



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad educativa al servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Implementación de una picocentral de energía hidroeléctrica para una
cabaña autosustentable en el sector de Chanlud provincia del Azuay**

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

AUTORES: JHONNY SAUL PEÑALOZA JAYA

BYRON WILFRIDO GUERRERO SUAREZ

DIRECTOR: ING. ARIAS REYES PABLO DANILO MSc.

MATRIZ CUENCA

2019

DECLARACIÓN

Yo, Jhonny Saul Peñaloza Jaya declaro bajo juramento que el trabajo "Implementación de una picocentral de energía hidroeléctrica para una cabaña autosustentable en el sector de Chanlud provincia del Azuay" aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



Jhonny Saul Peñaloza Jaya

C.I: 0104502851

Yo, Byron Wilfrido Guerrero Suarez declaro bajo juramento que el trabajo "Implementación de una picocentral de energía hidroeléctrica para una cabaña autosustentable en el sector de Chanlud provincia del Azuay" aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

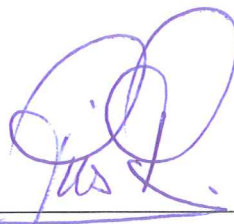


Byron Wilfrido Guerrero Suarez

C.I: 0104925086

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jhonny Saul Peñaloza Jaya y Byron Wilfrido Guerrero Suarez, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several large, overlapping loops and a horizontal line at the bottom.

Ing. Pablo Arias Reyes MsC.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer en primer lugar a Dios por todas las bendiciones que he recibido a lo largo de mi vida, 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.

A mi tutor Ingeniero Pablo Arias por todo el tiempo, conocimientos y apoyo que nos ha brindado a lo largo de este proceso, cabe mencionar que cada maestro durante la carrera fueron pilares importantes para mi formación académica muchas gracias a todos.

A Johnny Peñaloza mi compañero de tesis por su apoyo incondicional para que la proyección, desarrollo y ejecución de este proyecto fuesen posibles, por su compromiso y dedicación el cual se refleja al ver este proyecto culminado.

Byron Wilfrido Guerrero Suarez

Deseo agradecer en primer lugar a Dios por todas las bendiciones que he recibido a lo largo de mi vida 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.

A mi tutor Ingeniero Pablo Arias por todo el tiempo, conocimientos y apoyo que nos ha brindado a lo largo de este proceso, cabe mencionar que cada maestro durante la carrera fueron pilares importantes para mi formación académica muchas gracias a todos.

A Byron Guerrero mi compañero de tesis por su apoyo incondicional para que la proyección, desarrollo y ejecución de este proyecto fuesen posibles, por su compromiso y dedicación el cual se refleja al ver este proyecto culminado.

Jhonny Saul Peñaloza Jaya

DEDICATORIA

A mis padres Cirilo y Beatriz, que son mi razón de ser y por qué sin su apoyo y dedicación no hubiera sido posible llegar a este punto, a mi hermana Tania, mi sobrina Kyra que son mi todo y a toda mi familia por el apoyo incondicional recibido durante toda la carrera.

Jhonny Saul Peñaloza Jaya

A mi madre, padre y hermano que han sido mi apoyo incondicional durante toda la carrera, a mi hijo y mi esposa quienes son mi motor para salir adelante y lograr esta meta, a todos los familiares y amigos que de una u otra manera han formado parte del camino.

De manera especial quiero dedicar esto a mi madre Carmen Suarez porque pese a los tropiezos que he tenido siempre confió en mí, por todo el sacrificio para verme triunfar y sobre todo por ser un ejemplo de amor infinito, lucha y trabajo incansable, de igual manera a mi hijo Luis Andrés porque desde que llegó a mi vida se ha convertido en la razón de querer tener un mañana mejor y cada triunfo en mi vida se lo dedico a él.

Byron Wilfrido Guerrero Suarez

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

1. CAPITULO 1	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.2.3. Alcance	2
1.2.4. Justificación	2
2. CAPITULO 2	3
2.1. MARCO TEÓRICO	3
2.2. Energía hidroeléctrica	3
2.3. Ciclo hidrológico	3
2.4. Energía Hidráulica	4
2.5. Centrales hidroeléctricas	5
2.6. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su capacidad	5
2.7. Picocentrales hidroeléctricas	6
2.7.1. Tipos de sistemas de generación Hidráulica	7
2.7.1.1. Centrales de agua fluyente	7

2.7.1.2.	Centrales de embalse	8
2.8.	Ventajas y desventajas de las picocentrales hidroeléctricas	9
2.8.1.	Ventajas de las picocentrales hidroeléctricas	9
2.8.2.	Desventajas de las picocentrales hidroeléctricas	10
2.9.	Selección del sitio para una picocentral hidroeléctrica	10
2.10.	Componentes de la picocentral hidroeléctrica	11
2.10.1.	Bocatoma	11
2.10.2.	Toma de agua	12
2.10.3.	Cámara de carga	13
2.10.4.	Tubería forzada	13
2.11.	Caudal	14
2.11.1.	Medición del caudal con el método del recipiente	14
2.11.2.	Método del flotador	15
2.12.	Medición del salto geodésico o altura	16
2.12.1.	Método del GPS	16
2.12.2.	Método del Altimetro	16
2.12.3.	Método del Eclímetro	17
2.12.4.	Método del Nivel de Ingeniero	17
2.12.5.	Método de Manguera y Manómetro	18
2.12.6.	Método del Nivel de Carpintero	19
2.13.	Turbinas hidráulicas	20
2.13.1.	Maquinas gravimétricas	20
2.13.2.	Maquinas hidrostáticas	20
2.13.3.	Maquinas rotodinámicas o turbomáquinas	20
2.14.	Partes de una turbina hidráulica	20
2.14.1.	El distribuidor	20
2.14.2.	El rodete	20
2.14.3.	Tubo de aspiración	21
2.14.4.	Carcasa	21
2.15.	Tipos de turbinas hidráulicas	21
2.15.1.	Turbinas de acción	21
2.16.	Turbina Pelton	21
2.17.	Turbina Turgo	22
2.17.1.	Ventajas de la turbina Turgo	23
2.17.2.	Desventajas de la turbina Turgo	23
2.18.	Turbina Michell Banki	23

2.19.	Turbinas de reacción	24
2.20.	Turbina Francis	24
2.21.	Partes de las turbinas Francis	25
2.21.1.	Cámara de alimentación	25
2.21.2.	Predistribuidor	25
2.21.3.	Distribuidor	26
2.21.4.	Rodete	26
2.21.5.	Tubo de aspiración	26
2.22.	Turbina Kaplan	26
3.	CAPITULO 3	28
3.1.	INVESTIGACION DE CAMPO	28
3.2.	Características del proyecto	28
3.3.	Proceso de elaboración del proyecto	29
3.4.	Calculo de cargas de la cabaña	29
3.5.	Medición del caudal disponible del rio	32
3.5.1.	Procedimiento y medición del Caudal del rio	32
3.6.	Caudal que entra a la cámara de carga	37
3.7.	Caudal efectivo en la tubería	39
3.7.1.	Curvas características de Caudales de los meses de agosto hasta noviembre 44	
3.8.	Medición del salto	46
3.8.1.	Procedimiento y materiales para la medición de altura bruta y neta	46
3.9.	Medición de la altura bruta (Hb)	47
3.9.1.	Longitud de la tubería de presión (L)	48
3.10.	Determinación de la altura Neta (Hn)	49
3.10.1.	Diámetro de la tubería de presión (D)	50
3.10.2.	Perdidas primarias (<i>Hrp</i>)	50
3.10.3.	Perdidas secundarias (<i>Hrs</i>)	52
3.11.	Potencia bruta disponible en función del caudal y altura	53
3.12.	Determinación de la potencia neta	54
3.13.	Elección de la Turbina para el proyecto	55
4.	CAPITULO 4	57
4.1.	OBRA CIVIL E INSTALACION	57
4.2.	Bocatoma	57
4.3.	Canal de derivación	59
4.4.	Cámara de carga y desarenador	59

4.4.1.	Características de la cámara de carga	60
4.4.2.	Construcción de la cámara de carga y desarenador	60
4.5.	Tubería de presión	61
4.6.	Base de la turbina	62
4.6.1.	Características de la base de la turbina	62
4.6.2.	Materiales para la construcción de la base de la turbina	63
4.6.3.	Construcción de la base de la turbina	63
4.7.	Canal de descarga	64
4.7.1.	Construcción del canal de descarga	65
4.8.	Tanque del dissipador de potencia	65
4.8.1.	Construcción del tanque dissipador	66
4.9.	Cuarto de maquinas	67
4.10.	Instalación de la turbina	67
4.10.1.	Materiales para la instalación de la turbina	67
4.10.2.	Proceso de instalación	68
5.	CAPITULO 5	71
5.1.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y MANUAL DE MANTENIMIENTO	71
5.2.	Pruebas de funcionamiento finales	71
5.3.	Voltaje en función de la abertura de la válvula de paso	72
5.4.	Conexión hacia las cargas de la cabaña	73
5.5.	Manual de operación y mantenimiento del sistema	76
5.5.1.	Acciones de mantenimiento del equipo generador	76
5.5.2.	Reglas de servicio	77
5.5.3.	Tratamiento de fallas de rutina	77
5.6.	Mantenimiento de las obras civiles	78
6.	CONCLUSIONES	79
7.	RECOMENDACIONES	80
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
9.	ANEXOS	83

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Ciclo Hidrológico	3
Fig. 2 Energía Hidráulica	5
Fig. 3 Diseño de pico central hidroeléctrica.....	7
Fig. 4 Central de Agua Fluyente.	8
Fig. 5 Centrales de Embalse.	9
Fig. 6 Diseño de Bocatoma.....	12
Fig. 7 Tubería de conducción.	12
Fig. 8 Cámara de Carga.....	13
Fig. 9 Tubería de Presión.....	14
Fig. 10 Medición del caudal con el método del Recipiente	15
Fig. 11 Método del flotador para medir Caudal.....	16
Fig. 12 Método del Eclímetro.....	17
Fig. 13 Método del nivel de Ingeniero.	18
Fig. 14 Método de Manguera y Manómetro.....	19
Fig. 15 Método del nivel de Carpintero.	19
Fig. 16 Esquema de Turbina Pelton.....	22
Fig. 17 Esquema Turbina Turgo.....	23
Fig. 18 Esquema Turbina Michell Banki.....	24
Fig. 19 Turbina Francis.....	25
Fig. 20 Esquema Turbina Kaplan	27
Fig. 21 Ubicación del proyecto.	28
Fig. 22 Plano eléctrico de la cabaña.	30
Fig. 23 Plano eléctrico de la cocina rustica	30
Fig. 24 Medición transversal y profundidades.....	34
Fig. 25 Caudal del rio.....	36
Fig. 26 Caudal que llega a la cámara de carga.....	37
Fig. 27 Caudal diario que entra a la cámara de carga del mes de agosto	38
Fig. 28 Caudal diario que entra a la cámara de carga del mes de septiembre.	38
Fig. 29 Caudal diario que entra a la cámara de carga en el mes de octubre.	38
Fig. 30 Caudal diario que entra a la cámara de carga en el mes de noviembre.	39
Fig. 31 Medición del caudal en la tubería de presión.	40
Fig. 32 Curva característica de caudal del mes de agosto.....	44
Fig. 33 Curva característica de caudal del mes de septiembre.....	44
Fig. 34 Curva característica de caudal de mes de octubre.....	45
Fig. 35 Curva característica de caudal del mes de noviembre.....	45
Fig. 36 Curva característica de caudal de los 4 meses de mediciones y su línea de tendencia.....	46
Fig. 37 Medición de Altura	47
Fig. 38 Medición de altura Bruta con el método de nivel de Carpintero.....	48
Fig. 39 Medición de la longitud de la tubería.....	49
Fig. 40 grafica de caudal vs potencia.....	54

Fig. 41 Turbina para el sistema pico hidroeléctrico	55
Fig. 42 Obra de Bocatoma	58
Fig. 43 Tuberías de salida de 6 y 4 pulgadas.	58
Fig. 44 Canal de derivación cerrado.	59
Fig. 45 Cámara de carga y desarenador	60
Fig. 46 Canal de exceso de agua.....	61
Fig. 47 conexión de la tubería de presión.	62
Fig. 48 base de la turbina en construcción.....	63
Fig. 49 Agujero para la ubicación del banco de la turbina.	64
Fig. 50 Base de la turbina concluida.....	64
Fig. 51 Canal de descarga.	65
Fig. 52 Disipador de energía.....	66
Fig. 53 Tanque de agua para el disipador.	66
Fig. 54 Cuarto de máquinas.....	67
Fig. 55 conexión de la tubería de presión a la unión de aluminio.	68
Fig. 56 Ajuste de los elementos con la llave francesa.	69
Fig. 57 Instalación final de la turbina a la tubería de presión.	69
Fig. 58 Instalación final de la turbina	70
Fig. 59 Picocentral hidroeléctrica en funcionamiento.	71
Fig. 60 Voltaje de salida del generador	72
Fig. 61 paso del agua y el voltaje que resulta	72
Fig. 62 voltaje de salida en relación con los grados de abertura de la válvula.	73
Fig. 63 Voltaje de salida con todas las cargas activas	74
Fig. 64 Amperaje de salida con todas las cargas activas	75
Fig. 65 Iluminación de la cabaña	75
Fig. 66 Iluminación en la cabaña planta alta	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de centrales Hidroeléctricas	6
Tabla 2 Cargas de la Cabaña.....	31
Tabla 3 Cargas de la Cocina Rustica	31
Tabla 4 Cargas totales a ser dotadas por la implementación de la pico central Hidroeléctrica	32
Tabla 5 Tiempos para hallar la velocidad de A hasta B.	33
Tabla 6 Factores de corrección según el tipo de corriente del río.....	33
Tabla 7 Medición de la profundidad en punto A.	34
Tabla 8 Medición de la profundidad en punto B.....	35
Tabla 9 Caudales diarios del mes de agosto	40
Tabla 10 Caudales diarios del mes de septiembre.....	41
Tabla 11 Caudales diarios del mes de octubre.....	42
Tabla 12 Caudales diarios del mes de noviembre.....	43
Tabla 13 Mediciones de altura bruta 1 y 2.....	48
Tabla 14 Características de la Turbina Turgo CJ-500W.	55
Tabla 15 Grados de abertura de la llave de paso y voltaje de salida	73
Tabla 16 tratamiento de fallas de rutina.....	77

LISTA DE ANEXOS

Anexos A Caudales diarios en la cámara de carga.	83
---	----

RESUMEN

La ausencia de energía eléctrica en zonas rurales, los elevados precios de llegar con el sistema de distribución y el uso de combustibles fósiles hacen posible que se busquen energías renovables que sean amigables con el medio ambiente y ayuden a mantenerlo en óptimas condiciones, evitando los gases de efecto invernadero con el uso de hidrocarburos, una de las alternativas es el uso de la energía contenida en el agua, extrayendo dicha energía podemos obtener energía eléctrica, el presente trabajo de investigación detalla una forma de implementación de una picocentral de energía hidroeléctrica para una cabaña autosustentable en el sector de Chanlud provincia del Azuay donde a partir de la demanda de cargas existentes se provee la potencia a instalar.

Debido al potencial hídrico existente en la zona, se detalla la implementación de energía pico-hidroeléctrica para la utilización en iluminación de la cabaña, ya que es fundamental la iluminación para tener un estilo de vida apropiado, en este lugar existía iluminación a través de un generador de combustible fósil.

La potencia para abastecer por picocentral hidroeléctrica es de 217W según el cálculo de demanda de cargas, por lo tanto, se realiza el diseño hidráulico, encontrando la altura neta, el caudal de diseño, la tubería de presión y accesorios. Conociendo los resultados se elige una turbina en el mercado ecuatoriano para satisfacer la demanda.

