:

- Panel solar
- Regulador
- Acumuladores
- Inversor

Panel Solar:

El panel solar está constituido por varias células que se encuentran conectadas entre ellas, de tal manera que se los puede ajustar sobre una estructura, dando la forma del panel solar.

La salida de estos paneles da como resultado una corriente continua, los diseños de los paneles vienen dados en (6v, 12v, 24v.).

Dependiendo de la potencia máxima que se desea generar se debe hacer los cálculos para saber la cantidad de paneles necesarios para cubrir la demanda.

Cuando se necesite poca potencia se puede usar desde un panel fotovoltaico, en el caso de cargar una batería de un celular o en los radares ubicados en las carreteras, etc.

Los tipos de paneles fotovoltaicos vienen dados por cada tecnología de cada fabricante y los tipos son los siguientes:

- Silicio amorfo.
- Silicio poli cristalino.
- Silicio mono cristalino.

Regulador:

El regulador es un elemento que nos permite el correcto funcionamiento en las instalaciones fotovoltaicas, teniendo como función mantener una correcta carga de las baterías o acumuladores, también el de evitar las sobrecargas y en el caso de las descargas de los acumuladores evita la descarga total.

También se lo puede considerar como un elemento de seguridad.

Existen tipos de reguladores para cada instalación y eso depende si es en serie o en paralelo, todos estos aspectos vienen dados por los catálogos de fabricación y de instalación de los equipos.

### Acumuladores:

Los acumuladores son bancos de baterías que aseguran la entrega fija de energía con una tensión fija y que cubren la capacidad que se necesita utilizar.

El uso de un banco de baterías es indispensable porque estas instalaciones fotovoltaicas dependen de la incidencia del sol sobre los paneles que se encargan de recolectar la energía del sol y se tiene como obstáculo las épocas del año donde la radiación es mínima, los días nublados, las noches, etc.

Los tipos de baterías que existen son los siguientes:

- Plomo ácido.
- Níquel cadmio.
- Níquel metal.
- Ion litio.

### Inversor:

El inversor es un elemento que transforma la corriente producida por los paneles y que es almacenada en las baterías a la corriente que usamos cotidianamente en las viviendas, el inversor pasa de una corriente continua (cc) a una corriente alterna (ac).



Figura 4. Elementos de una instalación fotovoltaica.

### 2.9.3 Energía solar pasiva

Es la recolección de la energía de los rayos del sol mediante un conjunto de estructuras colocadas estratégicamente, que aseguran un mínimo consumo de ventilación, calefacción e iluminación, no se necesitan elementos mecánicos (Castells, 2012; Chwieduk, 2014).

Los elementos usados para el aprovechamiento de la energía pasiva son:

- Masa térmica.
- Acristalamiento.

El uso de este tipo de energía es utilizado en grandes edificaciones para disminuir el impacto ambiental.



*Figura 5. Modelo de casa con utilización de energía pasiva.*

### 2.10 Energía eólica

Este tipo de energía es generada mediante el aprovechamiento de corrientes de viento que hacen trabajar los aerogeneradores, las corrientes de viento son el resultado de las diferencias de presión en la atmosfera que en gran parte se debe a los choques de temperatura producida por el sol.

La energía eólica es una energía limpia y el recurso natural que se utiliza es inagotable y solo depende de la ubicación de los parques eólicos ya que existen zonas en las que la velocidad del viento es alta.

La energía eólica reduce la contaminación del medio ambiente.

### **2.10.1 Aerogeneradores**

Los aerogeneradores están conformados por una hélice, un multiplicador de rpm y por un alternador, la fuerza del viento golpea la hélice y produce el giro de la misma, que a su vez transmite el giro a una caja multiplicadora y luego va al alternador y esta se transforma en energía eléctrica.

Los aerogeneradores se clasifican en dos tipos, los cuales mencionaremos a continuación:

#### **Aerogeneradores de eje horizontal**

Estos son los más utilizados para la generación de energía eléctrica y se clasifican en:

- Potencia baja o media, estos tienen muchas palas y son utilizados en viviendas apartadas de la ciudad su generación puede ser hasta 50kw.
- Alta potencia y son de uso industrial, suelen tener tres palas y su generación es de más de 50kw.

#### **Aerogeneradores de eje vertical**

Este tipo de aerogeneradores no necesitan orientación y el viento golpea las palas para generar el movimiento y transmitirlo al generador.

Los aerogeneradores de este tipo no son tan usados.



*Figura 6.* Ejemplo de diferentes aplicaciones de los aerogeneradores.

### **2.10.2 Parques eólicos**

La concentración de varios de estos aerogeneradores se denomina como parque eólico y para realizar un proyecto del mismo, la ubicación es el primer paso que se debe estudiar para determinar la efectividad del lugar ya que se necesita que el viento de la zona cuente con gran velocidad y que las corrientes sean constantes.

Cada aerogenerador tiene su capacidad de producción y esta es proporcional a su tamaño.

#### Aspectos medioambientales

Las ventajas de este tipo de centrales eólicas a diferencia de las centrales son que utilizan combustibles fósiles, que su generación es limpia y libre de emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.

Por otra parte, estas instalaciones producen otro tipo de impacto ambiental, que en comparación con otros métodos de generación es mínima.

Estas centrales eólicas producen un impacto sobre la flora, la fauna, el impacto visual, impacto auditivo, efecto sombra y la ocupación de un extenso terreno (Navales, 2008).

### **2.11 Energía geotérmica**

Este tipo de energía es generada mediante el aprovechamiento del calor del centro de la tierra, mientras mayor profundidad es mayor la temperatura y se genera más energía eléctrica.

Existen dos formas en las cuales podemos usar la energía de origen geotérmico:

- Uso directo del calor.
- Uso eléctrico del fluido.

El uso directo del calor es empleado en edificaciones o viviendas como calefacción, para procesos industriales como fábricas de papel, harinas de pescado, secado de vegetales y frutas, para calefacción de invernaderos, establos y criaderos, etc. (Chwieduk, 2014).

El uso eléctrico del fluido consiste en el movimiento de las turbinas por medio del vapor que a su vez producen el giro del generador eléctrico.

El funcionamiento de las centrales geotérmicas consiste en la fracturación de la roca y tratando de encontrarla no muy profunda para reducir los costes de perforación seguidamente se lleva el vapor y el agua a la central y es separada para aprovechar el vapor para hacer girar la turbina de la central y transformar la energía mecánica en energía eléctrica, luego ser transformada y llevada a las redes de alimentación para el consumo de hogares, fabricas, escuelas etc. (Bayeras, 2004).

A continuación, se mensiona los tipos de centrales:

### **2.11.1 Central de vapor de destello**

El funcionamiento de este tipo de centrales trabaja elevando la presión del agua caliente a través de tuberías y son introducidas en depósitos de baja presión, en el cambio de presión el agua se evapora y el líquido se separa haciendo mover la turbina, el sobrante de vapor y de agua se vuelve a utilizar.

### **2.11.2 Central de vapor seco**

El funcionamiento de este tipo de centrales es más directo, usan el vapor a una temperatura de 160 grados parcialmente para generar el movimiento de la turbina.

Este tipo de centrales fueron de los primeros en generar electricidad, su historia se remonta a más de 100 años.

Las centrales de vapor seco son más simples y menos costosas.

### **2.11.3 Central de ciclo binario**

El funcionamiento de este tipo de centrales consiste en que el agua que se emplea está moderadamente caliente y junto al mismo se hace circular otro líquido con propiedades diferentes a las del agua con un punto de ebullición menor al del agua y de esta manera se evapora y produce el movimiento de la turbina.

Este tipo de centrales tienen un funcionamiento parecido al de las centrales de combustible fósil o nuclear, ya que un fluido circula por un circuito cerrado.

## **2.12 Energía del mar**

El mar es uno de los recursos naturales con gran extensión en el planeta y de alguna o de muchas maneras nos tenemos que beneficiar de él, una de ellas es en la generación de energía eléctrica, en la generación de este tipo de energía existen distintos métodos, a continuación mencionaremos los tipos de energía aprovechada del mar:

### **2.12.1 Energía undimotriz**

Es un método que depende del movimiento de las olas y es un método libre de contaminación, su generación depende del oleaje y su generación es proporcional a la fuerza de las olas. Este método fue descubierto en el año 1980.

Los dispositivos usados para captar la energía de las olas se clasifican de la siguiente manera:

#### Dispositivos on-shore

Este tipo de dispositivo es instalado en la costa en lugares como acantilados o también se instalan diques en el fondo del agua, este tipo de dispositivo es de fácil mantenimiento e instalación. A este tipo de dispositivos se los conoce como de primera generación.

#### Dispositivos near-shore

Este tipo de dispositivos se instalan en aguas poco profundas y son apoyados por gravedad sobre el fondo o son flotantes, estos dispositivos se los llama de segunda generación.

#### Dispositivos off-shore

Esta clase de dispositivos se instalan fuera de la costa, en aguas profundas, este tipo de dispositivos es más eficiente porque al estar en alta mar el oleaje es mayor y producen más energía, se los conoce como dispositivos de tercera generación.

### **2.12.2 Energía mareomotriz**

Este tipo de energía es aprovechada de la variabilidad del nivel del mar, producido por las mareas que dependen de la posición de la luna. Es una energía limpia y que no produce emanaciones de dióxido de carbono como las energías de recursos no renovables, el único impacto ambiental que se produce es la construcción de represas para mantener el agua mientras se espera que la marea baje y poder empezar con la generación y esto ocasiona que los animales que habiten en esta zona se vean afectados por la retención del agua (Origgi, 1983).

A continuación, se menciona los tipos de obtención:

Por el flujo de la marea

Este utiliza un método muy parecido a la energía eólica, usando la corriente de las mareas para hacer girar la turbina que se encuentra por debajo del nivel del agua, no causa ningún tipo de impacto ambiental y su costo a diferencia de otros métodos es muy bajo.

Mareomotriz dinámica

Este método no emplea ni la corriente de la marea ni el agua represada, este método usa la diferencia de mareas a lo largo del mar o el océano. Estas centrales de generación son largas y la diferencia de mareas es de aproximadamente 2.5 metros en aguas con corrientes de mareas paralelas.

Presa de mareas

Este método es muy parecido al de las centrales hidroeléctricas porque el principio es el mismo, represar agua y obtener energía eléctrica mediante la liberación de la misma haciéndola pasar por conductos que la llevan hasta las turbinas para que la fuerza de la presión del agua la mueva y la energía mecánica de la turbina sea convertida en energía eléctrica. Este método de obtención de

en energía si causa impacto ambiental, pero a diferencia de otros métodos este no produce emanaciones de dióxido de carbono.

### **2.13 Energía por biomasa**

Este tipo de energía se obtiene a partir de material orgánico, por lo general son desechos y su método de extracción de energía puede ser por dos métodos (JESÚS FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, 2015):

- Combustión.
- transformación natural o artificial.

La energía por biomasa es una fuente inagotable, es una energía renovable que ayuda con el abastecimiento de energía sin contaminación y que ayuda a la limpieza de bosques, los costos de esta clase de energía es inferior a la energía convencional (JESÚS FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, 2015).

La biomasa es el primer combustible empleado por el ser humano y el único hasta la revolución industrial.

La biomasa también tiene clasificación dependiendo su procedencia, a continuación, se detallan los tipos de biomasa:

#### **2.13.1 Biomasa residual**

El aprovechamiento de residuos urbanos, ganaderos, madera y residuos agrícolas como cáscaras, paja.

Este tipo de biomasa se denomina biomasa seca ya que su porcentaje de humedad es menor a los 60%.

### **2.13.2 Biomasa natural**

El aprovechamiento de residuos de bosques, plantas de cultivo, matorrales y en los casos de las explotaciones forestales se aprovecha del residuo de la tala.

Este tipo de biomasa se denomina biomasa húmeda debido a que su humedad es mayor del 60%.

#### **Procesos de conversión**

En el caso de la biomasa seca, se utilizan procesos termoquímicos de:

- Combustión directa.
- Pirólisis.
- Gasificación.
- Licuefacción.

En el caso de la biomasa húmeda, se utilizan procesos de:

- Proceso físico (presión).
- Proceso bioquímico (fermentación).

