



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Servicio a la comunidad del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PICOCENTRAL
HIDROELECTRICA PARA EL LABORATORIO DE REDES
ELÉCTRICAS INTELIGENTES DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE
CUENCA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTORES: TYRON SANTIAGO SANCHEZ PACHECO

ERICK RICARDO ESPINOZA ASANZA

DIRECTOR: ING. JAVIER BERNARDO CABRERA MEJÍA MSc.

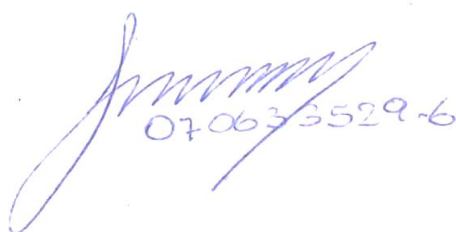
MATRIZ CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, Sánchez Pacheco Tyron Santiago con cedula de identidad N.º 0706335296, declaro que el trabajo "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA PARA EL LABORATORIO DE REDES ELECTRICAS INTELIGENTES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA" es de mi responsabilidad y autoría, eximo a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes de posibles acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca queda facultada para ejercer sus derechos correspondientes a este trabajo según lo establece la Ley de Propiedad Intelectual por su reglamento y norma institucional vigente.



Tyron Santiago Sánchez Pacheco

CI: 070633529-6

Yo, Erick Ricardo Espinoza Asanza con cedula de identidad N.º 0705611093, declaro que el trabajo "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA PARA EL LABORATORIO DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA" es de mi responsabilidad y autoría, eximo a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes de posibles acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca queda facultada para ejercer sus derechos correspondientes a este trabajo según lo establece la Ley de Propiedad Intelectual por su reglamento y norma institucional vigente.



Erick Ricardo Espinoza Asanza

CI: 070561109-3

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por Tyron Santiago Sánchez Pacheco y Erick Ricardo Espinoza Asanza bajo mi supervisión.



Ing. Javier Cabrera M. Mgs.

Docente tiempo completo

Unidad Académica de Ingenierías, Industrias y Construcción

Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme la vida, sabiduría y perseverancia en este duro camino universitario, a mi director de Tesis Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc por su apoyo durante clases y sobre todo durante el desarrollo del trabajo de titulación, a la Universidad Católica de Cuenca y a todo el personal docente y administrativo de la carrera de Ingeniería Eléctrica por brindar una excelente formación académica.

Santiago Sánchez

A Dios por regalarme la vida, sabiduría y perseverancia en este duro camino universitario, a mi director de Tesis Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc por su apoyo durante clases y sobre todo durante el desarrollo del trabajo de titulación, a la Universidad Católica de Cuenca y a todo el personal docente y administrativo de la carrera de Ingeniería Eléctrica por brindar una excelente formación académica.

Erick Espinoza

DEDICATORIA

A mis padres Leonardo y Teresa que son mi razón de vivir y porque sin su apoyo y comprensión no hubiera sido posible culminar esta investigación.

Santiago Sánchez

A mi madre Juana Asanza y familia que son mi razón de vivir y porque sin su apoyo y comprensión no hubiera sido posible culminar este trabajo de investigación.

Erick Espinoza

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. CENTRALES DE GENERACION.....	2
1.1 Centrales de generación renovables (no convencionales)	2
1.2. Clasificación de las centrales de generación renovables.....	2
1.2.1. Potencia generada.....	2
1.2.2. Energía obtenida que utiliza.....	2
1.2.2.1. Energía Geotérmica.....	2
1.2.2.2. Energía Eólica	3
1.2.2.3. Energía Fotovoltaica.....	3
1.2.2.4. Energía Hidroeléctrica	4
1.3. Tipos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas	5
1.3.1. Central hidroeléctrica de pasada.....	5
1.3.2. Central hidroeléctrica con embalse de reserva.....	5
1.3.3. Centrales hidroeléctricas de bombeo	6
1.3.4. Centrales por derivacion del agua.....	6
1.3.5. Centrales de pie de presa	7
1.3.6. Centrales en canal de riego	7
1.4 Clasificación de las centrales hidroeléctricas	8

1.5. Micro centrales Hidroeléctricas	9
1.5.1. Definición	9
1.5.2. Ventajas de las micro centrales Hidroeléctricas.	9
1.5.3. Componentes de una microcentral hidroeléctrica.....	10
1.5.4. Instalación de obra civil.....	10
1.5.4.1. Azudes	10
1.5.4.2. Aliviaderos, compuertas y válvulas	11
1.5.4.3. Toma de agua	11
1.5.4.4. Canales, túneles y tuberías	12
1.5.4.5. Cámara de carga.....	13
1.5.4.6. Casa de Maquinas.....	13
1.5.4.7. Elementos de cierre y regulación.....	14
1.5.5. Turbinas Hidráulicas	14
1.5.5.1. Turbinas de acción	14
1.5.5.2. Turbinas de reacción	17
1.5.6. Generador.....	19
1.5.6.1. Síncrono	19
1.5.6.2. Asíncrono.....	20
1.5.7. Sistemas de Protecciones.....	21
1.6. Energía del Agua	21
1.6.1. Energía potencial gravitatoria.....	21
1.6.2. Energía cinética	21
1.7. Potencia Nominal Generada	22
CAPITULO 2. DISEÑO E INSTALACION	23
2.1 Antecedentes	23
2.2 Evaluación del recurso hídrico	23
2.3 Altura neta.....	24
2.4 Caudal	28
2.4.1. Construcción del caudalímetro	28
2.4.1.1. Materiales	29
2.4.1.2. Esquema de conexión.....	29

2.4.2.	Datos obtenidos desde la micro-SD	30
2.4.3.	Hidrograma	31
2.4.4.	Tabulación de caudal anual	31
2.4.5.	Curva de caudales clasificados (CCC)	35
2.4.6.	Caudal Medio Histórico	36
2.4.	Potencia Disponible en función al caudal	37
2.4.1.	Potencia disponible media	39
2.5.	Potencia Neta	41
2.5.1.	Potencia neta media	42
2.6.	Selección de la turbina.	44
2.7.	Energía Suministrada.....	46
2.8.	Rendimiento.....	46
2.9.	Calculo de la velocidad específica de la turbina	46
2.10.	Diseño de Elementos de Protección de la Toma	47
2.11.	Cámara de presión.....	48
2.12.	Tubería	49
2.13.	Base de la Turbina	50
2.14.	Cono de presión.....	51
2.15.	Turbina.....	51
2.16.	Generador.....	52
2.17.	Micro central hidroeléctrica en Operación	53
CAPITULO 3. GENERACION DE ENERGIA EN LA MICRO CENTRAL HIDROELECTRICA		54
3.1	INTRODUCCION	54
3.2	Construcción de equipo para registro de magnitudes eléctricas.....	54
3.3	Tensión eléctrica generada.	55
3.4	Conexión lumínica.....	56
3.5	Consumo Motor bifásico a 120W	58
3.6	Análisis de carga Lumínica y Motor.....	60

CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1 CONCLUSIONES	61
4.2 RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	63
ANEXOS	64
Anexo 1. Programación Caudalímetro	64
Anexo 2. Registro de datos de caudalímetro	68
Anexo 3. Código para medidor de magnitudes eléctricas	69
Anexo 4. Registro Magnitudes eléctricas	71
Anexo 4. Script Graficas caudal.....	73
Anexo 5. Instalación de carga (iluminación).....	75
Anexo 6. Instalación de carga (Motor)	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Proyecto Geotérmico Chachimbiro 50 MW Imbabura – Ecuador	3
Figura. 2 Parque Eólico Villonaco 16 MW Loja-Ecuador	3
Figura. 3 Proyecto Fotovoltaico Puerto Ayora 1.5 MWp.....	4
Figura. 4 Proyecto Hidroeléctrico Manduriacu 678.36 GWh Pichincha- Ecuador	4
Figura. 5 Central hidroeléctrica TOPO 30MW Tungurahua - Ecuador.....	5
Figura. 6 Mini central hidroeléctrica 970 kW Gualaceo-Ecuador	5
Figura. 7 Esquema de una central de bombeo.....	6
Figura. 8 Esquema de una central por derivación de agua	6
Figura. 9 Esquema de una central de pie de presa.....	7
Figura. 10 Esquema de una central en canal de riego	8
Figura. 11 Minicentral Choriillo 3.69 MW - Zamora Ecuador	9
Figura. 12 Azud Central Ocaña I.....	11
Figura. 13 Toma de agua Central Ocaña I.....	12
Figura. 14 Canal de conducción de la minicentral hidroeléctrica Gualaceo.....	12
Figura. 15 Minicentral hidroeléctrica Gualaceo Tanque de carga.....	13
Figura. 16 Edificio de la minicentral hidroeléctrica Gualaceo	13
Figura. 17 Rendimiento de turbina tipo Pelton	15
Figura. 18 Turbina Pelton	15
Figura. 19 a) Rodete de la turbina turgo, b) Esquema de funcionamiento.....	16
Figura. 20 Vista de las palas de la turbina tipo TURGO	16
Figura. 21 Rendimiento turbina tipo Francis.....	17
Figura. 22 Turbina tipo Francis	18
Figura. 23 Rendimiento de turbinas Kaplan, Semi-Kaplan y Hélice.....	18
Figura. 24. Turbina tipo Kaplan.....	19
Figura. 25 Generador Síncrono	20
Figura. 26 Generador Asíncrono.....	20
Figura. 27 Ubicación del laboratorio de Smart Grid de la Universidad Católica de Cuenca..	23
Figura. 28 Canal de riego en Ricuate-Cuenca	24
Figura. 29 Diseño de alturas de la micro central hidroeléctrica	26
Figura. 30 Diseño General de la micro central hidroeléctrica	27
Figura. 31 Modelos de sensores de flujo para Arduino	28
Figura. 32 Construcción Caudalímetro.....	29
Figura. 33 Esquema de conexión caudalímetro	30
Figura. 34 Datos exportados a Excel	30

Figura. 35 Caudal histórico mensual.....	31
Figura. 36 Graficas de caudal por mes [lt/s].....	34
Figura. 37 Cudales Clasificados	36
Figura. 38 Grafica Caudal Medio	37
Figura. 39 Potencia disponible en función del caudal.....	39
Figura. 40 Potencia disponible media	40
Figura. 41 Potencia neta.....	42
Figura. 42 Potencia neta media	44
Figura. 43. Página Web Proviento S.A.....	45
Figura. 44 Especificaciones técnicas Turbina TURGO 500W	45
Figura. 45 Diseño de las rejillas de protección	47
Figura. 46 Instalación de la rejilla.....	47
Figura. 47 Diseño de la cámara de presión.....	48
Figura. 48 Instalación de la cámara de presión.....	48
Figura. 49 Diseño de la tubería	49
Figura. 50 Instalación de la tubería	49
Figura. 51 Diseño de la base de la turbina.....	50
Figura. 52 Instalación de la base de la turbina	50
Figura. 53 Instalación del cono de presión.....	51
Figura. 54 Turbina tipo Turgo.....	51
Figura. 55 Generador.....	52
Figura. 56 Operación de la microcentral hidroeléctrica	53
Figura. 57 Tensión generada	53
Figura. 58 Construcción de equipo para registro de magnitudes eléctricas.....	54
Figura. 59 Esquema de conexión Medidor de parámetros eléctricos	55
Figura. 60 Tensión generada de la microcentral	56
Figura. 61 Conexión en paralelo	56
Figura. 62 Voltaje y corriente consumida carga lumínica	57
Figura. 63 Potencia lumínica consumida.....	57
Figura. 64 Conexión en paralelo carga lumínica	58
Figura. 65 Instalación de motor Blower bifásico 210 W.....	58
Figura. 66 Corriente y tensión consumida motor BLOWER.....	59
Figura. 67 Potencia consumida por el motor.....	59
Figura. 68 Parámetros eléctricos lumínicos y carga inductiva	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia.....	8
Tabla 2. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su caída	8
Tabla 3. Clasificación de centrales hidroeléctricas según la potencia instalada	9
Tabla 4. Especificaciones Técnicas Sensor Caudal.....	28
Tabla 5. Caudales Clasificados.....	35
Tabla 6 Caudal Medio Anual.....	36
Tabla 7 Potencia disponible Media	40
Tabla 8 Potencia media anual.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Programación Caudalímetro</i> _____	64
<i>Registro de datos de caudalímetro</i> _____	68
<i>Código para medidor de magnitudes eléctricas</i> _____	69
<i>Script Graficas caudal</i> _____	73
<i>Instalación de carga (iluminación)</i> _____	75
<i>Instalación de carga (Motor)</i> _____	76

RESUMEN

El trabajo investigativo de titulación detalla el estudio hidrológico de captación en un canal de riego en la Universidad Católica de Cuenca, el mismo que será aprovechado para la implementación de una picocentral hidroeléctrica para el laboratorio de redes eléctricas inteligentes ubicado en Ricaurte.

Ya que el laboratorio cuenta con generación solar y eólica, se requiere implementar la generación hídrica, para conformar una sola red que abastezca una demanda específica y para futuros estudio dentro de los laboratorios.

Para la implementación y el diseño de la central se elaboró dispositivos para adquisición de datos de caudal y parámetros eléctricos, para lograr un eficiente rendimiento.

Se realizó los cálculos requeridos para la obtención de las simulaciones de potencia disponible y neta. Para de esta manera poder aportar con 500 [W] al laboratorio de redes eléctricas inteligentes

Se parte del estudio hidrológico y salto bruto total para su óptimo funcionamiento, en base a cálculos de la media potencia disponible y neta para la selección de la turbina, generador y tipo de central a utilizar.

Se desarrollaron varias pruebas, con diferentes cargas (lumínica, inductiva, capacitiva) para denotar el comportamiento de la central instalada que se detallan en los capítulos.

Gracias al aporte de la central hidroeléctrica se podrá lograr estudios futuros dentro de la facultad.

Palabras clave: CENTRAL HIDROELÉCTRICA, MICROGRID, GENERACION DISTRIBUIDA, ENERGIAS RENOVABLES, GENERACIÓN ELÉCTRICA

ABSTRACT

The research work of titling details the hydrological study of catchment in an irrigation channel at the Catholic University of Cuenca, which will be used for the implementation of a hydroelectric microelectric for the laboratory of intelligent electrical networks located in Ricaurte.

Since the laboratory has solar and wind generation, it is necessary to implement water generation, to form a single network that supplies a specific demand and for future study within the laboratories.

For the implementation and design of the plant, devices were developed for acquisition of flow data and electrical parameters, to achieve an efficient performance.

The calculations required to obtain the simulations of available and net power were made. In this way to be able to contribute with 500 [W] to the laboratory of intelligent electrical networks

It starts from the hydrological study and total gross leap for its optimal operation, based on calculations of average power available and net for the selection of the turbine, generator and type of power plant to be used.

Several tests were developed, with different loads (light, inductive, capacitive) to denote the behavior of the installed plant that are detailed in the chapters.

Thanks to the contribution of the hydroelectric power station it will be possible to achieve future studies within the faculty.

Keywords: HYDROELECTRIC POWER PLANT, MICROGRID, DISTRIBUTED GENERATION, RENEWABLE ENERGIES, ELECTRICAL GENERATI

INTRODUCCION

Actualmente la energía eléctrica se ha vuelto indispensable para la realización de actividades diarias, por lo que se busca implementar nuevas tecnologías, en el caso las picocentrales hidroeléctricas que aprovecha la presión de agua desde una cierta altura, convirtiendo la energía potencial en cinética por efecto de la gravedad. El agua es conducida para lograr mayor presión y así mover una turbina a gran velocidad, provocando rotación que por medio de un generador se transforma en energía eléctrica.

El principal recurso que posee el país es el hídrico, por lo que se opta por generar electricidad a partir de la fuerza del agua de una manera amigable con el medio ambiente, siendo la hidráulica una energía limpia que disminuye las emisión de gases de efecto invernadero (CO₂).

Se ha establecido diferentes criterios basados en proyectos en micro generación hidroeléctrica en Ecuador, para poder aprovechar el recurso disponible en una manera eficaz.

El trabajo investigativo de titulación cuenta con la recolección de datos periódicos reales almacenados en una base de datos, tabulados para la selección de la turbina y los componentes necesarios para su óptima ejecución.

Este proyecto incluye el estudio hidrológico y selección de la turbina adecuada a partir de los cálculos evaluados para su óptimo funcionamiento.

Se ha creado equipos electrónicos para la recolección de datos como caudal y otros parámetros eléctricos como: tensión, corriente, potencia y revoluciones por minutos por medio de sensores programables con microcontroladores el cual facilita la selección de la turbina y sus componentes para su óptimo funcionamiento que se detallaran en los siguientes capítulos.

Por último se registró parámetros de potencia consumida, corriente, tensión para evaluar y analizar su comportamiento dentro de su régimen de operación.

Por lo tanto, la factibilidad de instalar este tipo de proyectos, contribuirá a la micro red del laboratorio SMART GRID de la Universidad Católica de Cuenca.

CAPITULO 1. CENTRALES DE GENERACION

1.1 Centrales de generación renovables (no convencionales)

Son centrales de generación de energía eléctrica renovable utilizan la energía cinética que se encuentra en nuestro entorno, mediante diferentes tecnologías la convierten en energía eléctrica mediante procesos.

Existen varios tipos de centrales de generación renovable, las cuales se diferencia del tipo de materia que emplean.

1.2. Clasificación de las centrales de generación renovables

Las centrales de generación se clasifican en consideración a parámetros tales como la capacidad de potencia generada y el tipo de energía que utiliza para generar y otras.

1.2.1. Potencia generada

Hace relación a la proporción de tiempo con la que la energía eléctrica se transfiera en un circuito eléctrico, es decir la cantidad de energía absorbida por una carga resistiva o inductiva en un momento determinado.

1.2.2. Energía obtenida que utiliza

En el entorno se encuentran varios tipos de energía que mediante procesos, se la convierte en energía eléctrica. Hay varias tecnologías usadas para la generación de la energía eléctrica a partir de fuentes que conviven en el medio ambiente a continuación se describe brevemente las más significativas:

- Energía Geotérmica
- Energía Eólica
- Energía Fotovoltaica
- Energía Biomasa
- Energía Hidroeléctrica

1.2.2.1. *Energía Geotérmica*

Obtiene el vapor del subsuelo de la tierra para transportarlo y mover una turbina térmica que a su vez acciona un generador, el cual produce energía eléctrica (Nogués, Garcia Galindo, & Rezeau, 2010). En la figura 1, tenemos el proyecto geotérmico Cachimbiro, ubicado en la provincia de Imbabura el cual tienen un potencial de 50 MW.



Figura. 1 Proyecto Geotérmico Chachimbiro 50 MW Imbabura – Ecuador
Fuente: (CELEC EP TERMOPICHINCHA)

1.2.2.2. Energía Eólica

Son diseñadas para aprovechar la energía cinética producida por efecto de la fuerza del viento la cual es transformada en energía eléctrica mediante aerogeneradores. (Villarrubia López, 2012). Como se observa en la Figura 2. El proyecto emblemático Villonaco de 16.5 MW de potencia cuenta con 11 aerogeneradores de 1.5 MW cada uno se encuentra en la provincia de Loja. (Ministerio de Electricidad y Energía)



Figura. 2 Parque Eólico Villonaco 16 MW Loja-Ecuador
Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía)

1.2.2.3. Energía Fotovoltaica

Es el conjunto de elementos mecánicos y eléctricos que captan la energía solar disponible y la convierten en energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas. (Cuervo Garcia & Mendez). En la figura 3. Se observa el proyecto fotovoltaico

Puerto Ayora de potencia instalada 1.5 MWp, localizado en puerto Ayora que consta de 6.000 paneles solares (Ministerio de Electricidad y Energia)



Figura. 3 Proyecto Fotovoltaico Puerto Ayora 1.5 MWp
Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energia)

1.2.2.4. Energía Hidroeléctrica

Utiliza la energía hidráulica para la obtención de energía eléctrica a partir de la fuerza del agua, aprovechan la energía potencial gravitatoria en parámetros del desnivel conocido como salto, por medio de una turbina hidráulica se genera energía eléctrica por medio de un generador. (Sánchez, Escobar, Ramírez, Canedo, & Gamarra, 2010) En la figura 4. Observamos el proyecto hidroeléctrico Manduriacu de 60MW ubicado en Pichincha.



Figura. 4 Proyecto Hidroeléctrico Manduriacu 678.36 GWh Pichincha- Ecuador
Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energia)

1.3. Tipos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Se diferencia por el tipo de tecnología que ocupan entre algunas de ellas se tiene:

1.3.1. Central hidroeléctrica de pasada

Aprovecha el caudal disponible del río para producir energía eléctrica no requiere de embalses. (Sohr, 2012, pág. 135). Como ejemplo tenemos el proyecto hidroeléctrico Topo de 293.2, Ubicado en Baños de Agua Santa, utiliza el caudal del río de pasada con $15 \frac{m^3}{s}$ como se muestra en la figura 5.



Figura. 5 Central hidroeléctrica TOPO 30MW Tungurahua - Ecuador.
Fuente: (ARCONEL, s.f.)

1.3.2. Central hidroeléctrica con embalse de reserva

Este tipo de proyectos embalsan un porcentaje del río mediante construcción de presas que forman lagos artificiales. Dicho embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas. Al tener embalse de reserva se puede producir energía eléctrica durante todo el año, aunque no se tenga un caudal regular anual. (Minicentrales Hidroelectricas, 2006). Como ejemplo tenemos la mini central Gualaceo construida por elecaastro con una potencia instalada de 970kW como se observa en la figura 6.



Figura. 6 Mini central hidroeléctrica 970 kW Gualaceo-Ecuador
Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía)

1.3.3. Centrales hidroeléctricas de bombeo

Las centrales de bombeo son de uso especial ya que poseen dos embalses, el agua acumulada en el embalse situado más abajo es bombeada por un tiempo en demandas eléctricas menores al embalse superior, para turbinarla posteriormente, de esta manera generar energía eléctrica en horas de mayor consumo. (Colmenar Santos Antonio, 2016, pág. 35)

La figura 7, muestra el esquema con las partes principales

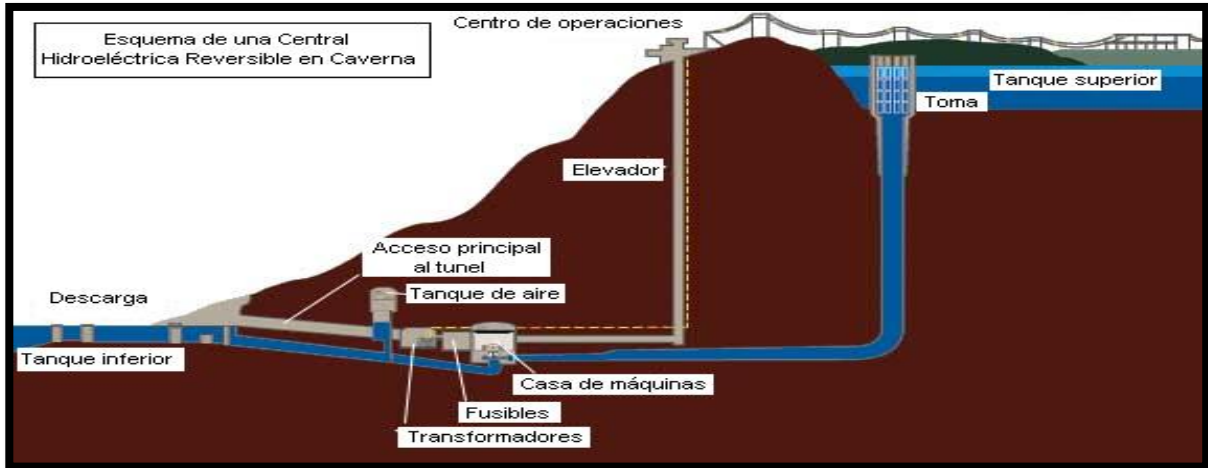


Figura. 7 Esquema de una central de bombeo
Fuente: (Minicentrales Hidroeléctricas, 2006)

1.3.4. Centrales por derivación del agua

Por medio de obra civil se desvía parte del agua del río, mediante conducciones se lleva hasta las turbinas, el agua turbinada es devuelta al cauce del río. Se caracterizan principalmente es que dependen directamente de la hidrología, por lo que es necesario conlleva un registro anual de caudal.