Para el funcionamiento se elaboran obras civiles como la bocatoma, la tubería de derivación, la cámara de carga y el cuarto de máquinas.

Se concluye con la instalación de la turbina y se obtiene los resultados finales tras las pruebas de funcionamiento, donde se observa el voltaje, la corriente y su potencia final con todas las cargas activas a la vez, se muestra un manual de mantenimiento del equipo generador y obras civiles.

Palabras clave: CICLO HIDROLOGICO, GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA, PICOCENTRAL, ENERGÍAS RENOVABLES, TURBINAS HIDROELÉCTRICAS.

ABSTRACT

The absence of electric power, the high prices of coming with the distribution system towards rural zones and the use of fossil fuels make possible to look for alternative renewable energies that are friendly with the environment and help to maintain it in optimum conditions, avoiding the greenhouse gases, one of the alternatives is the use of the energy contained in the water, by extracting the above mentioned energy it is possible to obtain electric power. The present research study details a way of implementation of a pico-central of hydroelectric power as an auto-sustainable hut in Chanlud's sector Azuay province where based on the demand for existing loads the power to be installed is foreseen.

Due to the existing water potential in the area, the implementation of pico-hydroelectric for using lighting of the hut is detailed, since the lighting is essential to have an appropriate lifestyle, in this place there was lighting through a fossil fuel generator with the proposed clean energy may be given other use in that hut.

The power to supply by pico-central hydroelectric is 217W according to the calculation of load demand, therefore, the hydraulic design is performed, by finding the net height, the design flow rate, the pressure pipe and accessories. By knowing the results, a turbine is chosen in the Ecuadorian market to satisfy the calculated demand.

For the civil operation works are elaborated as the intake the bypass pipe, the loading chamber and the machine room.

It concludes that installation of the turbine and the final results are obtained after the operation tests, where the voltage, the current and its final power are recorded with all the active loads at the same time, a maintenance manual of the generating equipment is shown and civil works.

KEY WORDS: HYDROLOGICAL CYCLE, HYDROELECTRIC GENERATION, FLOW MEASUREMENT, PICO-CENTRAL, RENEWABLE ENERGIES, HYDROELECTRIC TURBINES.

1. CAPITULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un servicio básico fundamental para el desarrollo humano, actualmente el uso más común de la energía hidráulica es la generación de energía eléctrica, la energía hidráulica ha sido y sigue siendo una de las primeras fuentes renovables de energía, la generación eléctrica a pequeña escala constituye una alternativa apropiada para lugares alejados del sistema de distribución, a través de la instalación de sistemas pico-hídricos con el propósito de mejorar las condiciones de vida de las personas, la gran mayoría de los sistemas pico-hidro son del tipo de agua fluyente sin almacenamiento de agua a gran escala esto evita inundaciones de grandes cantidades de terreno adaptándose al ecosistema sin alterarlo, nuestro país cuenta con un potencial hídrico abundante, con las condiciones necesarias para hacer uso del mismo.

Las picocentrales hidroeléctricas aprovechan la energía contenida en una masa de agua que está localizada a una cierta altura que pasa por una turbina hidráulica la cual transforma esta energía en energía mecánica de rotación y por medio de un alternador se convierte en energía eléctrica.

Las principales características de una picocentral hidroeléctrica son su nivel de potencia que se basa en el desnivel existente entre el nivel superior en la toma de agua y el nivel inferior de descarga, del caudal que atraviese por la turbina, el rendimiento de la misma turbina y el generador.

En el trabajo investigativo se establecen los criterios básicos para elaborar un sistema pico-hídrico para el cual se halla la altura neta y el caudal de diseño para satisfacer las cargas de iluminación de una cabaña, los datos obtenidos de altura y caudal determinan la potencia teórica del sistema, para la implementación del sistema pico-hídrico se realizan obras civiles como el bocatoma, la tubería de derivación, el tanque o cámara de carga, la tubería de presión, la casa de máquinas y la instalación de la turbina, elaboradas las obras civiles y obtenidos los datos de altura y caudal se realiza la implementación, donde se realizan las pruebas de funcionamiento, para obtener la potencia real del sistema, y verificar si dicho sistema abastece la demanda calculada.

Se establece una valoración del sistema y según los resultados se podrá admitir que el sistema llega a satisfacer la demanda, además se desarrolla un manual de mantenimiento del sistema de generación.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Implementar una picocentral hidroeléctrica, para abastecer las cargas eléctricas de una cabaña ubicada en el sector de Chanlud en la provincia del Azuay y hacerla autosustentable.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir las características necesarias para poder implementar una picocentral hidroeléctrica.
- Detallar las cargas eléctricas para conocer la capacidad o potencia que necesita la cabaña.
- Analizar los datos de caudal.
- Estimar la potencia eléctrica con un caudal entubado, que llegara a la turbina.
- Implementar la picocentral hidroeléctrica.
- Analizar los datos obtenidos con la picocentral en funcionamiento.

1.2.3. Alcance

Se analizará la implementación de una picocentral hidráulica en donde se aprovechará el caudal de un río que se encuentra junto a la cabaña que es la que se desea energizar y así dotar de energía a la cabaña y hacerla sustentable con energía limpia y renovable.

1.2.4. Justificación

El siguiente proyecto es un sub-proyecto que forma parte del grupo de investigación en redes eléctricas inteligentes de la UCACUE, la energía eléctrica es sinónimo de desarrollo de los pueblos, no en todos los lugares se puede acceder a la energía eléctrica de las redes de distribución, existen personas que no cuentan con el servicio, por estar en lugares alejado de dichas redes o en zonas rurales, cada vez son más los abonados quienes solicitan el servicio de energía eléctrica, pero en la propiedad donde se va a realizar el proyecto no cuenta con el suministro eléctrico debido a la distancia con el último abonado de la red existente.

En si por este motivo y con el fin de abastecer de iluminación a una cabaña y lograr que sea autosustentable, se implementara una picocentral hidroeléctrica, ya que las condiciones en dicho lugar son idóneas.

Con dicho proyecto se pretende reducir emisiones de CO₂, ya que dicha cabaña todavía utiliza un generador que utiliza combustible fósil, y gracias a la implementación de la picocentral hidroeléctrica se pretende omitir dicho generador que causa contaminación y con ello ayudar al medio ambiente.

2. CAPITULO 2

2.1. MARCO TEÓRICO

2.2. Energía hidroeléctrica

Energía hidroeléctrica es una de las formas más usadas para producir electricidad. Aprovecha la transformación de la energía potencial del agua almacenada en un nivel superior, en energía cinética al fluir a través de tuberías a un nivel inferior, para producir trabajo con un recurso renovable como es el agua. (Harper, El abc de las energías renovables en los sistemas eléctricos, 2012)

Esta energía cinética es transformada por una turbina en energía mecánica y gracias a un generador se convierte en energía eléctrica. (Duchi & Peralta, 2014)

2.3. Ciclo hidrológico

El principal motor del ciclo hidrológico es el sol, la radiación que influye e incide en los mares y lagos evapora el agua.

Dicho vapor asciende a la atmosfera condensándose en las nubes, que son movidas por el viento, en condiciones favorables las nubes descargan el agua en forma de lluvia o nieve que se precipitan en zonas montañosas, el agua de lluvia se filtra por el terreno o fluye por la superficie hacia ríos, lagos y terminan en el mar cumpliendo el ciclo hidrológico.

Se considera a la energía hidráulica una energía renovable, porque su potencial es inagotable por el hecho de provenir de la energía solar que llega a la tierra de forma continua, el agua puede ser utilizada para riego, para crear energía eléctrica y mucho más, en la figura 1 se observa el ciclo hidrológico. (Creus Solé, 2014)

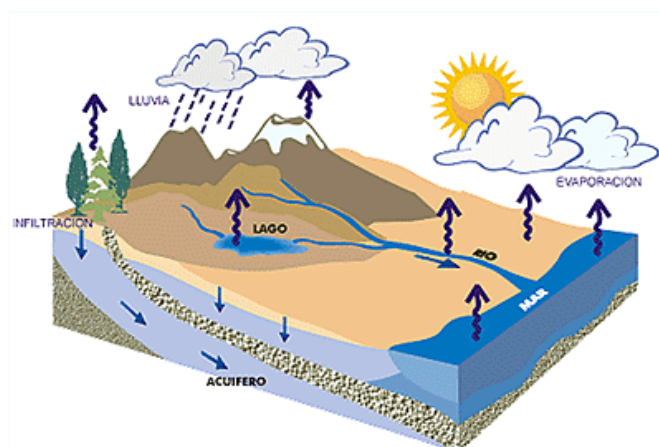


Fig. 1 Ciclo Hidrológico

Fuente: (Miguel, 2010)

2.4. Energía Hidráulica

La energía hidráulica responde a un proceso de conservación de energía gravitacional, producida a través del flujo másico del agua en una tubería de presión.

La energía hidráulica equivale al peso de agua (**m**) que se desplaza en un tramo comprendido entre la sección de entrada y la de salida de la tubería de presión y su ecuación es: (Ortiz, 2011), en la figura 2 se puede observar un sistema de generación hidráulica.

$$E_H = H_{est} \cdot m \quad (1)$$

Donde:

H_{est} : Es la diferencia de altura del nivel superior (NS) y el nivel inferior (NI), (**m**)

m : Es el peso del agua $1\text{m}^3 = 1000\text{kg}$

m : corresponde a; $m = \rho \cdot g \cdot V$

Donde el volumen (V) equivale al producto del caudal Q, en un cierto tiempo t, $V = Q \cdot t$

Reemplazando en la Ecuación 1 nos queda la energía hidráulica suministrada a la turbina.

$$E_H = H_{est} \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot t \quad (2)$$

La potencia hidráulica total obtenida en este tramo equivale a la $E_H/t = P_H$

$$P_H = E_H/t = H_{est} \cdot \rho \cdot g \cdot Q \quad (3)$$

Sustituyendo los valores de la aceleración de la gravedad y la densidad del agua, se dice que la potencia hidráulica total en KW es:

$$P_H = 9,81 \cdot H_{est} \cdot Q \quad (4)$$

Donde:

Q : Caudal en m^3/s .

H_{est} : La caída de altura en (m).

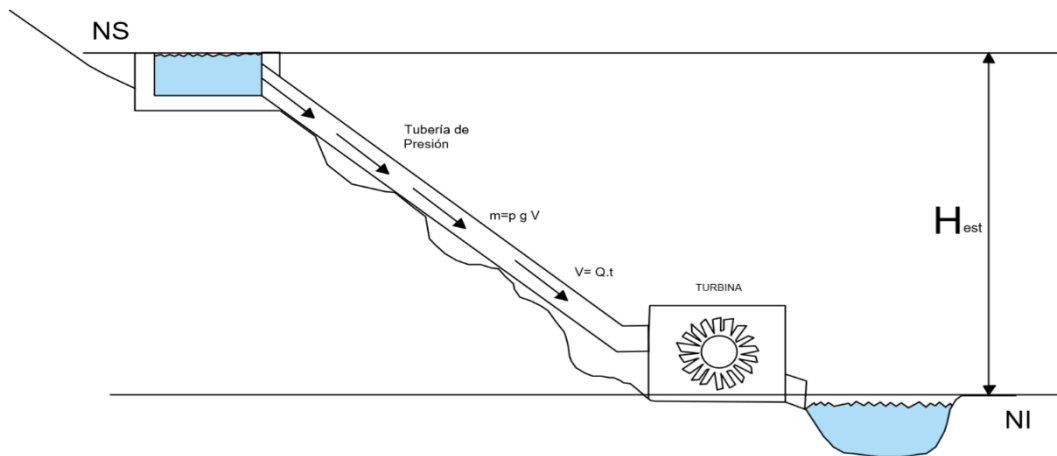


Fig. 2 Energía Hidráulica
(Autores, 2018)

2.5. Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas son aquellas que aprovechan la energía cinética, la misma que se convierte en energía mecánica y por último en energía eléctrica.

La energía que contiene el agua se transforma en energía mecánica, que logra mover una turbina, la misma que acciona un generador, este generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica. (Vélez, 2013).

“Las centrales hidroeléctricas actuales son el resultado de 2000 años de avances tecnológicos, desde la rueda de madera, que convertía un bajo porcentaje de energía hidráulica en energía mecánica útil, a los modernos turbogeneradores que giran a 1500 rpm y producen energía eléctrica con muy altos rendimientos” (Vega de Kuyper & Ramirez, 2014).

A diferencia de algunos otros tipos de generación eléctrica, la energía hidroeléctrica se encuentra muy bien establecida gracias a su avance tecnológico.

El costo inicial de la construcción de una central hidroeléctrica es elevado sin embargo los costos de mantenimiento son bajos, y genera una gran rentabilidad ya que utilizan un recurso renovable como es el agua, y además tienen un bajo impacto ambiental. (Duchi & Peralta, 2014)

2.6. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su capacidad

Para determinar la capacidad instalada de las pequeñas centrales hidroeléctricas nos basaremos en lo que dice la Organización Latinoamericana de Energía y del Caribe OLADE, que define el tipo de central hidroeléctrica, la potencia y el tipo de usuario que se beneficiará

con la energía eléctrica en la tabla 1 se distingue los tipos de centrales y su potencia. (Ortiz, 2011)

Tabla 1 Clasificación de centrales Hidroeléctricas

Fuente: OLADE

<i>TIPO</i>	<i>POTENCIA (KW)</i>	<i>USUARIO</i>
Picocentrales (PicoCHE)	0.1 y 5	Finca o similar
Microcentrales (MicroCHE)	5 y 50	Caserío
Minicentrales (MiniCHE)	50 y 500	Cabecera municipal
Pequeñas Centrales (PCH)	500 y 10000	Municipio

2.7. Picocentrales hidroeléctricas

Las picocentrales hidroeléctricas tiene un gran valor social y ecológico, ya que sirven de alternativa de generación de energía eléctrica en zonas rurales donde no se cuenta con una red eléctrica que satisfaga sus necesidades, este tipo de Pico centrales hidroeléctricas son amigables con el medio ambiente.

El nivel máximo de generación que puede llegar la Pico hidroeléctrica son 5000 vatios, este tipo de sistemas hidroeléctricos tienen costos reducidos y simplicidad en su construcción en comparación con grandes sistemas de centrales, dónde se aplican procedimientos cómo planificación en su diseño y se necesita grandes cantidades de dinero para su elaboración. (Landa & Llanganate, 2009)

A continuación, se representa un bosquejo de una Pico Central Hidroeléctrica figura 3, que será el prototipo que se pretende implementar.

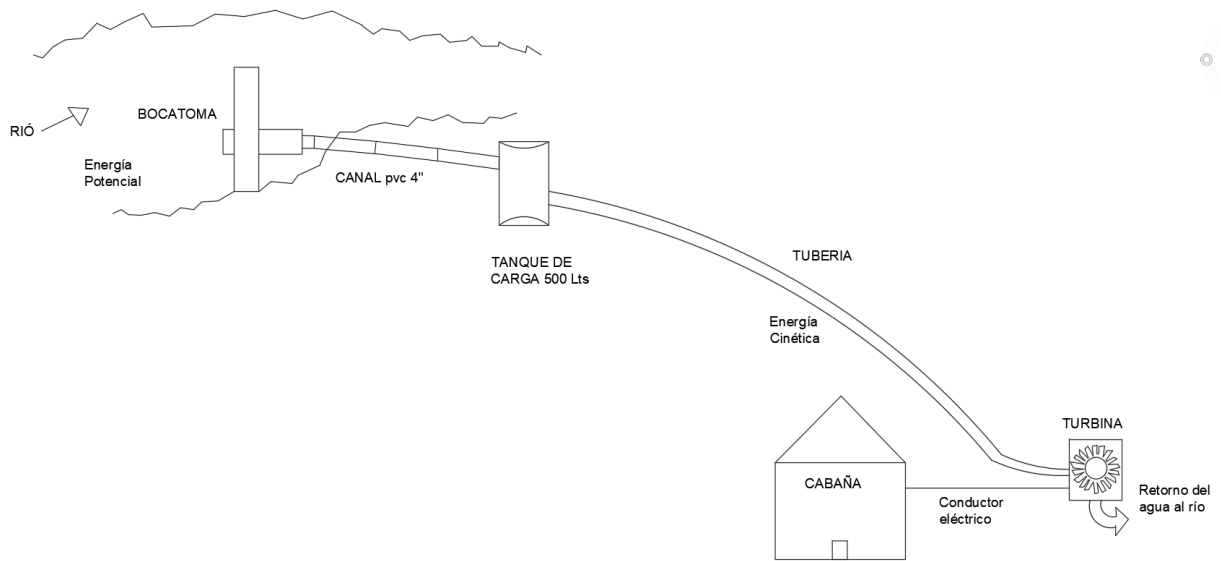


Fig. 3 Diseño de pico central hidroeléctrica.
(Autores, 2018)

2.7.1. Tipos de sistemas de generación Hidráulica

Los tipos de sistemas de generación hidráulica según su flujo se pueden dividir en dos tipos.