### **2.14 Energía hidráulica**

La energía hidráulica aprovecha el recurso natural con mayor abundancia como lo es el agua de los ríos, por tanto, es renovable y una energía limpia.

“Las centrales hidroeléctricas pueden definirse como Instalaciones mediante las que se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica.” (ESHA, 1998).

Este tipo de energía aprovecha la energía cinética del flujo de agua. El aprovechamiento de la misma, en épocas antes de Cristo era usado para la molienda de granos y la forja de metales.

El método consistía en el aprovechamiento del caudal del río o salto de agua, ubicando una rueda hidráulica de tipo horizontal o vertical, el movimiento de esta rueda era transmitido a un sistema que dependiendo de su función, movía bolas que realizaban el trabajo de trituración en el caso de la molienda de granos y en el caso de las herrerías se movía un martillo para la forja de metales, esta rueda hidráulica dio paso a que con los avances tecnológicos se creara lo que ahora son las turbinas utilizadas en las centrales hidroeléctricas (Domínguez, 2013)

En la actualidad existen las grandes represas de agua con centrales hidroeléctricas que con los avances tecnológicos se ha podido disminuir las pérdidas y tener un mejor aprovechamiento para llegar a producir una mayor y mejor energía eléctrica.

El funcionamiento de las hidroeléctricas depende de la ubicación de la represa, tiene que ser una zona en la que desemboquen varios ríos y que las lluvias sean constantes, para asegurar un buen nivel en la represa y que la generación sea máxima.

Existirán meses del año en que generará menos energía por la ausencia del invierno y otros meses en los que se tendrá que desfogar el agua del embalse por la abundancia de agua y exceso de los niveles.

Una vez represada el agua se la lleva por tuberías especiales que van hacia la turbina, las tuberías tienen características especiales y depende el tipo estas varían. Existen tuberías que aseguran un mínimo de pérdidas por fricción

y de presión gracias a la superficie de su interior, también reducen el golpe de ariete, resisten a la corrosión, a la abrasión, entre otros.

“La turbina hidráulica es una turbo máquina motora, y por tanto esencialmente es una bomba roto dinámica que trabaja a la inversa.” (Claudio, 1986).

Los tipos de turbinas más empleados son tres y a continuación su descripción:

#### **2.14.1 Turbinas Francis**

Fueron diseñadas en el año 1848 por James Francis, su aspecto es similar a un caracol para asegurar la velocidad del flujo, que sea constante en cada parte de la turbina, consta de un pre distribuidor compuesto por álabes fijos que mantienen la estructura de la caja y otorga rigidez transversal, ayudan con las pérdidas hidráulicas, su distribuidor se asegura de direccionar el flujo al rodete y regular el caudal para de esta forma poder modificar la potencia de la turbina, el rodete es encargado del movimiento y es aquí donde se realiza el cambio de energía potencial, la presión y energía potencial que al hacer mover la turbina ésta hace girar el alternador y se genera energía eléctrica.

Las ventajas de este tipo de turbinas nos permiten reducir perdidas hidráulicas por su diseño, permiten alta velocidad de giro.

Las desventajas de este tipo de turbinas son la baja tolerancia de presión en los sellos, por lo cual no es recomendado usarlas en alturas superiores a 800 metros, hay que controlar la cavitación.

### **2.14.2 Turbinas Kaplan**

Estas fueron diseñadas por Viktor Kaplan y son de tipo regulable, tanto los alabes del rodete como los distribuidores, aunque se dice que cuando el distribuidor no es regulable la turbina es semi-kaplan.

Son turbinas de admisión axial o radial.

Se utiliza este tipo de turbinas en saltos pequeños, pero con un gran caudal.

### **2.14.3 Turbinas Pelton**

Estas fueron diseñadas por Lester Allan Pelton y son las turbinas más eficientes empleadas en las hidroeléctricas.

Su funcionamiento se basa en la combinación de presión, volumen y velocidad del fluido dependiendo de la capacidad de la turbina y el generador a usar, la inyección del fluido es lanzada hacia la turbina por una tobera directamente a las paletas en sentido tangencial, golpeando el borde de la turbina, su desfogue es por el otro sentido del que ingresa, de este modo se aprovecha mejor la energía del agua.

Existen varias turbinas pelton pequeñas usadas para la generación de energía eléctrica para uso doméstico.

El chorro es regulable que consta de una válvula de aguja, el chorro contiene una combinación de agua y aire para asegurar una buena regulación, la variación se lleva a cabo mediante estrangulación de la sección de salida del inyector y esta puede ser en forma automática o manual.

#### **2.14.4 Aliviaderos**

Estos sirven para el control de los niveles en la represa, evitan el desbordamiento. Estos pueden situarse en el fondo de la presa o en la superficie.

#### **2.14.5 Casa de máquinas**

En esta se ubican las turbinas, alternadores o generador entre otros elementos.

#### **2.14.6 Transformadores**

Estos se encargan de preparar la energía para la transportación, elevando el voltaje de la energía eléctrica generada en la central hidroeléctrica, de esta manera se asegura el buen traslado de la energía.

Otros transformadores reducen el voltaje en los lugares donde la energía es utilizada.

#### **2.14.7 Líneas de transmisión**

Son utilizadas para la transportación de energía eléctrica a grandes distancias y a niveles de voltaje elevados, estas forman parte de una unión entre la central y las redes de distribución, en la construcción de estas líneas es utilizado conductores metálicos desnudos.

### **2.15 La rueda hidráulica**

En la antigüedad su desarrollo fue usado en norias que son máquinas muy antiguas con el fin de elevar agua, el inventor de la rueda hidráulica es desconocido, pero su invención fue dada en el desarrollo romano y dejó de ser usada a mediados del siglo XX. Su desarrollo fue analizado como un instrumento para el aprovechamiento del agua de los ríos como fuente de

energía, transformando la energía mecánica útil para el accionamiento de diferentes máquinas que facilitan procesos como los de trituración en el caso del cereal para hacer harina, el forjamiento de metales en las herrerías, la fabricación de papel, pólvora, aceite, la trituración de la caña de azúcar en los trapiches.

Con el desarrollo de la rueda hidráulica y de más ingenios fueron surgiendo nuevas ideas y numerosos textos con aportes para la mejora de estos ingenios, los aportes mayoritarios apuntaban siempre a la rueda hidráulica.

El estudio de la rueda hidráulica abarca conocimientos en mecánica, energía hidráulica y cinemática de máquinas.

Clasificación de la rueda hidráulica:

Las ruedas pueden ser de cajones o de paletas, y su clasificación según la admisión del agua y de eje horizontal son las siguientes:

- Admisión superior.
- Admisión intermedia.
- Admisión inferior.

#### **2.15.1 Ruedas con admisión superior**

La característica principal de estas ruedas es que son de eje horizontal y están constituidas por cajones los cuales se llenan de agua y por la fuerza del agua y de la gravedad provocan el giro de la rueda.

#### **2.15.2 Ruedas con admisión intermedia**

Son denominadas ruedas hidráulicas de costado, el agua ingresa a ellas al mismo nivel del eje, esta rueda también trabaja gracias a la energía cinética del agua y la energía gravitacional. (Gironi, 2009)

### 2.15.3 Rueda de admisión inferior

Este tipo de rueda aprovechan el choque del agua que pasa por debajo de la rueda, el canal debe de ser un poco más grande que la rueda, pero solo lo suficiente para no tener muchas pérdidas, los álabes de esta rueda pueden ser curvos o planos.

El agua puede pasar a la rueda por medio de compuertas.

“Para describir la curvatura de Poncelet, la circunferencia externa  $c c$  y la línea  $\alpha r$  el radio de la rueda, se toma a  $b = 1/3$  a  $1/4$  de la caída, y se grafica el centro de la circunferencia de la envoltura, así el ángulo formado por  $e a r$  podría ser de  $24^\circ$  a  $28^\circ$ . Tomando a  $e, f, g,$  y de los puntos a  $f = 1/6$ , se gráfica, desde este punto se hace un círculo desde  $a$  hasta el centro de la segunda circunferencia así se describe la curvatura de los álabes” la curvatura a la que se refiere es a la curvatura de los álabes (BART, 1871).

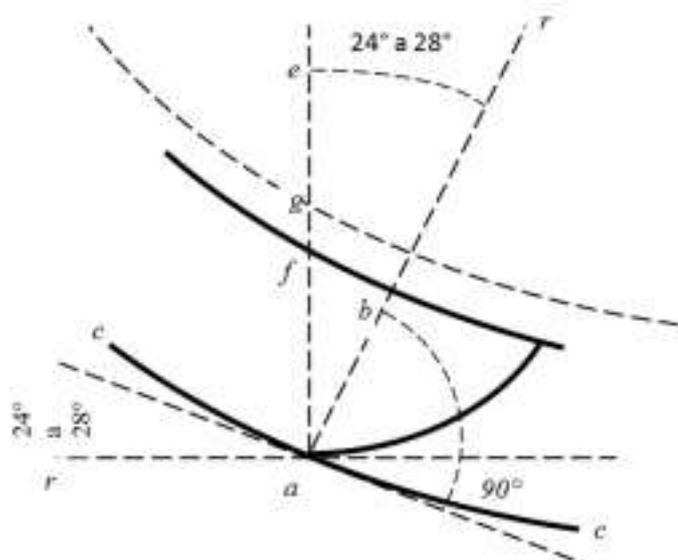


Figura 7. Curvatura de Poncelet.

## **2.16 Generador eléctrico**

Esta máquina se encarga de transformar la energía mecánica en energía eléctrica manteniendo una diferencia de potencial eléctrico entre sus polos, terminales o bornes, esta conversión de una energía a otra se debe a la existencia de un campo magnético sobre los conductores instalados en la armadura, este movimiento entre los conductores y el campo produce una fuerza electromotriz.

### **2.16.1 Generador síncrono**

Los generadores síncronos tienen un voltaje de salida de media tensión, para alcanzar el voltaje de salida es necesario un sistema de excitación, este tipo de generadores también se los conoce como alternadores movidos por turbinas hidráulicas, de vapor o de gas (Alardro, 2002).

Los sistemas de excitación de acuerdo a su fuente de poder se clasifican en:

- Corriente continua.
- Corriente alterna.
- Estática.

#### Excitación de DC

Se usan generadores de DC que proporcionan la corriente al rotor por medio de anillos y escobillas. Principalmente el excitador es impulsado por el mismo eje del generador.

La desventaja de este sistema, es su mantenimiento ya que estas escobillas producen polvo debido a su desgaste. Aun así sistemas de excitación de DC se encuentran en servicio.

#### Excitación AC

Este tipo funciona con alternadores como fuentes para la excitación del generador principal. Los dos generadores utilizan el mismo eje. La salida del primer generador es rectificadora por un grupo de rectificadores y la salida de DC es transmitida al rotor del generador síncrono.

La armadura del excitador de AC y los rectificadores giran sobre el mismo eje. En este tipo de sistemas el rectificador trifásico reemplaza al conmutador, los anillos y las escobillas. A continuación se explicarán brevemente las formas de excitación en AC (Repositorio digital de la facultad de ingeniería- UNAM):

Sistema de excitación AC con rectificación estacionaria:

La corriente DC alimenta el arrollamiento de campo del generador a través de anillos rozantes.

Cuando se utiliza un rectificador no controlado, el regulador controla el campo de la excitatriz, de tal manera se controla la tensión de excitación.

La excitatriz AC es impulsada por el eje del generador.

Sistema de excitación AC con rectificación rotativa:

La salida DC del rectificador alimenta directamente al campo del generador sin necesidad de escobillas o anillos rozantes.

La potencia necesaria para proveer el campo de un generador de 600MW es del orden de 1MW.

La armadura de la excitatriz AC y el puente rectificador no controlado rotan junto al arrollamiento de campo del generador.

### **2.16.2 Generador asíncrono**

El funcionamiento de la máquina asíncrona es por inducción.

La máquina de inducción es polifásica de corriente alterna conectada a una red eléctrica por el estator, por el rotor o por ambos. La alimentación es trifásica y a través de los arrollamientos inductores (generalmente el estator), produciendo un campo giratorio en el entrehierro de la máquina. Este campo inducirá tensiones en los arrollamientos del inducido (rotor generalmente), que está galvánicamente aislado de la red de alimentación. Si los arrollamientos del rotor o inducido están cortocircuitados se generarán corrientes alternas en su seno.