En la figura 8, muestra algunos de sus componentes

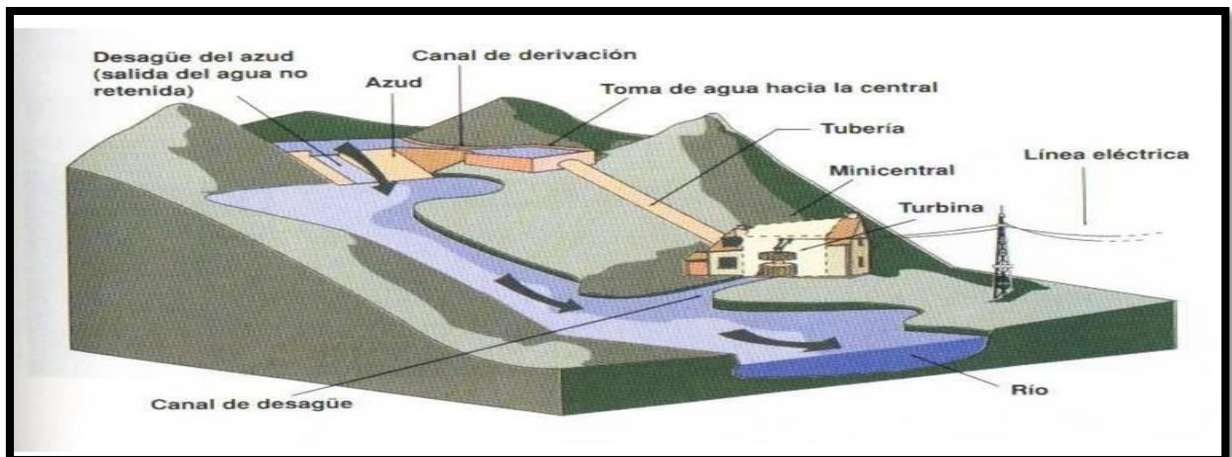


Figura. 8 Esquema de una central por derivación de agua
Fuente: (HIDRAULICA DE CANALES : FUNDAMENTOS., 2006)

1.3.5. Centrales de pie de presa

Por medio de un embalse en el río se almacena el agua, como por la procedencia de lluvias. Se caracteriza por la capacidad de regulación de los caudales de salida, que se precisa para ser turbinados esta configuración por lo general se utiliza en demanda picos de consumo.

Como ejemplo tenemos la central hidroeléctrica Saymirin que se muestra en la figura 9, que forma parte del complejo hidroeléctrico Machángara localizada a 6,3 km de la ciudad de Cuenca, aprovechando las aguas de los ríos Chulco y Machángara.



Figura. 9 Esquema de una central de pie de presa
Fuente: (ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO, s.f.)

1.3.6. Centrales en canal de riego

Distinguen dos tipos de tecnologías las que utilizan la caída existente en el propio canal, por medio de tuberías ubicadas paralelamente al canal, se conduce el agua hasta la tubería retroalimentándola al canal. Y las que se instalan cercana al canal y se turbinan las aguas excedentes.

En la figura 10, muestra algunos de sus componentes

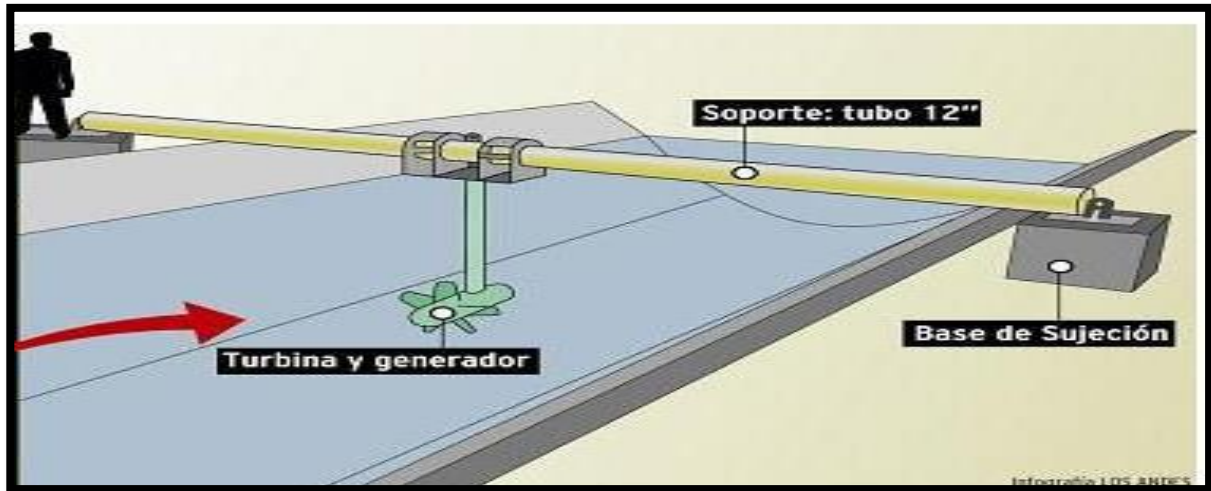


Figura. 10 Esquema de una central en canal de riego
Fuente: (HIDRAULICA DE CANALES : FUNDAMENTOS., 2006)

1.4 Clasificación de las centrales hidroeléctricas

Según la OLADE "Organización Latinoamericana de energía" se clasifica según la potencia generada como se observa en la Tabla 1, ya que no existe ninguna norma INEN o ARCONEL que clasifique las centrales de pequeña potencia dentro del Ecuador.

Tabla 1. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia

Potencia (KW)	TIPO
0-50	MICRO CENTRAL
50-500	MINI CENTRAL
500-5000	PEQUEÑA CENTRAL

Fuente: (Pequeñas centrales hidroelectricas, 2001)

En la tabla 2, muestra la clasificación según la altura:

Tabla 2. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su caída

	BAJA (m)	MEDIA (m)	ALTA (m)
Micro	$H > 15$	$15 < H > 50$	$H > 50$
Mini	$H < 20$	$20 < H > 100$	$H > 100$
Pequeña	$H < 25$	$25 < H > 130$	$H > 130$

Fuente: (Pequeñas centrales hidroelectricas, 2001)

En la tabla 3 según la potencia generada:

Tabla 3. Clasificación de centrales hidroeléctricas según la potencia instalada

TIPOS	POTENCIA (MW)
Micro centrales	Menores a 0.1
Mini centrales	De 0.1 a 1
Pequeñas centrales hidroeléctricas	De 1 a 10

Fuente: (Pequeñas centrales hidroeléctricas, 2001)

1.5. Micro centrales Hidroeléctricas

1.5.1. Definición

Las microcentrales hidroeléctricas son fuentes de energía local que aprovechan el potencial energético de ríos pequeños, se diseñan para funcionar a partir del río, no es necesario construir una represa, sino se capta parte del agua del río y se la canaliza a través de tuberías hacia las turbinas. (Smith, 2006, pág. 61). Por lo general se componen de obra civil, un equipo electromagnético y redes eléctricas de transmisión y distribución. Tenemos la minicentral hidroeléctrica Chorillos de 3.96 MW, en construcción en la provincia de Zamora Chinchipe, la cual aprovecha el potencial hidroenergético de la quebrada Chorillos para la generación de energía eléctrica, ver en la figura 11.



Figura. 11 Minicentral Chorillo 3.69 MW - Zamora Ecuador

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía)

1.5.2. Ventajas de las micro centrales Hidroeléctricas.

- Por sus beneficios ambientales, ya que para la generación de energía eléctrica no utiliza combustibles fósiles los cuales son los responsables del cambio climático.

- Por sus beneficios socioeconómicos, ya que se ha demostrado que a igual potencia instalada, las unidades de generación de fuentes renovables generan hasta cinco veces más puestos de trabajo que tecnologías convencionales

(Sánchez, Escobar, Ramírez, Canedo, & Gamarra, 2010, pág. 7)

- La energía hidroeléctrica es amigable con el medio ambiente, al no causar emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las centrales convencionales de uso de combustión de combustibles fósiles.
- Dado que existen puntos de cargas donde no es accesible la red de distribución de la empresa local y se cuenta con un caudal de agua sostenible, son ideales para implementar en ríos de esta manera generando energía eléctrica.

1.5.3. Componentes de una microcentral hidroeléctrica

Para construir una minicentral hidroeléctrica hay que tener en cuenta varios elementos y equipos entre los que tenemos:

- Obra civil
- Turbinas hidroeléctricas
- Generador
- Sistemas de protección

1.5.4. Instalación de obra civil

La obra civil es el conjunto de estructuras, instalaciones que se requieran para la conducción del agua hacia las turbinas, así como para albergar los equipos electromecánicos, eléctricos y control. (Minicentrales Hidroeléctricas, 2006)

Los impactos ambientales de este tipo de construcciones son mínimos en comparación con las grandes centrales hidroeléctricas, ya que no conlleva grandes construcciones son mínimas al ser mini centrales hidroeléctricas, produciendo un menor impacto ambiental.

La obra civil cuenta con:

1.5.4.1. Azudes

Es construido con el propósito de desviar parte del caudal hacia la central, la parte que no es desviada sigue el cauce normal del río. (Minicentrales Hidroeléctricas, 2006)

El azud se suele construir en hormigón para que resista el empuje de agua, aunque se suele poner anclajes con el fin de aumentar la estabilidad. En la figura 12 la presa de la minicentral hidroeléctrica Ocaña I.



Figura. 12 Azud Central Ocaña I
Fuente: (ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO, s.f.)

1.5.4.2. Aliviaderos, compuertas y válvulas

Son dispositivos que nos facilitan el paso del agua desde el embalse hacia el cauce del río, de esta manera se puede regular el caudal de ingreso a la turbina. (Sánchez, Escobar, Ramírez, Canedo, & Gamarra, 2010)

Suelen ocasionar subidas de agua en el embalse que conlleva a sobrepasar el máximo permitido; por lo que es necesario la instalación de válvulas y compuertas para poder drenar el agua y evitar este tipo de ocasiones.

1.5.4.3. Toma de agua

Es la estructura que se construye para desviar una parte del caudal del río y de esta manera facilitar la entrada del azud o la presa. El diseño tiene que estar establecido en base a cálculos para que las pérdidas de carga sean mínimas. (Minicentrales Hidroelectricas, 2006)

En la central Ocaña I observamos la toma de agua en la figura 13.



Figura. 13 Toma de agua Central Ocaña I
Fuente: (Minicentrales Hidroeléctricas, 2006)

1.5.4.4. Canales, túneles y tuberías

Depende del tipo de minicentral que se vaya a elaborar, es necesario una red mayor o menor de conducciones. “Las instalaciones situadas a pie de presa no tienen cámara de carga (es el propio embalse), al contrario que las centrales en derivación donde el agua tiene que hacer un recorrido más largo: primero desde la toma a la cámara de carga, y después hasta la turbina.” (Minicentrales Hidroeléctricas, 2006). El tramo que realiza el agua es a través de canales. Túneles o tuberías, para el segundo tramo es conveniente utilizar siempre tuberías.

Como se ve en la figura 14 el canal de conducción que utilizaron para la conducción del agua hacia las turbinas.



Figura. 14 Canal de conducción de la minicentral hidroeléctrica Gualaceo
Fuente: (ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO, s.f.)

1.5.4.5. Cámara de carga

Es un depósito ubicado al final del canal, comienza con tubería forzada. Para algunos casos se lo ocupa como suministro de volumen necesario para que la turbina no tenga intermitencias. (Pequeñas centrales hidroeléctricas, 2001). En la figura 15 vemos el tanque de carga de la central Gualaceo para almacenar y poder generar en horas de demanda pico.



Figura. 15 Minicentral hidroeléctrica Gualaceo Tanque de carga
Fuente: (ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO, s.f.)

1.5.4.6. Casa de Maquinas

Es el espacio en donde se ubican todos los equipamientos de la minicentral como turbinas, generadores, alternadores, paneles de control, paneles eléctricos. El edificio cuenta con las conducciones necesarias para que el agua pueda llegar hacia la turbina con las mínimas pérdidas de carga, para que luego el agua turbinada pueda ser evacuada hacia el canal de descarga. (Minicentrales Hidroeléctricas, 2006). En la figura 12, vemos el edificio de la central Gualaceo.



Figura. 16 Edificio de la minicentral hidroeléctrica Gualaceo
Fuente: (ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO, s.f.)

1.5.4.7. Elementos de cierre y regulación

En el caso que la central sufra una parada momentánea puede existir daños por lo que existen los siguientes elementos

- **Ataguías.** Son usadas para cerrar el acceso del agua, para realizar mantenimiento, limpiezas a las instalaciones.
- **Compuertas.** Se ocupan compuertas verticales para el corte de agua de la minicentral en la turbina
- **Válvulas.** Suelen ser de compuerta, están ocasionan mayor fiabilidad que dichas compuertas se utilizan en saltos más grandes

1.5.5. Turbinas Hidráulicas

Es el componente principal de la minicentral, es el encargado de aprovechar la energía cinética producida por el agua, transformándola en movimiento que a su vez mediante un generador produce energía eléctrica. Estas turbinas se clasifican en dos grandes grupos:

- Turbinas de acción
- Turbinas de reacción

1.5.5.1. Turbinas de acción

Son las que aprovechan la velocidad del agua para hacerle girar. Los tipos más utilizados en este son las turbinas Pelton, pero también distinguen la Tugo con inyección lateral y la turbina doble impulsión o flujo cruzado conocida como turbina Ossberger o Michell-Banki

- **Turbina tipo Pelton.** *“Se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. incidiendo en los álabes y provocando el movimiento de giro de la turbina.”* (Minicentrales Hidroelectricas, 2006)

Las características de este equipo hacen posible operar con carga parcial, y nos permite una amplia manera de variar caudales en su funcionamiento. Se instalan con eje horizontal o vertical en la figura 17 vemos el rendimiento en función del caudal, se establece un rendimiento constante de 90%.

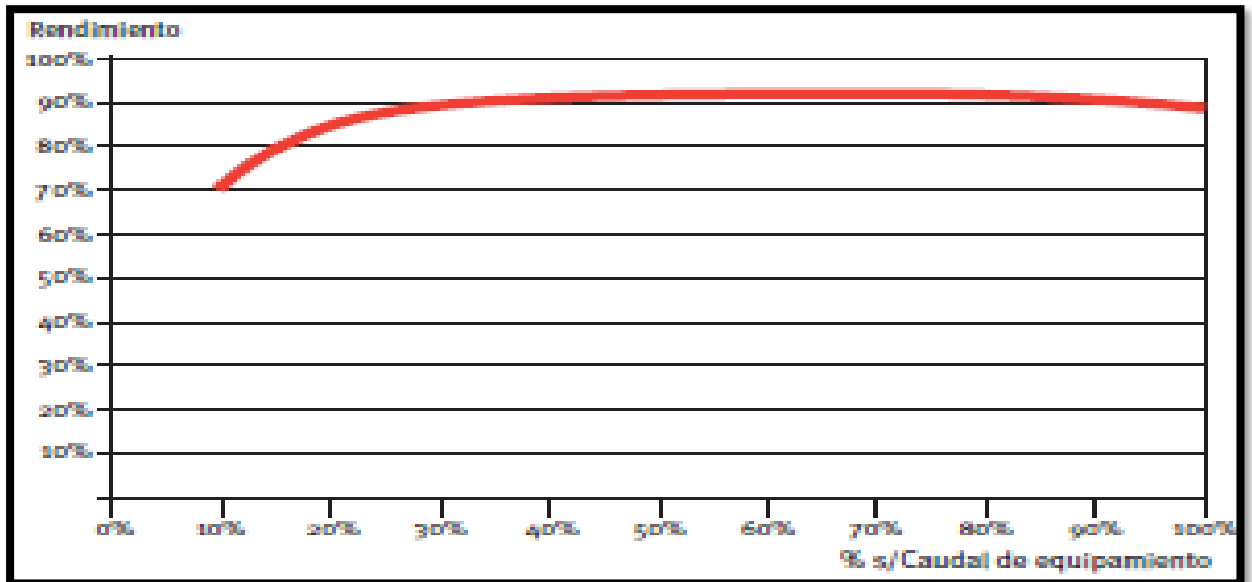


Figura. 17 Rendimiento de turbina tipo Pelton
Fuente: (Minicentrales Hidroelectricas, 2006)

En la figura 18, muestra la forma de las palas de una turbina tipo Pelton.

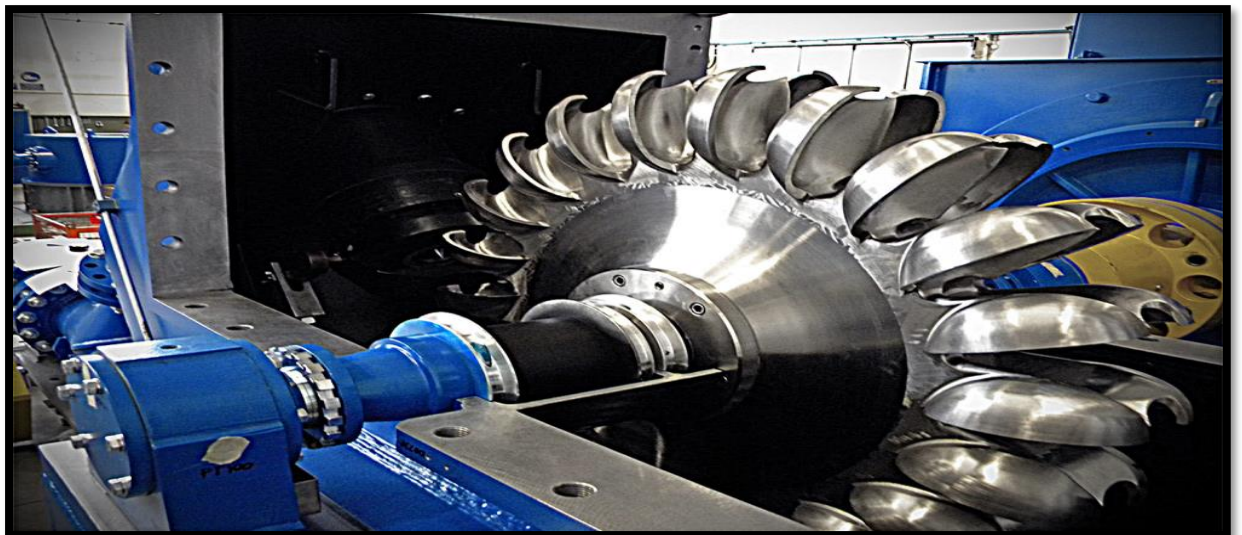


Figura. 18 Turbina Pelton
Fuente: (Proviesto S.A)

- **Turbina tipo turgo:** Es similar a la Pelton, pero sus alabes tienen una forma de disposición distinta. El chorro incide con Angulo de 20° respecto al plano diametral del rodete, como se muestra en figura 19, entrando por un lado

del disco diametral y saliendo por el otro. Puede trabajar en recursos hídricos que presenta alturas netas equivalentes comprendidas entre 15 y 300[m]. Esta turbina posee un rendimiento del 60%

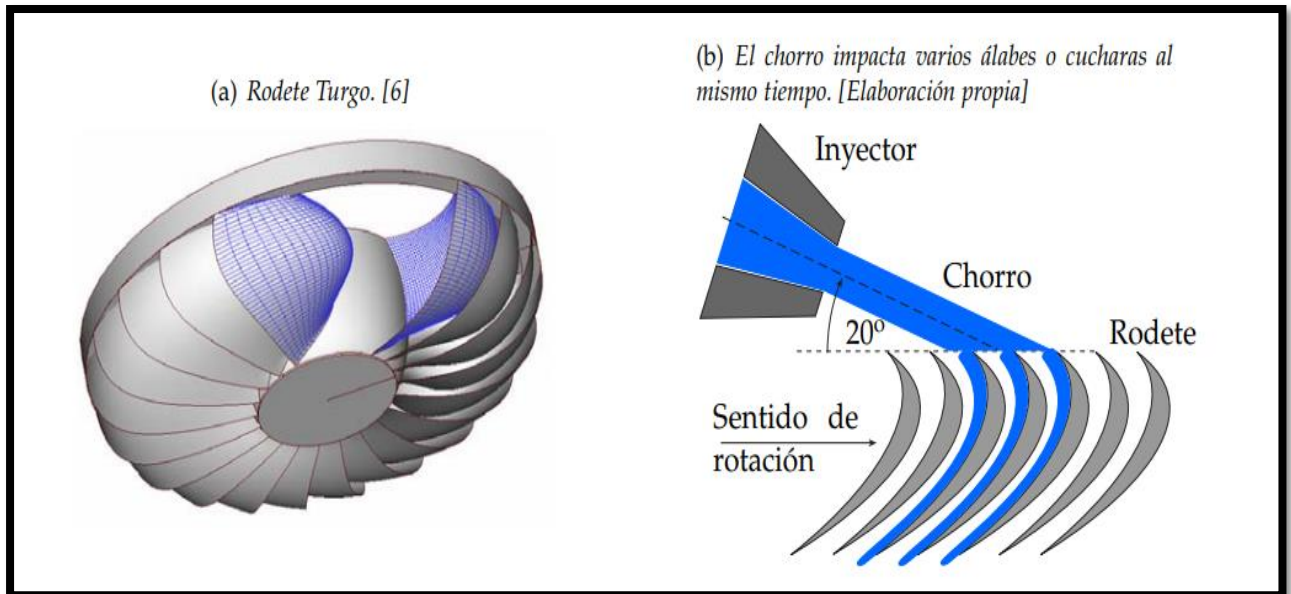


Figura. 19 a) Rodete de la turbina turgo, b) Esquema de funcionamiento
Fuente: (Minicentrales Hidroelectricas, 2006)

En la figura 20, muestra la forma de las palas de la turbina TURGO

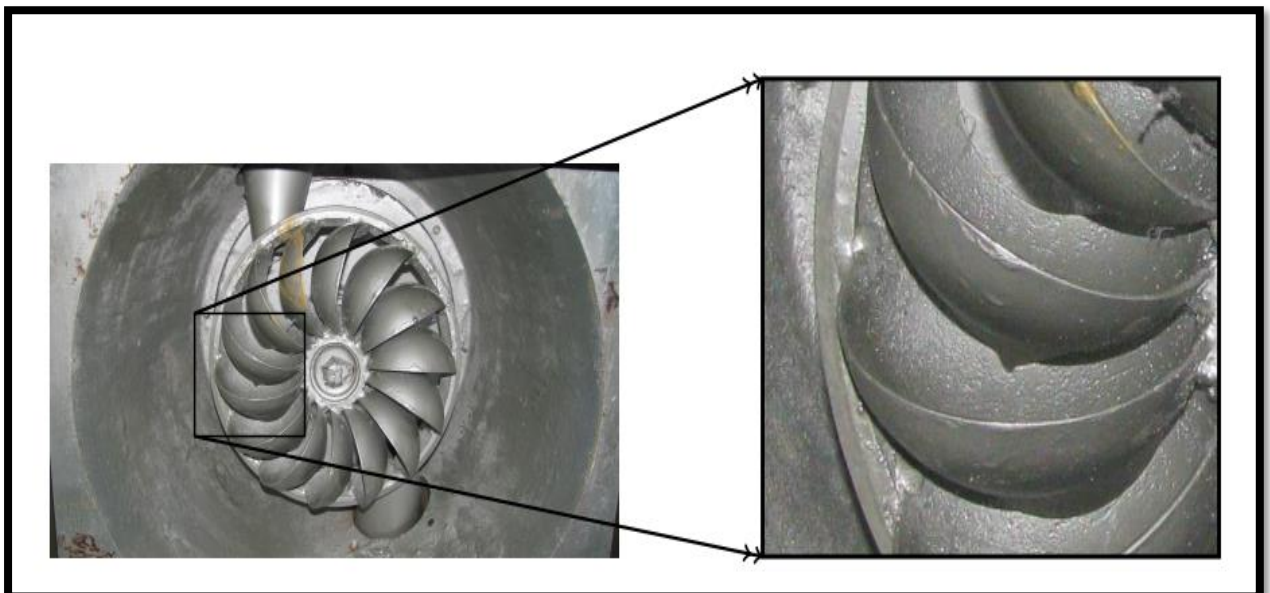


Figura. 20 Vista de las palas de la turbina tipo TURGO
Fuente: (CARACTERIZACIÓN DE TURBINA HIDRÁULICA TIPO TURGO, 2011)

1.5.5.2. Turbinas de reacción

Existen de varios tipos:

- **Francis.** Por lo general se adapta a todo tipo de saltos y caudales, su rango de utilización es grande. (Sánchez, Escobar, Ramírez, Canedo, & Gamarra, 2010)

Su rendimiento es mayor al 90% en condiciones estables de funcionamiento. Nos permite variaciones que van desde el 40% al 105% del caudal de diseño y en salto entre 60% y el 125% del nominal. En la Figura 21, vemos el rendimiento de la turbina en función al caudal.

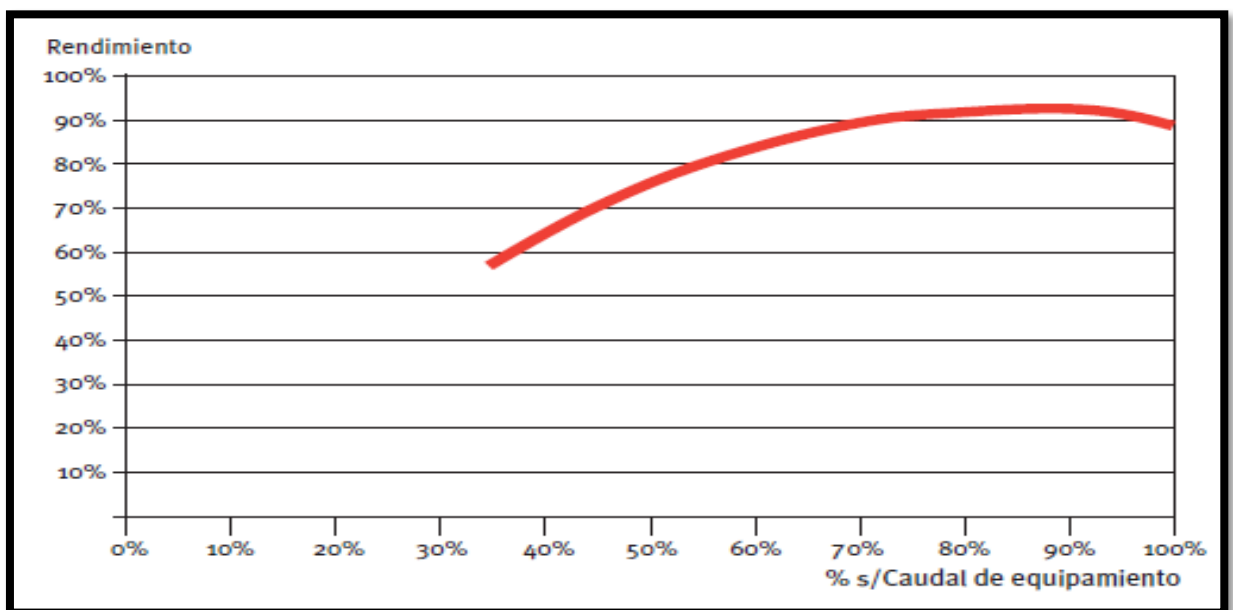


Figura. 21 Rendimiento turbina tipo Francis
Fuente: (Minicentrales Hidroeléctricas, 2006)

En la figura 22, vemos la forma de las palas y el mecanismo de operación de la turbina tipo Francis.