2.7.1.1. Centrales de agua fluyente

Este tipo de centrales no almacenan el agua de los ríos en grandes cantidades porque no disponen de embalse, utiliza el flujo del río para generar energía eléctrica.

En este tipo de generación se desvía el agua por medio de una presa o azud, que es conducida por medio de canales o túneles con una pequeña pendiente para que pueda circular el agua sin ningún tipo de inconveniente, al final del canal se instala una cámara de carga que sirve para conectar la tubería de presión que llevara el agua hasta la turbina de generación hidráulica en casa de máquinas, luego de pasar por las turbina(s) el agua turbinada se devuelve a su cauce normal del río. (Vega de Kuyper & Ramirez, 2014)

La central se caracteriza por tener un salto constante y un caudal variable que depende de las condiciones hidrológicas, en la figura 4 se ve un tipo de central de agua fluyente o pasada.

En este caso la turbina puede ser vertical u horizontal ya que se utiliza de forma vertical la turbina, el río debe tener fuerte pendiente y si la turbina es horizontal la pendiente del río es baja. (Alajo & Anchatuña, 2013)

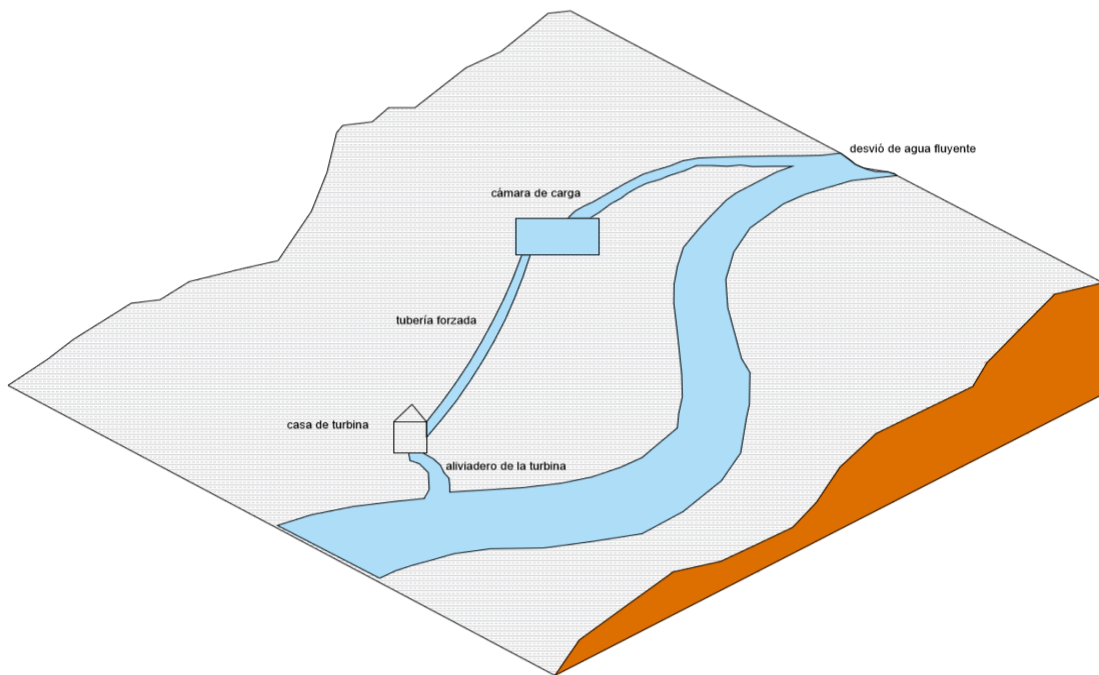


Fig. 4 Central de Agua Fluyente.
(Autores, 2018)

En algunos casos se construye una pequeña presa en la toma de agua, con el objetivo de elevar el nivel para facilitar el ingreso del agua en la tubería de derivación, el agua desviada recorre hasta llegar a la cámara de carga de donde empieza la tubería forzada que lleva el agua hasta la turbina en el punto más bajo. (Vega de Kuyper & Ramirez, 2014)

2.7.1.2. Centrales de embalse

En este tipo de sistemas de generación hidráulica el agua es embalsada, como una forma de almacenar el agua, con este tipo de sistema se posibilita generar energía durante un tiempo determinado si la presa o embalse disponen de reservas suficientes de agua, además en estos sistemas la inversión es fuerte ya que necesita mayor inversión figura 5. (Alajo & Anchatuña, 2013)

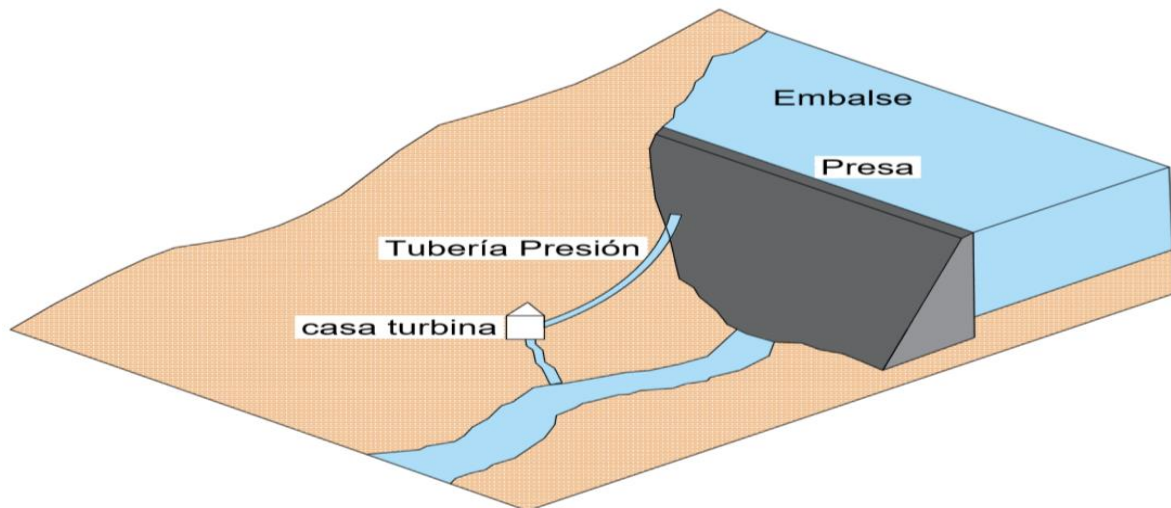


Fig. 5 Centrales de Embalse.
(Autores, 2018)

2.8. Ventajas y desventajas de las picocentrales hidroeléctricas

Una forma de generar energía hidráulica poco agresiva es con la construcción de pico centrales hidroeléctricas ya que en centrales hidroeléctricas grandes se construyen presas que provocan daños y pérdidas en la biodiversidad, la materia vegetal que se acumula en estas presas puede generar metano, además provocar enfermedades como el dengue y la fiebre amarilla en climas tropicales. (Alajo & Anchatuña, 2013)

A continuación, se detallarán algunas de las principales ventajas y desventajas de utilizar la energía hidráulica. (Harper, 2011)

2.8.1. Ventajas de las picocentrales hidroeléctricas

- 1) Una de las principales ventajas es que se utiliza energía renovable, limpia y segura, además se elimina el elevado costo de combustible como la gasolina o Diesel.
- 2) Además, no contamina ni el aire ni el agua, los precios de mantenimiento son bajos.
- 3) Utiliza una forma de energía renovable y constante que se regenera por la naturaleza de forma gratuita.
- 4) Se puede arrancar rápidamente y su carga se puede ajustar de inmediato.
- 5) Sus costos de mantenimiento son relativamente bajos en comparación con plantas termoeléctricas y nucleares.
- 6) La eficiencia de las picocentrales hidroeléctricas es más alta y no se reduce con el paso de los años en comparación con las plantas termoeléctricas.

- 7) La generación de energía hidroeléctrica con sistemas picohidro ayudan a resguardar el petróleo, gas y carbón.
- 8) Las plantas hidroeléctricas no contaminan con humus y gases tóxicos, por lo que se considera una energía limpia.

2.8.2. Desventajas de las picocentrales hidroeléctricas

- 1) Una de las desventajas más importantes de la construcción de picocentrales hidroeléctricas es la inversión principal, ya que es un monto considerable.
- 2) La generación de energía hidráulica a través de picocentrales hidroeléctricas depende en su mayor parte de la disponibilidad de agua.
- 3) Otra desventaja es que se necesita de una altura considerable para obtener energía hidroeléctrica a través de picocentrales hidroeléctricas.

2.9. Selección del sitio para una picocentral hidroeléctrica

Se deben tomar en cuenta algunos factores que influyen en el diseño de una picocentral hidroeléctrica. (Harper, 2011)

- Disponibilidad del recurso hídrico.
- Posibilidad de derivar el agua con facilidad.
- Caída pronunciada del agua.
- Accesibilidad del sitio.
- La distancia al centro de cargas.
- El tipo de terreno del sitio.

1. La disponibilidad del recurso hídrico

Es uno de los aspectos más importantes de una picocentral hidroeléctrica, se estimará la cantidad de agua para empezar el proyecto, según la cantidad de agua se establece la capacidad de la picocentral hidroeléctrica.

2. Posibilidad de derivar el agua con facilidad

Este aspecto es muy importante en la elaboración de un proyecto de una picocentral hidroeléctrica, se buscará la facilidad de desviar parte del cauce del río o quebrada, hacia la cámara de carga, con el fin de satisfacer el caudal necesario para el proyecto.

3. Caída pronunciada del agua

En este aspecto se busca la mayor caída del agua ya que la caída de altura es un punto muy importante dentro de la elaboración de un proyecto pico hidroeléctrico de él depende la potencia total a generar.

4. Accesibilidad al sitio

Se busca un lugar por el cual se pueda ingresar con facilidad, ya que de esto depende que el tiempo en la construcción sea menor y que se pueda transportarlos materiales necesarios para la construcción.

5. La distancia al centro de cargas

Es de gran importancia que la picocentral hidroeléctrica se encuentre cerca de las cargas, esto reducirá el costo en los conductores y sus pérdidas por conducción.

6. El tipo de terreno del sitio

El tipo de terreno debe ser rocoso y de gran estabilidad, con el objetivo de que no llegue a derrumbarse durante la construcción de la picocentral hidroeléctrica.

2.10. Componentes de la picocentral hidroeléctrica

Para realizar proyectos de autogeneración hidráulica, se deben llevar a cabo obras hidráulicas, las mismas que permiten modificar la trayectoria y velocidad del agua.

Dichas obras se realizan dependiendo de la magnitud y caudal del río, además del sistema que se requiera implementar.

2.10.1. Bocatoma

Las picocentrales hidráulicas tienen aprovechamientos de agua fluyente, las cuales generan electricidad mientras fluya el agua por las turbinas con las que cuenta el sistema, las mismas dejan de hacerlo cuando el caudal es inferior al descrito en el manual técnico de la turbina, para prevenir dicha ausencia de caudal se realiza la bocatoma.

La Bocatoma es una estructura que permite desviar y detener el cauce normal del río, el cual permita al agua reposar para posteriormente ser aprovechada por la turbina, teniendo así un caudal constante y óptimo para la generación de electricidad.

La Bocatoma se construye en el cauce del río figura 6, sobre el suelo rocoso, a una altura que tape la tubería abastecedora, este muro debe ser preferiblemente de hormigón. ((SAG), 2009)

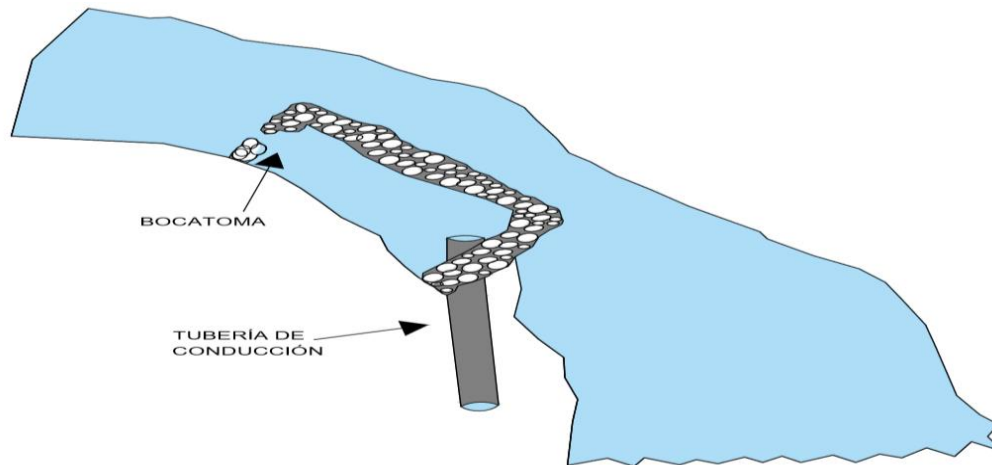


Fig. 6 Diseño de Bocatoma.
(Autores, 2018)

2.10.2. Toma de agua

También conocida como tubería de conducción o tubería de derivación, es la encargada de llevar el agua retenida por la bocatoma a la cámara de carga, la cual puede estar enterrada o expuesta dependiendo del tipo de terreno donde se encuentre ubicada la cámara de carga, generalmente están dotadas de mallas o rejillas las cuales impiden que ingresen piedras, peces o cualquier tipo de elemento sólido. ((SAG), 2009).

Dicha toma tiene la función de desviar solamente el caudal requerido para llenar la cámara de carga; figura 7, en esta etapa no importa si el flujo de agua es tranquilo o turbulento, el único parámetro para tener en cuenta es que tenga un flujo constante y con la mínima pérdida de carga.

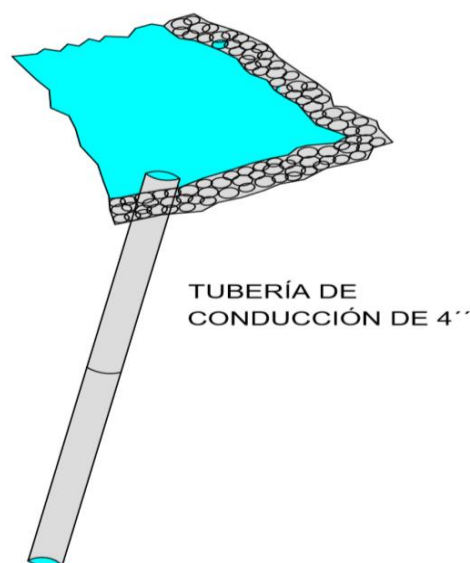


Fig. 7 Tubería de conducción.
(Autores, 2018)

2.10.3. Cámara de carga

Es un depósito, el cual es abastecido por la toma de agua figura 8 y de la cual comienza la tubería forzada, tiene la función de dotar el volumen necesario de agua para el correcto arranque de la turbina, dicho volumen debe ser sin interrupciones y con el caudal óptimo.