Este tipo de máquinas son muy comunes en la generación de energía por métodos renovables.

Los generadores asíncronos se clasifican en:

- Rotor bobinado.
- Jaula de ardilla.
- Doble jaula de ardilla.
- Rotor de ranuras profundas.

Constitución de la máquina asíncrona:

Las partes principales de una máquina asíncrona son:

- Rotor (bobinado y jaula de ardilla).
- Estator (devanado trifásico repartido en ranuras a  $120^\circ$ ).
- Carcaza.

### **2.17 Sistema de transmisión**

Los sistemas de transmisión son utilizados para transferir la potencia de un eje a otro eje, dependiendo de las necesidades se puede elegir una transmisión

reductora o una transmisión multiplicadora, los tipos de transmisión utilizados son los siguientes:

- Transmisión por bandas.
- Transmisión por engranes.

### **2.17.1 Transmisión por bandas**

Para el uso de este sistema es necesario la existencia de poleas y la característica que deben tener estas poleas para tener un sistema eficaz viene de que el ancho de las poleas debe ser el específico para el ancho de la banda (Mott, 2006).

Las características de las bandas dependen de la distancia entre centro y centro de los ejes ya que existen bandas tipo A, tipo B, tipo C, tipo D.

Los diámetros de las poleas pueden ser iguales o diferentes, dependiendo de la relación que se quiera tener en el sistema, ya sea reductor o multiplicador.

La relación de transmisión viene dada por la siguiente formula:

$$i = \frac{w_1}{w_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$i$ = Relación de transmisión.

$w_1$ = Velocidad angular, polea conductora.

$w_2$ = Velocidad angular, polea conducida.

$D_1$ = Diámetro polea conductora.

$D_2$ = Diámetro polea conducida.

### **2.17.2 Transmisión por engranajes**

“Los engranajes son ruedas dentadas cilíndricas que se usan para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro” (Mott, 2006).

Las características de estos engranes dependen del paso, para que un engrane encaje a la perfección con otro engrane deben de tener el mismo paso.

Los tipos de engranes se clasifican en:

- Helicoidales.
- Cónicos.
- Tornillo sin fin y corona.

### **2.18 Multiplicador de velocidad**

El multiplicador es más utilizado en las industrias debido a que los motores utilizados siempre tienen una mayor velocidad a la que se desea.

El multiplicador puede ser a su vez un reductor, todo depende de la orientación del eje de entrada y de salida.

Para la determinación de un multiplicador se debe conocer la potencia, relación de transmisión y torque.

### **2.19 Tablero de control**

El tablero eléctrico o tablero de control es una caja o gabinete equipado con múltiples componentes que aseguran un buen control de manera organizada, garantizando un buen funcionamiento de los equipos y facilitando a las personas su control.

Dentro de un tablero de control se encuentran dispositivos de conexión, comando, protección, alarma.

## 2.20 Elementos de control y línea de distribución eléctrica

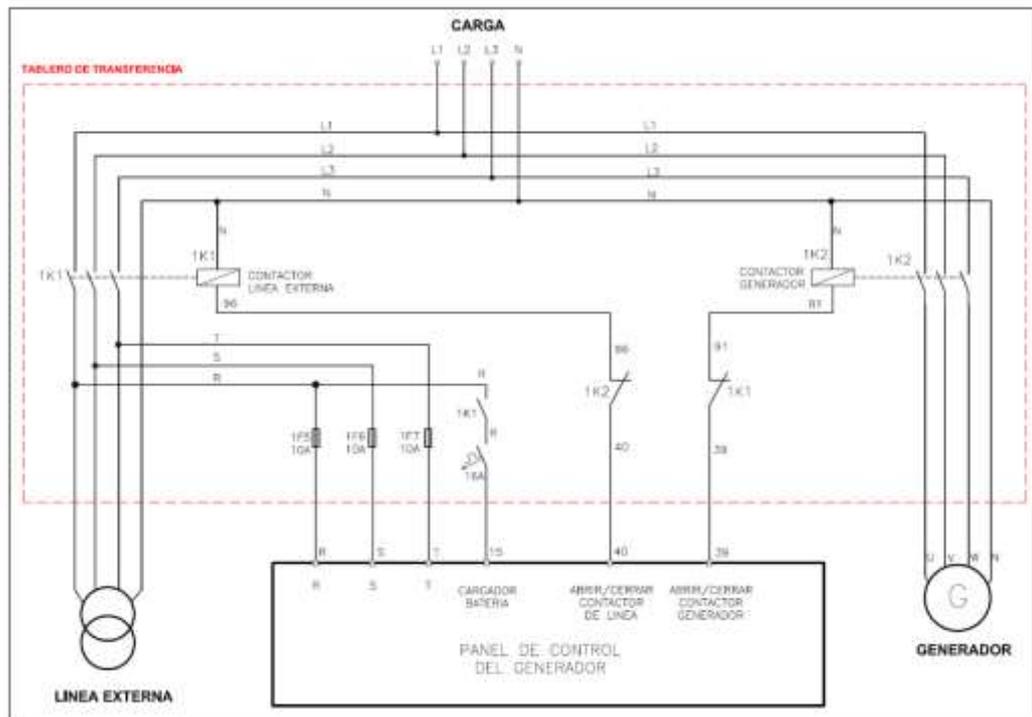


Figura 8. Diagrama de control.

### 2.20.1 Reguladores de carga

Estos dispositivos son diseñados para la protección de baterías o acumuladores, evitando las sobrecargas.

El funcionamiento se da cuando la tensión en las baterías llega a su corte por alta y cuando está en tensión de rearme por baja, las vuelve a conectar.

Estos dispositivos tienen incorporado un sistema de aviso, para el bajo estado de carga de batería, etc.

Parámetros del regulador:

- Intensidad máxima. (20% superior a la intensidad máxima del generador).
- Tensión de trabajo.
- Tensión de corte por alta.

- Tensión de corte por baja.
- Compensación de temperatura.

### **2.20.2 Baterías**

Estos son dispositivos que almacenan energía de forma electroquímica, el funcionamiento de estas se basa el movimiento de cationes disueltos hacia el cátodo y los aniones hacia el ánodo por medio de un conductor denominado puente salino, la corriente fluye del ánodo al cátodo debido a que se genera una diferencia de potencial eléctrico entre sí.

Tipos de baterías:

- Plomo-ácido.
- Nickel-cadmio.
- Nickel-hidruro metálico.
- Ion-litio.
- Polímero-litio.
- Aire-zinc.
- Celdas de combustible.

### **2.20.3 Líneas de distribución**

La energía obtenida en el sistema de rueda hidráulica deberá ser transmitida por medio de una red de baja tensión, desde el tablero de control hacia las cargas, será necesario tender una línea de distribución al voltaje apropiado para aminorar las pérdidas.

También se deberá montar los elementos de maniobra, de protección y puesta a tierra. Una vez que se conoce la Potencia generada se procederá a

realizar el cálculo respectivo para la selección del conductor adecuado (Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico, 2001).

Para transmitir la energía generada se puede hacer uso de postes de madera con los respectivos accesorios para transportar la electricidad.

## **2.21 Obras de arte en la construcción**

En la instalación de los equipos de generación de energía eléctrica se deberá realizar obras de construcción para un mejor funcionamiento de la mini central, que también servirán como protección de los mismos, garantizando una mayor vida útil.

### **2.21.1 Cimentaciones**

Las obras clasificadas como cimentaciones en este sistema de generación eléctrica en el río Arenillas son los soportes donde se ubicará la rueda hidráulica.

Estos soportes deberán ser diseñados de forma que resistan el peso de la rueda y que con el pasar del tiempo no se vean afectados por otros factores como el polvo, agua o corrosión.

Otra obra importante es la construcción del canal ya que con el mismo se asegura tener una velocidad y un paso constante del flujo del agua, se aprovecha gran parte del flujo del agua sobre la rueda, reduciendo las pérdidas por fugas y el flujo chocaría sobre los álabes y las pérdidas disminuirían.

Existen dos tipos de canales que son los canales naturales y los canales artificiales pero para este caso del diseño del sistema de rueda hidráulica se tendrá que construir un canal artificial (R, 2006).

### 2.21.2 Casa de máquinas

La función para la que se construye una casa de máquinas es la de protección de los componentes de la mini central, el banco de baterías, la transmisión, multiplicador, generador, protecciones del sistema y el tablero de control, protección contra los daños que se puedan generar en los aparatos debido a su contacto directo con el ambiente y contra la delincuencia.



Figura 9. Plano de implantación.

## **CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DESARROLLO**

### **3.1 Análisis de la obtención de energía eléctrica en canal abierto en el río Arenillas provincia de El Oro**

En este capítulo se desarrollará un análisis de las características de cada una de las partes que serán utilizadas en la mini central de energía eléctrica, cada una de las partes serán especificadas con su determinado catálogo, también un estudio de costos y factibilidad basándose en datos obtenidos sobre costos individuales, fórmulas para el desarrollo de la rueda hidráulica, acople de rueda, transmisión, multiplicador, generador y sistema de acumuladores y distribución de la energía, para de esta manera obtener resultados optimos.

### **3.2 Normativa legal para el desarrollo de mini centrales de energía renovable en Ecuador**

Que, el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, el Sumak Kawsay y declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Que, el artículo 15 de la Constitución de la República del Ecuador señala que corresponde al Estado promover, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes

y de bajo impacto, así como que la soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Que, el artículo 413 de la Constitución de la República del Ecuador establece que el Estado debe promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto.

Que, el incremento de la demanda de energía eléctrica como resultado del crecimiento de la población y de la economía, constituye no sólo un gran desafío, sino exige la utilización de nuevas fuentes de abastecimiento de energía y conductas de consumo público y ciudadano, acordes con la magnitud del desafío.

Que, resulta imperativo construir una matriz de generación eléctrica económica y ecológicamente equilibrada, incrementando la participación de las energías limpias y renovables como la eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz e hidroeléctrica, disminuyendo la generación térmica ineficiente que utiliza combustibles fósiles.

Según la Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica:

Art. 6.- Normas complementarias. - Son aplicables en materia eléctrica las leyes que regulan el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, la participación ciudadana, la protección del ambiente y otras de la legislación positiva ecuatoriana aplicable al sector eléctrico, en lo que no esté expresamente regulado en la presente ley.

El ministerio de electricidad y energía renovable (MEER)

Art. 12.- Atribuciones y deberes. - Son atribuciones y deberes del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en materia eléctrica, energía

renovable y eficiencia energética en el numeral nueve nos dice que son encargados de impulsar la investigación científica y tecnológica en materia de electricidad, energía renovable y eficiencia energética.

En lo que concierne a la participación empresarial en el artículo 25 nos dice que:

De las empresas privadas y de economía popular y solidaria. - El Estado, por intermedio del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, podrá delegar, de forma excepcional, a empresas de capital privado, así como a empresas de economía popular y solidaria, la participación en las actividades del sector eléctrico, en cualquiera de los siguientes casos:

1. Cuando sea necesario para satisfacer el interés público, colectivo o general;
2. Cuando la demanda del servicio no pueda ser cubierta por empresas públicas o mixtas; o,
3. Cuando se trate de proyectos que utilicen energías renovables no convencionales que no consten en el Plan Maestro de Electricidad;

Para los dos primeros casos, la delegación de los proyectos, que deben constar en el PME, se efectuará mediante un proceso público de selección, conducido por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, que permita escoger la empresa que desarrolle el proyecto en las condiciones más favorables a los intereses nacionales.

Para el tercer caso, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable podrá delegar su desarrollo, previo el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa pertinente.

Los proyectos que utilicen energías renovables, podrán acceder a un esquema de incentivos que se determine en la normativa jurídica respectiva.

Las empresas privadas o de economía popular y solidaria que se mencionan en este artículo deberán estar establecidas en el Ecuador, de conformidad con la normativa correspondiente.