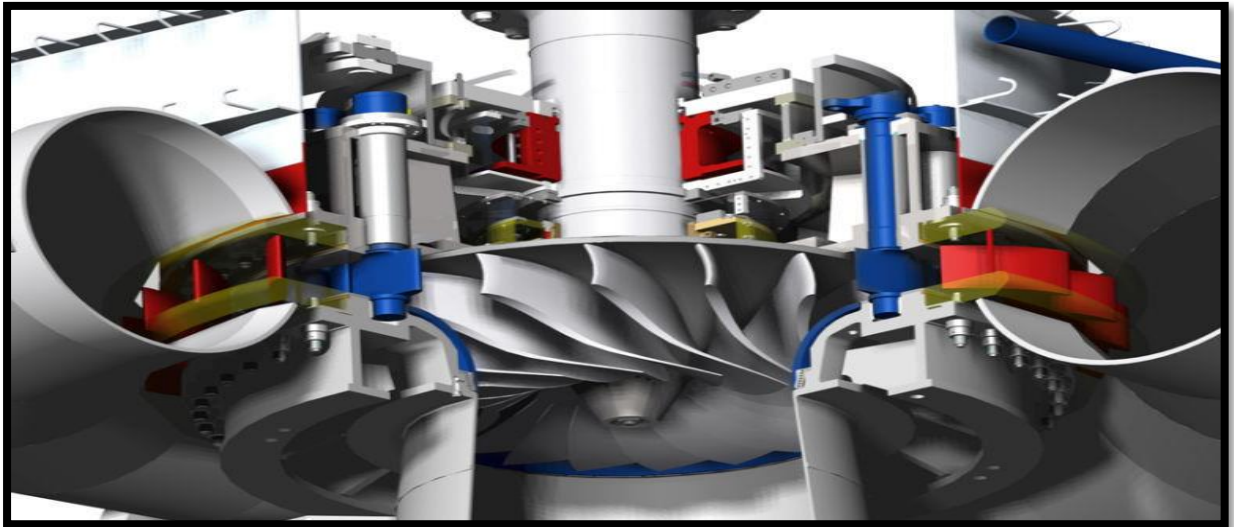


Figura. 22 Turbina tipo Francis
 Fuente: (*Minicentrales Hidroelectricas, 2006*)

- **Turbina Hélice, Semi-Kaplan y Kaplan.** Sus componentes son una cámara de entrada abierta o cerrada, distribuidor fijo y un rodete de 4 a 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración.

Esta turbina tiene incorporado un distribuidor regulable, el que le facilita mayor rango de funcionamiento con un mayor rendimiento, a un costo más elevado. (*Minicentrales Hidroelectricas, 2006*). El rendimiento de dichas turbinas se lo muestra en la figura 23.

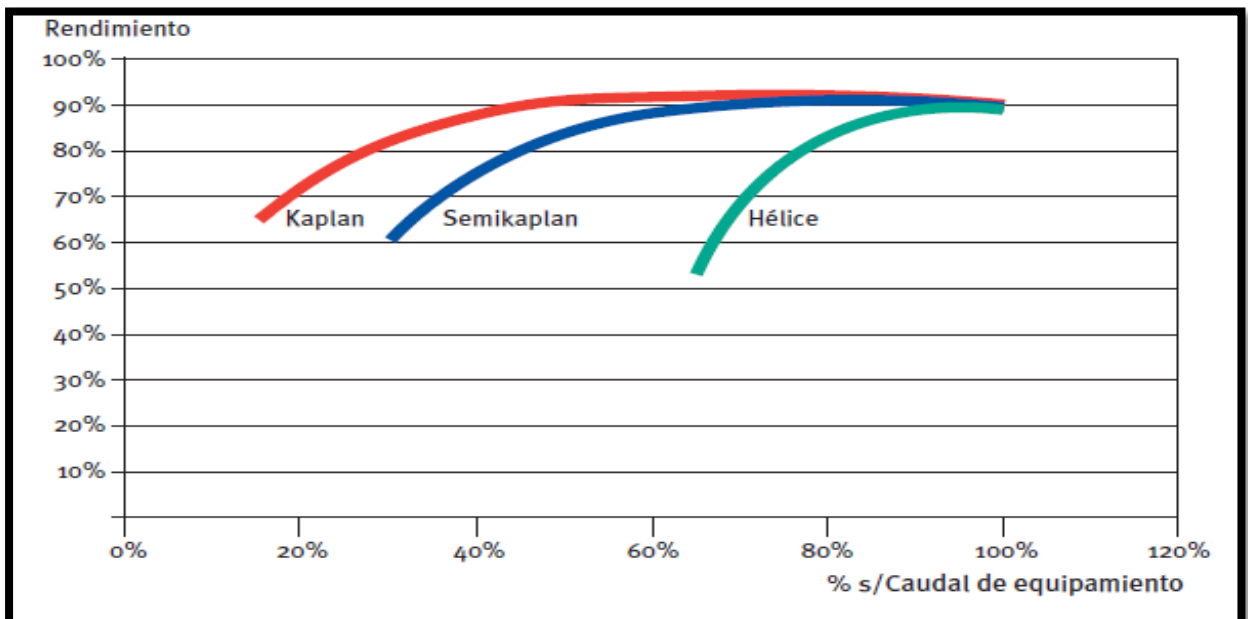


Figura. 23 Rendimiento de turbinas Kaplan, Semi-Kaplan y Hélice
 Fuente: (*Minicentrales Hidroelectricas, 2006*)

Se las emplea por lo general en saltos pequeños y caudales variables o grandes. En la figura 24, vemos la forma de las palas de la turbina tipo Kaplan.

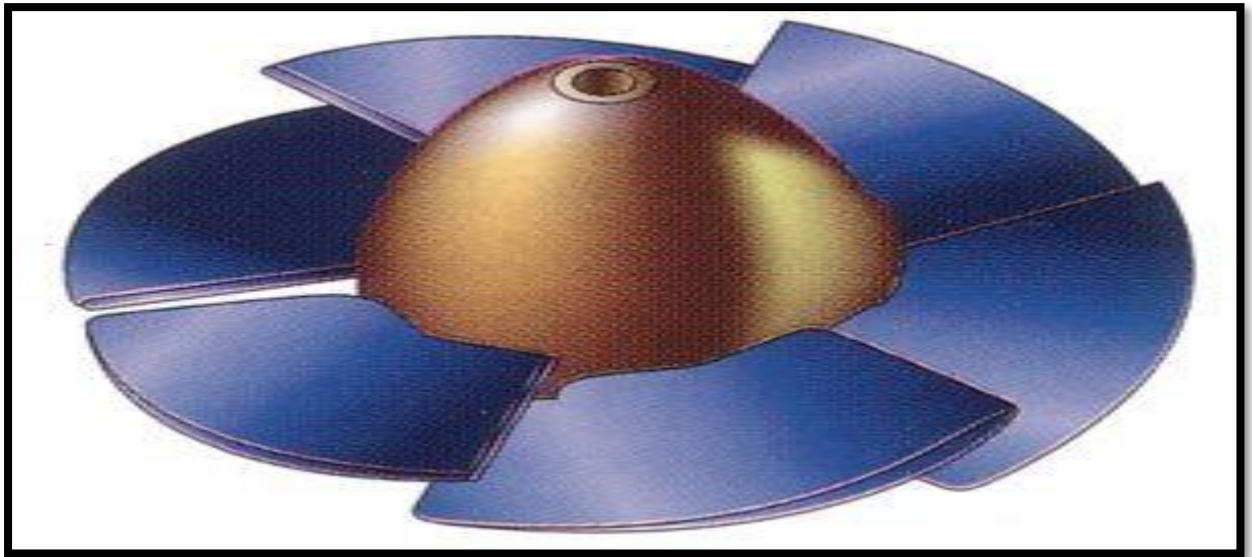


Figura. 24. Turbina tipo Kaplan
Fuente: (*Características de la turbina tipo Kaplan*, 2016)

1.5.6. Generador

Transforma la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica, su funcionamiento es la inducción electromagnética

Está compuesto por dos partes esenciales:

- **El rotor o inductor.** Tiene como función generar un campo magnético variable
- **Estator.** Sobre el que se genera la corriente eléctrica

Puede ser de dos tipos: síncrono o asíncrono

1.5.6.1. Síncrono

Es un tipo de generador en donde se convierte la energía mecánica en eléctrica a una velocidad constante llamada sincronismo que se expresa por la siguiente ecuación.

(Maquinas eléctricas J. Chapman)

$$N_s = \frac{60 \times f}{p} \quad (1)$$

N_s = Velocidad de sincronismo [rpm]

f = Frecuencia [Hz]

p = numero de pares de polos del generador

En la figura 25, vemos las partes del generador síncrono.

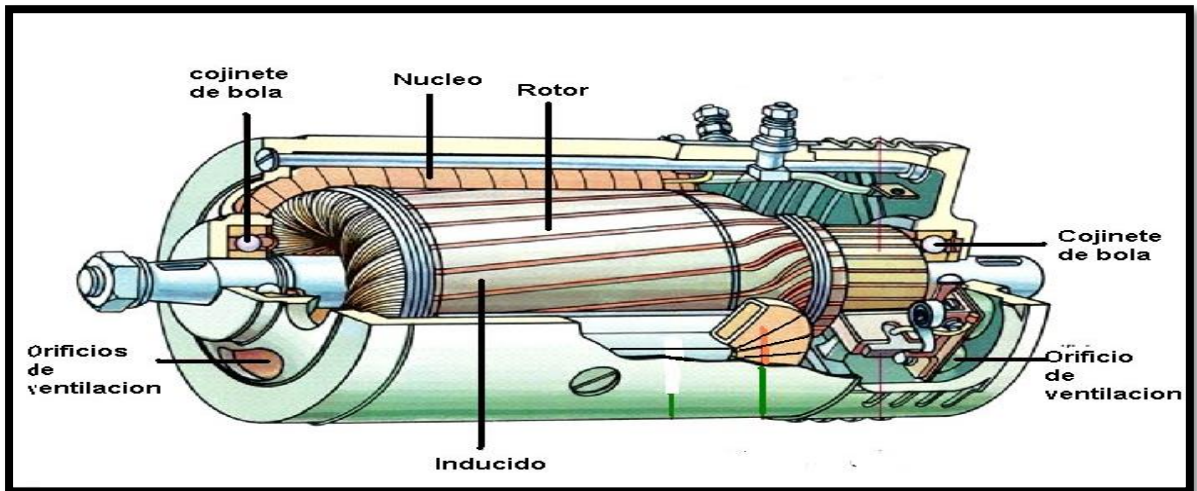


Figura. 25 Generador Síncrono
Fuente: (Maquinas eléctricas J. Chapman)

1.5.6.2. Asíncrono

Gracias a que es simple, robusto y su precio bajo estos se han venido utilizado a lo largo como generadores eléctricos en las centrales de generación de pequeña potencia. En la figura 26, vemos las partes del generador asíncrono. (Maquinas eléctricas J. Chapman)

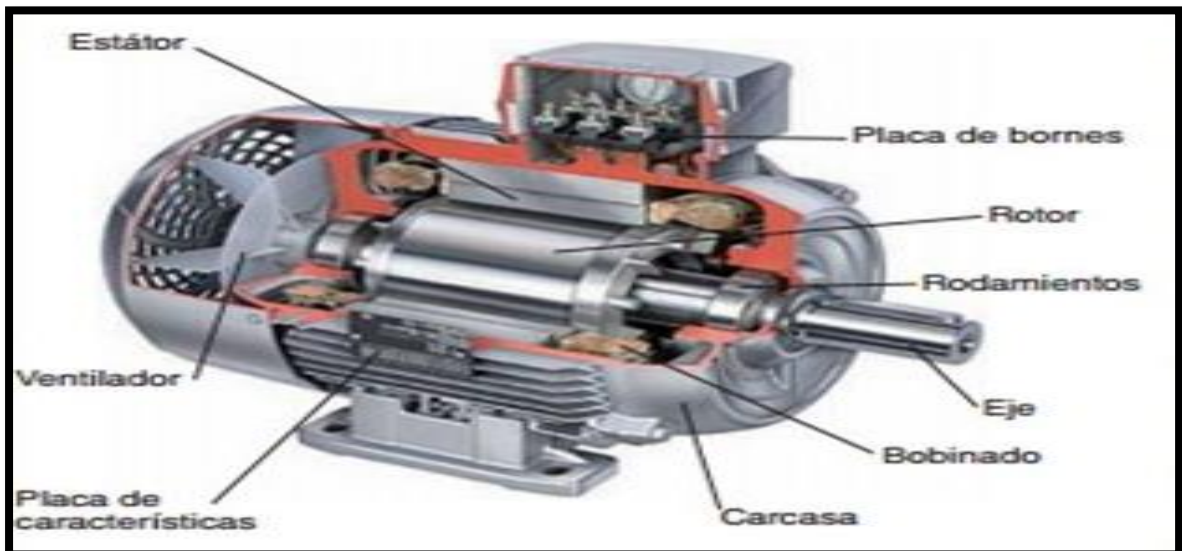


Figura. 26 Generador Asíncrono
Fuente: (Maquinas eléctricas J. Chapman)

1.5.7. Sistemas de Protecciones

Como hablamos de micro generación hidroeléctrica en baja tensión, por lo general se utiliza tableros que cumplen la función de recibir la energía eléctrica y distribuirla por medio de conductores a las cargas de los circuitos, se protegen individualmente para sobre corriente por medio de fusibles o interruptor magnéticos

1.6. Energía del Agua

La energía del agua se basa en aprovechar la caída desde una determinada altura para producir energía eléctrica, se obtienen de la energía cinética y potencia de la corriente del agua o los saltos de agua naturales

Se clasifica:

1.6.1. Energía potencial gravitatoria

Es la capacidad que posee un cuerpo para ejecutar un trabajo situado en una determinada altura sobre el suelo. Como ejemplo podemos almacenar agua en un estanque, la cual obtendrá una velocidad donde produce rotación a los alabes de la turbina generando energía eléctrica (Sánchez, Escobar, Ramírez, Canedo, & Gamarra, 2010). La fórmula se expresa con la ecuación 1.

$$E_p = m \times g \times h \quad [\text{Julios}] \quad (2)$$

Donde;

$m \rightarrow$ masa (kg)

$g \rightarrow$ aceleración de la gravedad (m/s^2)

$h \rightarrow$ altura (m)

1.6.2. Energía cinética

Es la energía de movimiento que posee un cuerpo, se define como el trabajo que necesita para acelerar desde el reposo hasta la velocidad esperada (Osorio, 2008). La energía cinética de un fluido está dada por varios parámetros como la densidad del fluido, ver ecuación 2.

$$e_c = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3)$$

Donde;

$\rho \rightarrow$ densidad del fluido

$v \rightarrow$ velocidad

1.7. Potencia Nominal Generada

Se establece como la potencia máxima que demanda una carga resistiva o inductiva en condiciones normales de operación, es decir que el aparato está diseñado para soportar esa cantidad de potencia. Se expresa por la siguiente ecuación.

$$P_n = 9.81 \times Q_n \times H_n \times R_t \times R_g \quad (3)$$

$P_n \rightarrow$ Potencia nominal [kW]

$Q_n \rightarrow$ Caudal de equipamiento en [m³/s]

$H_n \rightarrow$ Salto neto de diseño [m]

$R_t \rightarrow$ Rendimiento de la turbina para salto y caudal de diseño

$R_g \rightarrow$ Rendimiento nominal del generador

En caso de no contar con datos constructivos del generador se establece un rendimiento del 79 %

CAPITULO 2. DISEÑO E INSTALACION

2.1 Antecedentes

La figura 27, muestra la ubicación en donde se requiere implmenta la picocentral hidroelectrica, ubicada en Ricaute en el laboratorio de Smart Grid de la Universidad Católica de Cuenca.

Ya que los laboratorios cuentan con energia solar y eolica se requiere implementar una central hidrrica que aproveche el potencial de un canal de riego que pasa por la misma para conformar una sola red de generacion dentro de los laboratorios y lograr estudios futuros



Figura. 27 Ubicación del laboratorio de Smart Grid de la Universidad Católica de Cuenca
Fuente: (Google Maps)

2.2 Evaluación del recurso hídrico

En el sector de Ricaute existe un canal de riego en la figura 28 se muestra el cual proviene desde Checa y suministra de agua a los pequeños agricultores del sector se requiere medir el potencial hidrológico de este canal.



Figura. 28 Canal de riego en Ricuate-Cuenca
Fuente: (AUTORES)

2.3 Altura neta

Al realizar varias pruebas en campo y por la topología del sector se estableció la altura de salto total, salto bruto y salto neto y a su vez calculando las pérdidas en los diferentes mecanismos como se muestra en la figura 29.

Se calculó en campo utilizando un distanciometro desde y_1 hasta y_2 con un aproximado de 16,36 [m] siendo la altura de salto total, desde y_3 hasta y_4 un aproximado de 15,27 [m] de altura de salto bruto y desde y_5 hasta y_6 12,23 [m] en la figura 29 detallamos el esquema de alturas.

Las mediciones de pérdidas se establecieron con los siguientes valores medidos con un metro.

h_1 = Pérdida en el canal con un aproximado de 0.37 [m]

h_2 = Pérdida en la cámara de presión con un aproximado de 0.20 [m]

h_3 = Pérdida en la tubería con un aproximado de 0.0.60 [m]

h_4 = Pérdidas en la turbina con un aproximado de 0.70 [m]

h_5 = Pérdida en el tubo de aspiración con un aproximado de 1.8 [m]

h_6 = Perdidas en el canal de desagüe con un aproximado de 1.8 [m]

Por lo tanto, tendremos:

Altura neta

$$H' = H - (h1 + h2 + h6) [m] \quad (4)$$

Remplazando los valores obtenemos:

$$H' = 16,36 - (0,37 + 0,20 + 0,51)$$

$$H' = 16,36 - (1,08)$$

$$H' = 15,28 \text{ metros}$$

Altura de salto útil:

$$H'' = H' - (h3 + h4 + h5) [m] \quad (5)$$

$$H'' = 15,27 - (3,1)$$

$$H'' = 12,17 \text{ metros}$$

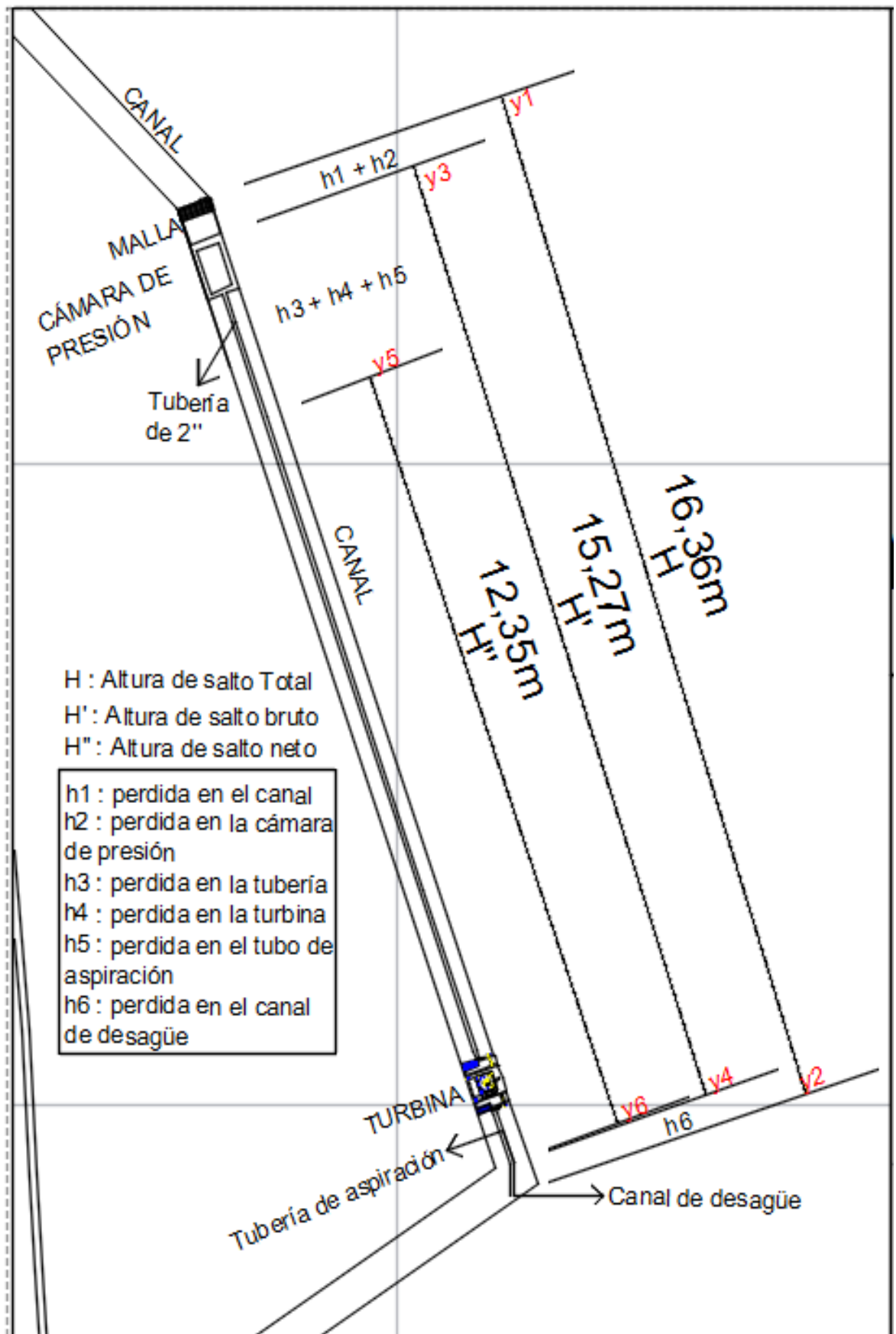


Figura. 29 Diseño de alturas de la micro central hidroeléctrica
 Fuente: (AUTORES)

Así mismo se observa un esquema general y específico del diseño de la central en la figura 30.

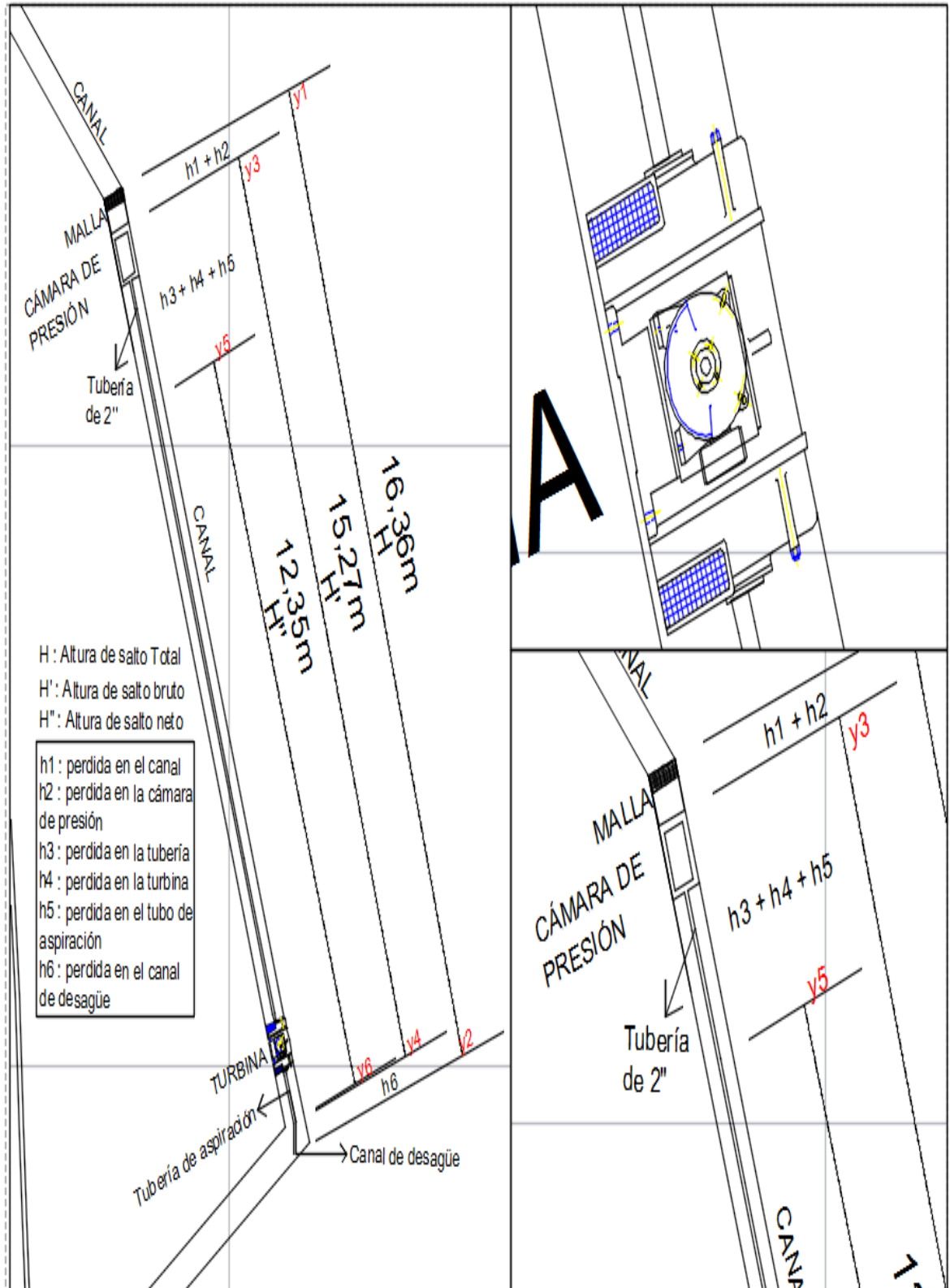


Figura. 30 Diseño General de la micro central hidroeléctrica
Fuente: (AUTORES)

2.4 Caudal

Para evaluar el caudal se realizó la construcción de un equipo electrónico para la obtención de los datos, como detallamos a continuación.