Dicho deposito o tanque puede ser de hormigón o plástico, debe contar con un aliviadero o tapón en la parte inferior, ya que cuando la turbina tenga que entrar en mantenimiento o a su vez dejar de funcionar, el agua no turbinada pueda poder regresar a su cauce normal. (Coz & al., 1995)

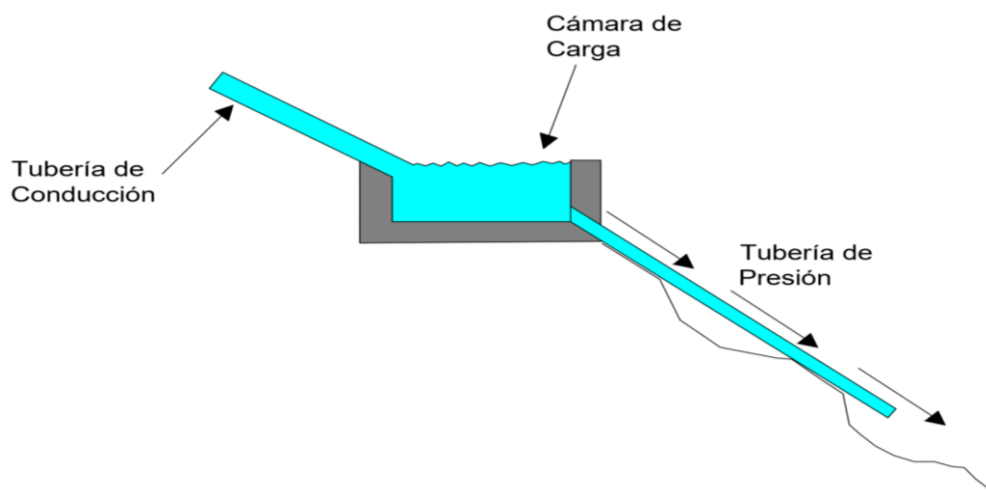


Fig. 8 Cámara de Carga.
(Autores, 2018)

2.10.4. Tubería forzada

También conocida como tubería de presión, dicho elemento tiene la finalidad de conducir el agua que se encuentra en la cámara de carga hacia la turbina figura 9, dicha tubería puede estar expuesta a lo largo del recorrido de la misma, enterrada o de forma aérea, esto depende básicamente del terreno en el cual se esté realizando el proyecto. ((SAG), 2009)

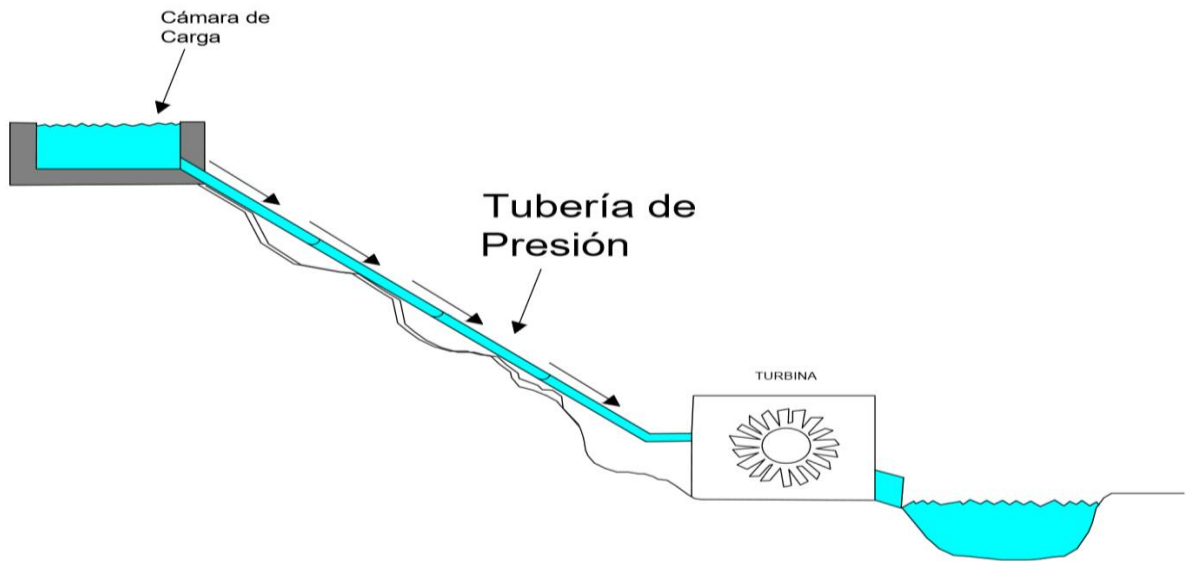


Fig. 9 Tubería de Presión.
(Autores, 2018)

2.11. Caudal

El caudal es la cantidad de agua en un río o quebrada, puede ser medida en litros por segundo (lts/s), galones por minuto (gal/min) y metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Hoy en día existen varios métodos muy difundidos para realizar medidas de caudal, cuando no se dispone de instrumentos de precisión y no se considera de gran importancia su uso, a continuación, se mencionan algunos de ellos.

2.11.1. Medición del caudal con el método del recipiente

Es uno de los métodos más sencillos y nos sirve para la medición de caudales pequeños, para obtener una mejor visión del recurso hidrológico existente, ya que no se conoce valor alguno del comportamiento del río o quebrada.

Se debe disponer de un recipiente de volumen conocido, llevar el agua y llenarlo tomando su tiempo figura 10, se recomienda realizar varias medidas en periodo de tiempo, para obtener una media, su resultado será más exacto, este método se debe realizar durante un largo periodo de tiempo en diferentes épocas del año y en general en épocas de estiaje, con ello se obtendrá una medición puntual del caudal, su fórmula es. (Ortiz, 2011)

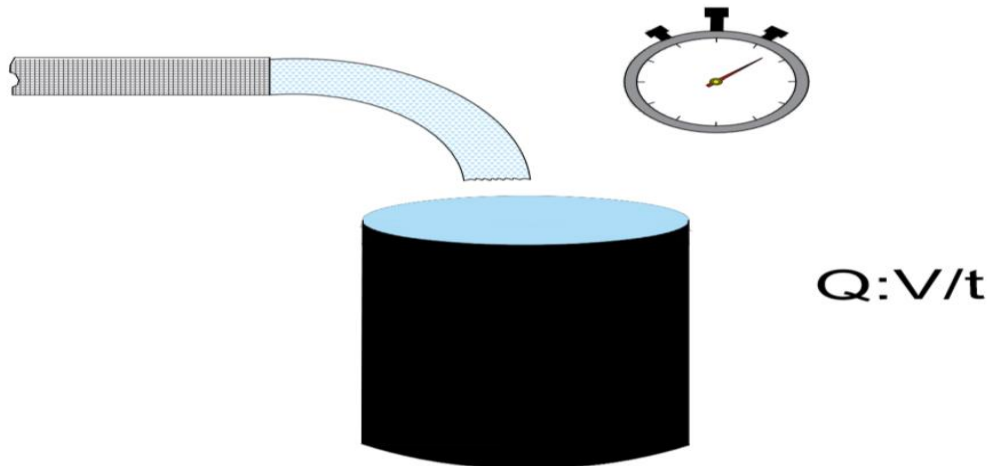
$$Q = \frac{V}{t} (m^3/s) \quad (5)$$

Donde:

Q: Caudal a obtener.

V: Volumen del recipiente.

t: Tiempo de llenado.



**Fig. 10 Medición del caudal con el método del Recipiente
(Autores, 2018)**

2.11.2. Método del flotador

Es un método bastante práctico, se puede realizar en ríos de caudales moderados, es bastante preciso, se busca un tramo de corriente recto, de al menos 10 metros de longitud, se ubica estacas en el inicio y en el final de la longitud en A y en B, se atan cuerdas en dichas estacas, como lo indica la figura 11, se debe medir la profundidad media del arroyo, para esto se tomará la medida del ancho del río en varias partes (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), todas estas partes se sumarán y se multiplicarán para la anchura total del río, el resultado será la sección transversal (en m^2) esto se realiza en A y B, para medir la sección transversal media entre los puntos A y B, se suman los dos resultados y se dividen para 2.

A continuación se medirá la velocidad media del agua usando un flotador, de ahí el nombre del método del flotador, desde el punto A se soltara el flotador y se tomará el tiempo que tarde en llegar al punto B, esto se debe realizar por unas 5 veces mínimo todos esos tiempos se sumarán y se dividirán para el número de tiempos tomados el resultado será el tiempo medio, para hallar la velocidad del agua se multiplica la distancia de A y B, por el tiempo medio medido esta velocidad estará en (m/s).

Una vez obtenida la velocidad y la profundidad media multiplicamos los valores sin olvidar el coeficiente C, en la tabla se puede identificar dicho coeficiente de fricción en este caso pared de pedruscos (0.873) y obtendremos el caudal medido en m^3/s figura 11. (Ortiz, 2011)

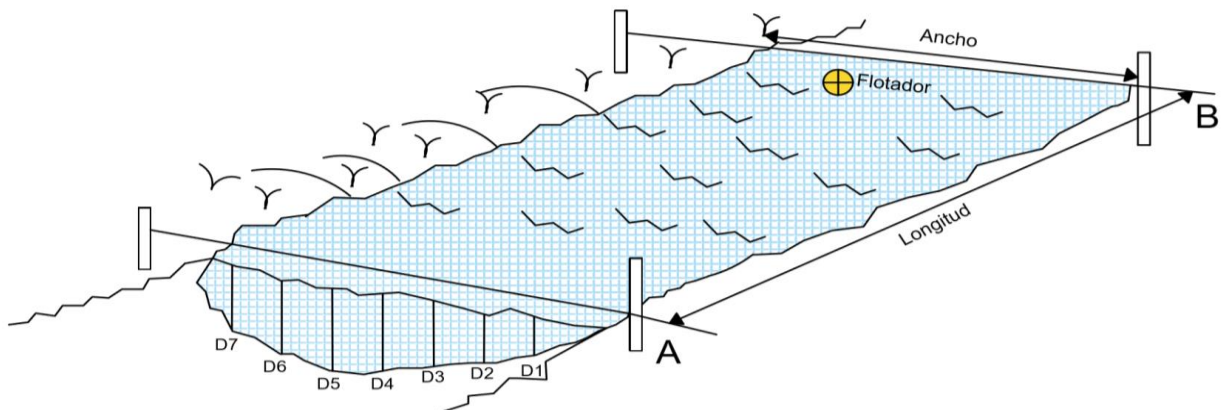


Fig. 11 Método del flotador para medir Caudal
(Autores, 2018)

2.12. Medición del salto geodésico o altura

En todo proyecto hidroeléctrico es importante el salto geodésico, que no es más que la diferencia de altura existente entre la cámara de carga que es donde inicia la tubería a presión y la turbina que es donde termina la misma, esta altura determina la energía potencial, la cual dependerá de la velocidad del agua y del diámetro de la tubería.

Para determinar la altura o salto geodésico del agua, existen varios métodos que se detallan a continuación:

2.12.1. Método del GPS

El GPS "Global Positioning System", es el Sistema de Posicionamiento Global, el cual obtiene datos en tiempo real mediante la triangulación de satélites, dicho dispositivo electrónico permite obtener datos de alta precisión en cuanto a sistemas de referencia, posicionamiento, planimetría y altimetría. (Vásquez, 2015)

2.12.2. Método del Altimetro

Este método permite la determinación de desniveles, es un instrumento sencillo de usar, pero relativamente costoso, básicamente mide la presión atmosférica, la misma que está relacionada directamente con el nivel del mar, las medidas pueden ser cambiantes debido al clima y humedad, es recomendable realizar varias mediciones a lo largo del día, para proceder a determinar un valor promedio. (Coz & al., 1995)

2.12.3. Método del Eclímetro

Este método resulta factible en lugares despejados y de fácil acceso, es un método fácil en comparación con los demás métodos existentes, el instrumento de medición es liviano y de costo accesible.

Para la medición deben participar dos personas, la persona A es quien deberá observar mediante el eclímetro a la persona B directamente a los ojos, la cual deberá estar colocada a la diferencia de altura que se desea medir, en dicha posición la persona A es quien graduara lo más exactamente posible el ángulo del eclímetro obteniendo así la distancia L_1 y el ángulo α_1 , obteniendo dicha medición, la persona B procede a desplazarse a un distinto punto, obteniendo así la distancia L_2 y el ángulo α_2 figura 12. (Coz & al.], 1995)

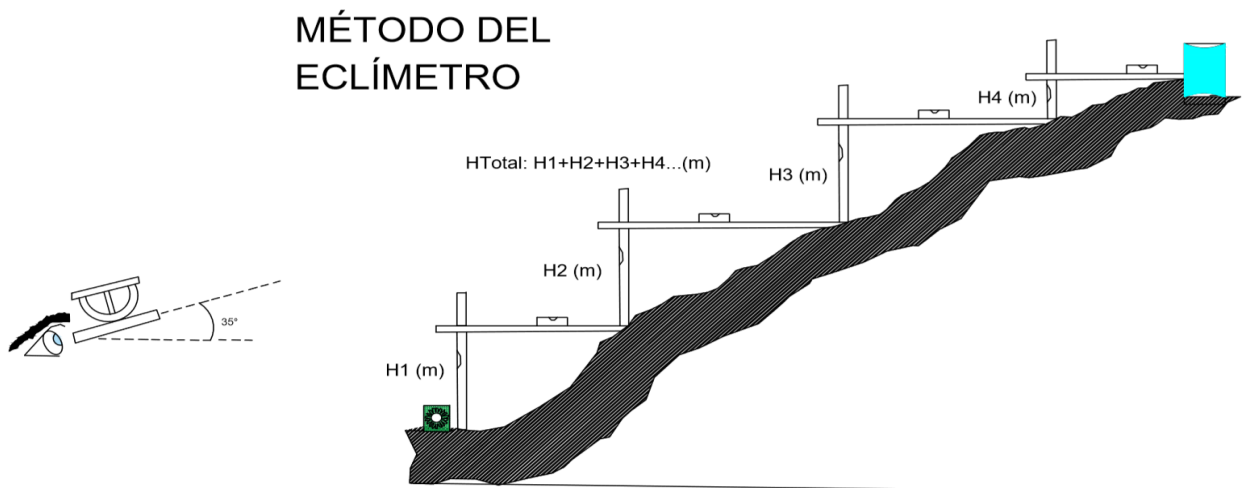


Fig. 12 Método del Eclímetro.
(Autores, 2018)

2.12.4. Método del Nivel de Ingeniero

El costo inicial por el instrumento en si es alto, tiene una buena exactitud con relación a la medida real, el problema básicamente se da por medios propios, debido a los innumerables cálculos que se tiene que efectuar, el método no se lo realiza en lugares de difícil acceso y con una vegetación extensa debido a que se dificulta el ángulo de vista, entre los instrumentos más utilizados se encuentran: teodolitos, fototeodolitos, cámara aerofotogrametría, estaciones. (Vásquez, 2015)

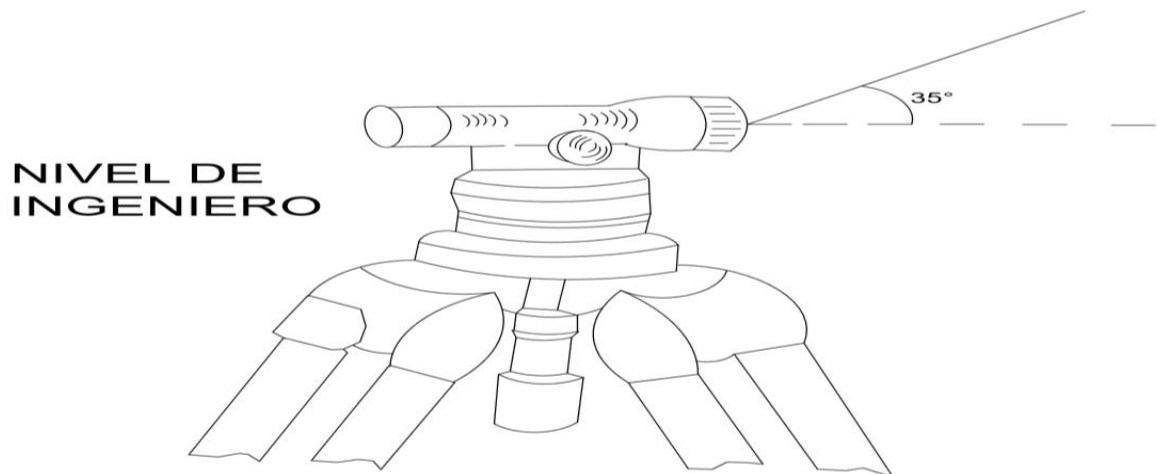


Fig. 13 Método del nivel de Ingeniero.
(Autores, 2018)

2.12.5. Método de Manguera y Manómetro

Es de los métodos más simples para medir altura en la actualidad, pero tiene dos posibles eventos los cuales pueden derivar un error en la medición, la mala calibración del manómetro y la existencia de burbujas dentro de la manguera, para prevenir el primer error se debe calibrar el manómetro al principio y al final de cada medición y para prevenir el segundo, se debe usar una manguera transparente la cual permita observar la existencia o no de burbujas dentro de la misma.