Se exceptúa de los procesos públicos de selección, mencionados en este capítulo, el otorgamiento de concesiones, que conforme a este artículo, efectúe el Estado por intermedio del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, respecto de proyectos que dispusiere, mediante delegación a empresas estatales extranjeras o subsidiarias de estas, compañías de economía mixta o a consorcios en que dichas empresas estatales tengan participación mayoritaria.

En todo caso, los contratos de concesión, estarán sujetos a la observancia de las normas de la Constitución de la República, esta ley, su reglamento general y los acuerdos previos a su otorgamiento directo.

Art. 26.- Energías renovables no convencionales. - El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía.

La electricidad producida con este tipo de energías contará con condiciones preferentes establecidas mediante regulación expedida por el ARCONEL

### **3.3 Estudio hidrológico en el río Arenillas**

La cuenca del río Arenillas tiene una superficie de 610,5 km<sup>2</sup> de los cuales 402,5 km<sup>2</sup> corresponden a la cuenca que alimenta al embalse de Tahuín, y 208 km<sup>2</sup> a la cuenca media y baja (desde la presa que origina dicho embalse

a la desembocadura del río en el océano Pacífico). Este embalse propiamente tiene 14,47 km<sup>2</sup> de superficie inundada hasta la cota 115 m.s.n.m. (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

El río Arenillas que le da el nombre a esta cuenca, corre en los flancos de la cordillera de Tahuín, desembocando en Estero Grande (a la altura de Puerto Pitahaya), que a pocos kilómetros desagua en el Océano Pacífico. Se ha estimado una longitud de 42,8 Km desde su origen hasta el sitio del cierre de la presa de Tahuín con cota 70 msnm. (Instituto Nacional de Preinversión, 2013)

Se podría decir que el sistema de drenaje principal de la cuenca lo constituye el río Arenillas que nace en la quebrada Panupali, al norte del Cerro El Cono, cerca de los 1.900 msnm. En su nacimiento recibe el nombre de río Naranjo que tras la confluencia con el río Saracay pasa a denominarse el río Piedras y, posteriormente, en la confluencia con la quebrada La Primavera (a la altura de la parroquia Piedras), tomar el nombre de río Arenillas hasta su desembocadura (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

Según los datos hidrológicos del río arenillas su ubicación favorece debido a que este es la unión de varios ríos de la provincia de El Oro, por lo cual tenemos un gran flujo y constancia del agua.

El caudal y velocidad de este río son admisibles para este tipo de sistema de generación de energía eléctrica mediante una rueda hidráulica.



### 3.3.1 Datos hidrológicos y meteorológicos

Los datos de precipitaciones utilizados para los análisis hidrológicos y meteorológicos han sido recolectados de las 19 Estaciones pluviométricas existentes en el área de la cuenca del río Arenillas para el periodo 1963-2003; siete pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la República de Ecuador y doce pertenecientes a la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y otras heredadas que anteriormente gestionaba la Subcomisión para el Desarrollo de la Región Sur (PREDESUR) (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

### 3.3.2 Estadísticas de caudales medios

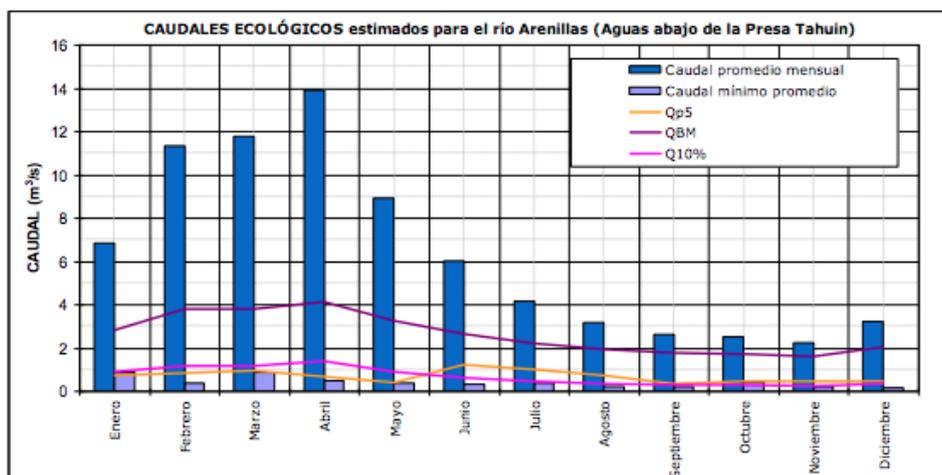


Gráfico 7.- Caudal Ecológico estimado para el río Arenillas mediante diferentes metodologías

Tabla 1. Tabla estadística de caudales medios.

### 3.3.3 Caudal ecológico

El 14 de marzo de 2007, el Ministerio del Ambiente, mediante Acuerdo Ministerial N° 155, emite la “Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua en Centrales Hidroeléctricas”, la cual indica en su Libro VI Anexo 1B, que el caudal ecológico es "el caudal de agua que debe mantenerse en un sector hidrográfico del río, para la conservación y mantenimiento de los ecosistemas, la biodiversidad y calidad del medio fluvial y para asegurar los usos consuntivos y no consuntivos del recurso, aguas abajo en el área de influencia de una central hidroeléctrica y su embalse, donde sea aplicable. El caudal ecológico debe ser representativo del régimen natural del río y mantener las características paisajísticas del medio" (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

Según lo especificado en la “Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua de Centrales Hidroeléctricas”, nos dice que “se deberá adoptar como caudal ecológico al menos el 10% del caudal medio anual que circula por el río” (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

En este sentido, el 10% del caudal medio anual que circula por el río Arenillas aguas abajo de Tahuín, es de 0,65 m<sup>3</sup>/s. Dado que en las tres metodologías aplicadas para el cálculo del caudal ecológico, método del caudal medio multianual (Q10%), método del caudal base de mantenimiento (QBM) y método del percentil (QP5), se obtienen respectivamente caudales medios de 0,65, 2,63 y 0,67 m<sup>3</sup>/s, que son iguales o superiores al 10% del caudal medio anual que circula por el río (0,65 m<sup>3</sup>/s), cualquiera de los tres métodos es válido para estimar el caudal ecológico según la normativa ecuatoriana actualmente vigente. Asimismo, se puede comprobar que con el método de Tennant el hábitat

no comenzaría a degradarse en ninguno de los métodos anteriores (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

### 3.3.4 Curva de duración de caudales

“Nos da la probabilidad en un porcentaje de tiempo de todo el período de aforos, en el cual el caudal es igual o menor al caudal correspondiente a dicho porcentaje de tiempo” (ITDG 1995) (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

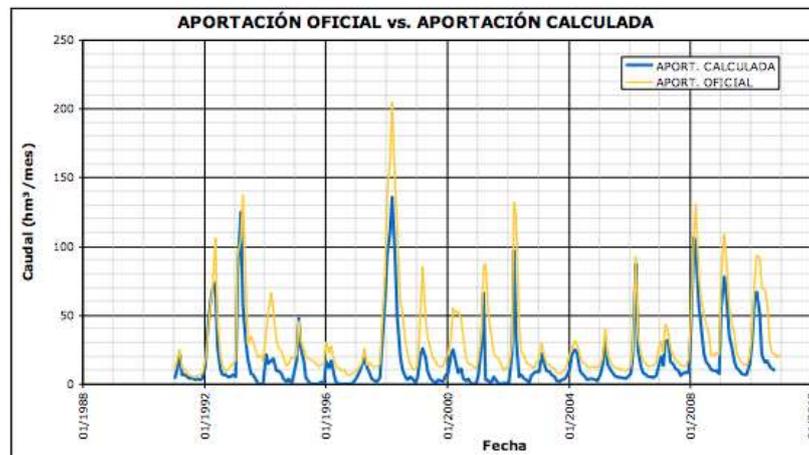


Tabla 2. Estadística para el cálculo de duración de caudales.

### 3.3.5 Caudal de diseño

El caudal de diseño es analizado según la curva de duración del caudal, se elige el caudal que dure 90% para poder analizar la potencia disponible y el 50% para determinar la potencia adicional

Se ha definido el régimen de caudal ecológico, teniendo en cuenta la información recolectada sobre caudales del Río Arenillas, de acuerdo a la información del informe hidrológico (que contiene datos entre 1964 y 2010), tomando en cuenta así las fluctuaciones climáticas y estacionales del río, ya que se trata de una serie larga para que sea representativa del régimen natural del río (método del Percentil P5%) (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

MES	Q ecológico (m <sup>3</sup> /s)
Enero	0,73
Febrero	0,84
Marzo	0,91
Abril	0,67
Mayo	0,36
Junio	1,23
Julio	0,96
Agosto	0,72
Septiembre	0,31
Octubre	0,46
Noviembre	0,44
Diciembre	0,43
Media	<b>0,67</b>

Tabla 3. Caudales correspondientes a cada mes.

### 3.4 Diseño del canal por el cual se transporta el caudal del río

Para la determinación del punto óptimo donde se llevará a cabo el proyecto se debe tener en consideración que el río debe tener un buen caudal para asegurar la generación de energía

Otras características para la construcción del canal donde será montada la rueda hidráulica de eje horizontal con el paso de agua por debajo, es que la forma del canal depende de la forma de la rueda y en este caso es un canal rectangular.

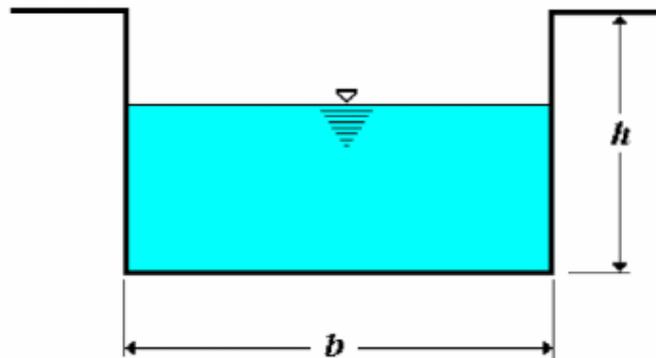


Figura 11. Forma del canal.

Para la construcción del canal se debe tomar en cuenta que la rueda debe tener una mínima distancia de separación con el canal, para de esta manera aprovechar el flujo y la rueda no roce por lo lados ni por debajo, aunque esto representa una mínima pérdida.

La construcción del canal deberá ser de cemento pulido debido a que el coeficiente de pérdida es mínimo y todos estos factores influyen en los cálculos para encontrar la velocidad y la pendiente según las fórmulas que se emplean.

No se diseñará ningún tipo de vertedero, compuertas o muros de captación con rejillas para evitar el paso de maleza ya que la gran dimensión de

los alabes de la rueda no dejan que los residuos de basura, troncos, etc. ocasionen algún daño.

El final del canal en el sentido del caudal del río deberá ser diseñado con medidas mayores en el sentido horizontal, de esta manera aseguramos que el agua que ya fue aprovechada por la rueda tenga una rápida salida, esto es debido a que el agua choca con los álabes y se disminuye su velocidad y el agua tiene que tener una rápida salida el diseño del canal a la salida del agua, va ayudar para que el agua no se estanque y el sistema no disminuya su velocidad.

Para determinar la velocidad permisible del canal tenemos en consideración que no se puede salir de los límites ya que se perdería altura y tampoco se puede disminuir la velocidad porque esto nos llevaría a tener un canal muy ancho y eso no es lo que buscamos ya que la rueda no debe de ser tan ancha.

Según el Manual General de Construcción Uralita, tomo 2 establece que es necesario dejar en uno o ambos lados del canal una superficie de 0.8 a 1  $m^2$  para el paso de las personas o para la recolección de aguas pluviales por medio de una cuneta.

### 3.4.1 Datos del canal

Largo del canal será de 13 metros.

Profundidad de 3.5 metros.

Ancho sección A2 de 4 metros (desde el inicio hasta los 11 metros).

Ancho sección A1 de 5 metros (a partir de los 11 metros).