2.4.1. Construcción del caudalímetro

Para la medición del caudal existente se construyó un caudalímetro con microcontroladores usando un sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201. En la tabla 4 muestra las especificaciones técnicas del sensor.

Tabla 4. Especificaciones Técnicas Sensor Caudal

Modelo	YF-S201
Voltaje de operación:	5 V – 18 V DC
Corriente de operación:	15Ma (5V)
Capacidad de carga:	10Ma (5 VDC)
Temperatura de funcionamiento	-25 a 80 grados centígrados
Presión de funcionamiento máximo	1.75MPa (17bar)
Rango de funcionamiento	1 – 30 L/min
Rosca externa	½" NPS
Volumen promedio por pulso	2.25 mL

Fuente: (NAYLAMP, 2017)

En el mercado existen varios tipos de sensores en la figura 31 se muestran.

	YF-S401	YF-S201	FS300A
Sensor			
Conexión	1/4"	1/2"	3/4"
Caudal	0.3 a 6 L/Min	1 a 30 L/Min	1 a 60 L/Min
Presión Máxima	0.8 MPa	1.75 MPa	1.2 MPa
Voltaje	DC 5~18 V	DC 5~18 V	DC 5~18 V
Temperatura del Líquido	≤ 80°C	≤ 80°C	≤ 80°C

Figura. 31 Modelos de sensores de flujo para Arduino

Fuente: (NAYLAMP, 2017)

2.4.1.1. Materiales

Para la elaboración del dispositivo se requirió varios componentes en la figura 32 muestra algunos de ellos.

- Arduino Uno
- Sensor Caudalímetro YS-S201
- Módulo Mirco SD
- Cables Macho – Macho
- 2 leds Jumbo Rojo, Verde
- 2 resistencias 1k ohm

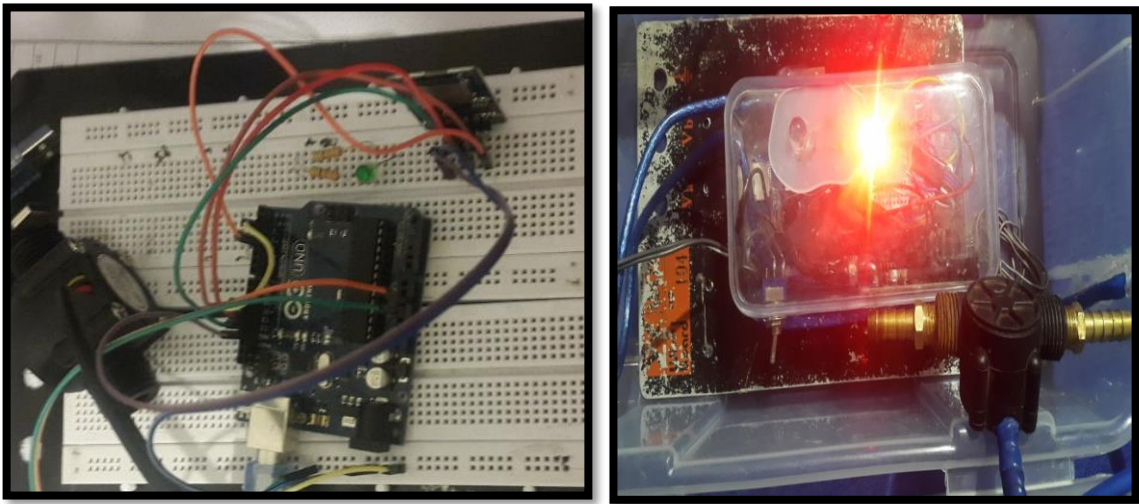


Figura. 32 Construcción Caudalímetro
Fuente: (AUTORES)

2.4.1.2. Esquema de conexión

Se lo construyo de tal manera que quede totalmente aislado del contacto con el agua para su correcto funcionamiento

La conexión se la realizo como se muestra en la figura 33. La programación se la detalla en el Anexo 1.

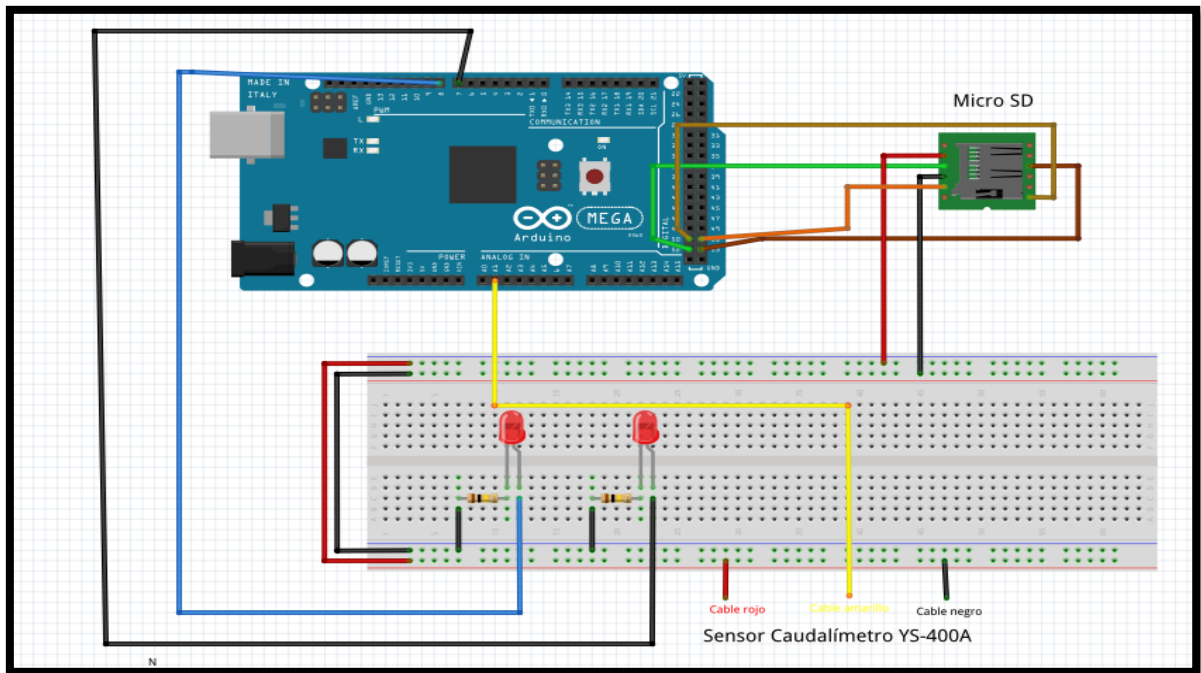


Figura. 33 Esquema de conexión caudalímetro
Fuente: (AUTORES)

2.4.2. Datos obtenidos desde la micro-SD

A continuación, se observan los datos obtenidos y guardados en la micro-SD desde el sensor de caudal de tiempo [ms], caudal [lt/h], caudal [lt/m] y caudal [lt/s] y el consumo [lt] como se observa en ANEXO 5 y en la figura 34.

	A	B	C	D	E	F	G
		Tiempo(ms)	Caudal Litros/hora	Caudal Litros/min	Caudal Litros/seg	consumo	
1		410	0	0	0	0	
2		1533	3000	150	0,7	0,5	
3		2628	6360	106	1,77	0,85	
4		3718	6400	106,67	1,78	1,21	
5		4807	6360	106	1,77	1,56	
6		5897	6360	106	1,77	1,92	
7		6986	6400	106,67	1,78	2,27	
8		8076	6360	106	1,77	2,62	
9		9166	6360	106	1,77	2,98	
10		10256	6360	106	1,77	3,33	
11		11346	6400	106,67	1,78	3,69	
12		12437	6360	106	1,77	4,04	
13		13528	6360	106	1,77	4,39	
14		14618	6360	106	1,77	4,75	
15		15709	6400	106,67	1,78	5,1	
16		16800	6360	106	1,77	5,46	
17		17891	6360	106	1,77	5,81	
18		18981	6360	106	1,77	6,16	
19		20072	6400	106,67	1,78	6,52	
20		21163	6360	106	1,77	6,87	
21		22253	6360	106	1,77	7,22	
22		23344	6400	106,67	1,78	7,58	
23		24435	6360	106	1,77	7,93	
24		25526	6360	106	1,77	8,29	
25		26616	6400	106,67	1,78	8,64	
26		27707	6360	106	1,77	9	
27		28797	6360	106	1,77	9,35	
28		29888	6360	106	1,77	9,7	
29		30979	6400	106,67	1,78	10,06	
30		32071	6400	106,67	1,78	10,41	

Figura. 34 Datos exportados a Excel
Fuente: (AUTORES)

2.4.3. Hidrograma

Se registraron datos de caudal desde octubre del 2017 hasta agosto del 2018, por la necesidad de abastecerse de datos mínimo de un año para lograr comprender la hidrología del sector se comenzó a medir desde dicha fecha, mediante el software Matlab se exportaron como se detalla en el ANEXO 5.

En la figura 35 se muestra el caudal anual histórico, se estable de 6 [lt/s] desde el periodo de diciembre hasta agosto, con una pequeña caída en unos días talvez por limpiezas del canal o avería, desde octubre hasta diciembre se observa un caudal desde los 5 [lt/s] hasta 7 [lt/s].

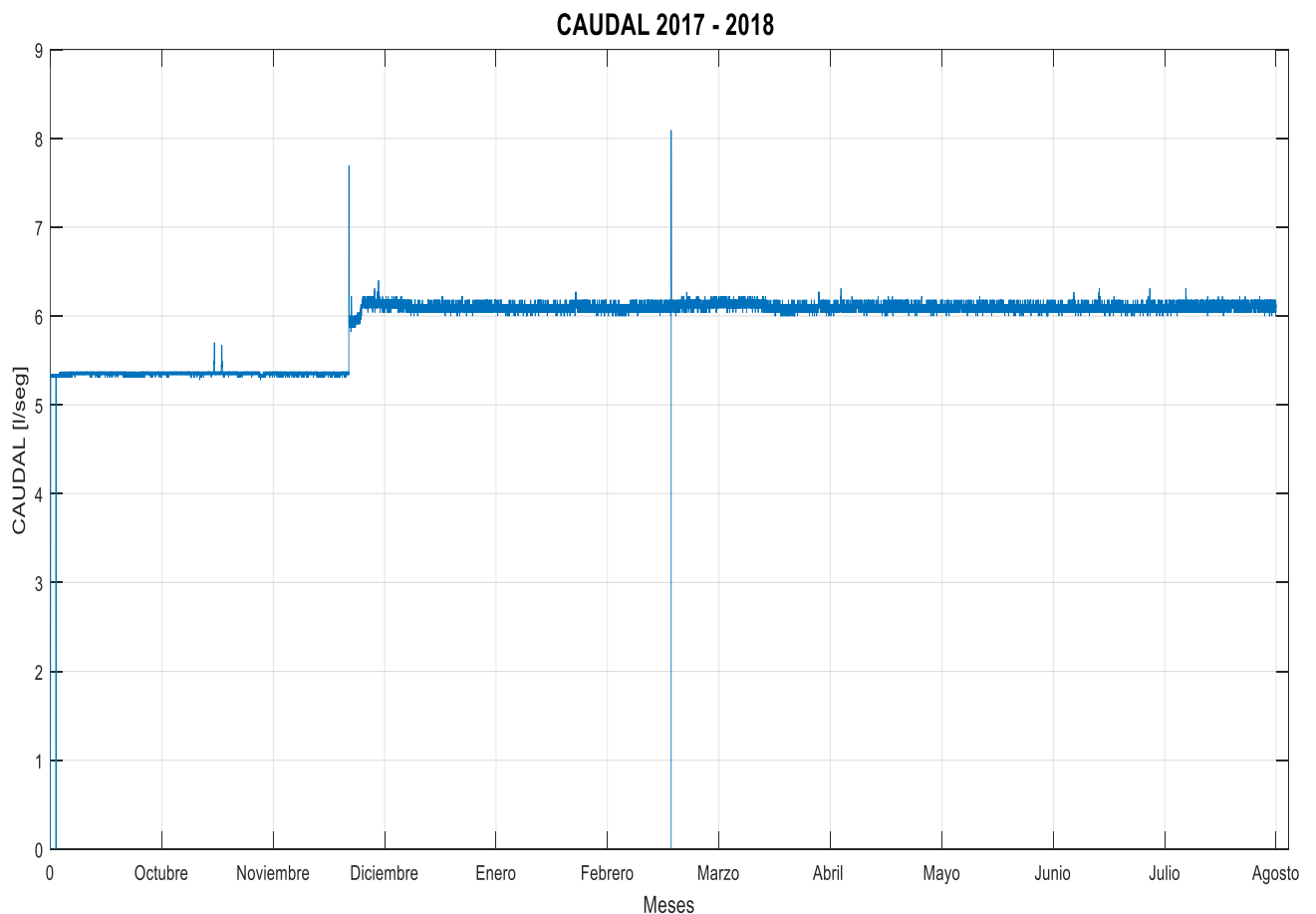
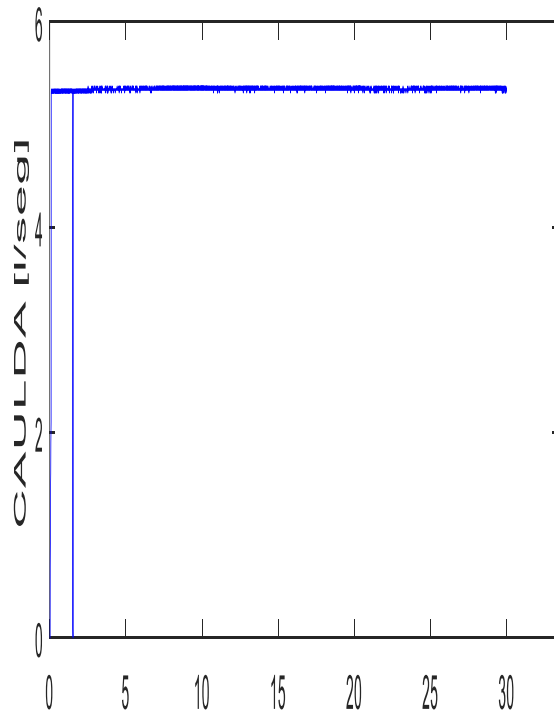


Figura. 35 Caudal histórico mensual
Fuente: (AUTORES)

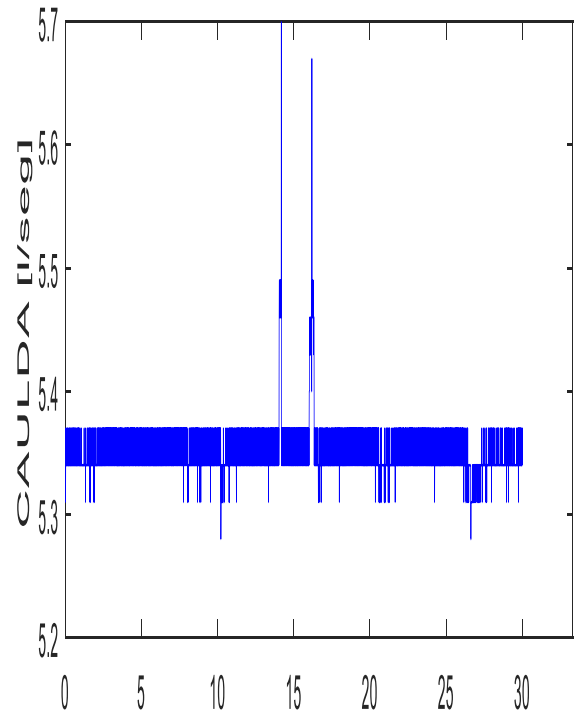
2.4.4. Tabulación de caudal anual

Para la tabulación de los datos obtenidos se vectorizo por mes, registrando por día cada 30 minutos un dato, por lo que por mes tendríamos 1460 datos, para lo que se creó un código en Matlab para guardar cada vector. En la figura 36 se observa las gráficas de caudal desde octubre 2017 hasta agosto 2018.