Es recomendable adquirir mangueras con diámetro entre 6 y 8 mm ya que mangueras más delgadas son más propensas al ingreso de burbujas de aire y las de mayor diámetro cuando se encuentran con agua son muy pesadas.

El método tiene una precisión del 5%, además de la ventaja que nos permite medir la longitud de la tubería que llega a la turbina. (Vásquez, 2015)

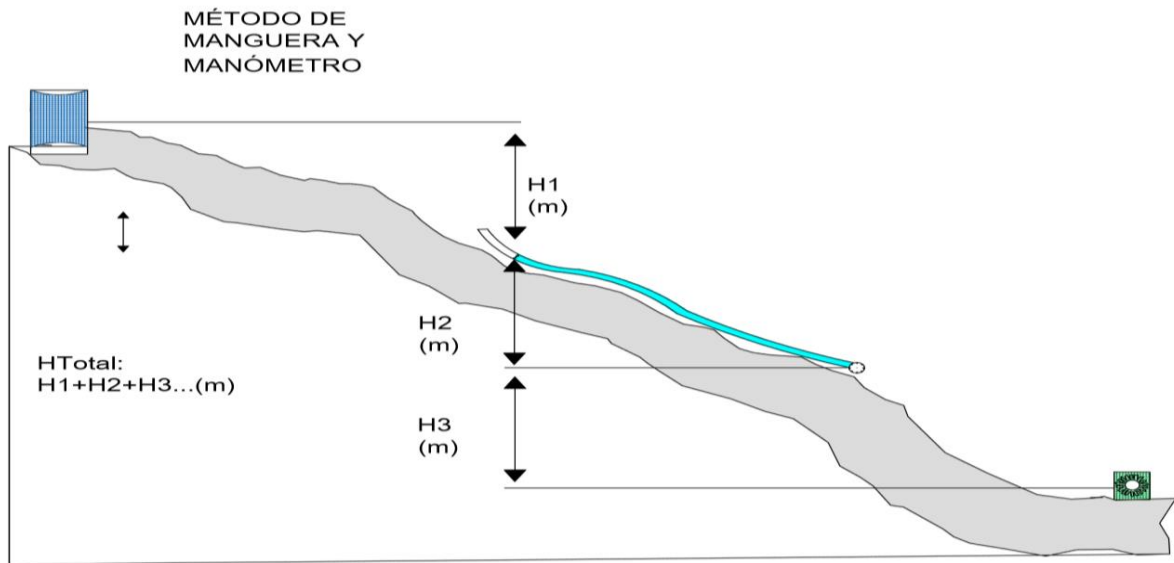


Fig. 14 Método de Manguera y Manómetro.
(Autores, 2018)

2.12.6. Método del Nivel de Carpintero

Es de los métodos más lentos y fáciles en la actualidad, su uso funciona solo en pendientes pronunciadas y pequeñas, ya que en pendientes suaves y largas aumenta el porcentaje de error.

El instrumento es un nivel o burbuja, el cual se lo asienta en una tabla la cual debe permanecer recta y fija figura 15, este procedimiento se repite un sin número de veces a lo largo de toda la caída todas y cada una de las medidas se suman y se obtiene la altura final. (Vásquez, 2015)

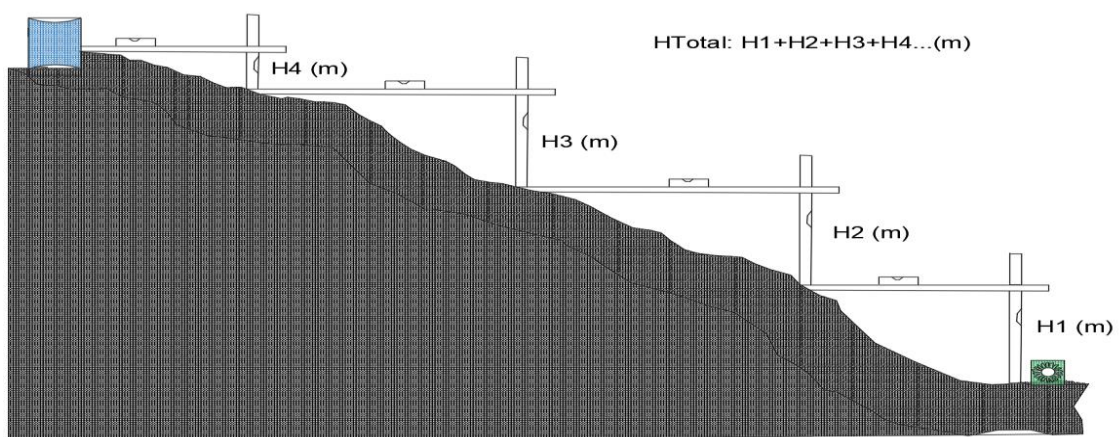


Fig. 15 Método del nivel de Carpintero.
(Autores, 2018)

2.13. Turbinas hidráulicas

Las turbinas eléctricas son la parte esencial de todo proyecto hidráulico, dicho elemento tiene la función de transformar la energía cinética y potencial, en energía mecánica la cual mediante la rotación de un eje produce energía eléctrica.

Existen diferentes tipos de máquinas, las cuales se clasifican de la siguiente manera:

- Maquinas gravimétricas
- Maquinas hidrostáticas o de desplazamiento
- Maquinas rotodinámicas o turbomáquinas

2.13.1. Maquinas gravimétricas

Funcionan básicamente con la variación del fluido que se encuentra en curso, son bastante rusticas, dentro de este tipo de máquinas se encuentran las ruedas hidráulicas, las cuales transforman la energía geodésica que tiene un determinado caudal en energía mecánica.

2.13.2. Maquinas hidrostáticas

También conocidas como volumétricas o de desplazamiento positivo, tienen la función de aprovechar los cambios de presión del agua, dentro de este tipo de máquinas se encuentran los motores de combustión interna, las máquinas de vapor, las bombas de embolo, etc.

2.13.3. Maquinas rotodinámicas o turbomáquinas

Estas máquinas aprovechan las variaciones de la energía cinética, es aquella energía que poseen los cuerpos al estar en movimiento, dentro de este grupo se encuentran las turbinas hidráulicas las cuales se utilizan para la construcción de todo tipo de centrales hidráulicas muy independientemente de la potencia.

2.14. Partes de una turbina hidráulica

Las principales partes de una turbina hidráulica son:

2.14.1. El distribuidor

El distribuidor tiene la función de acelerar la entrada del agua, para transformar la energía potencial en energía cinética, además de dirigir el agua en una dirección adecuada hacia el rodete y por último de regular el caudal de ingreso a la turbina.

2.14.2. El rodete

Es la parte principal de la turbina hidráulica, es una rueda o un rotor, la cual consta de un grupo de alabes o paletas, las cuales están dispuestas en un determinado ángulo para permitir

que ingrese el agua de tal manera que este gire, la transformación de la energía hidráulica en energía mecánica se produce en el rodete.

2.14.3. Tubo de aspiración

Este elemento es más común en las turbinas de acción, está conectado al rodete y tiene la forma de un conducto este puede ser recto o en forma de codo, tiene la función de recuperar la altura que existe entre la salida del rodete y el drenaje de la turbina.

2.14.4. Carcasa

Tiene la función de alojar y cubrir a todos los elementos de la turbina, dependiendo del tipo de turbina adoptan la forma por ejemplo para las turbinas Kaplan y Francis la carcasa tiene la forma de una espiral.

2.15. Tipos de turbinas hidráulicas

Se clasifican en dos grupos: turbinas de reacción y turbinas de acción

2.15.1. Turbinas de acción

Este tipo de turbinas aprovechan la caída de agua, ya que esta ejerce una presión al rodete de la turbina haciéndola girar, obteniendo así la energía eléctrica.

Dentro de esta clasificación de turbinas se encuentran:

- Turbina Pelton,
- Turgo
- Michell Banki.

Estas turbinas se encuentran clasificadas dentro de las denominadas turbinas tangenciales, ya que el agua gira de forma tangencial al rodete. (Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

2.16. Turbina Pelton

Este tipo de turbina es la más utilizada en la actualidad en las centrales hidráulicas, consta básicamente de un rodete, no consta de una topología destinada para la captación de agua, el ingreso de agua es específicamente por la tubería forzada.

Mediante la tubería forzada, el agua que ingresa a presión es regulado por los inyectores, la cual incide con los álabes haciendo girar a la turbina, la potencia generada por la turbina se regula mediante los inyectores, los cuales tiene la función de aumentar o reducir el caudal de entrada del agua, además de evitar el golpe de ariete el cual se produce por cortes bruscos del caudal dentro de la tubería forzada. (Garcia, 2014).

Este tipo de turbinas tienen un rendimiento de diseño de 90%, se caracterizan por su trabajo en lugares que el caudal no es constante, además de su mantenimiento el cual es bajo, son apropiadas en centrales que cuenten con grandes saltos de agua y en consecuencia sirven para estabilizar el sistema eléctrico. (Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

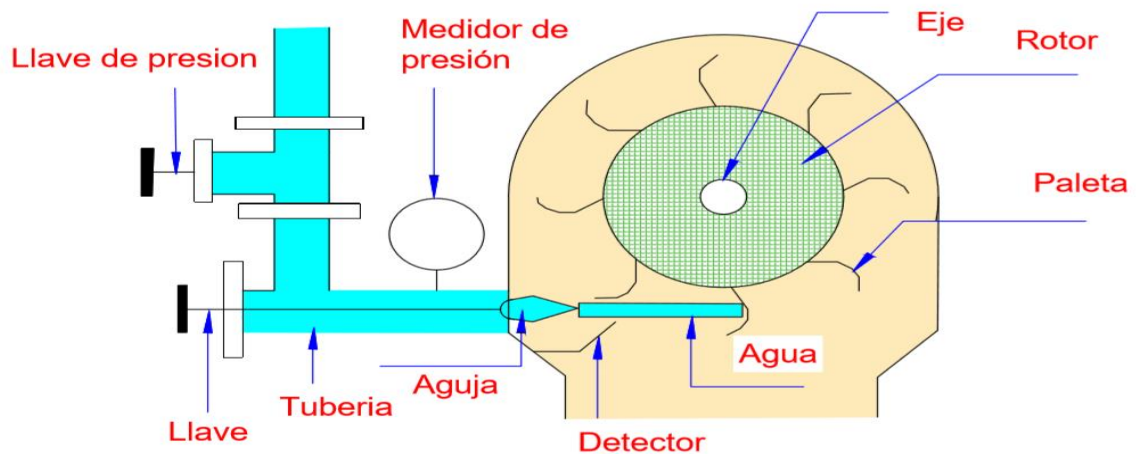


Fig. 16 Esquema de Turbina Pelton
(Autores, 2018)

2.17. Turbina Turgo

Fue inventada en Gran Bretaña por Eric Crewdson en 1920, dichas turbinas cuentan con características similares a las Pelton, con la diferencia que el chorro que ingresa a la turbina tiene un ángulo de 20° con el fin de que el agua ingrese al corredor principal y salga por el otro, en si estas turbinas pueden tener un rodete más pequeño que la turbina Pelton para una misma potencia. (Association, 2009)

Dichas maquinas trabajan con recursos hídricos las cuales tienen alturas comprendidas entre 15 y 300 m, teniendo que la turbina Turgo sea menos sensible ante determinados cambios de caudal, no cuentan con multiplicador de velocidad, lo que reduce el coste de fabricación, la que las hacen óptimas para proyectos de microcentrales, dentro de sus partes principales se encuentra el distribuidor y el rodete partes características de las turbinas de acción. (Hauser, 2011)

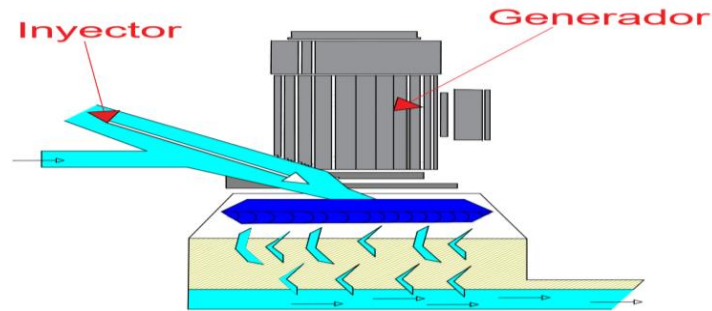


Fig. 17 Esquema Turbina Turgo.
(Autores, 2018)

2.17.1. Ventajas de la turbina Turgo

- Si la turbina Turgo tiene el mismo diámetro de rodete que una turbina Pelton, la Turgo puede trabajar con un mayor caudal.
- Menor costo en comparación a turbinas de la misma potencia
- Excelente eficiencia a cargas parciales
- Fácil mantenimiento
- Accesibilidad a sus partes
- No necesita tener una carcasa hermética

2.17.2. Desventajas de la turbina Turgo

- Baja eficiencia
- Cuenta con un empuje axial
- Se usan solo en pequeñas centrales

2.18. Turbina Michell Banki

Se la conoce con el nombre de Ossberger, fue creada en Australia por A.G.Michell en 1903 y estudiada años después por Donat Banki, dicha turbina está conformada por un inyector el mismo que tiene un alabe longitudinal, el cual tiene la función de regular y dirigir el caudal hacia la entrada de la turbina, además de un rodete cilíndrico el cual gira por acción del agua. (García, 2014)

Debido a la forma cilíndrica del rodete, la turbina puede operar dentro de extensos rangos de variación de caudal con solo determinar de una manera conveniente la longitud del mismo.