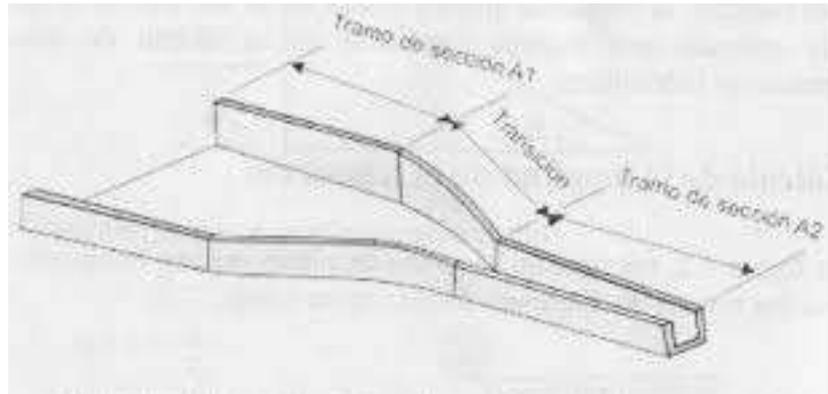


Figura 12. Diseño del canal

### 3.4.2 Ecuaciones para el cálculo de la pendiente, perímetro mojado y sección mojada

Datos del río:

Caudal=  $0,65m^3/seg$

Velocidad=  $2m/seg$

Datos del canal:

Largo=  $13m$

Ancho=  $4m$

Profundidad=  $3.5m$

Para la construcción del canal contamos con las siguientes expresiones:

$$V = C\sqrt{R.J}; \quad Q = S.V; \quad R = \frac{S}{P}$$

V: Velocidad media del canal

R: Radio medio o hidráulico

$J$ : Pendiente uniforme del canal

$Q$ : Caudal

$S$ : Superficie mojada

$P$ : Perímetro mojado

$C$ : Coeficiente que varía según la instalación

Calculamos la superficie mojada de nuestro canal:

$$S = b \times h$$

$b$ : Base

$h$ : Altura

$$S = 4 \times 3$$

$$S = 12m^2$$

Para determinar el valor de  $Q$  tenemos:

$$Q = S \cdot V$$

$$Q = 12m^2 \times 2 m/seg$$

$$Q = 24 m^3/seg$$

Para encontrar la  $J$  empleamos la ecuación general:

$$\frac{V}{\sqrt{R \cdot J}} = C$$

Para calcular el radio medio debemos calcular el perímetro mojado:

$$P = b + 2h$$

$$P = 4 + 2(3)$$

$$P = 10m$$

Calculamos el radio medio hidráulico:

$$R = \frac{S}{P}$$

$$R = \frac{12m^2}{10m}$$

$$R = 1,2m$$

Según el valor de radio medio hidráulico ubicamos en la tabla el valor correspondiente de  $C$

Valores de R en metros	Valores correspondientes a $C$ de un piso liso
1	82
1.1	82.2
1.2	82.4
1.3	82.6
1.4	82.8

*Tabla 4. Valores correspondientes dependiendo del valor R*

$$\frac{V}{\sqrt{R \cdot J}} = C$$

$$\frac{2}{\sqrt{1,2 \times J}} = 82,4$$

$$J = \frac{(2)^2}{(82,4)^2 \times 1,2}$$

$$J = 0,00049m \text{ por } m$$

Formula de Bazín:

$$C = \frac{87\sqrt{R}}{\sqrt{R+\gamma}}; \quad a=b=\frac{1}{2}$$

Con lo que:

$$V = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \sqrt{RJ}$$

La variable  $\gamma$  es un coeficiente de rugosidad que depende el material de las paredes.

Coeficiente de rugosidad	
Paredes muy unidas (cemento muy liso, madera acepillada y fibrocemento Uralita Eternit)	0,06
Paredes unidas (plancha, piedra tallada, ladrillo, etc.)	0,16
Paredes de mampostería	0,46
Paredes de naturaleza mixta (tierra en sección regular o con revestimiento de piedra)	0,85
Canales de tierra en las condiciones normales	1,30
Canales de tierra ofreciendo gran resistencia al paso del agua (fondo de canto rodado, paredes con vegetación o de rocas)	1,75

*Tabla 5. Coeficiente de rugosidad según el tipo de material.*

### **3.5 Diseño de la casa de máquinas**

Para la construcción de la casa de máquinas se tendrá en cuenta que dentro de la misma va ubicado:

- Transmisión.
- Multiplicador.
- Generador.
- Tablero de control.

- Banco de baterías.
- Un extremo del eje de la rueda.

Para empezar con la construcción primero regulamos el área nivelándola, se construyen los cimientos y luego las columnas.

- Las columnas a construir son 4 con medidas de 0,80x0,80x0,25.
- Las paredes de bloque
- Losa de cubierta de 5,40x4,40x0,10.
- La altura de las paredes es de 2,80m.

Para la construcción de los cimientos se debe preparar el suelo, se lo compacta, se excava si es necesario y se lo rellena, a continuación se funde el contrapiso.

### 3.6 Selección del tipo de rueda hidráulica

El tipo de rueda hidráulica a utilizarse deberá ser de eje horizontal, denominada rueda de Poncelet debido a que estas son de admisión inferior y son las propicias para el desarrollo de este sistema de generación eléctrica.

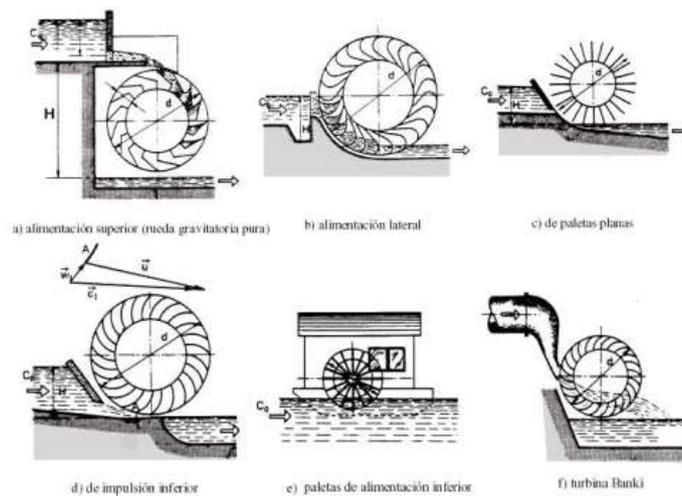


Figura 13. Tipos de ruedas hidráulicas.

#### 3.6.1 Especificaciones de la rueda

El eje es horizontal, sobre el cual se fija la rueda mediante radios.

La rueda a lo largo de la circunferencia lleva en intervalos unas paletas las cuales deben estar ubicadas en sentido opuesto al movimiento del agua.

La ubicación de este tipo de rueda por lo general se sitúa en ríos caudalosos para asegurar un mejor aprovechamiento del movimiento de la rueda.

La rueda oscila entre los 5,36 y 9,05 metros de diámetro, las aspas o álabes entre 1,70 y 3,84 metros de anchura y 2,80 y 3,36 metros de largo.

El tipo de paletas es curvo.

Utilizan 1/3 de la potencia del agua que las mueve.

Su construcción es sencilla y pueden funcionar a altas velocidades.

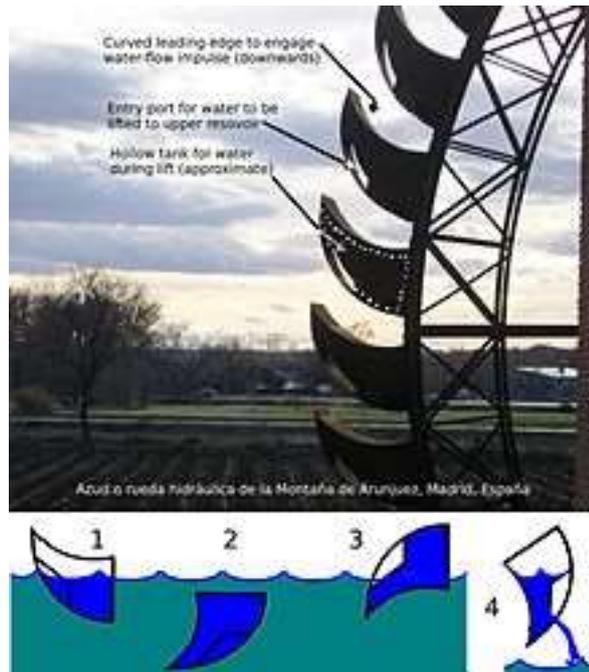


Figura 14. Forma de la rueda Poncelet

### 3.6.2 Funcionamiento de la rueda

Los álabes o paletas de la rueda ingresan al agua, la velocidad del agua del río se transmite a la rueda de tal manera que produce el movimiento giratorio, la orientación de los alabes es tangente al centro de la rueda para asegurar que ingresen al río sin choque y sean más eficientes. Es recomendable que la instalación de la misma se haga en un canal donde la rueda se encuentre paralela a las paredes del canal, para de esta manera impedir el paso de agua fuera de la rueda y tener un aprovechamiento máximo del caudal del río.

### 3.6.3 Teoría de la rueda de Poncelet

El agua entra a la rueda y golpea las paletas sin choque debido a la forma de las paletas que son curvas y esto asegura que las paletas ingresen al río sin choque, disminuyendo pérdidas.

Partiendo del principio deducido de la ecuación general, para obtener el efecto máximo absoluto de efecto útil, el agua debe penetrar en los álabes sin choque y salir de ellos a la misma velocidad que la rueda.

Ecuación general que expresa el trabajo total de una rueda hidráulica.

$$\frac{1}{2}MV^2 + Mgh = Pv + \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}MW^2$$

Donde:

$$Pv = \frac{1}{2}MV^2 + Mgh - \frac{1}{2}MU^2 - \frac{1}{2}MW^2$$

Pero al ser una rueda con la admisión de agua por debajo el término  $Mgh$  desaparece debido a que no existe admisión de agua por encima de la rueda o por un costado.

$$Pv = \frac{1}{2}MV^2 - \frac{1}{2}MU^2 - \frac{1}{2}MW^2$$

Puesto que los álabes son tangentes a la rueda y esta misma es tangente al agua, no produce ningún choque, por lo tanto

$$Pv = \frac{1}{2}MV^2 - \frac{1}{2}MW^2$$

La velocidad de salida del líquido es  $(V - v)$  en sentido contrario de la rueda, pero la rueda tiene velocidad  $(v)$ , la velocidad real será  $(V-v-v) = (V-2v)$  y al reemplazar en  $W$  será igual a:

$$P_v = \frac{1}{2}(MV^2) - \frac{1}{2}M(V-2v)^2 - 2M(V-v)v$$

Donde:

$P_v$ : Potencia en kw

½: 50% de eficiencia

V: Velocidad del agua

v: Velocidad de la rueda

M: Masa de agua/segundo que pasa por el canal

Para obtener la máxima eficiencia en la rueda es necesario que

(V-v) v sea máximo o sea que (V-v) =v o V=2v, o v=V/2 de tal manera que:

$$P_v = 1/2 (M \cdot V^2)$$

### 3.7 Cálculos para la fabricación de la rueda

#### 3.7.1 Transferencia de energía

La potencia mecánica en la rueda se calcula por la siguiente forma propuesta por CEPIS:

$$P_{real} = 0,41 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

$$P_{real} = 0,41(997 \text{ kg/m}^3) (12,7\text{m}^2)(2 \text{ m/seg})^3$$

$$P_{real} = 41.531W$$

P (W): Potencia mecánica en la rueda

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>): Densidad del fluido

A (m<sup>2</sup>): Área sumergida proyectada de la rueda

V (m/s): Velocidad de la corriente

El factor 0,41 es un coeficiente análogo a la eficiencia, en relación a un óptimo teórico.

Esta ecuación es muy similar a la relación planteada para potencia ideal:

$$P_{ideal} = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

$$P_{ideal} = 0,5(997 \text{ kg/m}^3) (12,7\text{m}^2)(2 \text{ m/seg})^3$$

$$P_{ideal} = 50.647W$$

Se utiliza un coeficiente de ajuste que engloba todas las otras características de la rueda cuya influencia no se aborda individualmente, pero cuyo efecto en conjunto define el comportamiento de una rueda hidráulica en particular. Algunos de estos factores son:

- La curvatura del álabe y el ángulo de ataque respecto a la dirección de la corriente.