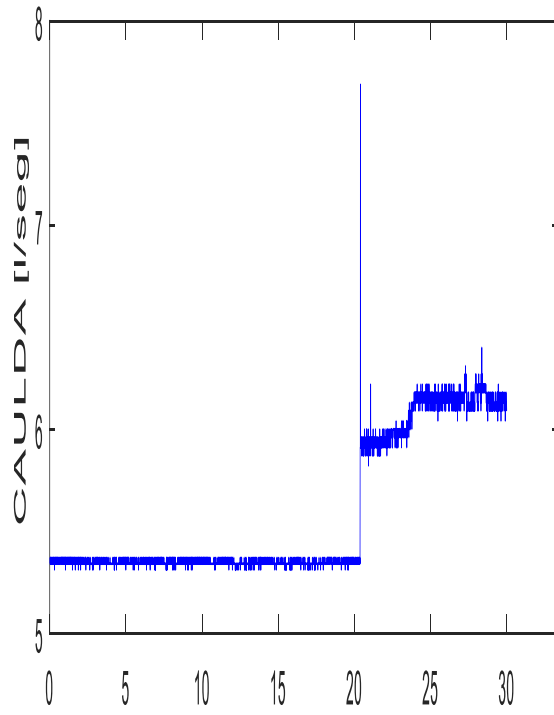
CAUDAL OCTUBRE



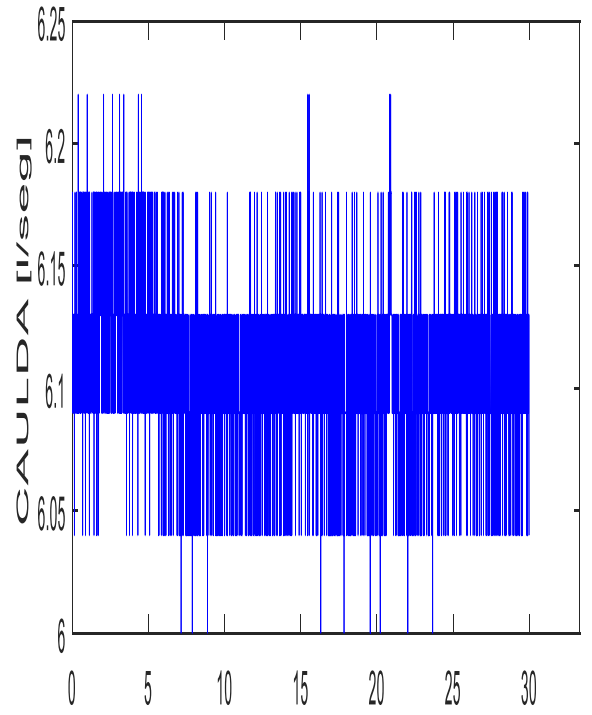
CAUDAL NOVIEMBRE



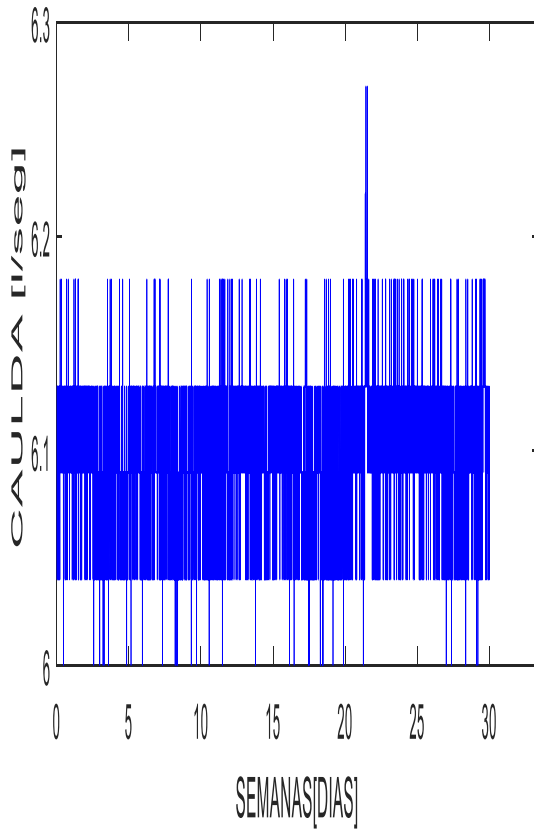
CAUDAL DICIEMBRE



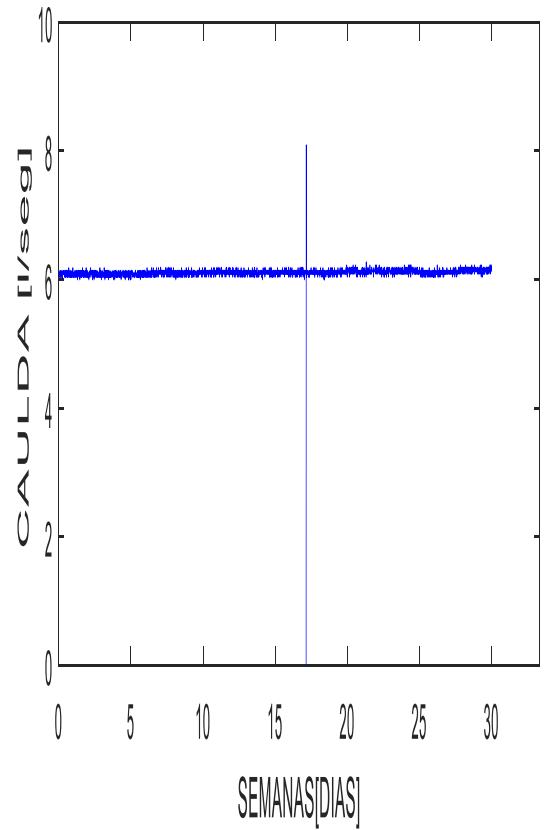
CAUDAL ENERO



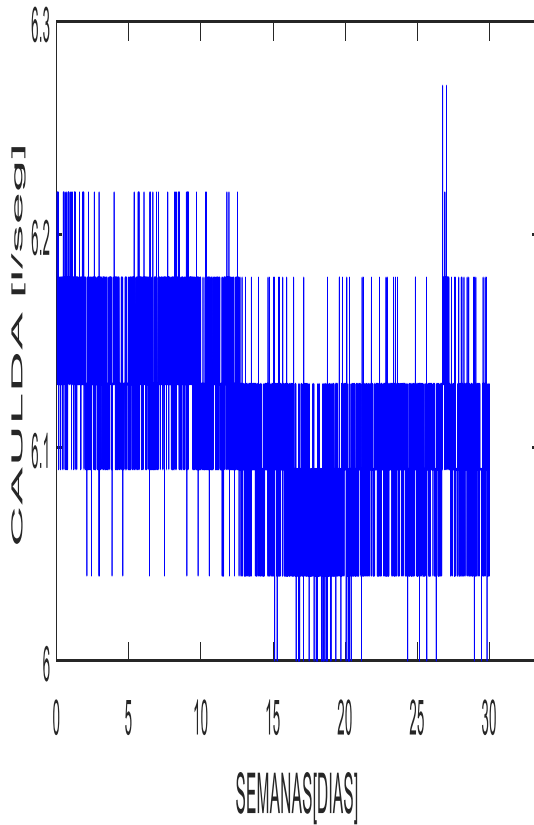
CAUDAL FEBRERO



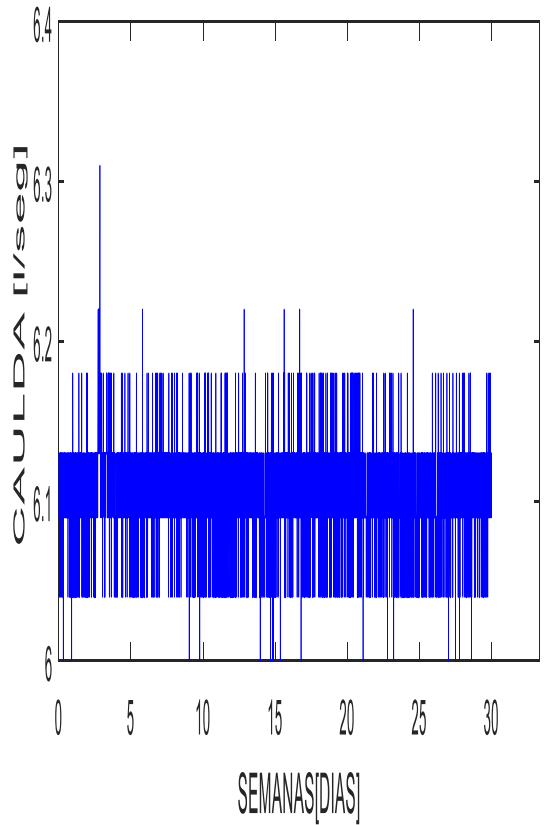
CAUDAL MARZO



CAUDAL ABRIL



CAUDAL MAYO



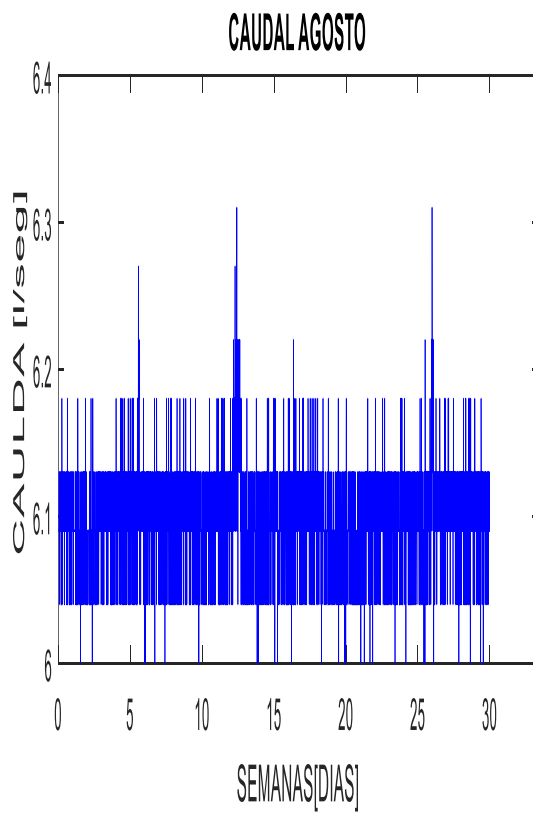
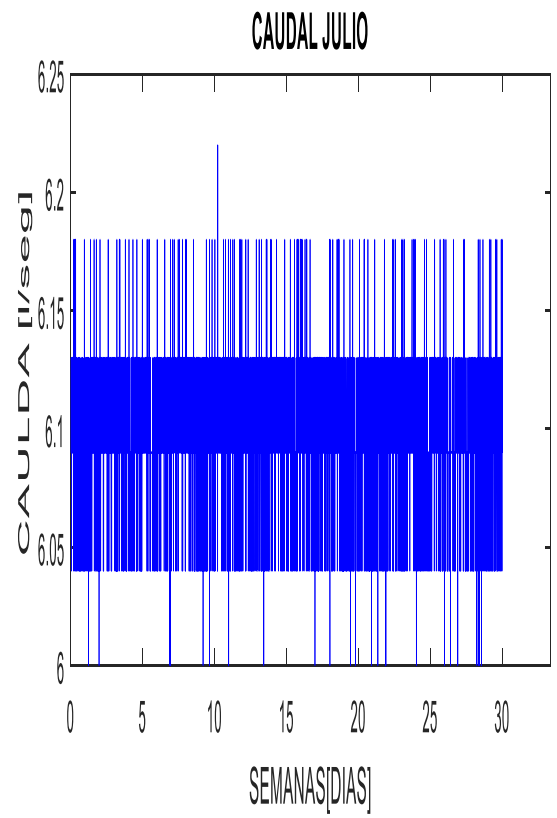
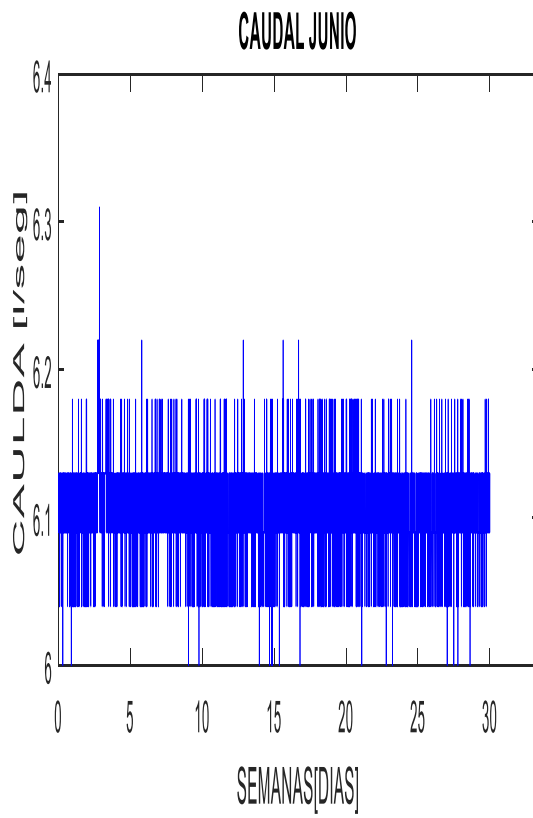


Figura. 36 Graficas de caudal por mes [lt/s]
Fuente: (AUTORES)

2.4.5. Curva de caudales clasificados (CCC)

Además se ordenó los datos por magnitudes indicando el número de días y el porcentaje de tiempo en el que se logró o supero los valores determinados de caudal

Como se muestra en la tabla 5 los caudales clasificados por el porcentaje.

Tabla 5. Caudales Clasificados

Q [lt/s]	N días	% del año
<i>Caudales mayores a 8 [lt/s]</i>	4	1,31578947
<i>Caudales mayores a 7 [lt/s]</i>	41,00	13,49
<i>Caudales mayores a 6,5 [lt/s]</i>	63,00	20,72
<i>Caudales mayores a 5,5 [lt/s]</i>	85,00	27,96
<i>Caudales mayores a 5 [lt/s]</i>	92,00	30,26
<i>Caudales mayores a 4,5 [lt/s]</i>	98,00	32,24
<i>Caudales mayores a 3 [lt/s]</i>	135,00	44,41
<i>Caudales mayores a 2 [lt/s]</i>	178,00	58,55
<i>Caudales mayores a 1,5 [lt/s]</i>	210,00	69,08
<i>Caudales mayores a 1 [lt/s]</i>	250,00	82,24
<i>Caudales mayores a 0,35 [lt/s]</i>	304,00	100,00

Fuente: (AUTORES)

En la gráfica 37 de caudales clasificados tenemos un 30 a 40 % de caudal de 4 a 5 [lt/s]

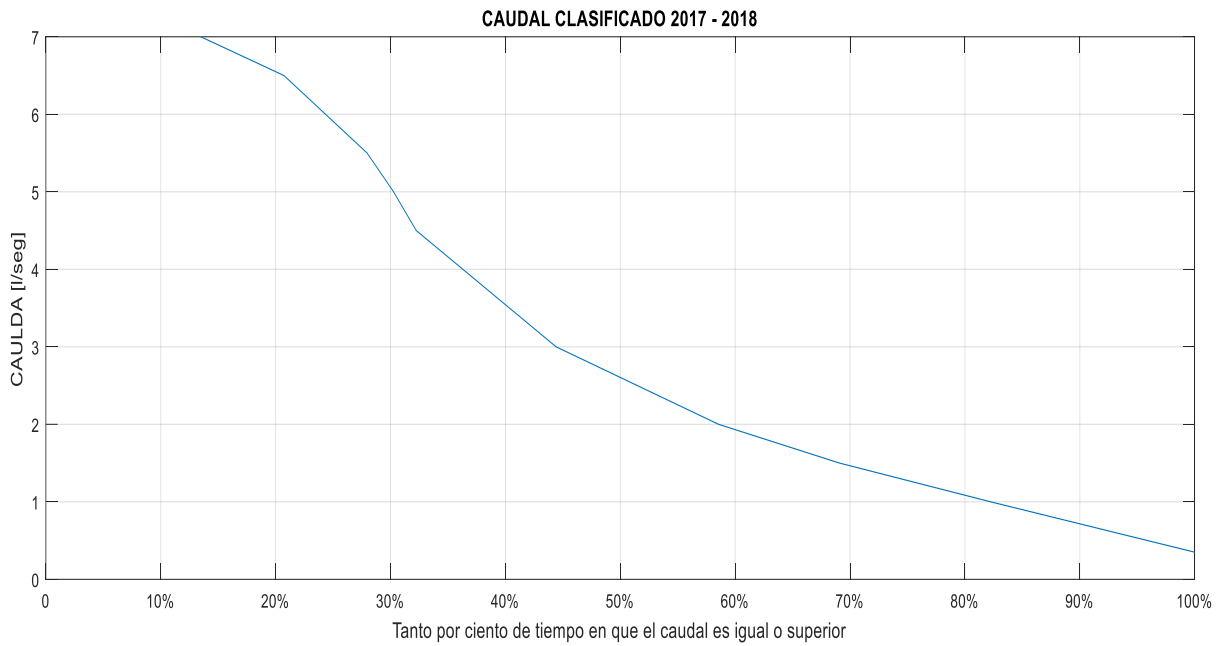


Figura. 37 Cudales Clasificados
Fuente: (AUTORES)

2.4.6. Caudal Medio Histórico

Por mes se calculó el promedio del caudal medio histórico, se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 Caudal Medio Anual

CAUDAL MEDIO ANUAL [LT/S]

MESES	Caudal Medio [lt/s]
OCTUBRE	5,325866667
NOVIEMBRE	5,350133333
DICIEMBRE	5,581913889
ENERO	6,105377778
FEBRERO	6,096311111
MARZO	6,105368158
ABRIL	6,111227778
MAYO	6,100469444
JUNIO	6,098247222
JULIO	6,096927778
AGOSTO	6,108416667
PROMEDIO	5,916387257

Fuente: (AUTORES)

Como observamos en la figura 38 el caudal medio mensual donde se calculó el promedio total con un caudal de 5,92 [lt/s].

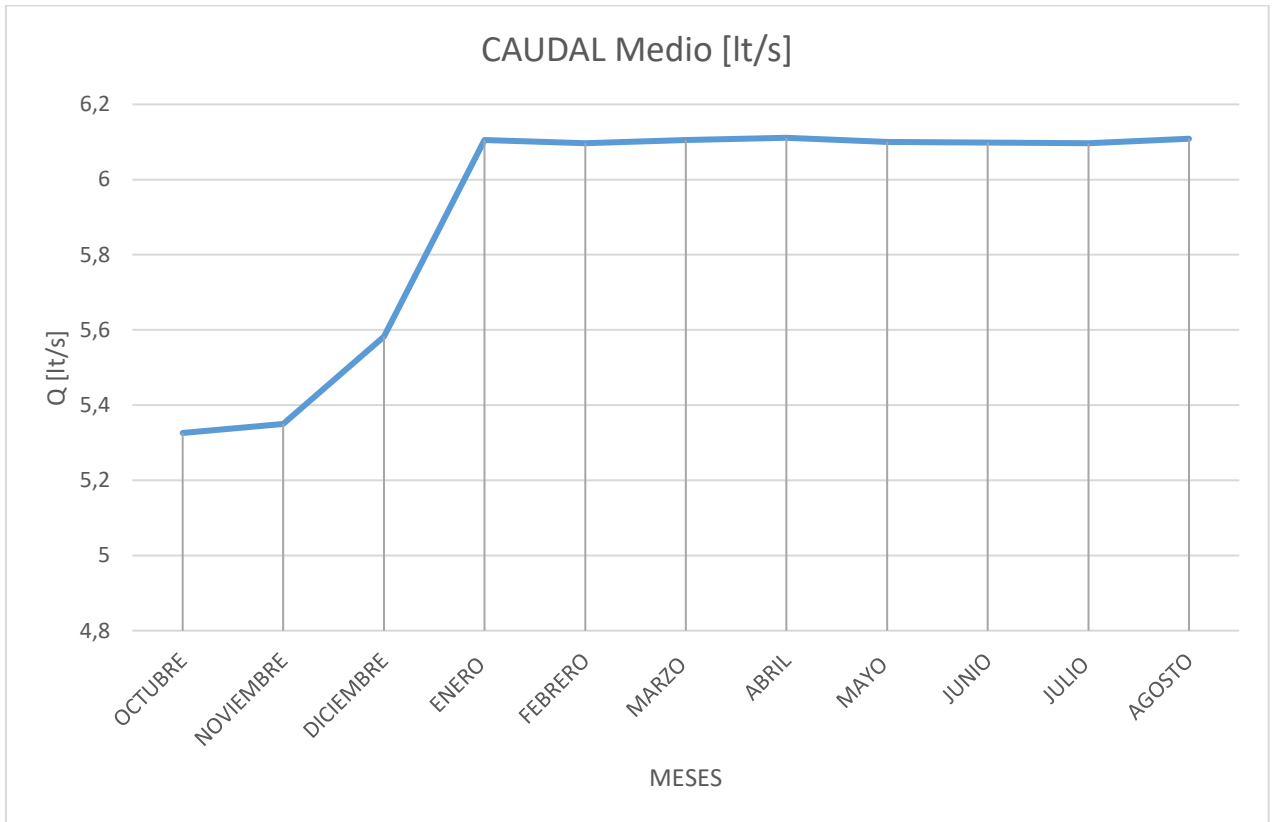


Figura. 38 Grafica Caudal Medio
Fuente: (AUTORES)

2.4. Potencia Disponible en función al caudal

La potencia disponible varía en función del caudal de agua disponible para ser turbinado y el salto existente.

La expresión que nos proporciona la potencia instalada es la siguiente:

$$Pt = p \times Q \times g \times H' \quad (6)$$

Teniendo en cuenta que:

$$\mu m = \frac{H''}{H'} \quad (7)$$

Remplazando el rendimiento de la turbina

$$\mu m = \frac{12,35}{15,27} = 0,8087$$

$$Pdisp = \rho \times g \times Q \times H' \times \mu m \times \mu g \quad (8)$$

Donde;

P_{disp} → Potencia nominal [W]

ρ → densidad del agua $1 \frac{kg}{m^3}$

g → gravedad $9.81 \frac{m}{s^2}$

Q → Caudal disponible en $\frac{lt}{s}$; Según los datos tabulados en la sección 2.4.4, 2.4.5, 2.4.6 se estableció un caudal constante de 4 - 7 [lt/s]. Por lo que la media sería **5,92[lt/s]**

H' → Salto bruto disponible [m]; En la sección 2.3 se encontró el salto bruto, en el diseño de alturas **15,27 [m]**

μ_m → Rendimiento de la turbina para salto y caudal de diseño; Ya se estableció en la ecuación (7) con un rendimiento de 0,81.

μ_g → Rendimiento nominal del generador; En este caso del generador se establece como en el apartado 1.7 con un rendimiento del **60%**

Remplazando:

$$P_{disp} = 1 \times 9.81 \times 5,92 \times 15.27 \times 0.81 \times 0.60$$

$$P_{disp} = 430,988835W$$

En la figura 39 se muestra los cálculos de la potencia disponible en función del caudal histórico anual tabulados en Matlab; como se observa los datos son constantes a los cálculos con un caudal promedio de 5,92 [lt/s], generamos un aproximado de 430 [W].

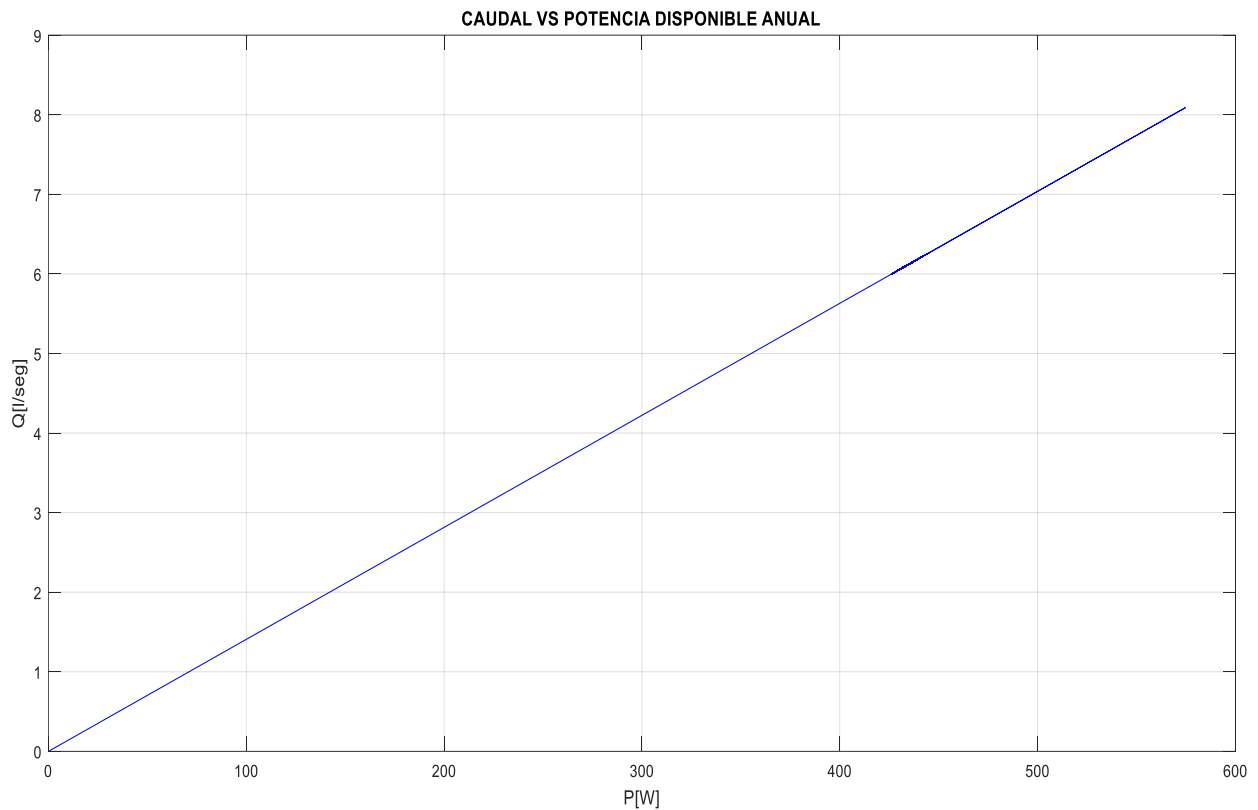


Figura. 39 Potencia disponible en función del caudal
Fuente: (AUTORES)

2.4.1. Potencia disponible media

Por mes se calculó la potencia media disponible en función al caudal y el salto bruto como se indicó en la ecuación 9, en la tabla 7 se muestran los datos obtenidos.

Tabla 7 Potencia disponible Media

POTENCIA DISPONIBLE MEDIA ANUAL [W]

MESES	Potencia disponible media [W]
OCTUBRE	378,4085956
NOVIEMBRE	380,1327686
DICIEMBRE	396,6010281
ENERO	433,7937045
FEBRERO	433,149508
MARZO	433,2596544
ABRIL	434,2093533
MAYO	433,4449621
JUNIO	433,2870708
JULIO	433,1933228
AGOSTO	434,0096208
PROMEDIO	420,3172354

Fuente: (AUTORES)

Como observamos en la figura 40 la potencia disponible media de 420,32 [W].

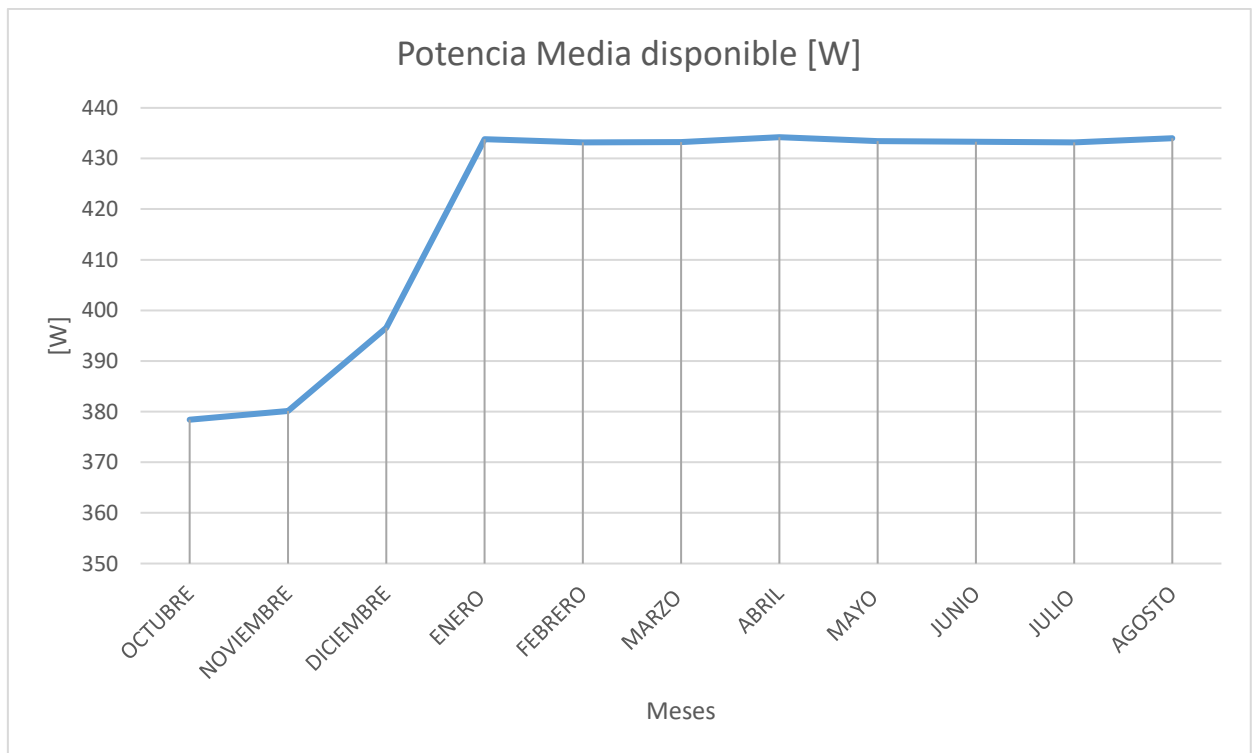


Figura. 40 Potencia disponible media
Fuente: (AUTORES)

2.5. Potencia Neta

La potencia neta viene expresada en función de la obra civil y los parámetros de construcción de la tubería, generador y la turbina expresada por la siguiente ecuación:

$$P_{neta} = p \times H' \times Q \times \eta_0 \times g \quad (9)$$

Donde;

$$P_{neta} \rightarrow \text{Potencia neta [W]}$$

$$p \rightarrow \text{densidad del agua } 1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$g \rightarrow \text{gravedad } 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$Q \rightarrow \text{Caudal disponible } 5,92 \text{ [lt/s]}$$

$$H' \rightarrow \text{Salto bruto disponible } 15,27 \text{ [m]}$$

$$\eta_0 \rightarrow \text{Coeficiente de rendimiento de la obra civil}$$

Tenemos al igual la fórmula del coeficiente de la obra civil expresada:

$$\eta_0 = \eta_{obra\ civil} \times \eta_{tuberia} \times \eta_{turbina} \times \eta_{generador} \quad (10)$$

$\eta_{obra\ civil}$ = Ya que la cámara de carga de presión, rejillas, base de la central se la realizo en acero forzado se le establece un rendimiento del **80%** en base a parámetros del material constructivo.

$\times \eta_{tuberia}$ = Por el motivo de escasos de datos de rendimiento de tubería se le estableció el 75% rendimiento.

$\times \eta_{turbina}$ = Ya que el caudal disponible y el salto bruto es pequeño se debería escoger una turbina de acción la cual nos refleja un rendimiento del **81%** según el apartado 2.4 en la ecuación (8)

$\times \eta_{generador}$ = En este caso del generador se establece como en el apartado 1.7 con un rendimiento del **60%**

Coeficiente obra civil

Remplazando:

$$\eta_0 = 0.80 \times 0.75 \times 0.81 \times 0.60$$

$$\eta_0 = 0.2916$$

Remplazando la ecuación

$$P_{neta} = 1 \times 15.27 \times 5,92 \times 0.2916 \times 9.81$$

$$P_{neta} = 258,5933 W$$

En la figura 41, muestra los datos tabulados en función al caudal y el salto bruto disponible, con las perdidas en la obra civil en la ecuación (11).