La turbina Michell Banki trabaja a presión atmosférica, en caso de utilizarla en saltos de agua pequeños se las adhiere un tubo de aspiración cilíndrico, con el cual se recupera parte de la altura de estudio. (Federico Coz, 1995)

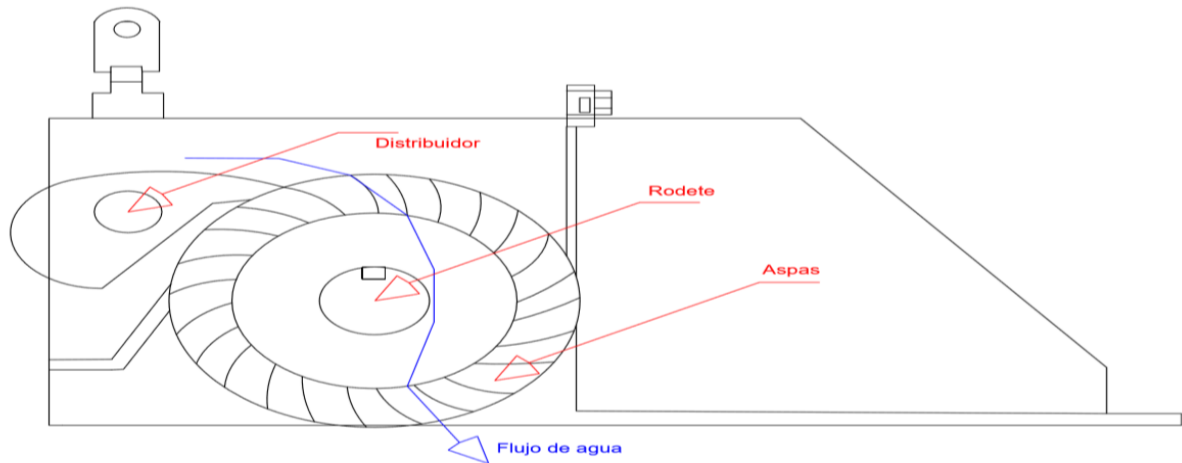


Fig. 18 Esquema Turbina Michell Banki
(Autores, 2018)

Este tipo de turbinas se emplea por lo general en proyectos de micro centrales eléctricas, donde se utiliza un salto y un caudal pequeño con relación a otro tipo de turbinas, el diámetro de la turbina no tiene ninguna relación con el caudal. (Freddy Landa, 2009)

2.19. Turbinas de reacción

Este tipo de turbinas tienen un ingreso del fluido directo y total por toda la periferia de la turbina a diferencia de las turbinas de acción.

Dentro de esta clasificación de turbinas se encuentran:

- Turbina Francis
- Turbina Kaplan

2.20. Turbina Francis

Esta turbina fue inventada por James Francis en Gran Bretaña (1848), en la actualidad son las turbinas más utilizadas en centrales hidráulicas debido a sus prestaciones y rendimiento.

Dichas turbinas se encuentran dentro del grupo de las turbinas de reacción, la principal diferencia es que en las turbinas de acción el rodete se encuentra al aire libre, mientras que en las turbinas de reacción el rodete se encuentra sumergido para poder operar de una manera eficaz. (Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

Dentro de sus principales características esta que el agua de ingreso a la turbina cambia de dirección dentro de la misma, el agua entra en dirección radial y sale en dirección axial.

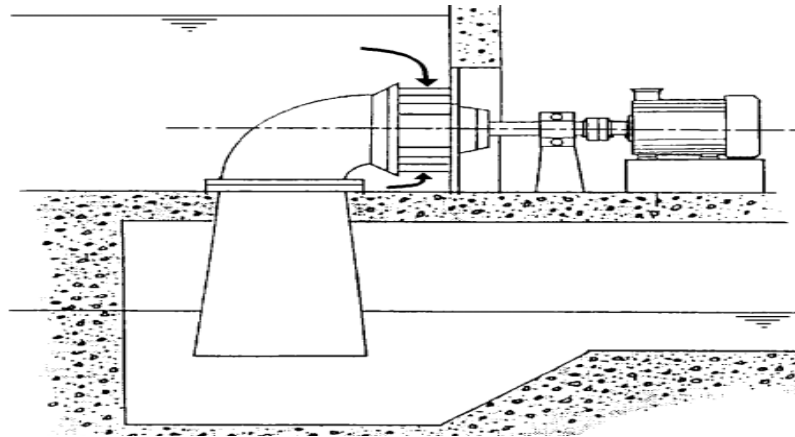


Fig. 19 Turbina Francis

Fuente: (Association, 2009)

2.21. Partes de las turbinas Francis

Según (Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009) sus principales partes son:

- Cámara de alimentación
- Predistribuidor
- Distribuidor
- Rodete
- Tubo de aspiración

2.21.1. Cámara de alimentación

Para la entrada de caudal dichas turbinas utilizan la cámara de alimentación la cual puede ser de diferentes formas dependiendo el tipo de turbina Francis que se utilice, la cámara de alimentación está construida en general por hormigón o metal. (Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

2.21.2. Predistribuidor

El predistribuidor tiene la función de servir de soporte para la turbina, está constituida por dos anillos los cuales se encuentran unidos entre sí por los alabes los cuales guían el agua hacia el rodete.

2.21.3. Distribuidor

Dentro del distribuidor se encuentran cierto número de alabes móviles, situadas concéntricamente en forma de anillo entre el rodete y el pre-distribuidor, la misión fundamental es de regular el caudal que ingresa al rodete, de tal manera que se pueda regular la potencia.

2.21.4. Rodete

El rodete está constituido por alabes, los cuales están unidos en su parte externa inferior a un arco y en la parte superior de la misma manera, la misma que se encuentra conectada al árbol de la turbina el cual se encarga de transmitir la energía cinética al generador.

2.21.5. Tubo de aspiración

La principal función del tubo de aspiración es de servir de vía para que el agua llegue al canal de descarga, además de recuperar la altura de aspiración o altura estática, la cual existe entre la salida del rodete y el nivel del agua, dentro de los tipos de tubos de aspiración se encuentran los tubos rectos y los acodados.

2.22. Turbina Kaplan

Esta turbina fue inventada por Víctor Kaplan en Australia (1912), es básicamente una máquina de flujo axial, de admisión total y de reacción, dentro de sus principales características se encuentra el rodete, el cual tiene sus alabes en forma de las alas de un avión, las mismas que son orientadas por un mecanismo el cual se encuentra situado en el interior de la turbina. (Federico Coz, 1995)

Cuentan con un distribuidor semejante a las turbinas Francis, su carcasa tiene la forma de una espiral, esta puede ser de sección rectangular o circular, además de un tubo de aspiración el cual adopta la forma según la altura de aspiración, este puede ser recto o en forma de codo. (Federico Coz, 1995)

Estas turbinas tienen muy buena eficiencia debido a sus alabes orientables, además de que operan con grandes rangos de caudal. (Federico Coz, 1995)

En lo que concierne a caudal que circula por la turbina, esta varía entre 0.7 a 1.0 m^3 obteniendo una potencia de salida de 50 a 250 MW, dichas turbinas nacieron con la finalidad de aprovechar pequeños saltos de agua de 3 a 9 m, además que su hélice tiene un sentido contrario a la turbina de un barco, su inventor mejoro su propia patente haciendo que las palas giren sobre su propio eje, con lo cual logro mejorar su rendimiento, de tal manera que la turbina se terminaba acoplando al ángulo de caída del agua. (Moreno, 2016)

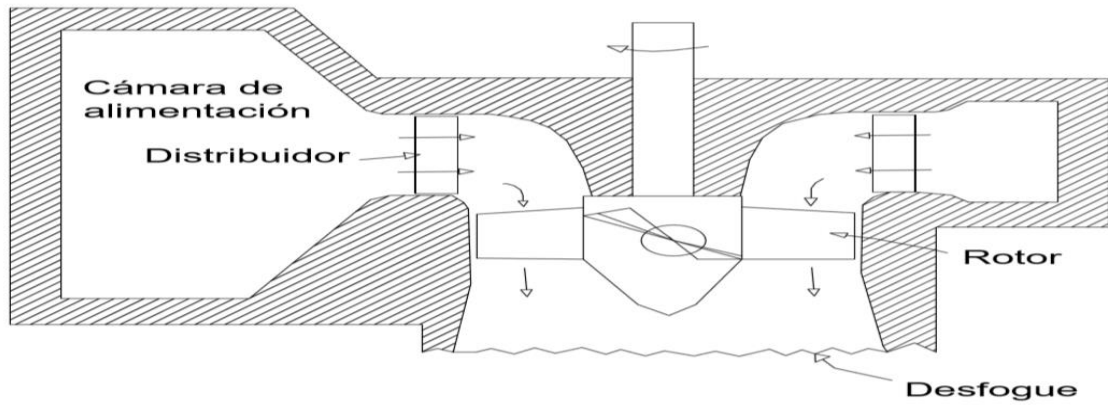


Fig. 20 Esquema Turbina Kaplan
(Autores, 2018)

3. CAPITULO 3

3.1. INVESTIGACION DE CAMPO

En la investigación de campo se llevará a cabo el estudio de todas las características esenciales que deben ser encontradas para que el proyecto de la PCH se lleve a cabo de una forma correcta y que el resultado sea el esperado.

3.2. Características del proyecto

Para la elaboración del proyecto de la PCH, se considera el cauce de un río que pasa junto a la cabaña, dicho río tiene un desnivel considerable donde a simple vista se establece la posibilidad de generar energía hidráulica, la potencia que necesita la cabaña se establece en potencia para iluminación y fuerza de escala pequeña donde se podrán utilizar para cargar computadores y celulares.

Las características del terreno son idóneas por la existencia de altura y de un terreno estable al tratarse en su gran mayoría de un terrero rocoso.

La ubicación del proyecto está establecida en la provincia del Azuay en la parroquia rural de Checa, cerca de la represa de Chanlud. Con coordenadas de Latitud $2^{\circ}41'41.91''S$, Longitud $79^{\circ} 1'28.11''O$ donde está ubicado el río, para la implementación de la picocentral de energía hidráulica para abastecer de iluminación a la cabaña y hacerla autosustentable que se encuentra en el mismo sitio, en la figura 21 se puede apreciar el lugar donde se encuentra ubicado el proyecto.



Fig. 21 Ubicación del proyecto.

Fuente: (Earth, 2018)

3.3. Proceso de elaboración del proyecto

Para que la PCH, lleve un proceso riguroso y que beneficie al sistema que se pretende implementar se debe seguir unas pautas, mismas que se describen a continuación:

- Se realiza un cálculo de la potencia necesaria que se pretende implementar, desde este punto se parte, ya que si tenemos una potencia de referencia podemos seguir buscando las características necesarias para el propósito.
- Se realiza una medición de la altura bruta y neta, tratando de que la altura sea considerable, y buscando el mejor lugar para elaborar las obras civiles.
- Buscar una turbina hidroeléctrica que se ajuste a la potencia de instalación esta búsqueda puede ser ardua y demorada por lo tanto se debe buscar con anticipación y no dejar como último elemento.
- Construcción de algunas obras civiles a la par de buscar uno de los elementos fundamentales del proyecto como lo es el caudal.

Estas son algunas de las consideraciones más esenciales del proceso de creación del proyecto de la PCH, teniendo ya un enfoque del proceso se debe encontrar los elementos necesarios para seguir con el diseño, en los siguientes puntos se establecen los métodos y formas como se fueron hallando dicho elemento o características.

3.4. Calculo de cargas de la cabaña

En este punto se asumirá el suministro de energía eléctrica a una cabaña, donde se establecerá cual es la demanda existente para la creación de la nueva fuente de energía como lo es la implementación de la Picocentral Hidroeléctrica.

Cuanto se necesita, para que se necesita, y cuáles serán sus beneficios, las dimensiones de dicha cabaña son de 11m de largo por 8m de ancho, en la figura 22 se establece un plano Eléctrico de la planta alta y baja donde se muestran los elementos y las conexiones de la cabaña.

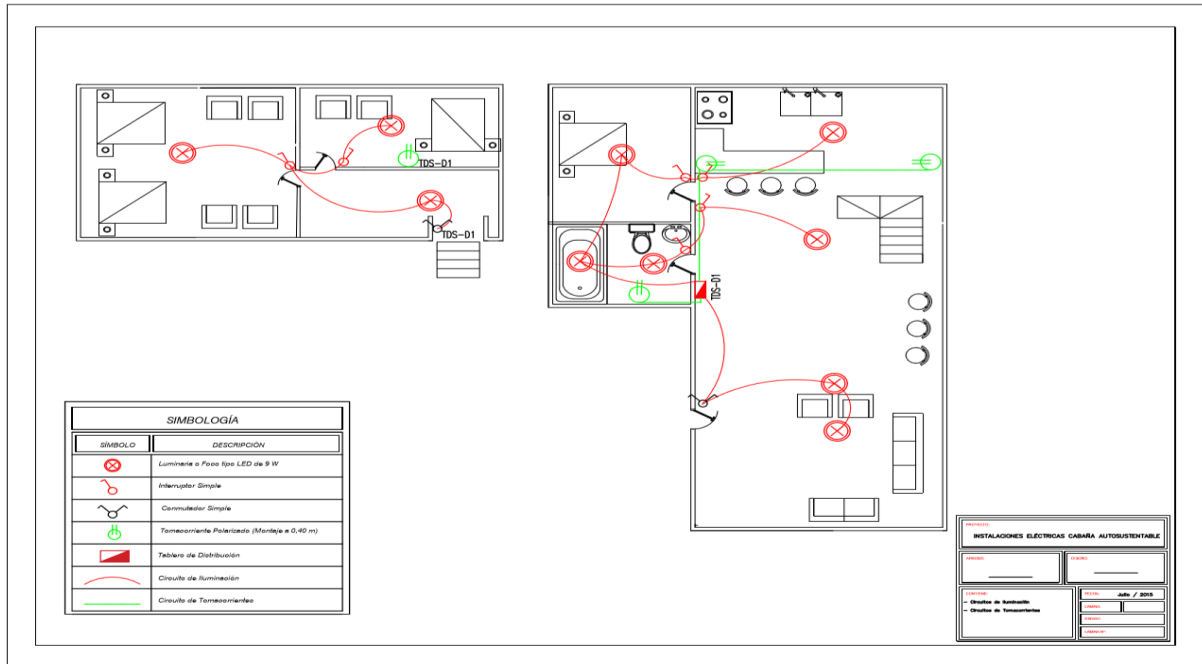


Fig. 22 Plano eléctrico de la cabaña.
(Autores, 2018)

La cabaña cuenta con tres habitaciones, sala de estar, cocina y un baño, adicional a la cabaña también se realizará el cálculo de cargas de una cocina rustica figura 23, donde también se encuentra una habitación, todos estos espacios serán medidas las cargas existentes, anteriormente todos estos espacios estaban siendo alimentados de energía eléctrica a través de un generador eléctrico impulsado a través de combustibles fósiles, en las tablas 2 y 3 se muestra las cargas existentes y en la tabla 4 el total de potencia que existe, y a la cual se deberá ajustar el sistema de energía hidroeléctrico a implementar.