- Las dimensiones del álabe y el gradiente de velocidades
- La inercia de la rueda

$$\text{Coeficiente de Ajuste} = \frac{\text{Potencia real}}{\text{Potencia ideal}} = Ca$$

$$\text{Coeficiente de Ajuste} = \frac{41.531W}{50.647W} = 0,82$$

$$P_{real} = Ca \cdot P_{ideal} = Ca \cdot (0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3)$$

P<sub>real</sub>= Potencia mecánica real en la rueda

Ca= Coeficiente de ajuste

$\rho$  = Densidad del fluido

A= Área sumergida

V= Velocidad de la corriente

El coeficiente de ajuste sugerido para una rueda de paletas curvas según Poncelet es de 0.74 y según los cálculos obtenidos es de 0,82.

### 3.7.2 Momento de giro o torque

Es la capacidad de un eje para desarrollar una fuerza tangencial (F) a una distancia (r) que es el radio de la rueda:

$$T(Kg. m) = F \cdot r$$

O torque según la velocidad angular:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{P}{\frac{2\pi n}{60}}$$

$$T = \frac{41.531}{\frac{2\pi(3,2rpm)}{60}}$$

$$T = 123.911Nm$$

T= Torque de la rueda

P= Potencia a transmitir

$\omega$  = Velocidad angular

### 3.7.3 Velocidad tangencial

Para calcular la velocidad tangencial se utiliza el coeficiente de ajuste que ayuda a pasar de modelo a prototipo. El coeficiente esta dado de la siguiente manera:

$$\varphi = \frac{\text{Potencia real}}{\text{Potencia ideal}} = \frac{V_{rueda}}{V_{agua}}$$

$$V_{agua} = 2\text{m/seg}$$

$$V_{rueda} = V_{agua} \cdot \varphi$$

$$V_{rueda} = 2\text{m/seg}(0.82)$$

$$V_{rueda} = 1,64\text{m/seg}$$

### 3.7.4 Velocidad angular de la rueda

$$\omega \text{ (rpm)} = \frac{V_{rueda}}{R_{rueda}}$$

$$\omega \text{ (rpm)} = \frac{1,64\text{m/seg}}{5\text{m}}$$

$$\omega \text{ (rpm)} = 0,33 \text{ rad/seg} \times (1\text{rev}/2\pi\text{rad}) \times (60\text{seg}/1\text{min})$$

$$\omega \text{ (rpm)} = 3,2\text{rpm}$$

$V_{rueda}$  = Velocidad de la rueda

$R_{rueda}$  = Radio de la rueda

### **3.7.5 Dimensiones de la rueda**

Los parámetros a considerar en la construcción de la rueda hidráulica son el diámetro, la anchura, la altura y el número de alabes.

### **3.7.6 Selección de chumaceras para la rueda hidráulica**

Para la selección de las chumaceras que son los rodamientos en los cuales estará apoyado el eje de la rueda hidráulica recibiendo todo su peso, se necesita datos como el diámetro del eje, posición donde se ubicará la chumacera porque puede ser de pared o de suelo, pero para este caso por tratarse de un peso considerable usaremos chumaceras de piso.

También se debe tomar en cuenta el tipo de mantenimiento que se le vaya a dar a la chumacera.

Se deberá tomar en cuenta que también se pueden usar cajas que cumplen la misma función que las chumaceras, la diferencia está en la vida útil, ya que cuando la chumacera cumple su vida útil se debe cambiar toda la chumacera y en el caso de las cajas, cuando cumplen su vida útil se reemplaza únicamente el rodamiento ya que son desarmables.

Emplearemos chumaceras de 3 pulgadas de piso de cuatro huecos marca CMB de procedencia china.

## **3.8 Selección de la transmisión mecánica y multiplicador**

Por tratarse de ser un proyecto de generación de energía mediante el aprovechamiento del caudal de un río se va a tener la desventaja de que no se tendrá una gran velocidad para el giro de la rueda.

Tomando en cuenta que la velocidad en el río que se eligió como en cualquier otro río no es favorable, pero el caudal juega a favor ya que se aprovecharía que es un río con abundante agua y de esta manera podrá mover una rueda con un gran diámetro.

Al elegir una rueda con un gran diámetro estamos hablando que nuestra rueda tendrá un peso considerable y podremos aprovechar este peso para asegurar de tener un buen sistema de transmisión ya que se cuenta con un buen torque.

Lo óptimo es aprovechar todo el diámetro de la rueda y que el diámetro exterior de la misma sea dentado, de tal manera que se tiene que ubicar la transmisión en otro eje que no sea el de la rueda sino ubicarlo al borde de la circunferencia exterior de la rueda, ubicando una rueda dentada del mismo paso, pero con menos diámetro para asegurar una transmisión con mayor número de vueltas.

El multiplicador deberá alcanzar las 500 rpm debido a que el generador que se utiliza trabaja bajo esos parámetros.

Ecuación de relación de transmisión:

$$\frac{n_p}{n_g} = \frac{D_G}{D_P}$$

$n_p$ =Velocidad del eje conductor

$n_g$ =Velocidad del eje conducido

$D_G$ =diámetro polea conducida

$D_P$ =diámetro polea conductora



Figura 15. Demostración de transmisión de la rueda hidráulica hacia el eje del multiplicador

$$\frac{3,2rpm}{n_g} = \frac{0,3m}{10m}$$

$$n_g = \frac{3,2rpm \times 10m}{0,3m}$$

$$n_g = 106,7rpm$$

Al mismo eje de transmisión se ubica un multiplicador de velocidad dependiendo el torque obtenido en el eje, se ubica en los catálogos de ventas.

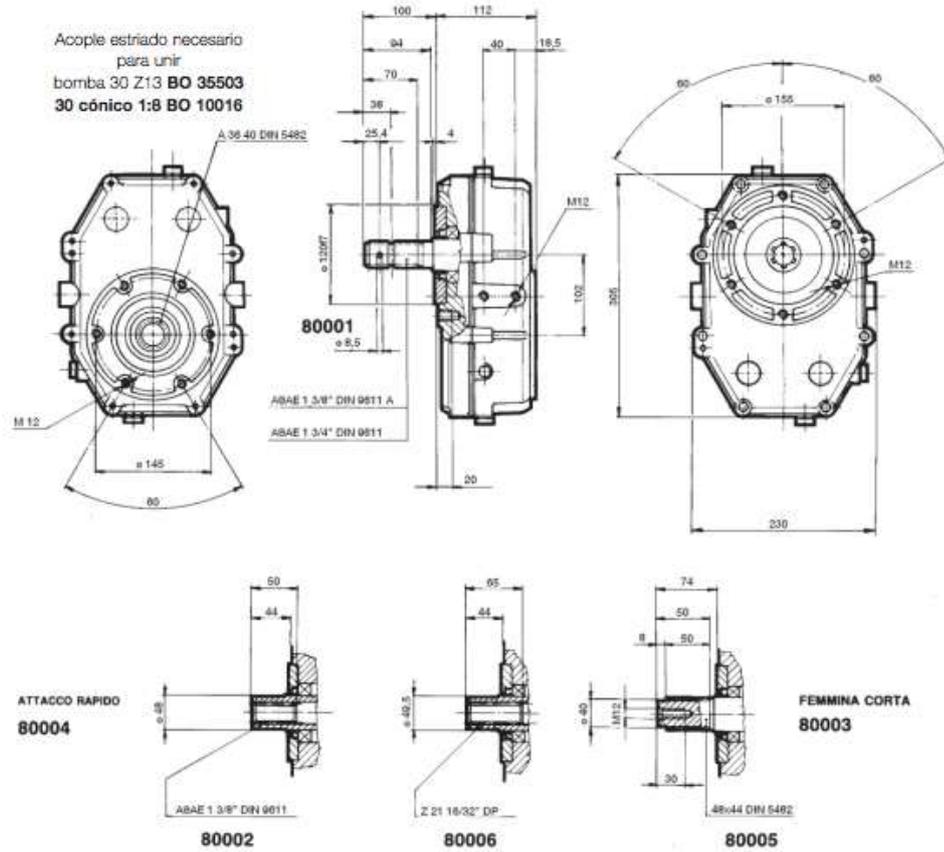
Se puede encontrar el tipo de multiplicador en el catálogo de Oleo hidráulica VERION (Oleohidráulica VERION Soluciones Integrales, 1989).

En el manual se escogió el multiplicador de serie 80000 con razón de 4,8.

Para encontrar las rpm que tendremos a la salida usamos:

$$n_g = 106,7rpm \times 4,8$$

$$n_g = 512,16rpm$$



**DESIGNACIÓN PARA ORDENAR:**

SERIE

RELACION DE REDUCCION (VER TABLA)

80.000 ENTRADA MACHO

80.002 ENTRADA HEMBRA EXTERNA

80.003 ENTRADA HEMBRA EMBUTIDA EN LA CARCAZA

80.004 ENTRADA HEMBRA CON RETENCIÓN

80.005 ENTRADA HEMBRA - SALIDA SALIDA MACHO PASANTE

M1 daNm	M2 daNm	R.P.M./1 entrada	R.P.M./2 salida	I N.1/N.2	H.P. potencia	G peso	código relación
46,6	46,6	540	540	1	36	13,5	1
48	32	540	810	1,5	36	13,5	2
48,4	24,2	540	1080	2	36	13,5	3
46,6	18	540	1408	2,5	36	13,5	4
48,9	16,3	540	1620	3	36	13,5	5
45,9	13,5	540	1836	3,5	36	13,5	6
47,2	11,8	540	2160	3,8	36	13,5	7
47	9,8	540	2592	4,8	36	13,5	8

Figura 16. Catálogo de características del multiplicador

### 3.9 Selección del generador

Con los avances tecnológicos realizados hasta la actualidad tenemos una gran ventaja en la selección del generador ya que existe una amplia gama de generadores eléctricos en el mercado.

Teniendo presente que lo deseado es tener una gran generación de energía eléctrica, debemos considerar que el generador no será muy económico.

Para la selección se debe considerar algunos parámetros como las rpm y el torque generados en el eje de salida del multiplicador para poder elegir el generador ideal.

Se puede elegir entre generadores de 2, 4, 6, 8, 10, 12 pares de polos, teniendo en cuenta que mientras menos pares de polos mayores deben ser sus rpm, dependiendo los pares se determina las dimensiones del generador.

Para iniciar con el proyecto se utilizará un generador dependiendo el torque del multiplicador, ya que mientras más polos tenga el generador mayor es el torque.

Se puede definir el tipo de generador según el catálogo de Omec Motors.

Para este sistema de generación utilizamos el generador 132M12 que trabaja a 500rpm y nos entrega 1,5Kw.