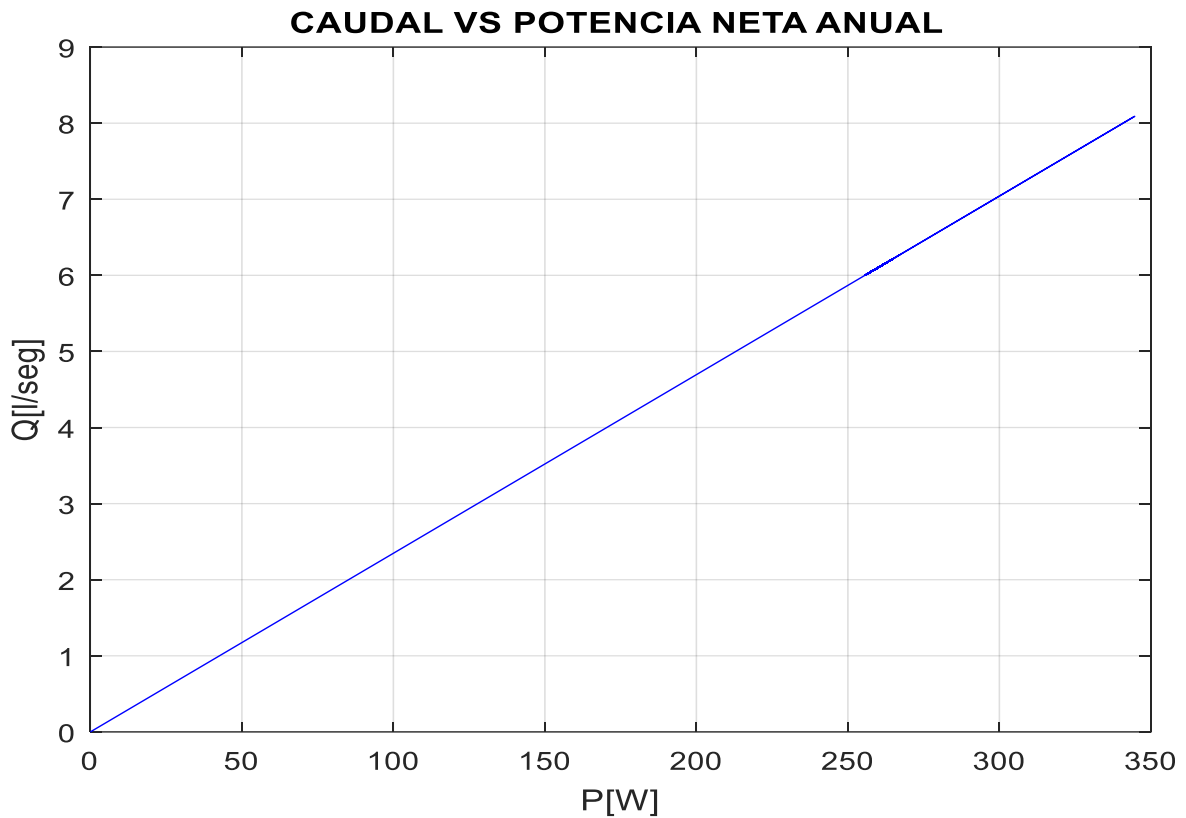


Figura. 41 Potencia neta
Fuente: (AUTORES)

2.5.1. Potencia neta media

Por mes se calculó la potencia neta disponible en función al caudal y el salto bruto con las pérdidas denotadas en la sección 2.5 como se indicó en la ecuación (11), en la tabla 10 se muestran los datos obtenidos.

Tabla 8 Potencia media anual

POTENCIA NETA MEDIA ANUAL [W]

MESES	Potencia neta media [W]
OCTUBRE	226,8965676
NOVIEMBRE	227,9303944
DICIEMBRE	237,8048835
ENERO	260,1058848
FEBRERO	259,7196199
MARZO	258,7256455
ABRIL	260,3551109
MAYO	259,8967763
JUNIO	259,8021036
JULIO	259,7458916
AGOSTO	260,2353499
TOTAL	251,9289298

Fuente: (AUTORES)

Como observamos en la figura 41 la potencia neta media de 251,9 [W].

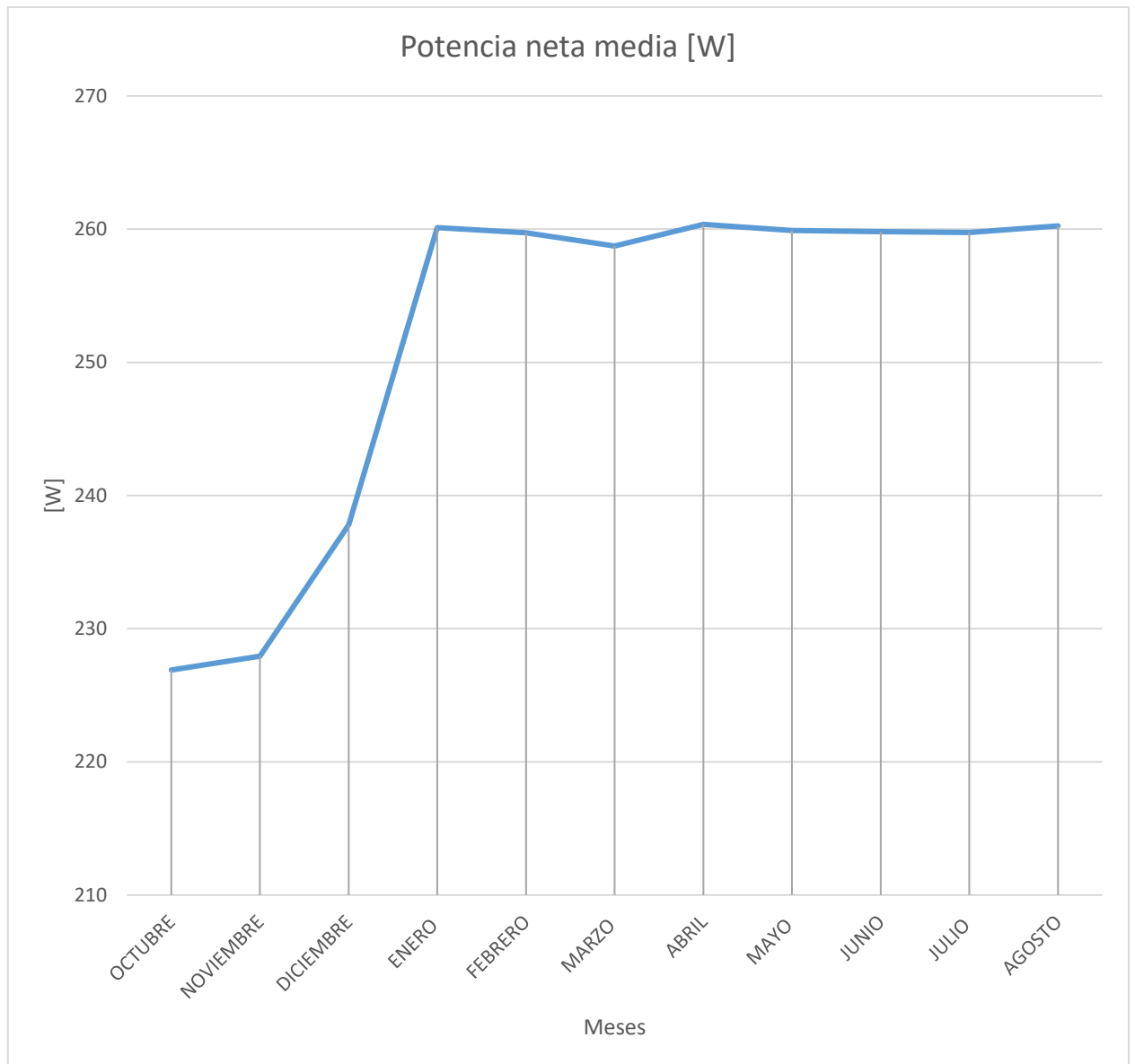


Figura. 42 Potencia neta media
Fuente: (AUTORES)

2.6. Selección de la turbina.

Con los datos del Hidrograma se estableció un caudal promedio de 5 – 6 [lt/s] y con el diseño de alturas se estableció un salto bruto de 15,27 [m] incluyendo las pérdidas de distancia como se detalló en la sección 2.3.

Con una media anual de potencia disponible de 420 [W] y potencia neta de 252 [W], se buscó un tipo de turbina que opere a estas condiciones.

La cual se encontró en Quito – Ecuador en el almacén Proviento como se muestra en la figura 43.

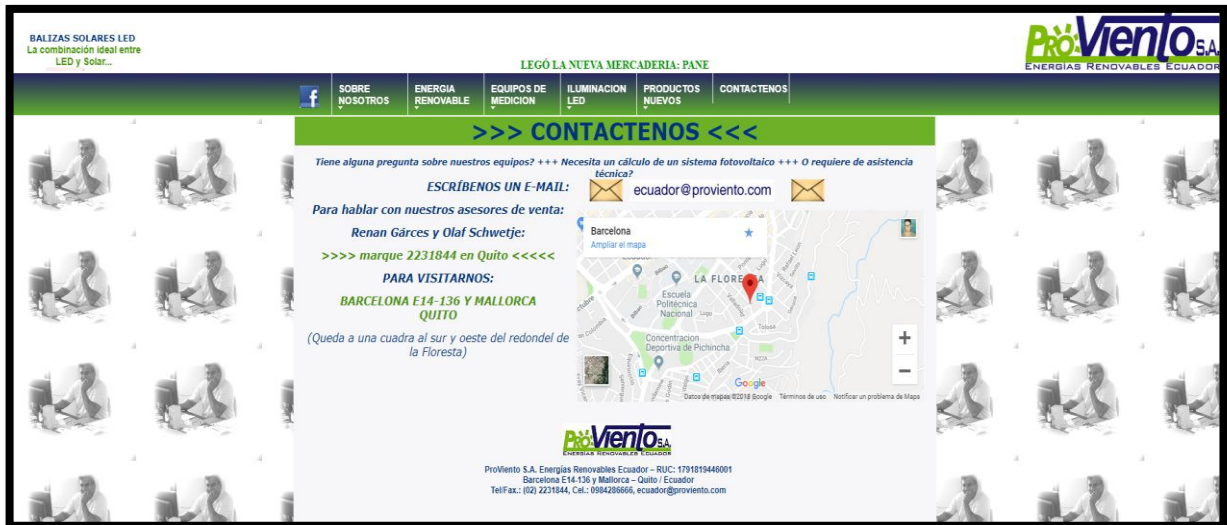


Figura. 43. Página Web ProViento S.A
Fuente: (ProViento S.A)

La turbina a implementar es una TURGO de 500 [W] que se adapta a las condiciones de nuestro estudio hidrológico, salto bruto, potencia disponible y neta en la figura 44 se detalla las especificaciones técnicas.

Tipo	TURGO DE 500W
Fabricante EXMORK 艾莫克新能源	
	500W
Caudal	5-7 l/s
Altura	12-18m
Controlador	Electrónico externo
Voltage de salida	220VAC
Manguera requerida	2 pulgadas o mayor
Descripción	Esta micro-hidroeléctrica de 500W: compacta y viene con válvulas de entrada. Funciona con una caída desde 12 metros y caudales que van desde los 5 l/s.

Figura. 44 Especificaciones técnicas Turbina TURGO 500W
Fuente: (ProViento S.A)

2.7. Energía Suministrada.

La energía suministrada viene expresada por la potencia neta y el número de horas de funcionamiento, según la siguiente expresión:

$$E = P_{neta} \times h \quad (11)$$

Donde;

$P_{neta} \rightarrow$ Potencia neta [W]; La potencia neta se calculó en la sección 2.5.1 con un valor de 251,9 [W].

$h \rightarrow$ son las horas de funcionamiento durante el año (h); Según el Hidrograma anual se estableció un caudal constante, genera todo el año por lo que un 1 año es = 8760 [h]

Remplazando en la ecuación (11) Tenemos:

$$E = 251,9 \times 8016 = 2.012,016 \frac{W}{año}$$

2.8. Rendimiento

Para el cálculo del rendimiento se debe tener en cuenta varios parámetros antes de su cálculo:

La ecuación para calcular el rendimiento global es:

$$\eta = \eta_g \times \eta_t \quad (12)$$

Donde;

η_g = Rendimiento del generador con un 60% según el proveedor

η_t = Rendimiento de la turbina con un 81% según la ecuación (7) de la sección 2.4.

Remplazando obtenemos:

$$\eta = 0.60 \times 0.79 = 0.474$$

2.9. Calculo de la velocidad específica de la turbina

Recordando la fórmula del generador asíncrono.

$$N_s = \frac{60 \times f}{p} \quad (14)$$

$$N_s = \frac{60 \times 60}{3}$$

$$N_s = 1200 \text{ rpm}$$

2.10. Diseño de Elementos de Protección de la Toma

La rejilla se la coloco en el canal para filtrar los cuerpos solidos a través de la tubería forzada y que puedan dañar la estructura de los alabes de la turbina. Como se muestra en la figura 45 se la construyo con pletinas de hierro de 55 x 20 cm con separaciones de 120 mm.

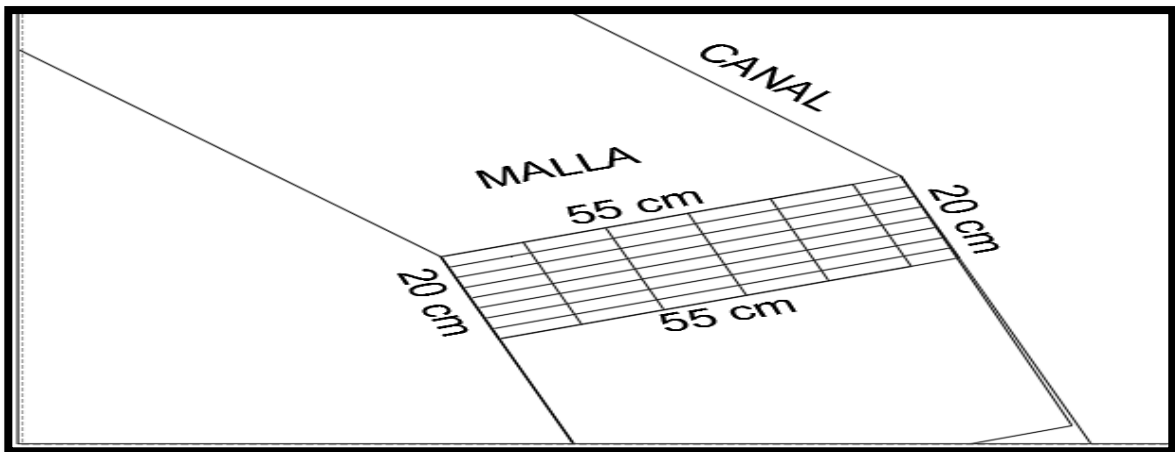


Figura. 45 Diseño de las rejillas de protección
Fuente: (AUTORES)

Para limpiar dicha rejilla se la realizo con abertura vertical como se muestra en la figura 46.



Figura. 46 Instalación de la rejilla
Fuente: (AUTORES)

2.11. Cámara de presión

Se instaló la cámara de presión para poder ganar presión antes de conducir el fluido hacia la tubería forzada con las dimensiones que se detallan en la figura 47. Y en la figura 48 su puesta en ejecución.

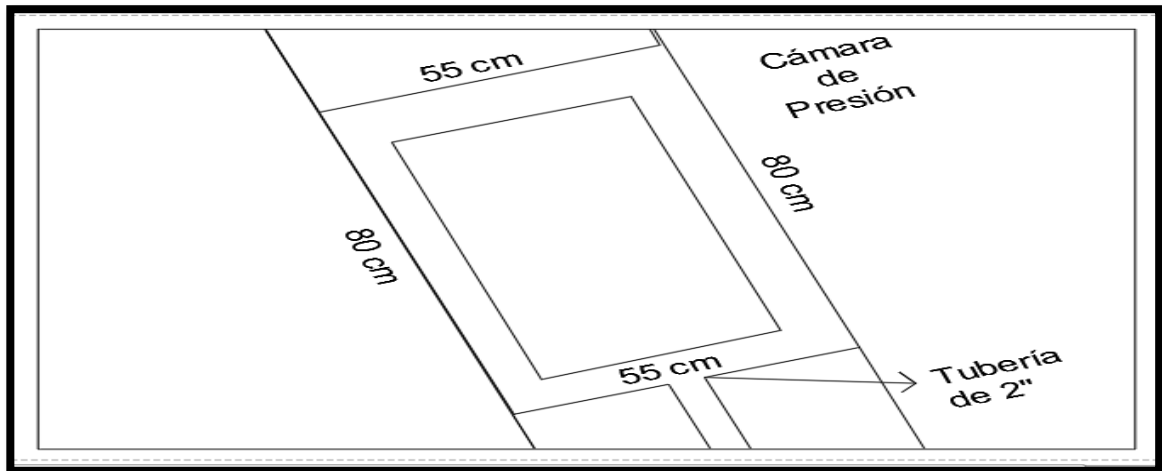


Figura. 47 Diseño de la cámara de presión
Fuente: (AUTORES)



Figura. 48 Instalación de la cámara de presión
Fuente: (AUTORES)

2.12. Tubería

Se la implemento para lograr conducir el fluido para ganar presión. La tubería va desde la cámara de presión hasta la turbina con un diámetro de dos pulgadas de manguera de polietileno con una distancia de 12.6 m de caída como se muestra en la figura 49. Y en la figura 50 su puesta en ejecución.

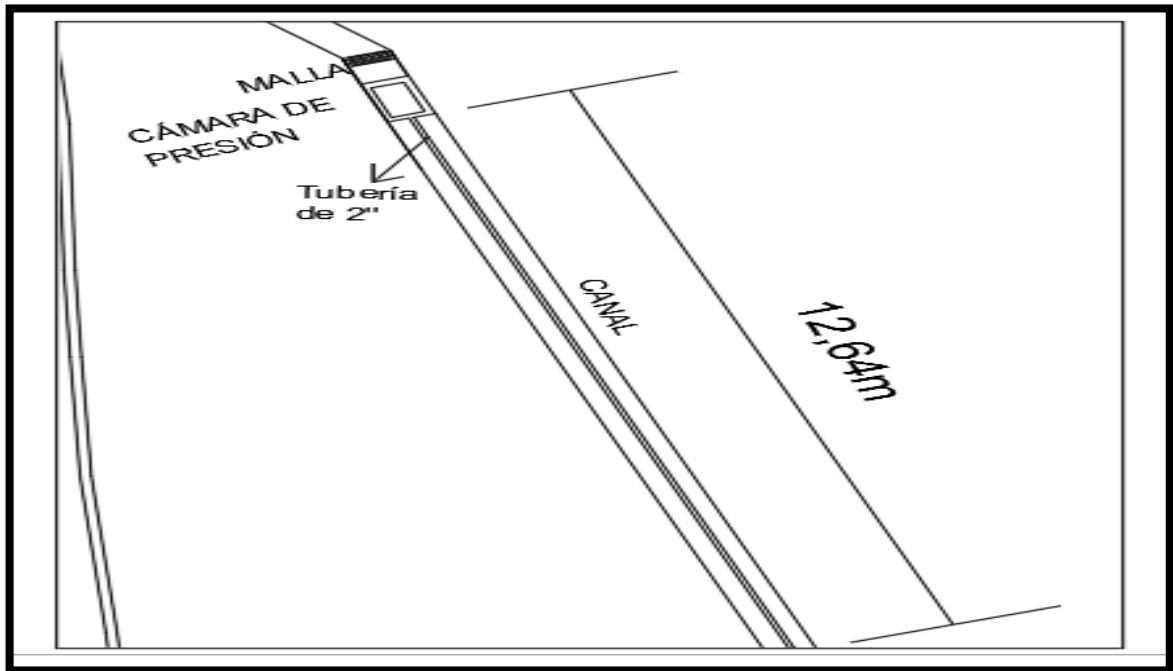


Figura. 49 Diseño de la tubería
Fuente: (AUTORES)



Figura. 50 Instalación de la tubería
Fuente: (AUTORES)

2.13. Base de la Turbina

La base de central su funcionamiento es sujetar la turbina y el generador; además de su entrada del cono de presión a continuación observamos el diseño como se muestra en la figura 51 y su puesta en ejecución en la figura 52.

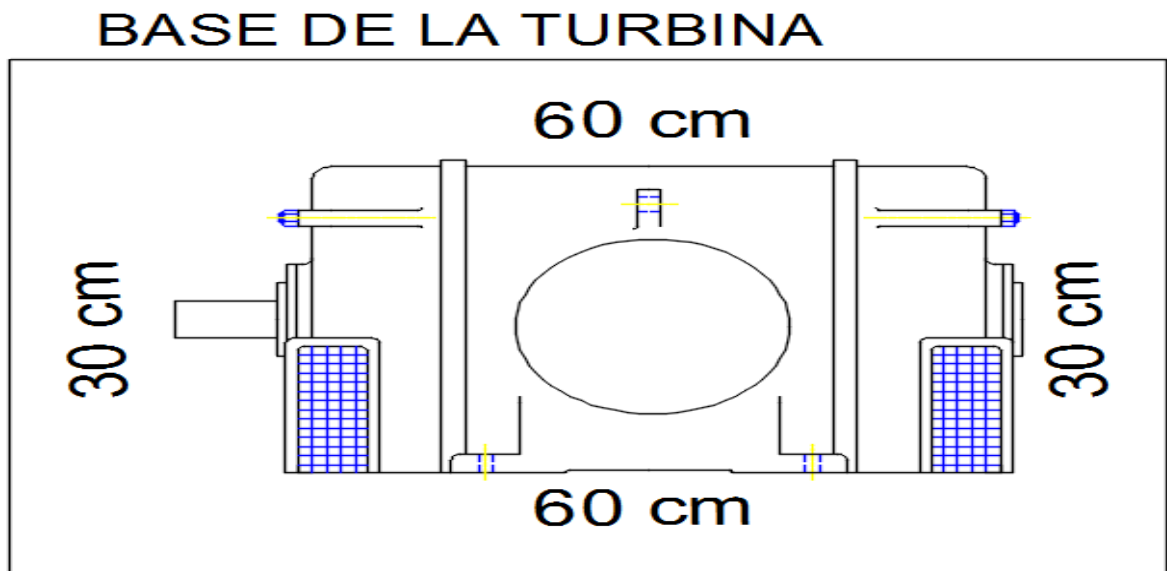


Figura. 51 Diseño de la base de la turbina
Fuente: (AUTORES)



Figura. 52 Instalación de la base de la turbina
Fuente: (AUTORES)

2.14. Cono de presión

Nos permite ganar presión para el ingreso del fluido para la mayor fuerza para mover el alavés de la turbina como se ve en la figura 53 la instalación del cono de presión con la válvula de control en la turbina



Figura. 53 Instalación del cono de presión
Fuente: (AUTORES)

2.15. Turbina

Se elijo la turbina tipo Turgo con distribuidor fijo y un rodete de 15 palas en forma de hélice de barco con un rendimiento del 81% ya que tenemos saltos pequeños y caudales variables como se observa a continuación. En la figura 54 muestra los alabes y el rodete de la turbina.



Figura. 54 Turbina tipo Turgo
Fuente: (AUTORES)

2.16. Generador

Está compuesto por un rotor y un estator tipo síncrono con 3 polos, la siguiente relación de revoluciones por minuto

$$N_s = \frac{60 \times f}{p} \quad (15)$$

$$N_s = \frac{60 \times 60}{3}$$

$$N_s = 1.200 \text{ r.p.m}$$

En la figura 55. Muestra el generador.



Figura. 55 Generador
Fuente: (AUTORES)

2.17. Picocentral hidroeléctrica en Operación

Ya finalizado la instalación se puso en operación la picocentral hidroeléctrica como se observa en la figura 56, se observó el giro de los alabes y a su vez el generador.



Figura. 56 Operación de la microcentral hidroeléctrica
Fuente: (AUTORES)

A continuación, se registró el voltaje en la salida del generador por medio de un multímetro se estableció con el valor 106 V como se muestra en la figura 57.



Figura. 57 Tensión generada
Fuente: (AUTORES)

CAPITULO 3. GENERACION DE ENERGIA EN LA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA

3.1 INTRODUCCION

Este capítulo se llevará a cabo el análisis de las magnitudes eléctricas de la central, pruebas con diferentes cargas; reacción en temperatura del generador con las distintas cargas; de esta manera obteniendo las gráficas de operación de la picocentral eléctrica seleccionada.

Por la necesidad de registrar datos reales, fue necesario la construcción de un equipo de registro de magnitudes eléctricas con la ayuda de microcontroladores. Los cuales nos permitieron el registro de datos de generación de nuestra picocentral. Como también la ayuda de registro de datos con multímetro y amperímetro digitales.

3.2 Construcción de equipo para registro de magnitudes eléctricas

Para poder llevar un registro de las magnitudes eléctricas de corriente, potencia consumida y tensión se construyó un equipo utilizando microcontroladores para poder analizar la calidad de energía generada por nuestra picocentral hidroeléctrica como se muestra en la figura 58.