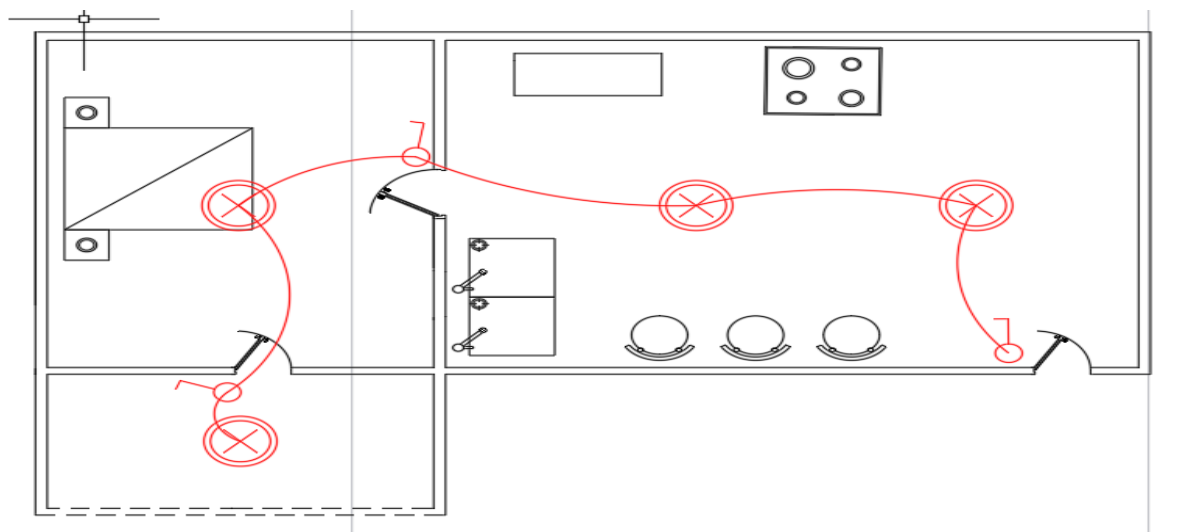


Fig. 23 Plano eléctrico de la cocina rustica
(Autores, 2018)

Tabla 2 Cargas de la Cabaña
(Autores, 2018)

CARGAS DE LA CABAÑA				
<u>Lugar</u>	<u>Objeto</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Potencia</u>	<u>Pot. Total</u>
Habitación 1	Luminaria	1	9W	9W
Habitación 2	Luminaria	1	9W	9W
Habitación 3	Luminaria	1	9W	9W
	Toma Cargador celular	1	15W	15W
	Luminaria Pasillo	1	9W	9W
Sala	Luminaria	2	9W	18W
	Toma 1 Cargador Computadora	1	36W	36W
	Toma 2 Cargador Celular	1	15W	15W
	Toma 3 Radio	1	20W	20W
Cocina	Luminaria	2	9W	18W
Baño	Luminaria	2	9W	18W
	Toma 4, Ambientador	1	5W	5W
			Total	181W

Tabla 3 Cargas de la Cocina Rustica
(Autores, 2018)

CARGAS DE LA COCINA RUSTICA				
<u>Lugar</u>	<u>Objeto</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Potencia</u>	<u>Pot Total</u>
Cocina	Luminaria	2	9W	18
Habitación	Luminaria	1	9W	9
	Luminaria Balcón	1	9W	9
			Total	36W

**Tabla 4 Cargas totales a ser dotadas por la implementación de la picocentral Hidroeléctrica
(Autores, 2018)**

<u>POTENCIA TOTAL A IMPLEMENTAR</u>	
CARGA TOTAL CABAÑA	181W
CARGA TOTAL COCINA RUSTICA	36W
TOTAL	217W

La potencia que necesitan las cargas es de 217W en los siguientes puntos se realiza la medición de caudal y altura para continuar con el proyecto.

3.5. Medición del caudal disponible del rio

Se realiza una medida de caudal del rio para obtener una noción de caudal existente.

El Caudal es la cantidad de agua que recorre el rio, para la aplicación del caudal en las picocentrales hidroeléctricas su medida estará en litros/segundo, este caudal debe ser lo más preciso posible, ya que de él depende la capacidad de potencial del sistema a ser instalado.

El caudal de diseño siempre deberá ser menor que el caudal aforado, la mejor época para realizar los aforos de caudal son en la época de sequía, cuando se conoce el caudal de diseño este nos proporcionara el diámetro de la tubería que tenemos que utilizar.

Para la medición del caudal se empleó el método del flotador este método es práctico, sencillo y con una muy buena exactitud en el punto 2.10.2 se describe a detalle el método de medición de caudal.

3.5.1. Procedimiento y medición del Caudal del rio

En este método se debe ubicar un objeto flotante en un punto A, y tomar el tiempo que tarda en llegar al punto B en la tabla 5 se establecen las medidas de los tiempos y su tiempo medio final, L será la longitud que hay entre el punto A y B en este caso se tomó como L=4m, con la ecuación 6 se obtendrá la velocidad del agua en el rio esta velocidad se multiplicara por el factor C, que es un factor de corrección según el tipo de corriente que tiene el rio o quebrada, en la tabla 8 se puede apreciar este factor, en nuestro caso el rio es pequeño y rocoso, factor: 0.25.

$$V = \frac{L}{t} \text{ (m/s)} \quad (6)$$

Donde:

V: Velocidad del agua en el río.

L: longitud del punto A hasta B.

t: Tiempos de A hasta B.

**Tabla 5 Tiempos para hallar la velocidad de A hasta B.
(Autores, 2018)**

Tiempos	segundos
T1	6
T2	8
T3	7
T4	6
T5	7
T6	6
T7	5,5
Total	45,5
Media	6,5

Aplicando la ecuación 6 tenemos:

$$V = \frac{4 \text{ m}}{6.5 \text{ s}} = 0.6154 \text{ m/s} \quad (7)$$

Multiplicado por el factor de corrección C, tabla 6 la velocidad del flujo del río nos queda como:

$$V = 0.6154 \times 0.25 = 0.153846 \text{ m/s} \quad (8)$$

**Tabla 6 Factores de corrección según el tipo de corriente del río.
Fuente (Ortiz, 2011)**

Condiciones del sitio	Factor	Precisión
Quebrada profunda y lenta	0,75	Razonable
Río pequeño, de lecho parejo, liso	0,65	Mala
Río rápido y turbulento	0,45	Mala
Río pequeño de lecho rocoso	0,25	Mala

A continuación, se realiza la medición transversal del río en el Punto A y B, como se puede observar en la figura 24 a), dando como resulta 2.30 metros en los dos puntos, y se realiza mediciones de profundidad figura 24 b) en este caso a cada 0.46m, en las tablas 7 y 8 se muestran las medidas de los puntos A y B.



Fig. 24 Medición transversal y profundidades.
(Autores, 2018)

Tabla 7 Medición de la profundidad en punto A.
(Autores, 2018)

Valores de medición de profundidad en el punto A	
Profundidad	metros
h1	0
h2	0,4
h3	0,17
h4	0,27
h5	0,3
h6	0,15
h7	0
Total	1,29
Media	0,1843

Tabla 8 Medición de la profundidad en punto B.
(Autores, 2018)

Valores de medición de profundidad en el punto B	
Profundidad	metros
h1	0
h2	0,6
h3	0,9
h4	0,35
h5	0,24
h6	0,15
h7	0
Total	2,24
Media	0,320

Se debe obtener la media de la profundidad y esta se multiplica por las secciones transversales del río en el punto A y B, para obtener el Área, la ecuación 9 nos desvela el procedimiento.

$$A = \text{Seccion transversal(m)} * \text{media de profundidad (m)} = (m^2) \quad (9)$$

Con la ecuación 9 se obtiene el Área 1 y el Área 2.

$$A1 (A) = 2.30 \times 0.1843 = 0.42389 (m^2) \quad (10)$$

$$A2 (B) = 2.30 \times 0.32 = 0.736 (m^2) \quad (11)$$

A continuación, se obtiene la media de las dos Áreas, sumando la ecuación 10 y 11, luego dividiendo para dos, resultando en el Área total ecuación 12.

$$A_T = \frac{0.42389 + 0.736}{2} = 0.5799 (m^2) \quad (12)$$

Obtenido el valor del Área y la velocidad, podemos obtener el caudal del río en la ecuación 13 se observa la ecuación por la que se obtiene el caudal.

$$Q = V \left(\frac{m}{s} \right) * A(m^2) = \frac{m^3}{s} \quad (13)$$

Reemplazando los valores finales obtenemos el caudal final del río ecuación 14.

$$Q = 0.153846m/s * 0.5799 (m^2) = 0.0892118160 (m^3/s) \quad (14)$$

Para obtener el valor en litros por segundo multiplicaremos el valor resultante del caudal por 1000, ecuación 15.

$$Q = 0.0892118160 * 1000 = 89.21 \frac{l}{s} \quad (15)$$

La cantidad de caudal del río, se la realizó según las habitantes de la cabaña en la época de mayor estiaje, y se basó en sus vivencias para admitir que ese caudal será el mínimo posible figura 25, según aquello el caudal mínimo del río será de 89 lts/s como se establece en la ecuación 15.

Una vez determinado el caudal del río se estima que no existirá ningún tipo de problema referido al caudal.



Fig. 25 Caudal del río.
(Autores, 2018)

3.6. Caudal que entra a la cámara de carga

A continuación, se desviará parte del caudal del río, el desvío del agua será por medio de una bocatoma y un pequeño muro de retención de agua en el cual se incorpora un pedazo de tubo de 6 pulgadas, como salida de agua hacia la cámara de carga.

La cámara de carga es un tanque de 500 lts de capacidad, utilizando una reducción 6 a 4 pulgadas luego se le acoplaran 2 tubos de 3 metros de longitud y 4 pulgadas de diámetro hasta llegar a la cámara de carga, de donde partirá nuestra tubería de presión esto se visualiza en la figura 26, con el objetivo de tomar en cuenta el caudal de ingreso al tanque de carga o cámara de carga.



**Fig. 26 Caudal que llega a la cámara de carga
(Autores, 2018)**

Una vez construido la bocatoma y ubicada la tubería de derivación, se realizó las mediciones de caudal durante 4 meses (agosto-septiembre-octubre y noviembre) con el objetivo de determinar el caudal mínimo en la cámara de carga.

En las figuras 27-28-29 y 30, se muestra la curva de caudales de cada uno de los meses, donde se observa que el caudal mínimo es de 8.10 lts/s y el caudal máximo es de 11.99 lts/s, y el caudal promedio durante estos 4 meses es de 9.14 lts/s, todos los datos de mediciones se pueden observar en el anexo A.

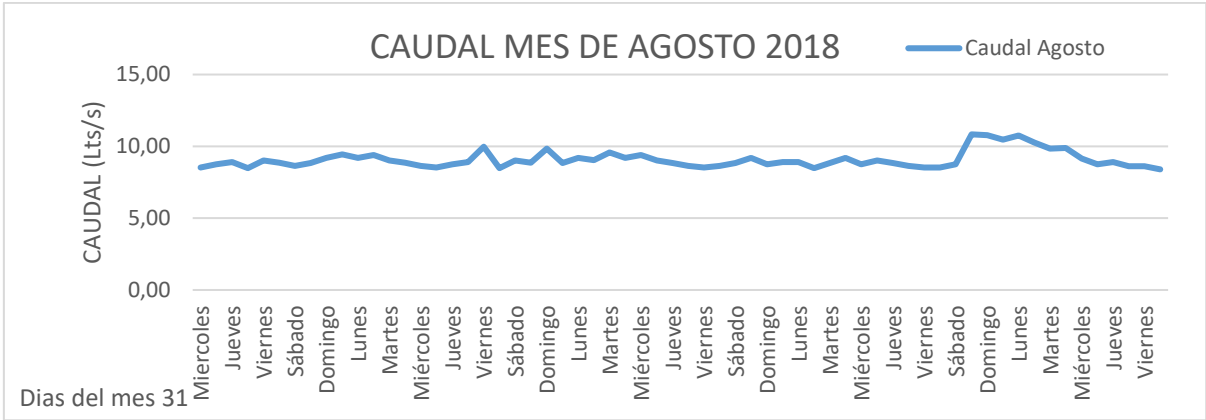


Fig. 27 Caudal diario que entra a la cámara de carga del mes de agosto (Autores, 2018)

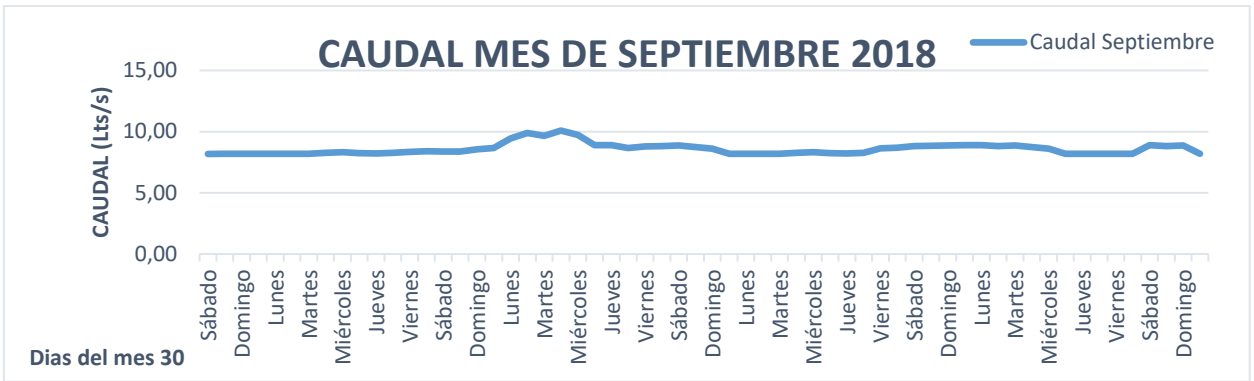


Fig. 28 Caudal diario que entra a la cámara de carga del mes de septiembre. (Autores, 2018)

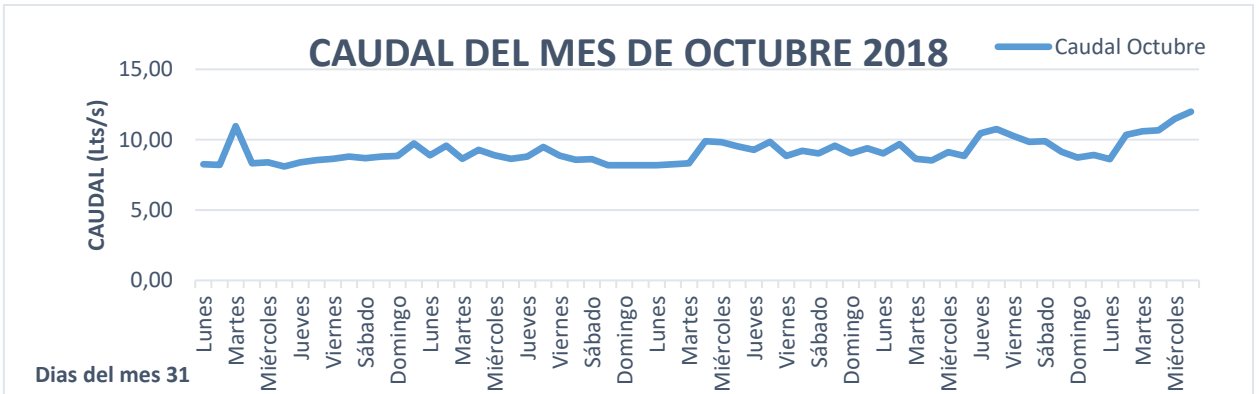


Fig. 29 Caudal diario que entra a la cámara de carga en el mes de octubre. (Autores, 2018)

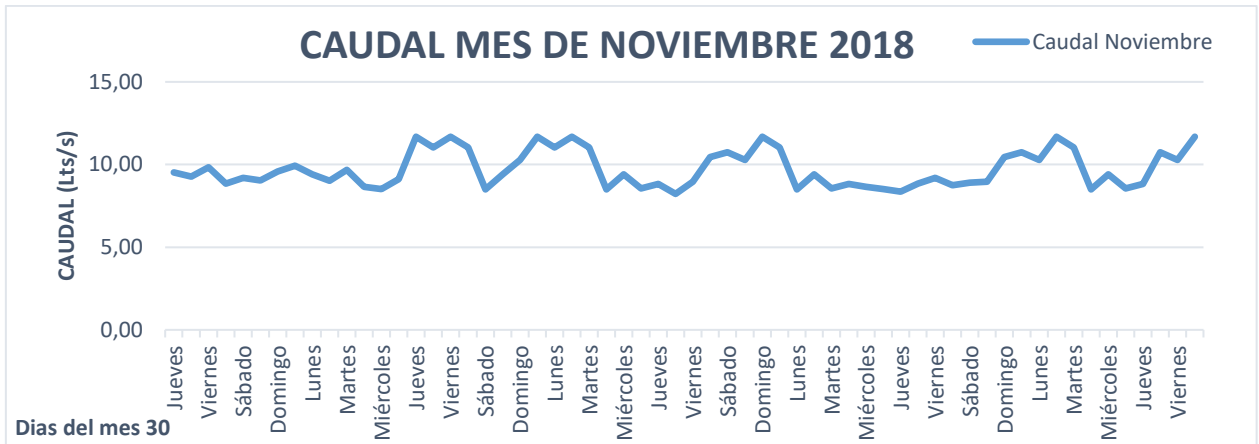


Fig. 30 Caudal diario que entra a la cámara de carga en el mes de noviembre.
(Autores, 2018)

Realizadas las mediciones de caudal que llegará a la cámara de carga con un caudal mínimo de 8.10 lts/ se conecta una tubería de polietileno existente, y se determina el caudal de salida en el lugar donde estará ubicada la turbina para determinar si el caudal de salida es suficiente para alimentar las cargas de la cabaña que es el objetivo de esta investigación.