### OMT1 IE1 12-POLE | 500 RPM

Frame Size	Rated Power	Current	Rated speed	Power factor	Efficiency		Locked Current	Locked Torque	Max. Torque	Moment of inertia	Noise level	Weight
		400V			$\eta$ (%)		Rated Current	Rated Torque	Rated Torque			
	$P_N$ kW	$I_N$ A	$n_N$ r/min	$\cos\phi$	100	75	$I_s/I_N$	$M_s/M_N$	$M_w/M_N$	$J=1/4 GD^2$ kgm <sup>2</sup>	dB(A)	kg
90S12	0,18	1,24	460	0,45	46,5	79,6	2,5	1,6	2	0,004	56	25
90L12	0,25	1,63	465	0,46	48	79,6	2,5	1,6	2	0,004	56	26
100L12	0,37	1,87	455	0,52	54,9	79,6	2,5	1,6	2	0,006	59	34
100Lx12	0,55	2,71	460	0,52	56,3	79,6	2,5	1,6	2	0,009	59	35
112M12	0,75	3,32	465	0,54	60,4	79,6	3	1,5	2	0,014	61	41
132S12	1,1	4,73	465	0,52	64,5	79,6	4	1,6	2	0,029	64	64
132M12	1,5	6,38	470	0,52	65,3	79,6	4	1,6	2	0,039	68	68
160M12	2,2	8,26	470	0,55	69,9	79,6	4,5	1,6	2	0,063	68	96
160L12	3	10,9	475	0,55	72,2	79,6	4,5	1,6	2	0,114	68	130
180M12	4	13,3	480	0,58	74,8	79,6	4,5	1,9	2,2	0,182	70	173
180L12	5,5	18,2	480	0,58	75,2	79,6	4,5	1,9	2,2	0,255	70	205
200L12	7,5	18,7	480	0,68	85,2	79,2	4	1,8	2	0,385	73	275
225M12	11	27,6	480	0,67	85,8	79,2	4	1,8	2	0,629	73	298
250M12	15	37,8	485	0,66	86,8	79,2	4	1,8	2	0,807	75	375
280S12	18,5	44,7	485	0,67	89,2	79,2	4	1,7	2	1,35	76	480
280M12	22	52,9	485	0,67	89,6	79,2	4	1,5	2	1,65	76	561
315S12	30	73	485	0,65	91,2	79,2	4	1,5	2	3,556	82	912
315M12	37	90	485	0,65	91,3	79,2	4	1,5	2	4,249	82	987
315L12	45	107,7	485	0,66	91,4	79,2	4	1,5	2	5,543	82	1080
315Lx12	55	131,5	485	0,66	91,5	79,2	4	1,5	2	6,428	82	1165
355M12	75	164,3	485	0,71	92,8	79,2	5	1,2	2	9,01	90	1820
355Mx12	90	196,7	490	0,71	93	79,2	5	1,2	2	9,35	90	1900
355L12	110	239,9	490	0,71	93,2	79,2	5	1,2	2	10,4	90	1975
400M12	200	424	492	0,72	94,5	94,6	5	1,1	2	24	73	3300
400Mx12	225	477	492	0,72	94,6	94,7	5	1,1	2	26	76	3450
400L12	250	529	492	0,72	94,7	94,8	5	1,1	2	28	76	3600
400Lx12	280	592	492	0,72	94,8	94,9	5	1,1	2	31	76	3900

Tabla 6. Catálogo de generador de 12 polos

### 3.10 Transformador

Debido a las características de la energía obtenida a la salida del generador, es necesario transformar la energía antes de pasar al regulador, debido a que las baterías trabajan a un voltaje de 24 v y el voltaje obtenido del generador es superior.

El transformador que se utiliza en este sistema de generación es el NDK-1500 que trabaja con 400 v en el primario y 24 v en el secundario.

5. Características técnicas

Modelo	Potencia (VA)	Tensiones nominales de entrada (V)	Tensiones nominales de salida (V)	Frecuencia (Hz)
NDK-25	25	230, 400	6, 12, 24, 36, 110, 127, 230, 400	50/60
NDK-50	50			
NDK-100	100			
NDK-150	150			
NDK-200	200			
NDK-250	250			
NDK-300	300			
NDK-400	400			
NDK-500	500			
NDK-700	700			
NDK-1000	1000			
NDK-1500	1500			
NDK-2000	2000			
NDK-3000	3000			
NDK-4000	4000			
NDK-5000	5000			

Tabla 7. Características técnicas del transformador

### 3.11 Regulador

El regulador es un elemento electrónico indispensable en instalaciones con bancos de baterías, su importancia va enfocada en la vida útil de las baterías, debido a que su función se encarga de que trabajen de manera correcta, sin permitir las descargas totales o las sobrecargas.

El regulador utilizado en este proyecto de generación es de la marca Outback y tiene las siguientes características:

Tipo		MPPT
Marca		OUTBACK
Tensión	V	24 V
Voltaje máximo	$V_{MP}$	150 V
Potencia nominal $W_p$	$P_{MAX}$	2000 $W_p$
Consumo propio	I	35 Ma
Capacidad de carga	$I_{MP}$	80 A
Ratio aprovechamiento		95,85%
Nº Reguladores		1 ud

Tabla 8. Especificaciones del regulador

### **3.12 Banco de baterías**

El proyecto trata de la generación de energía eléctrica únicamente para el beneficio de una familia, en la cual se utilice esta energía para el uso de alumbrado, electrodomésticos y otros aparatos eléctricos comunes en una casa, se va a tener una carga variable ya que no todos los aparatos eléctricos de la casa están siendo usados al mismo tiempo, en la mañana y tarde la carga será diferente que en la noche y la madrugada.

Por lo tanto, para que el sistema sea estable y tenga una constancia en la entrega de la energía hacia el domicilio, debemos colocar un banco de baterías y con esto aseguramos la entrega de una energía con un voltaje y una tensión estable.

Las baterías adecuadas para son las mismas que se emplea en los sistemas de generación solar, la característica de este tipo de baterías es, que son de descarga profunda para asegurar una mayor vida útil.

La ubicación de las baterías es muy importante debido a que hay factores que varían su carga como el calor, para evitar esto debemos ubicar el banco de baterías en un lugar fresco y evitar colocar las baterías muy juntas para que el aire pueda circular entre ellas y refrescarlas.

Cuando la batería se carga y se descarga también existen problemas pero con una buena conexión se evitará esto, la conexión debe ser como la figura 18 ya que de este modo todas las baterías se cargan y se descargan al mismo tiempo, en el caso de conectar las baterías en paralelo pero usando solo los bornes de la una batería, entonces la energía de la batería inferior se carga con una corriente más alta que la superior y con el voltaje ocurre lo mismo por lo tanto la batería inferior fallará a corto plazo.

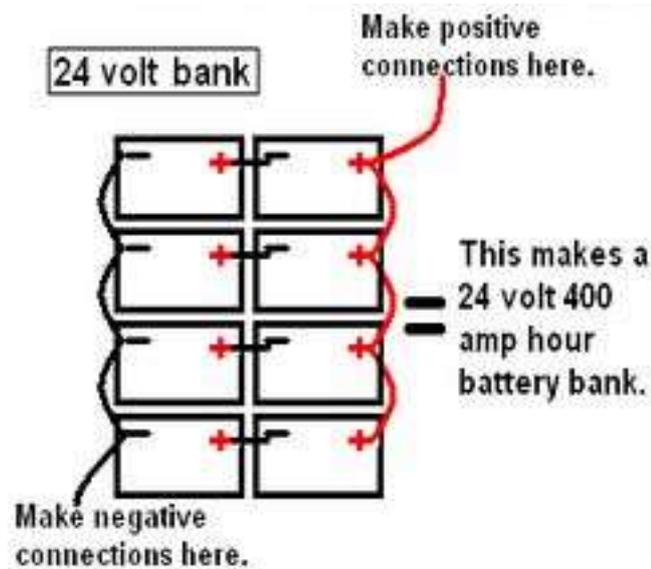


figura 17. Conexión correcta de las baterías

En los catálogos de Victron Energy podemos elegir nuestro banco de baterías, teniendo presente que se cuenta con 1,5kw entregados por el generador.

Se emplea un banco de 12 baterías de 2V y de 640 Ah con las siguientes características (Victron Energy, s.f.):

Tipo OPzS	OPzS Solar 610	OPzS Solar 1210	OPzS Solar 1520	OPzS Solar 1830	OPzS Solar 2280	OPzS Solar 3040	OPzS Solar 3800	OPzS Solar 4560
Capacidad nominal (120 hr / 20°C)	610 Ah	1210 Ah	1520 Ah	1830 Ah	2280 Ah	3040 Ah	3800 Ah	4560 Ah
Capacidad (10 hr / 20°C)	640 Ah	853 Ah	1065 Ah	1278 Ah	1613 Ah	2143 Ah	2675 Ah	3208 Ah
Capacidad 2 / 5 / 10 horas (% de capacidad de 10 hr.)	60 / 85 / 100 / 120 / 150 (a 60°F/20°C, final de descarga 1,8 voltios por célula)							
Capacidad 20 / 24 / 48 / 72 horas (% de capacidad de 120 hr.)	77 / 88 / 89 / 95 (a 60°F/20°C, final de descarga 1,8 voltios por célula)							
Capacity 100 / 120 / 240 hours (% de capacidad de 120 hr.)	99 / 100 / 104 (a 60°F/20°C, final de descarga 1,8 voltios por célula)							
Autodescarga @ 10°F/20°C	3% mensual							
Tensión de absorción (V) @ 70°F/20°C	2,35 a 2,50 V/célula (26,2 a 30,0 V para una batería de 24 voltios)							
Tensión de flotación (V) @ 70°F/20°C	2,25 a 2,30 V/célula (26,8 a 27,6 V para una batería de 24 voltios)							
Tensión de almacenamiento (V) @ 70°F/20°C	2,18 a 2,22 V/célula (26,2 a 26,6 V para una batería de 24 voltios)							
Vida útil en flotación (V) @ 70°F/20°C	20 años							
Cantidad de ciclos @ 80% de descarga	1500							
Cantidad de ciclos @ 50% de descarga	2800							
Cantidad de ciclos @ 30% de descarga	5200							
Dimensiones (a) x an x p en mm.)	145 x 208 x 211	210 x 191 x 211	210 x 233 x 211	210 x 275 x 211	210 x 275 x 261	212 x 297 x 287	212 x 487 x 287	212 x 578 x 287
Dimensiones (a) x an x p en pulgadas.)	5.7 x 8.1 x 28	8.3 x 7.5 x 28	8.3 x 9.2 x 28	8.3 x 10.8 x 28	8.3 x 10.8 x 33.9	8.4 x 11.6 x 32.0	8.4 x 19.2 x 32.0	8.4 x 22.7 x 32.5
Peso sin ácido (kg. / libras)	35 / 77	46 / 101	57 / 126	66 / 146	88 / 194	115 / 254	145 / 320	170 / 375
Peso con ácido (kg. / libras)	93 / 205	125 / 276	157 / 346	189 / 417	231 / 509	301 / 664	381 / 841	451 / 994

Tabla 9. Tabla de especificaciones del tipo de batería

### 3.13 Inversor

El inversor es necesario para poder transformar el voltaje de las baterías, de corriente continua a corriente alterna apta para el consumo de la vivienda.

#### Datos Básicos

Lugar del origen:	China (Continental)	Marca:	OEM	Número de Modelo:	PI1500G
Tipo de salida:	Individual	Talla:	345x222x76mm	Potencia de salida:	> 1000KW
Frecuencia de salida:	50/60Hz	Corriente de salida:	Carga	Voltaje de salida:	220/110 V
Peso:	4.2	Voltaje de entrada:	12 V	Tipo:	Inversores DC/AC
Color:	Opcional	Aplicación:	Fuera de la red del sistema	Certificado:	CE RoHS
Nombre:	Red DC	Nombre del producto:	Inversor de frecuencia	Eficiencia:	Alta eficiencia
Onda de salida:	Modificado onda sinusoidal	Artículo:	Inversor inteligente de la energía	Protección:	Protección del cortocircuito
Palabra clave:	Convertidor de frecuencia AC				

Tabla 10. Especificaciones del inversor

### 3.14 Tablero de control

Para este sistema el tablero de control es similar a un tablero de control que se utiliza en las instalaciones fotovoltaicas.

Contará los siguientes dispositivos:

- 2 fusibles de seguridad antes de llegar al regulador de carga.
- 1 regulador de carga antes de conducir la energía a las baterías.
- Conexión del regulador hacia el banco de baterías de dos voltios.
- Fusibles de protección desde la conexión de las baterías hacia el inversor.
- Salida de la línea de distribución para el consumo del hogar, granja, etc.

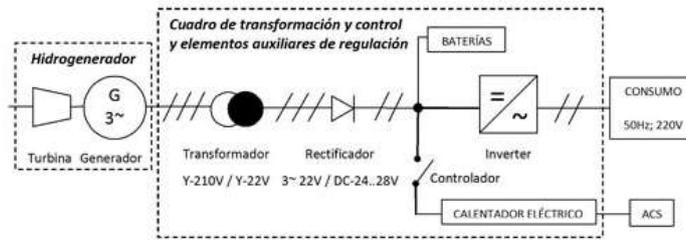


figura 18. Diagrama unifilar de la central de generación

### 3.15 Líneas de distribución

Las líneas de distribución deben tener características de acuerdo a la carga que demanda la vivienda y su instalación puede ser aérea o subterránea.

Para este sistema se hace uso de líneas aéreas.

Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán por separados y protegidos.

Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores de CC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior a 1.5% y la parte de CA para que la caída de tensión sea inferior al 2%, teniendo en ambos casos como referencia las tensiones correspondientes a cajas de conexiones.

Se incluirá toda la longitud de cable CC y CA. Deberá tener la longitud necesaria para no generar esfuerzos en los diversos elementos ni posibilidad de engancho por el tránsito normal de personas.