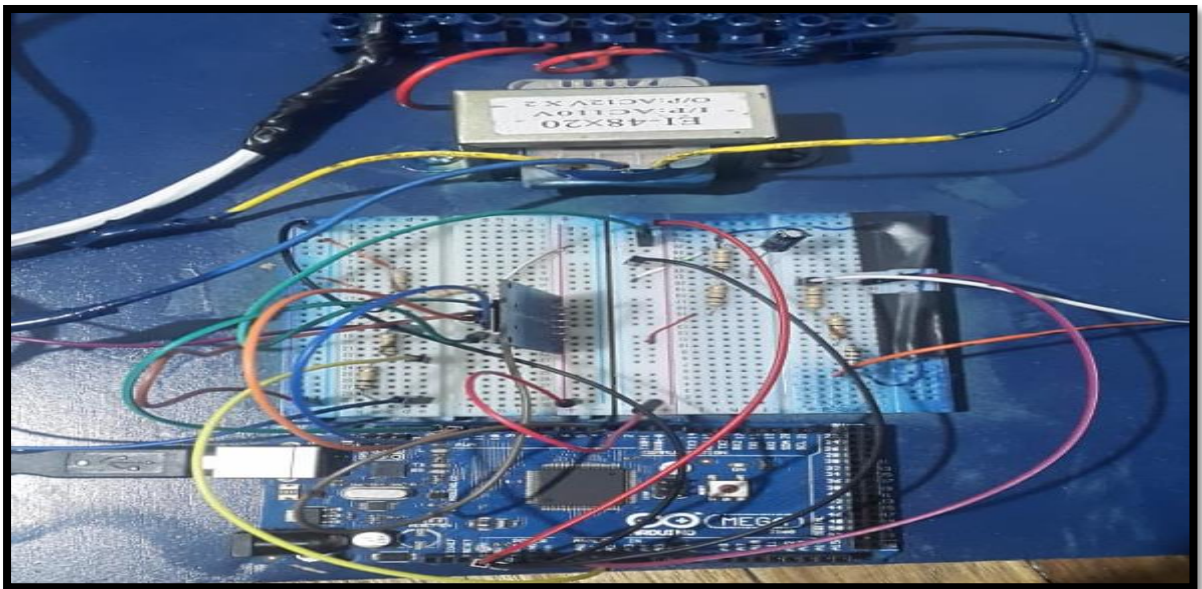


Figura. 58 Construcción de equipo para registro de magnitudes eléctricas
Fuente: (AUTORES)

En la figura 59 vemos el esquema de conexión y los diferentes componentes para su elaboración.

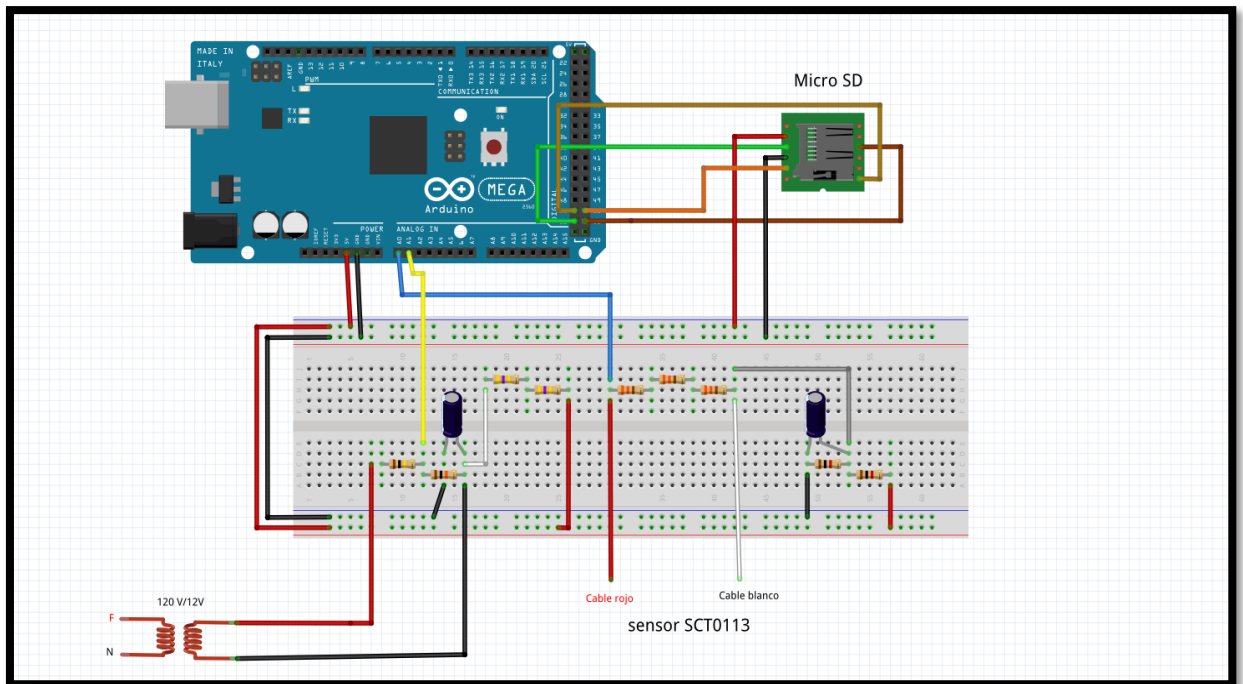


Figura. 59 Esquema de conexión Medidor de parámetros eléctricos
Fuente: (AUTORES)

3.3 Tensión eléctrica generada.

Tomando en cuenta que la potencia eléctrica de un generador es determinada por:

$$V = \frac{P}{I} \quad (13)$$

Donde:

I = Corriente de línea

P = Potencia eléctrica

V = Tensión de línea

Gracias al registrador de magnitudes eléctricas se logró obtener los datos de tensión que genera la picrocentral hidroeléctrica en la figura 60. Observamos la figura en rango de tiempo.

Como se observa en la gráfica 60 la tensión generada tiene un pico que va hasta los 120V, luego se estabiliza en los 105 – 109 V.

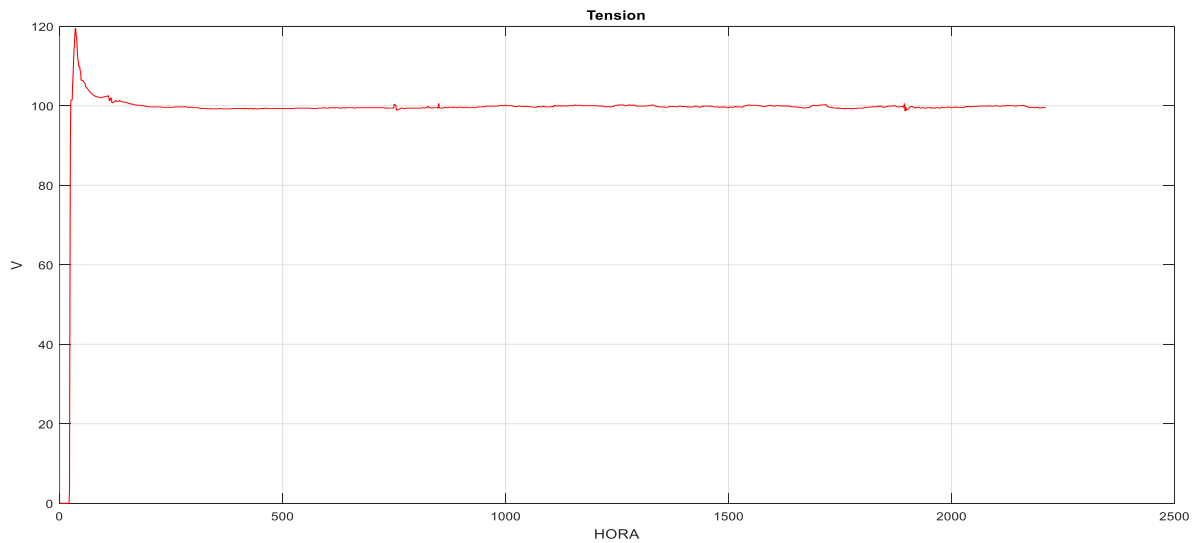


Figura. 60 Tensión generada de la microcentral
Fuente: (AUTORES)

3.4 Conexión lumínica

Se realizó una prueba lumínica con cuatro focos de 3 W y un incandescente de 110 W, se muestra en la figura 61 el diagrama esquemático de conexión.

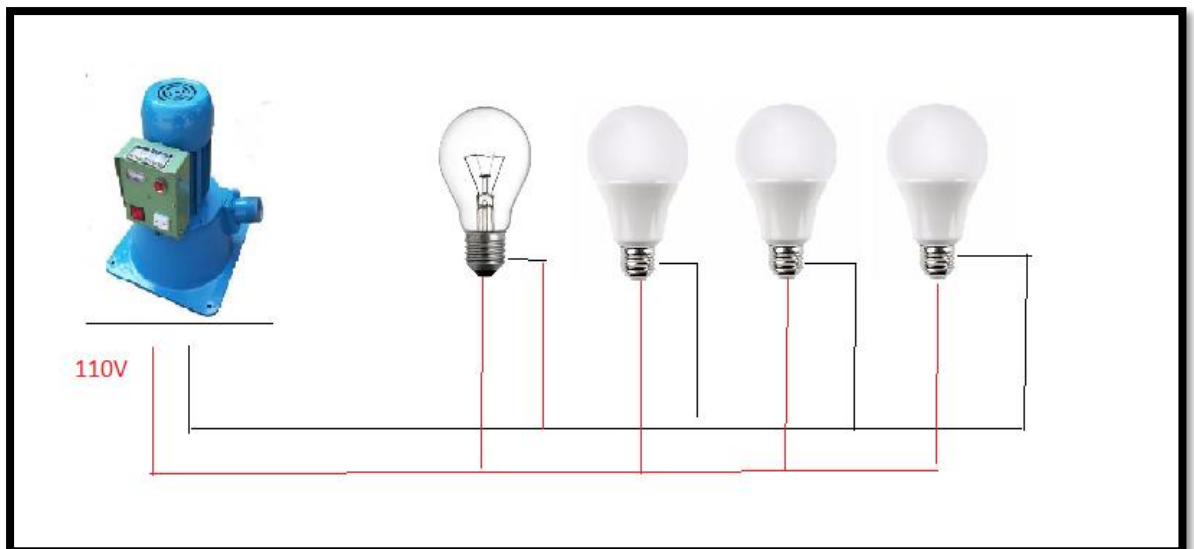


Figura. 61 Conexión en paralelo
Fuente: (AUTORES)

En la figura 62. Se muestra la gráfica de la corriente y la tensión medida. Donde se denota la elevación de tensión y corriente por motivo de energización y des energización de las luminarias en los intervalos de tiempo que se llevó a cabo.

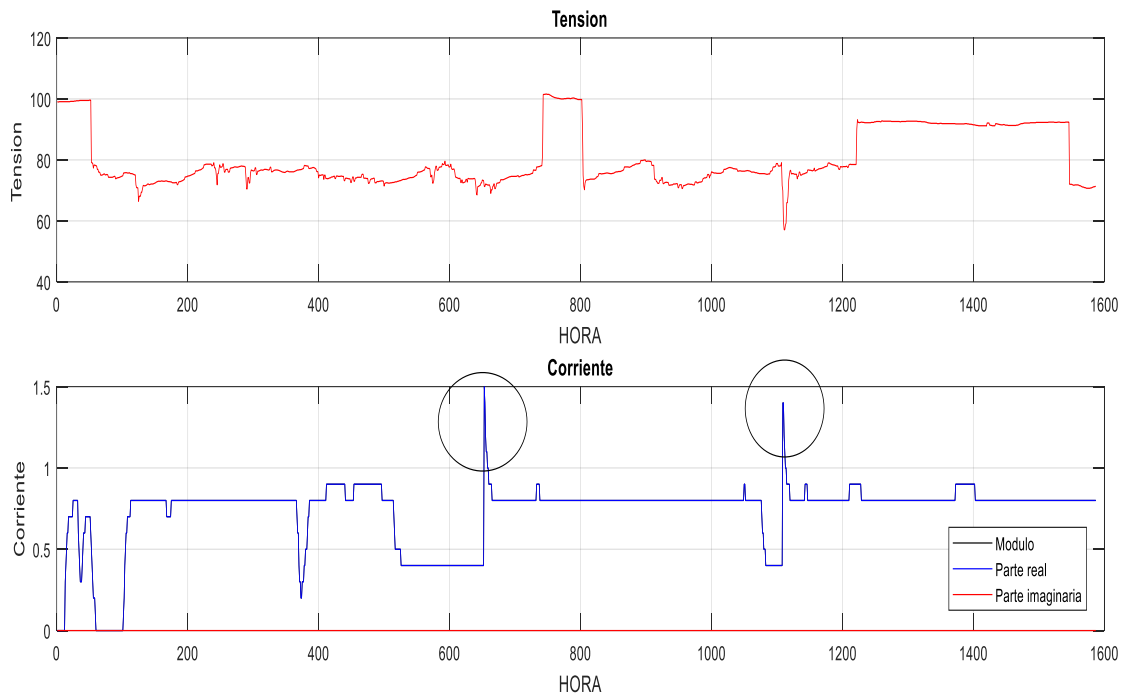


Figura. 62 Voltaje y corriente consumida carga lumínica
Fuente: (AUTORES)

En la figura 63, se muestra la potencia consumida en donde se conectó las luminarias y comienzan a consumir. Como vemos el consumo total de potencia es igual a la calculada.

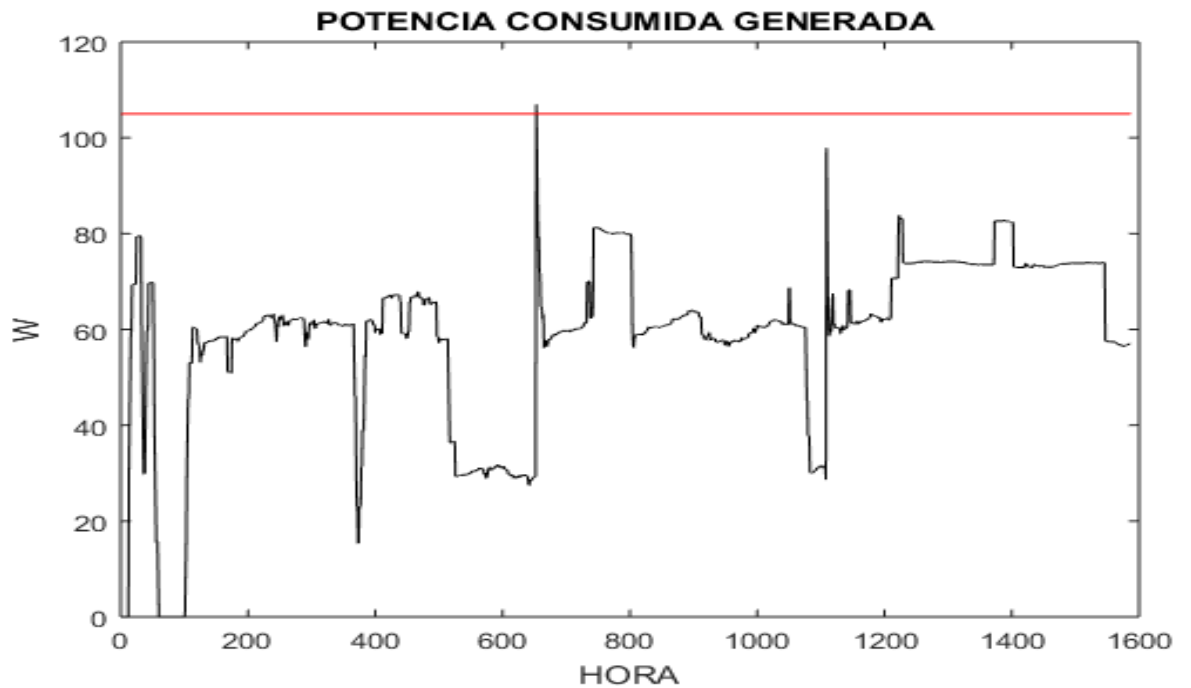


Figura. 63 Potencia lumínica consumida
Fuente: (AUTORES)

En la figura 64 vemos la conexión en campo



Figura. 64 Conexión en paralelo carga lumínica
Fuente: (AUTORES)

3.5 Consumo Motor bifásico a 120W

Para continuar con las pruebas se realizó la instalación de un motor Blower de 110VCA 1400 a 1600 rpm. Como se muestra en la figura 65.

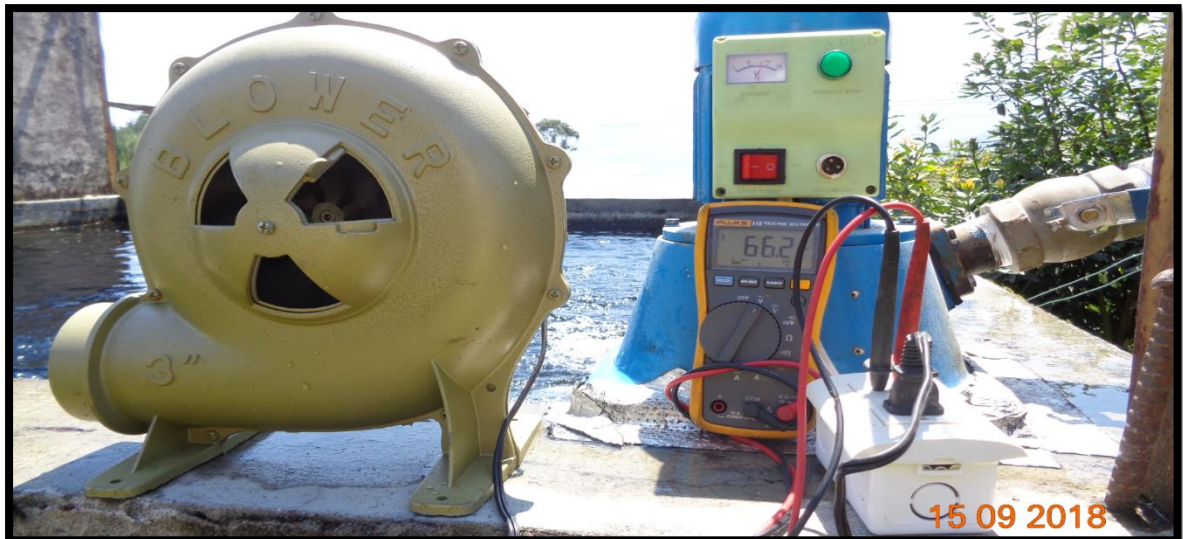


Figura. 65 Instalación de motor Blower bifásico 210 W
Fuente: (AUTORES)

En la figura 66 se muestra la gráfica del voltaje y la corriente registrados en el motor, donde se observa el inicio de arranque del motor.

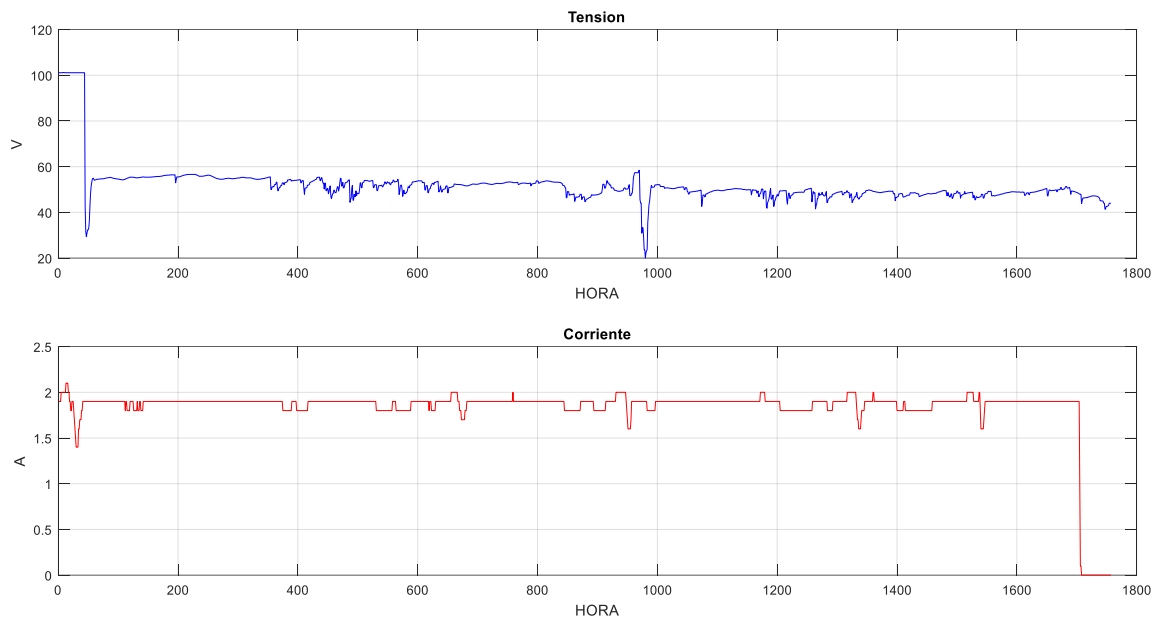


Figura. 66 Corriente y tensión consumida motor BLOWER
Fuente: (AUTORES)

En la figura 67, muestra la potencia consumida por el motor bifásico se muestra un pico de 200 W, que después se estabiliza en los 110W que no es necesario para arrancar el motor. Ya que dicho motor opera a 1800 [rpm] y el generador de la turbina 1.200[rpm]

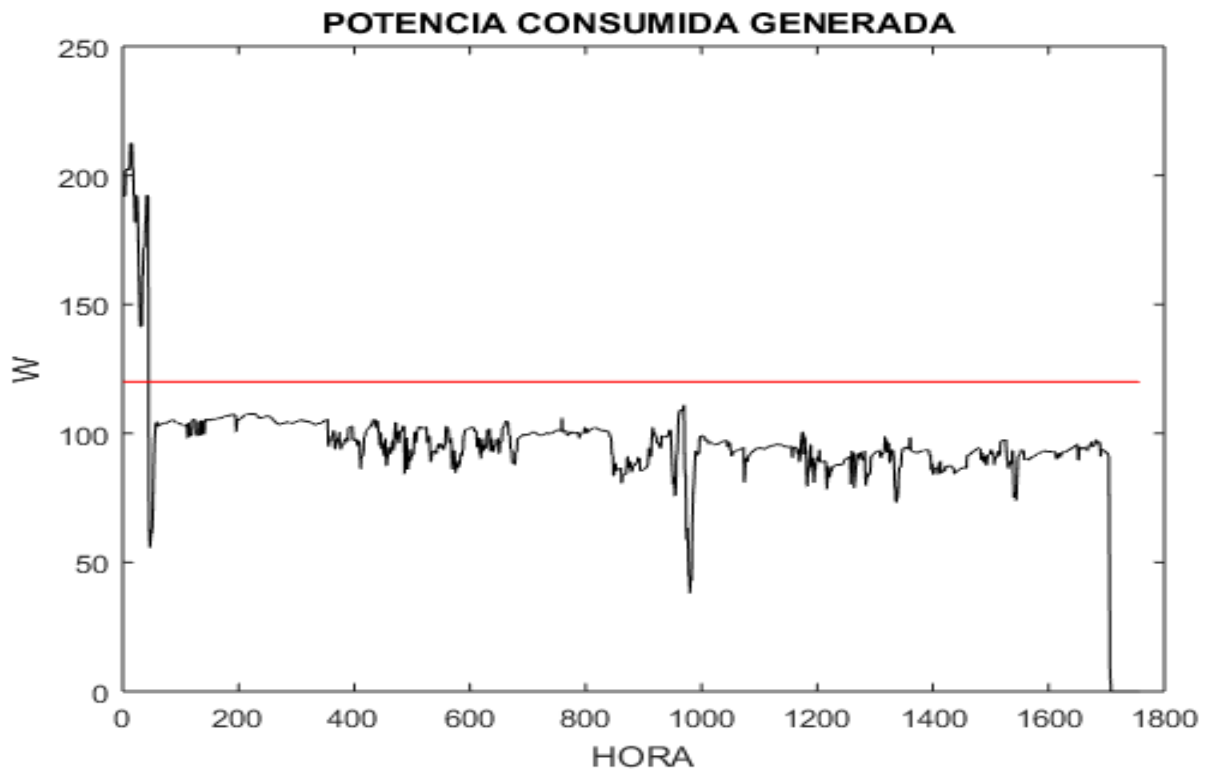


Figura. 67 Potencia consumida por el motor
Fuente: (AUTORES)

3.6 Análisis de carga Lumínica y Motor

En la figura 57 se muestra como se comporta la micro-central hidroeléctrica ante una carga lumínica y un motor de 120 W, como se denota la tensión es variable por lo que se debe incluir un controlador de carga, y la corriente en la conexión del motor no es suficiente para arancarlo.

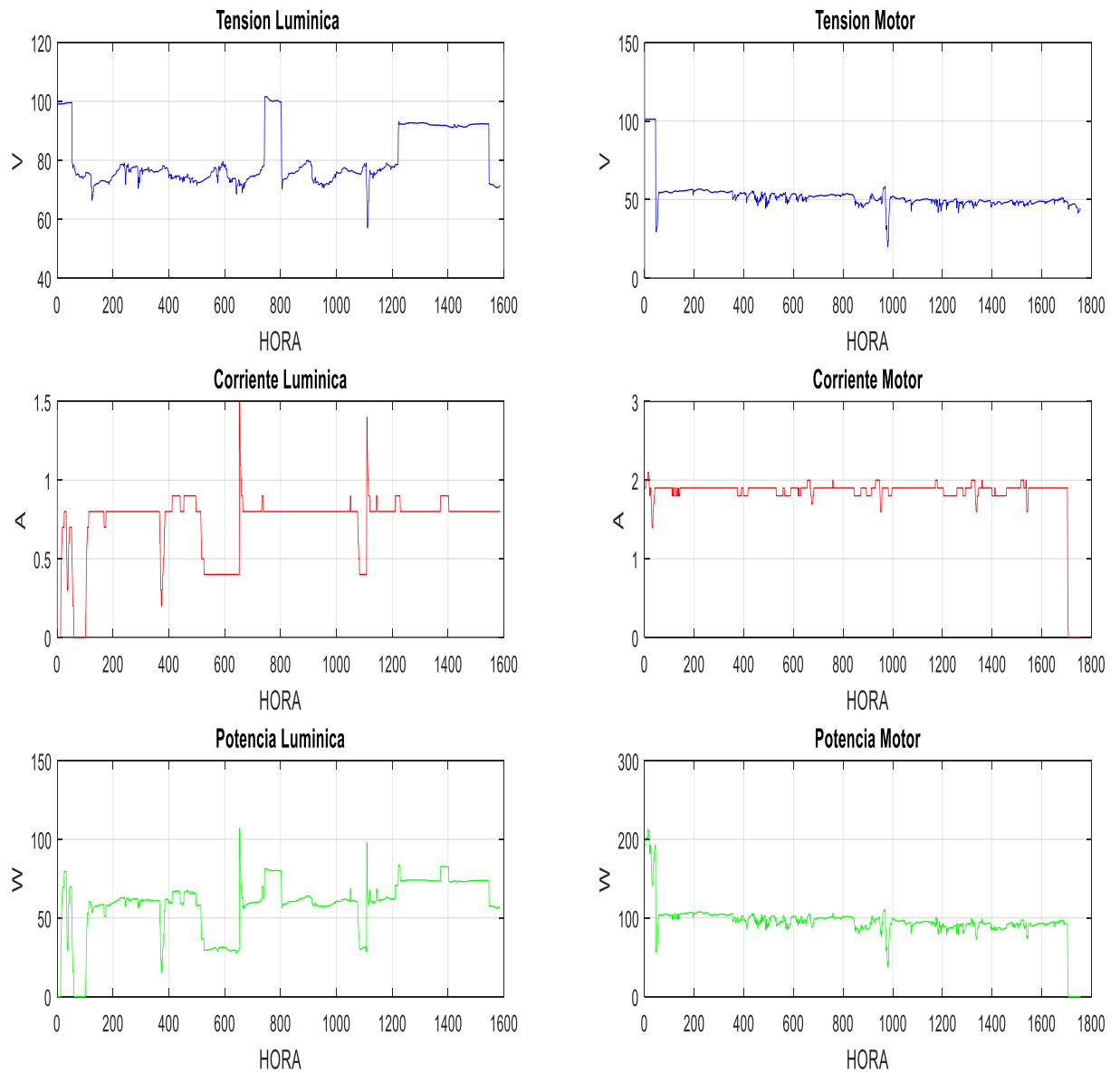


Figura. 68 Parámetros eléctricos lumínicos y carga inductiva
Fuente: (AUTORES)

CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Al realizar el tipo de selección de turbina hidráulica, hay que tener en cuenta la configuración de la central a implementar, en el caso del trabajo de investigación para el laboratorio de Smart Grid se escogió la central en canal de riego.
- Al realizar el diseño de alturas se estableció la configuración de la central, las alturas de salto bruto, neto y total para poder aprovechar al máximo su potencial de caída.
- Por medio de microcontroladores y sensores de caudal se pudo lograr mediciones electrónicas del mismo sin la necesidad de implementar otros métodos y automatizando los cálculos
- La recolección de datos, permiten un estudio elaborado de hidrología para tener en cuenta los caudales picos y bajos anuales
- La plataforma Matlab facilito la tabulación de datos, para poder crear el Hidrograma y establecer los caudales medios anuales
- Gracias a los promedios establecidos se calculó el valor del caudal promedio anual para el cálculo de la potencia disponible y neta.
- Por medio de la media de potencia disponible se supo el máximo valor que podemos generar en función al caudal y el salto bruto total.
- Una vez calculados el valor de caudal, salto útil y la potencia disponible como neta con sus respectivas medias anuales; se pudo establecer la turbina.
- En el mercado Ecuatoriano hay pocos equipos de hidráulica, por lo que no se tuvo un amplio acercamiento a este ámbito
- Se seleccionó la turbina tipo TURGO por que se adaptaba al tipo de parámetros que nos denoto el estudio.
- Al conectar carga lumínica se notó una caída de tensión notable al cubrir una demanda pequeña de 120 W
- Al conectar carga inductiva se observó que el motor no arranco, por motivo de las revoluciones por minuto del generador con el motor
- Es necesario evitar la pérdida de agua por medio de un estanque para evitar paradas en la generación eléctrica.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se requiere instalar un regulador de voltaje, para lograr filtrar las elevación de tensión cuando consume carga que pueda causar daños a los que equipos que se conecte.
- Se recomienda realizar mantenimientos previstos, predictivos y correctivos periódicos a la instalación para evitar algún tipo de avería.
- Incluir sistemas con microcontroladores para lograr automatizar la entrada del caudal y poder estabilizar el sistema, Se lo podría hacer a nivel SCADA para monitorear el comportamiento.
- Impartir cursos de este tipo de micro generación hídrica, para motivar en la inversión de estudios y equipos.
- Se podría construir un embalse para la retención del agua y poder alimentar otras micro centrales para conformar una potencia elevada.
- Construir equipos los cuales permitan almacenar datos climatológicos para posibles instalaciones de plantas generadoras no convencionales para crear sistemas híbridos y fomentar la reducción de emisiones, disminuyendo el consumo energético en el sector de la red pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alan Bridgewater, G. B. (2009). *Energías alternativas*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- ARCONEL. (s.f.). *Agencia de regulacion y control de Electricidad*. Obtenido de ARCONEL:
<http://www.regulacionelectrica.gob.ec>
- AUTORES. (s.f.).
- Características de la turbina tipo Kaplan, C. d. (2016). *Características de la turbina tipo Kaplan*.
MADRID.
- CARACTERIZACIÓN DE TURBINA HIDRÁULICA TIPO TURGO, U. d. (2011).
CARACTERIZACIÓN DE TURBINA HIDRÁULICA TIPO TURGO.
- Castells, X. E. (2012). *Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad*. Madrid:
Ediciones Díaz de Santos.
- Castells, X. E. (2012). *Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad*. Madrid:
Ediciones Díaz de Santos.
- CELEC EP TERMOPICHINCHA, C. (s.f.). *CELEC EP TERMOPICHINCHA*. Obtenido de
<https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/retos-empresariales/proyectos-de-generacion-no-convencional/proyecto-geotermico/chachimbiro>
- Colmenar Santos Antonio, B. D. (2016). *GENERACIÓN DISTRIBUIDA, AUTOCONSUMO Y REDES INTELIGENTES*. Madrid: Editorial UNED.
- Cuervo Garcia , R., & Mendez, J. M. (s.f.). *Energía solar fotovoltaica*.
- Díaz Velilla, J. P. (2015). *Sistemas de Energía Renovable*. Madrid, España: 1era Edición.
- Dolores Juárez , J. (1992). *Centrales Hidroeléctricas*. Mexico: Primera edición.
- ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO, E. G. (s.f.). *ElectroAustro*. Obtenido de
<http://www.elecaustro.com.ec>
- Google Maps. (s.f.).
- Hewitt, P. G. (2002). *Conceptual Physics*. Mexico: Pearson Educación.
- HIDRAULICA DE CANALES : FUNDAMENTOS., J. H. (2006). *HIDRAULICA DE CANALES : FUNDAMENTOS*. Medellín: Universidad Eafit.
- López Fernández, P. (2013). *Fontanería y uso racional del agua*. España: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

- Maquinas eléctricas J. Chapman, S. (s.f.). *Maquinas eléctricas*. Quinta edición.
- Minicentrales Hidroelectricas, A. (2006). *Minicentrales Hidroelectricas*. Madrid.
- Ministerio de Electricidad y Energia, M. d. (s.f.). *Ministerio de Electricidad y Energia Renovable*. Obtenido de <https://www.energia.gob.ec/villonaco/>
- NAYLAMP. (2017). *NAYLAMP*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>
- Nogués, F. S., Garcia Galindo, D., & Rezeau, A. (2010). *Energia de la Biomaza*. Zaragoza.
- Osorio, J. F. (2008). *Energía hidroeléctrica*. España: Universidad de Zaragoza.
- Pequeñas centrales hidroelectricas, F. R. (2001). *Pequeñas centrales hidroelectricas*. MC GRAW WILL.
- PLATA, S. Y. (2006). *CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGIA ELECTRICA*. MANIZALES: CENTRO DE PUBLICACIONES UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Proviento S.A, P. (s.f.). Obtenido de Proviento S.A: <http://www.proviento.com.ec>
- Rufes Martinez, P. (2010). *Energia Solar Termica*. Barcelona.
- Sánchez, T., Escobar, R., Ramírez, S., Canedo, W., & Gamarra. (2010). *Microcentrales hidroeléctricas. Una alternativa*. Lima: Soluciones Practicas.
- Smith, D. M. (2006). *Solo tenemos un planeta : Pobreza, Justicia y Cambio Climático*. Perú: Intermediate Technology Publications.
- Sohr, R. (2012). *Chile a ciegas: La triste realidad de nuestro modelo energético*. Chile: Penguin Random House Grupo Editorial Chile.
- Viani, B. (1985). *Microcentrales Hidroelectricas Una: Introduccion Al Trabajo de Campo*. Perú: Soluciones Practicas.
- Villarrubia López, M. (2012). *Ingeniería de la energía eólica*. Catalanes.

ANEXOS

Anexo 1. Programación Caudalímetro

SD_Caudal

```
///// Variables Caudalimetro
const int sensor = 2; // Pin digital para el sensor de flujo YF-S201
int litros_Hora; // Variable que almacena el caudal (L/hora)
volatile int pulsos = 0; // Variable que almacena el número de pulsos
unsigned long tiempoAnterior = 0; // Variable para calcular el tiempo transcurrido
unsigned long pulsos_Acumulados = 0; // Variable que almacena el número de pulsos acumulados
float litros; // // Variable que almacena el número de litros acumulados
float litros_min;
float litros_seg;

///// Variables leds
int led_verde = 8;
int led_rojo = 9;

// Libreria
#include <SD.h> /// Libreria Micro SD
#include <Wire.h> // Libreria comunicación I2C
File myFile;
/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void setup()
{
File myFile;
pinMode(led_verde,OUTPUT);
pinMode(led_rojo,OUTPUT);

Serial.begin(9600);
```

```

//////////////////// Micro SD //////////////////////

Serial.print("      Iniciando SD ...");

if (!SD.begin(4)) {
  Serial.println(" No se pudo inicializar");
  return;
}
Serial.println("  inicializacion exitosa");

if(SD.exists("datalog.csv"))
{
  myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo encabezado(fila 1)");
    myFile.println("Tiempo(ms),Caudal Litros/hora,Caudal Litros/min,Caudal Litros/seg,consumo");
    myFile.close();
  } else {
    Serial.println("Error creando el archivo datalog.csv");
  }
}
}

```

```

////////////////////////////////////
void flujo()
{
  pulsos++; // Incrementa en una unidad el número de pulsos
}
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

void loop()
{
  myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);//abrimos el archivo

  if (myFile) {
    Serial.print("      Escribiendo SD: ");
    // Cada segundo calculamos e imprimimos el caudal y el número de litros consumidos
    if(millis() - tiempoAnterior > 1000)
    {
      // Realizo los cálculos
      tiempoAnterior = millis(); // Actualizo el nuevo tiempo
      pulsos_Acumulados += pulsos; // Número de pulsos acumulados
      litros_Hora = (pulsos * 60 / 7.5); // Q = frecuencia * 60/ 7.5 (L/Hora)
      litros = pulsos_Acumulados*1.0/450; // Cada 450 pulsos son un litro
      pulsos = 0; // Pongo nuevamente el número de pulsos a cero
    }
    // CALCULOS

```

```

litros_min = litros_Hora * 0.0166666667;
litros_seg = litros_min * 0.0166666667;

myFile.print(millis());
myFile.print(",");
myFile.print(litros_Hora);
myFile.print(",");
myFile.print(litros_min);
myFile.print(",");
myFile.print(litros_seg);
myFile.print(",");
myFile.println(litros);

myFile.close(); //cerramos el archivo

Serial.print(" Tiempo(ms)= ");
Serial.print(millis());
Serial.print(" ,Caudal L/hora =");
Serial.print(litros_Hora);
Serial.print(" ,Caudal L/min =");
Serial.print(litros_min);
Serial.print(" ,Caudal L/seg =");
Serial.print(litros_seg);
Serial.print(" ,CONSUMO LITROS =");
Serial.println(litros);
} else {
// if the file didn't open, print an error:
Serial.println(" Error al abrir el archivo");
}

```

```

}

if (litros_seg >= 1 ) {
digitalWrite(led_verde,HIGH);
digitalWrite(led_rojo,LOW);
}else {
digitalWrite(led_verde,LOW);
digitalWrite(led_rojo,HIGH);
}

delay(1000);
}

```

Anexo 2. Registro de datos de caudalímetro

Tiempo [segundos]	CAUDAL LITROS/SEGUNDOS	POTENCIA DISPONIBLE [W]	POTENCIA NETA [W]	Produccion media de la minicentral hidroelectrica
0	0	0	0	
2	0	0	0	
3	0	0	0	P[kWh]
4	0,7	74,60363736	65,0170696	= 9,81 × Q × H × T × e × η
5	0,9	95,91896232	83,5933752	
6	1	106,5766248	92,881528	
7	1,5	159,8649372	139,322292	
8	1,6	170,5225997	148,6104448	
9	1,9	202,4955871	176,4749032	
10	2	213,1532496	185,763056	
11	2,1	223,8109121	195,0512088	
12	5,31	565,9218777	493,2009137	
14	5,34	569,1191764	495,9873595	
15	5,31	565,9218777	493,2009137	
16	5,31	565,9218777	493,2009137	
17	5,34	569,1191764	495,9873595	
18	5,31	565,9218777	493,2009137	

```

// Libreria
#include <SD.h> /// Libreria Micro SD
#include "EmonLib.h" // Libreria del sensor de corriente SCT-013
EnergyMonitor energyMonitor; // Crear una instancia EnergyMonitor

const int sensorPin = A1; // Entrada del sensor de voltaje
int sensorValue;
float value;
File myFile;
void setup()
{

  Serial.begin(9600);
  // Iniciamos la clase indicando
  // Número de pin: donde tenemos conectado el SCT-013
  // Valor de calibración: valor obtenido de la calibración teórica
  energyMonitor.current(0, 80.6); // A0 el sensor de corriente SCT-013

  //////////////// Micro SD ////////////////

  Serial.print("      Iniciando SD ...");

  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println(" No se pudo inicializar");
    return;
  }
  Serial.println(" inicializacion exitosa");

```

```

if(SD.exists("datalog.csv"))
{
  myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo encabezado(filas 1)");
    myFile.println("Tiempo(ms),Caudal Litros/hora,Caudal Litros/min,Caudal Litros/seg,consumo");
    myFile.close();
  } else {
    Serial.println("Error creando el archivo datalog.csv");
  }
}

}

void loop()
{

  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  value = fmap(sensorValue, 0, 1023, -127.2080, +127.2080);

  // Obtenemos el valor de la corriente eficaz
  // Pasamos el número de muestras que queremos tomar
  double Irms = energyMonitor.calcIrms(1484);

  // Calculamos la potencia aparente
  double potencia = Irms * 127;

```

```

if (value > -40.65 && value < -50.65) {value = 0;}

myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);//abrimos el archivo

if (myFile) {
  Serial.print("    Escribiendo SD: ");
  // Cada segundo calculamos e imprimimos el caudal y el número de litros consumidos

  myFile.print(millis());
  myFile.print(",");
  myFile.print(value);
  myFile.print(",");
  myFile.print(Irms);
  myFile.print(",");
  myFile.print(potencia);

  myFile.close(); //cerramos el archivo

  Serial.print(" Tiempo(ms)= ");
  Serial.print(millis());
  Serial.print(" ,Voltaje=");
  Serial.print(value);
  Serial.print(" ,Corriente=");
  Serial.print(Irms);
  Serial.print(" ,Potencia =");
  Serial.print(potencia);
} else {

} else {
  // if the file didn't open, print an error:
  Serial.println("    Error al abrir el archivo");
}

}

// cambio de escala entre floats
float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

```

Tiempo(ms)	Tension	Corriente	Potencia
856	-49,61	142,41	17088,91
1197	-49,61	33,56	4026,62
1534	-49,61	7,84	940,42
1818	-49,61	1,84	220,61
2158	-49,61	0,43	51,75
2500	-49,86	0,1	12,14
2783	-49,61	0,02	2,85
3122	-49,61	0,01	0,67
3458	-49,61	0	0,16
3739	-49,37	0	0,04
4077	-49,61	0	0,01
4416	-49,61	0	0
4698	-49,61	0	0
5035	-49,86	0	0
5369	-49,86	0	0
5652	-49,61	0	0
5991	-49,61	0	0
6327	-49,37	0	0
6608	-49,86	0	0
6944	-49,61	0	0
7299	-49,61	0	0
7652	-49,61	0	0
8005	-49,61	0	0
8369	-49,61	0	0
8722	-49,61	0	0
9073	-49,86	0	0
9423	-49,61	0	0
9776	-49,61	0	0
10129	-49,61	0	0
10480	-49,61	0	0
10831	-49,61	0	0
11192	-49,86	0	0
11542	-49,86	0	0
11892	-49,61	0	0
12243	-49,61	0	0
12602	-49,86	0	0
12967	-49,61	0	0
13330	-49,61	0	0
13693	-49,37	3,46	415,51

14049	-118,25	1,81	217,75
14410	-50,11	1,63	195,46
14769	-48,37	1,68	202,17
15126	-49,86	1,64	196,98
15479	-50,11	1,62	194,43
15836	-48,37	1,67	199,99
16191	-12,06	1,63	196,15
16545	-49,86	1,63	195,45
16900	-71,25	1,67	200,33
17256	36,68	1,62	194,33
17611	-50,11	1,63	196,1
17968	-48,37	1,67	199,84
18325	-25,24	1,62	194,18
18681	-127,21	1,63	195
19037	-48,12	1,7	203,45
19389	28,23	1,6	192,06
19740	-8,83	1,61	193,07
20094	-50,36	1,61	192,94
20450	-52,85	1,69	202,72
20803	-48,62	1,64	197,23
21155	24	1,64	196,93
21507	11,32	1,74	208,29
21859	-50,11	1,75	210,46
22215	-81,45	1,83	219,78
22581	-106,32	1,83	219,95
22937	42,15	1,78	214,12
23291	-50,61	1,8	216,51
23648	-114,77	1,92	230,71
24007	-2,11	1,87	224,97
24367	-44,14	1,88	226
24724	-56,83	1,79	214,25
25080	-103,08	1,81	217,66
25445	-127,21	1,81	217,08
25799	-42,15	1,81	216,71
26153	39,92	1,79	215,34
26509	-109,8	1,81	216,84
26866	1,37	1,78	213,63
27227	-127,21	1,82	218,12
27586	43,15	1,77	212,07
27943	-127,21	1,8	216,13
28303	42,15	1,79	214,36
28662	-103,58	1,79	215,1
29022	-33,7	1,77	212,28
29377	-127,21	1,82	218,68
29737	1,12	1,78	213,04
30093	-127,21	1,81	216,98
30451	40,91	1,83	220,04
30806	-35,94	1,87	224,28
31160	-127,21	1,93	231,27
31521	-6,34	1,85	222,07
31873	-49,86	1,82	218,21
32228	-127,21	1,82	218,28
32582	-47,63	1,66	199,71

```

%% OCTUBRE Caudal 2017
Coct = CAUDAL(1:3600);
Pdisoct = Pdisp(1:3600);
plot (Pdisoct,Coct,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE OCTUBRE 2017')
grid on;

%% Noviembre Caudal 2017
Cnov = CAUDAL(3600:7200);
Pdisnov = Pdisp(3600:7200);
plot (Pdisnov,Cnov,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE NOVIEMBRE 2017')
grid on;

```

```

%% Diciembre Caudal 2017
Cdic = CAUDAL(7200:10800);
Pdisdic = Pdisp(7200:10800);
plot (Pdisdic,Cdic,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE DICIEMBRE 2017')
grid on;

%% Enero Caudal 2017
Cene = CAUDAL(10800:14400);
Pdisene = Pdisp(10800:14400);
plot (Pdisene,Cene,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE ENERO 2018')
grid on;

```

```

%% Febrero Caudal 2017
Cene = CAUDAL(14400:18000);
Pdisene = Pdisp(14400:18000);
plot (Pdisene,Cene,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE FEBRERO 2018')
grid on;

%% Marzo Caudal 2017
Cmar = CAUDAL(18000:21600);
Pdismar = Pdisp(18000:21600);
plot (Pdismar,Cmar,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE MARZO 2018')
grid on;

```

```

%% Abril Caudal 2017
Cabr = CAUDAL(21600:25200);
Pdisabr = Pdisp(21600:25200);
plot (Pdisabr,Cabr,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE ABRIL 2018')
grid on;

%% Mayo Caudal 2017
Cmay = CAUDAL(25200:28800);
Pdismay = Pdisp(25200:28800);
plot (Pdismay,Cmay,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE MAYO 2018')
grid on;

```

```

%% Junio Caudal 2017
Cjun = CAUDAL(25200:28800);
Pdisjun = Pdisp(25200:28800);
plot (Pdisjun,Cjun,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE JUNIO 2018')
grid on;

%% Julio Caudal 2018
Cjul = CAUDAL(28800:32400);
Pdisjul = Pdisp(28800:32400);
plot (Pdisjul,Cjul,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE JULIO 2018')
grid on;

```

```

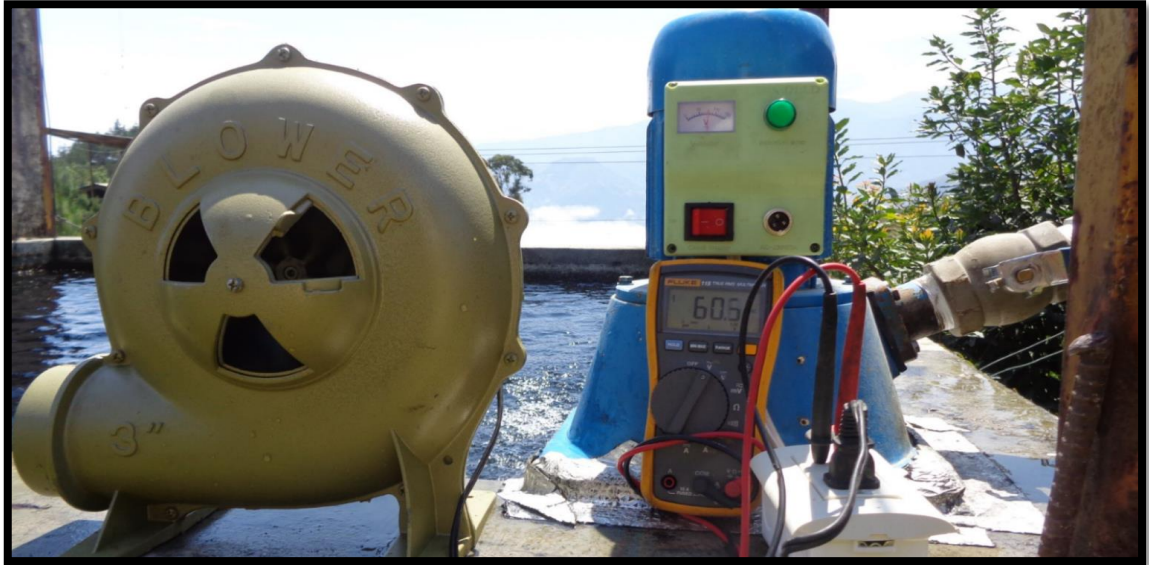
%% Agosto Caudal 2018
Cago = CAUDAL(32400:36000);
Pdisago = Pdisp(32400:36000);
plot (Pdisago,Cago,'b','MarkerEdgeColor','r')
xlabel('POTENCIA DSIPONIBLE [W]')
ylabel('CAULDAL [l/seg]')
title('CAUDAL VS POTENCIA DSIPONIBLE AGOSTO 2018')
grid on;

```

Anexo 5. Instalación de carga (iluminación)



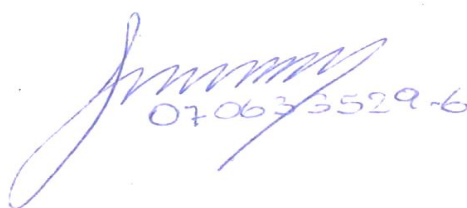
Anexo 6. Instalación de carga (Motor)



**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Yo, **Sánchez Pacheco Tyron Santiago** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 070633529-6. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PICO CENTRAL HIDROELECTRICA PARA EL LABORATORIO DE REDES ELECTRICAS INTELIGENTES DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de noviembre de 2018



.....
Tyron Santiago Sánchez Pacheco
C.I. 070633529-6

**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Yo, **Erick Ricardo Espinoza Asanza** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0705611093. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PICO CENTRAL HIDROELECTRICA PARA EL LABORATORIO DE REDES ELECTRICAS INTELIGENTES DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de noviembre de 2018



.....
Erick Ricardo Espinoza Asanza
C.I. 070561109-3