Todo el cableado de CC será de doble aislamiento.

### 3.16 Costos y análisis de factibilidad

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Limpieza y Desbroce	$m^2$	62	0,39	24,18
Replanteo y Nivelación	$m$	13	0,89	11,57
Excavación de zanja	$m^3$	189	13,00	2457,0
Relleno y compactado con material importado	$m^3$	56	14,22	796,32
Relleno y compactado con material de préstamo	$m^3$	129,50	6,70	867,65
Perfilado canal	$m^2$	91	2,63	239,33
Contrapiso	$m^3$	5,50	110,00	605,00
Hormigón simple	$m^3$	9,10	211,40	1923,74
Rueda		1		1055,26
Chumacera		2	25	44

---

Rueda		
dentada	1	94
Multiplicador		
de rpm	1	974,6
Generador	1	1780,08
Banco de		
Baterías	1	2120,2
Red de		
Distribución	1	324
SubTotal		13,316.93
IVA 12%		1,598.03
TOTAL		14,914.96

---

Análisis de factibilidad:

Para dar por concluido este trabajo de titulación se da a conocer un análisis de factibilidad en base a los costos en la construcción de la mini central de generación eléctrica y el tiempo de recuperación de la inversión.

$$\text{Kwh/día}=3,8$$

Determinando los Kw producidos al año se tendría:

$$3,8\text{Kw (365 días en el año)}$$

$$1387\text{Kw anuales}$$

Tomando en cuenta el precio del Kwh de la empresa eléctrica en la provincia de El Oro, que es de 0,09 \$.

En un año se tendría que:

$$13\text{Kwh (0,09\$)} = 1182,6\$$$

Según el monto de inversión, calculamos a cuantos años se recupera y se tiene:

$$\textit{Inversión del proyecto: } 11408,93$$

$$\textit{Recuperación anual: } 1182,6\$$$

$$\frac{\textit{Inversión del proyecto}}{\textit{Recuperación anual}} = \frac{11408,93}{1387,0} = 9,4\text{años}$$

El tiempo de recuperación en base a los años útiles de la instalación es conveniente ya que únicamente se tendrá que reemplazar el banco de baterías concluidos sus 20 años de vida útil y las dos chumaceras.

## **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

- Después de los estudios realizados podemos concluir con que este tipo de sistema puede ser implementado por cualquier persona natural para producir la energía y ser auto generador.
- El proyecto a más de beneficiar con energía eléctrica limpia, beneficia al medio ambiente.
- En este estudio se conoce ecuaciones, diagramas, pasos y consejos para la fabricación de la rueda, canal, casa de máquinas, conexión de baterías, etc.
- En el análisis de este sistema de generación de energía eléctrica a través de un sistema hidráulico en canal abierto se da por concluido que el río Arenillas de la provincia de El Oro si cumple con los parámetros para la aplicación de este sistema.

### **4.2 Recomendaciones**

- Este como otros métodos de generación eléctrica de manera limpia, aprovechando los recursos naturales deberían ser incentivados por parte de las autoridades para que las personas opten por tener sus propios mecanismos de generación y se pueda contribuir a la lucha contra la contaminación del medio ambiente.
- Antes de realizar la implementación de este proyecto se deberá tomar en cuenta que los datos fueron recolectados únicamente para el río

Arenillas, si se piensa realizar en otro río se deberá recolectar toda la información del río que se elija.

- Este estudio está orientado únicamente a la generación de energía, pero el sistema de rueda hidráulico también puede ser usado para el traslado de agua hacia lugares lejanos del mismo río.
- En el caso de que la carga aumente con el paso del tiempo, tratándose de que su uso es en un hogar, se puede instalar una rueda adicional en el mismo canal.

## BIBLIOGRAFÍA

- Tritec. (2014). *tritec energy*. Obtenido de [http://www.tritec-energy.com/images/content/TRITEC\\_Catalogo\\_Productos\\_esp.pdf](http://www.tritec-energy.com/images/content/TRITEC_Catalogo_Productos_esp.pdf)
- Monsolar. (s.f.). *Catalogo aerogeneradores wind plus*. Obtenido de [https://www.monsolar.com/pdf/Catalogo\\_aerogeneradores\\_Wind\\_Plus\\_bornay.pdf](https://www.monsolar.com/pdf/Catalogo_aerogeneradores_Wind_Plus_bornay.pdf)
- Instituto Nacional de Preinversión. (09 de Agosto de 2013). *Secretaría del Agua*. Obtenido de Secretaría del Agua: [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/EIAD-ZONA-REGABLE\\_opt.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/EIAD-ZONA-REGABLE_opt.pdf)
- aprendemostecnologia.org*. (20 de septiembre de 2015). Obtenido de [aprendemostecnologia.org](http://aprendemostecnologia.org): <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2015/09/tipos-de-energ3ada-transformaciones-energ3a9ticas1.pdf>
- aprendemostecnologia.org*. (1 de octubre de 2017). Obtenido de [aprendemostecnologia.org](http://aprendemostecnologia.org): <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/11/apuntes-energ3ada.pdf>
- XIX congreso nacional de ingenieria mecanica*. (16 de noviembre de 2012). Obtenido de XIX congreso nacional de ingenieria mecanica: <http://www.xixcnim.uji.es/CDActas/Documentos/ComunicacionesPosters/06-03.pdf>
- unesa*. (s.f.). Obtenido de unesa: <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1351-central-termica>
- Josep Puig, J. C. (1990). *La ruta de la energía*. Anthropos Editorial.
- Senner, A. (1994). *Principios de electrotecnia*. Reverte.
- Espacio Eureka* . (8 de mayo de 2016). Obtenido de Espacio Eureka: <https://espacioeureka.wordpress.com/2016/05/08/la-rueda-hidraulica/>
- Luis Jutglar Banyeras, L. J. (2004). *Energía solar Energías alternativas y medio ambiente*. Grupo planeta.
- energía solar fotovoltaica*. (2007). FC Editorial.
- Navales, A. P. (2008). *Energía eólica*. Universidad de Zaragoza.
- Alardro, J. C. (2002). *Análisis de sistemas de energía eléctrica*. Universidad de Oviedo.
- Castells, X. E. (2012). *Energías renovables: Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad*. Ediciones Díaz de Santos.
- Chwieduk, D. (2014). *solar energy in buildings 1st edition*. Academic Press.
- Domínguez, U. S. (2013). *Máquinas hidráulicas*. Editorial Club Universitario.
- Fowler, R. J. (1992). *Electricidad: principios y aplicaciones*. Reverte.
- Gironi, G. (2009). *Manual del Molinero*. MAXTOR.
- González, F. B. (2004). *Sistemas de energía eléctrica*. Editorial Paraninfo.
- R, J. H. (2006). *HIDRÁULICA DE CANALES FUNDAMENTOS*. Universidad Eafit.
- Velasco, J. G. (2009). *energías renovables*. Reverte.
- Viloria, J. R. (2013). *Energías renovables. Lo que hay que saber*. Ediciones Paraninfo.
- Instituto Nacional de Preinversión. (09 de Agosto de 2013). *Secretaría del agua*. Obtenido de Secretaría del agua: [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/EIAD-ZONA-REGABLE\\_opt.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/EIAD-ZONA-REGABLE_opt.pdf)

- Instituto Nacional de prevención. (09 de Agosto de 2013). *Secretaría del Agua*.  
Obtenido de Secretaría del Agua: [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/EIAD-ZONA-REGABLE\\_opt.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/EIAD-ZONA-REGABLE_opt.pdf)
- Bayeras, L. J. (2004). *Energía geotérmica*. Grupo planeta.
- Origgi, L. F. (1983). *Recursos naturales*. EUNED.
- JESÚS FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F. G. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- ESHA. (1998). *Manual de pequeña Hidráulica*.
- Claudio, M. (1986).
- BART, F. (1871).
- Repositorio digital de la facultad de ingeniería- UNAM*. (s.f.). Obtenido de Repositorio digital de la facultad de ingeniería- UNAM:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/630/A4.pdf?sequence=4>
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*.
- Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico*. (2001). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- Oleohidráulica VERION Soluciones Integrales*. (1989). Obtenido de Oleohidráulica VERION Soluciones Integrales:  
[http://www.verion.com.ar/images/productos/reductores/cajas-multiplicadoras/cajas\\_multiplicadoras\\_para\\_bombas.pdf](http://www.verion.com.ar/images/productos/reductores/cajas-multiplicadoras/cajas_multiplicadoras_para_bombas.pdf)
- Weg. (s.f.). Obtenido de Weg:  
[https://www.weg.net/catalog/weg/RS/es/Generaci%C3%B3n%20Transmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Generadores/c/GLOBAL\\_GENERATORS](https://www.weg.net/catalog/weg/RS/es/Generaci%C3%B3n%20Transmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Generadores/c/GLOBAL_GENERATORS)
- Kosow, I. L. (1977). *Control de máquinas eléctricas*. Revete.
- Universidad Politécnica de Valencia*. (1995). Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2685/2670>
- Victron Energy. (s.f.). [www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com). Obtenido de <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-OPzS-batteries-ES.pdf>
- Ediclima. (2018). *ediclima*. Obtenido de [ediclima.com](http://ediclima.com)



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Torres Ríos, Juan Andrés** con C.C: # 070678871-8 autor del Trabajo de Titulación: “Estudio de un sistema de generación de energía eléctrica en canal abierto mediante la rueda hidráulica en el río Arenillas, el Oro Ecuador”, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO - MECÁNICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de septiembre de 2018

f. \_\_\_\_\_  
Nombre: **Juan Ríos, Juan Andrés**  
C.C: **070678871-8**

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio de un sistema de generación de energía eléctrica en canal abierto mediante la rueda hidráulica en el río Arenillas, el Oro Ecuador.		
<b>AUTOR(ES)</b>	TORRES RÍOS, JUAN ANDRÉS		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. RUILOVA AGUIRRE, LUZMILA M.Sc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico - Mecánica		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Eléctrico - Mecánico		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	18 de septiembre de 2018	<b>No. de páginas:</b>	85
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	ENERGÍA RENOVABLE, ENERGÍA HIDRÁULICA,		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	RUEDA HIDRÁULICA, ENERGÍA LIMPIA, ELÉCTRICA, HIDROELÉCTRICA, MEDIO AMBIENTE, CONTAMINACIÓN.		
<b>RESUMEN:</b>	<p>En el siguiente trabajo de titulación se mencionan las formas más usadas por el hombre para la obtención de energía eléctrica, detallando su clasificación según las fuentes de origen y resaltando que la mejor manera de obtener energía es de una manera limpia utilizando recursos renovables que son de bajo impacto ambiental, dando realce a la energía hidráulica por ser el método que utiliza uno de los recursos más abundantes en la tierra como lo es el agua de los ríos y remontándonos a épocas pasadas en las que se empleaba otro tipo de método para la transformación de energía como lo es la rueda hidráulica que data de años antes de Cristo y que dio paso a lo que hoy son las grandes turbinas empleadas en las centrales hidroeléctricas.</p> <p>En esta etapa de fundamentos que respaldan este trabajo de titulación se tiene información teórica con la cual se tendrá una idea más clara y precisa del tipo de sistema utilizado para la transformación de energía como, los datos estadísticos, ecuaciones para la elección de materiales, estructuras civiles para la adecuación del terreno, estudios hidrológicos, tipos de conexiones y generalidades de la rueda hidráulica.</p> <p>Se da énfasis a la transformación de energía mediante el aprovechamiento del caudal del río por la rueda hidráulica, para de esta manera adaptar un sistema de rueda hidráulica al río Arenillas de la provincia de El Oro Ecuador por ser un método de obtención de energía limpia y que beneficiará a personas tanto como al medio ambiente y dar un aporte para que las personas tengan conciencia y se decidan por usar energía limpia libre de contaminación, con todos los datos y ecuaciones se espera que sea de un fácil entendimiento para la generación de la energía.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593994619189	E-mail <a href="mailto:juanandres-92@hotmail.com">juanandres-92@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Philco Asqui, Luis Orlando		
	<b>Teléfono:</b> (04) 2 202935 ext. 2007		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:luis.philco@cu.ucsg.edu.ec">luis.philco@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			