3.7. Caudal efectivo en la tubería

Una vez colocada la tubería de 2 pulgadas de diámetro en la cámara de carga, con una longitud de 67 metros hasta llegar a la turbina, se realizan las mediciones de caudal absolutas es decir los caudales que llegan al final de la tubería, en este punto se realizan mediciones diarias durante 4 meses (agosto-septiembre-octubre y noviembre), figura 31 con el método del recipiente descrito en el punto 2.10.1.



Fig. 31 Medición del caudal en la tubería de presión.

(Autores, 2018)

En las tablas 9-10-11 y 12 se puede observar los datos obtenidos durante los 4 meses de medición de caudales, para la obtención del caudal se utilizó la ecuación 5, donde el caudal promedio es 5.92lts/s.

Tabla 9 Caudales diarios del mes de agosto

(Autores, 2018)

Caudales en la tubería de presión Agosto					
Fecha	Día	Hora	Volumen (lts)	Tiempo (s)	Caudal (lts/s)
01/08/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,42	5,88
02/08/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,22	5,91
03/08/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,58	5,85
04/08/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
05/08/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
06/08/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,2	5,91
07/08/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
08/08/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
09/08/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
10/08/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	34,83	5,98
11/08/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	34,68	6,00
12/08/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
13/08/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
14/08/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,02	5,95

15/08/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
16/08/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
17/08/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
18/08/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
19/08/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
20/08/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
21/08/2018	Martes	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
22/08/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
23/08/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
24/08/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,71	5,83
25/08/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
26/08/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
27/08/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
28/08/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,7	5,83
29/08/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
30/08/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
31/08/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	34,8	5,98

Tabla 10 Caudales diarios del mes de septiembre
(Autores, 2018)

Caudales en la tubería de presión Septiembre					
Fecha	Día	Hora	Volumen (lts)	Tiempo (s)	Caudal (lts/s)
01/09/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
02/09/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
03/09/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
04/09/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,7	5,83
05/09/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
06/09/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
07/09/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
08/09/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
09/09/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
10/09/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,52	5,86
11/09/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
12/09/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
13/09/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
14/09/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
15/09/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,11	5,93
16/09/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,75	5,82
17/09/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
18/09/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
19/09/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,66	5,84
20/09/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
21/09/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,01	5,95

22/09/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
23/09/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	34,83	5,98
24/09/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	34,68	6,00
25/09/2018	Martes	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
26/09/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
27/09/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
28/09/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
29/09/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,7	5,83
30/09/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,74	5,83

Tabla 11 Caudales diarios del mes de octubre
(Autores, 2018)

<i>Caudales en la tubería de presión Octubre</i>					
<i>Fecha</i>	<i>Día</i>	<i>Hora</i>	<i>Volumen (lts)</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Caudal (lts/s)</i>
01/10/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
02/10/2018	Martes	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
03/10/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
04/10/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
05/10/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
06/10/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
07/10/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,42	5,88
08/10/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
09/10/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
10/10/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
11/10/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
12/10/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
13/10/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	34,68	6,00
14/10/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
15/10/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
16/10/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
17/10/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
18/10/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,7	5,83
19/10/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
20/10/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
21/10/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
22/10/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
23/10/2018	Martes	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
24/10/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
25/10/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
26/10/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,42	5,88
27/10/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,2	5,91
28/10/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
29/10/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,01	5,95

30/10/2018	Martes	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
31/10/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	34,83	5,98

Tabla 12 Caudales diarios del mes de noviembre
(Autores, 2018)

Caudales en la tubería de presión Noviembre					
Fecha	Día	Hora	Volumen (lts)	Tiempo (s)	Caudal (lts/s)
01/11/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	34,68	6,00
02/11/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
03/11/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
04/11/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
05/11/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
06/11/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,52	5,86
07/11/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
08/11/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
09/11/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
10/11/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
11/11/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
12/11/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
13/11/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,42	5,88
14/11/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,22	5,91
15/11/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,58	5,85
16/11/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
17/11/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
18/11/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	35,2	5,91
19/11/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
20/11/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,01	5,95
21/11/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	34,8	5,98
22/11/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	34,83	5,98
23/11/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	34,68	6,00
24/11/2018	Sábado	3:00 PM	208,2	34,64	6,01
25/11/2018	Domingo	3:00 PM	208,2	34,58	6,02
26/11/2018	Lunes	3:00 PM	208,2	35,02	5,95
27/11/2018	Martes	3:00 PM	208,2	35,8	5,82
28/11/2018	Miércoles	3:00 PM	208,2	35,21	5,91
29/11/2018	Jueves	3:00 PM	208,2	35,74	5,83
30/11/2018	Viernes	3:00 PM	208,2	35,84	5,81

3.7.1. Curvas características de Caudales de los meses de agosto hasta noviembre

Con los datos de caudales diarios de cada uno de los meses en los que se realizaron las mediciones, obtenemos su curva característica de caudal, en las siguientes figuras (32-33-34 y 35), se puede visualizar dichas curvas características.

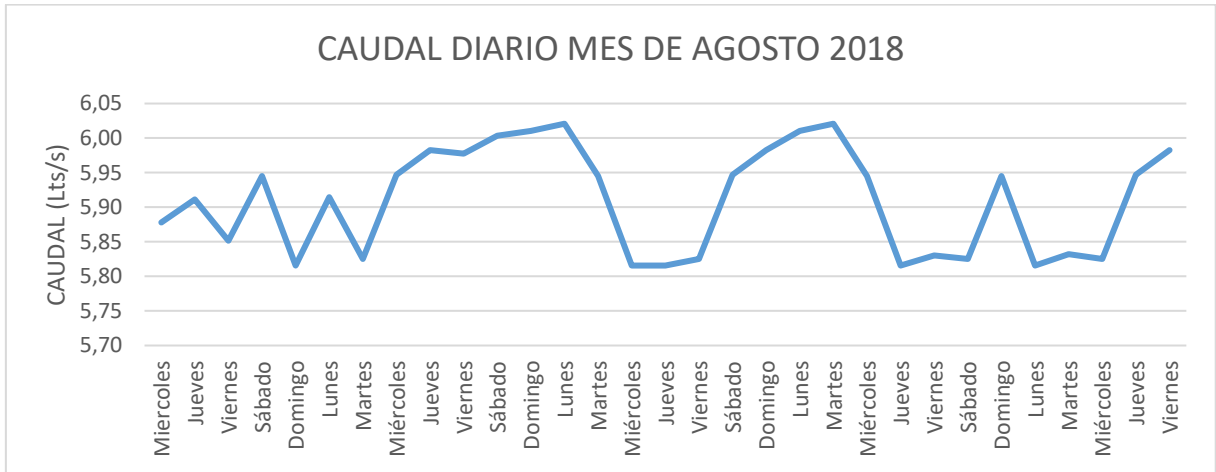


Fig. 32 Curva característica de caudal del mes de agosto.
(Autores, 2018)

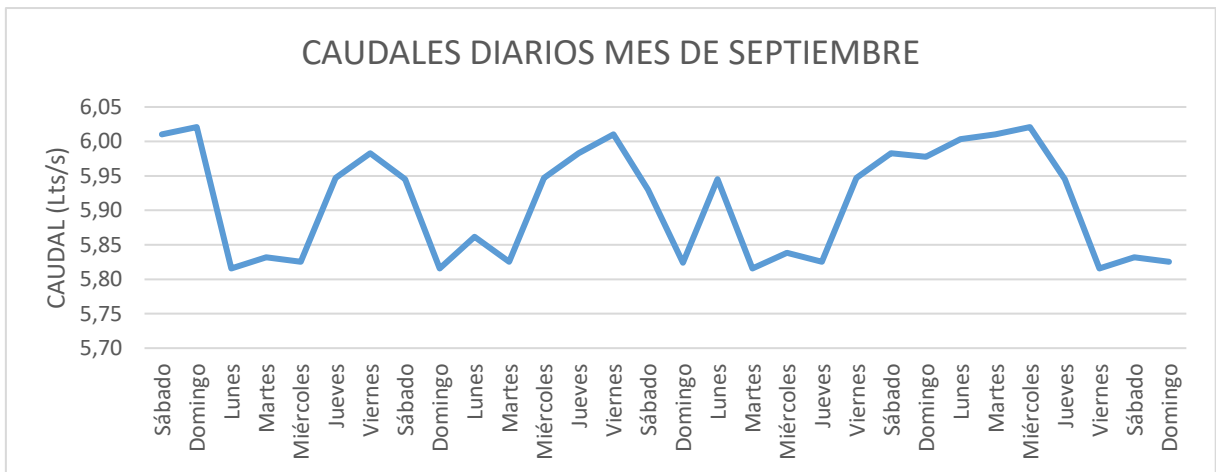


Fig. 33 Curva característica de caudal del mes de septiembre.
(Autores, 2018)

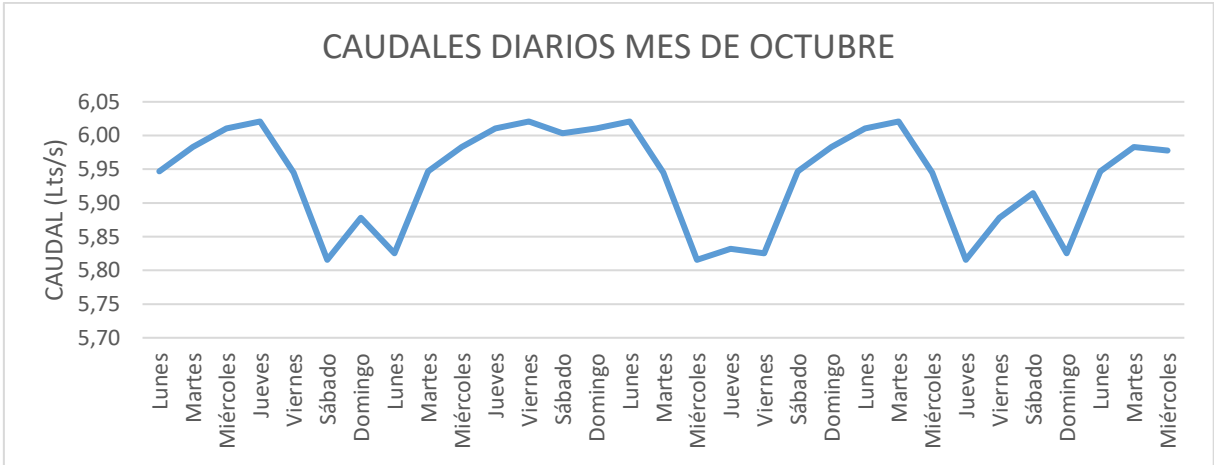


Fig. 34 Curva característica de caudal de mes de octubre.
(Autores, 2018)

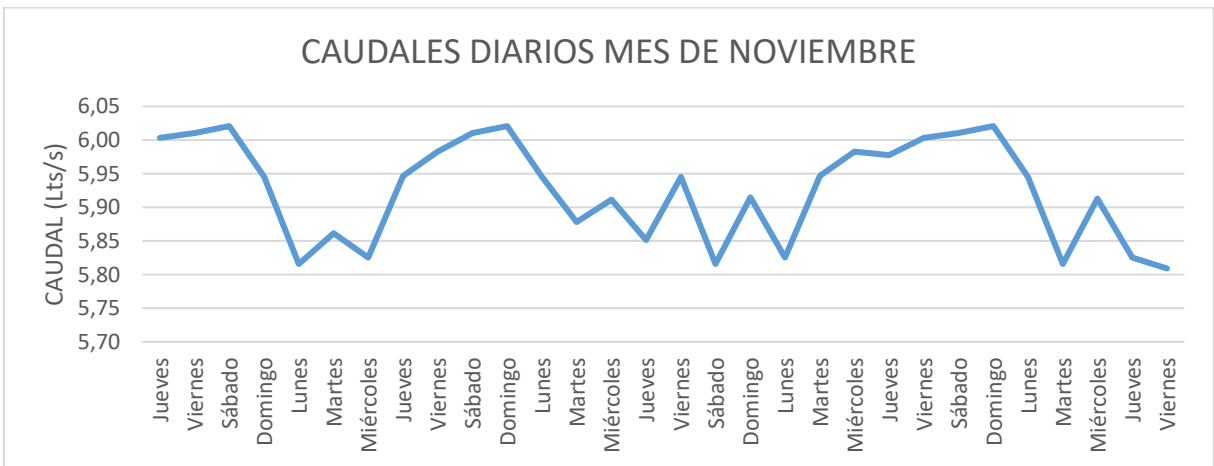


Fig. 35 Curva característica de caudal del mes de noviembre.
(Autores, 2018)

En la figura 36 se muestra el comportamiento del caudal durante los 4 meses de mediciones, y su línea de tendencia.

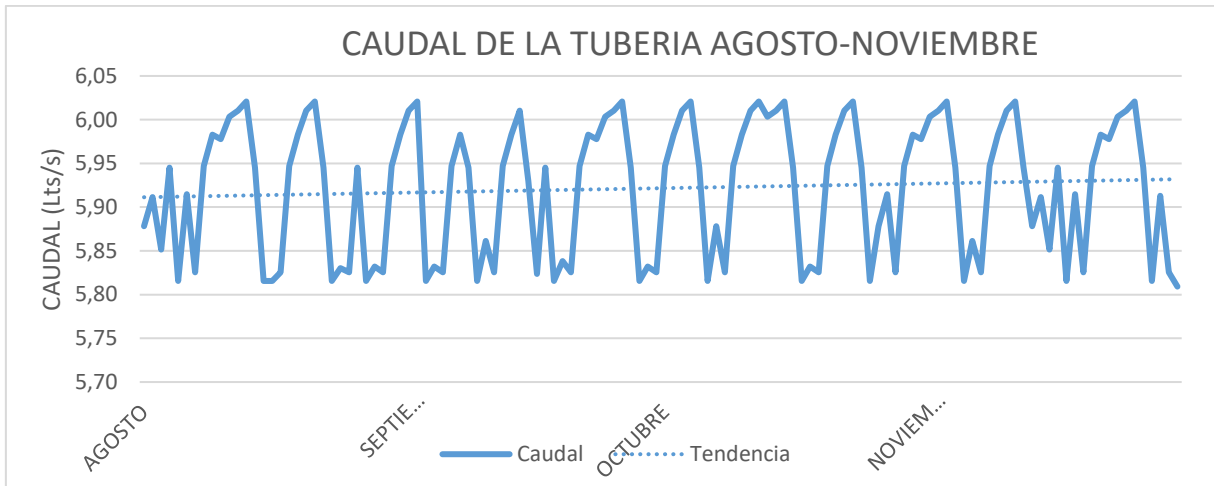


Fig. 36 Curva característica de caudal de los 4 meses de mediciones y su línea de tendencia.
(Autores, 2018)

El caudal promedio es 5.92 lts/s, este será el caudal para realizar el análisis de potencia de nuestro sistema.

Una vez obtenido el caudal del sistema el siguiente paso es obtener la altura neta.

3.8. Medición del salto

Una vez realizada la estimación de la demanda, con la suma de todas las cargas que se atenderán con la implementación de la picocentral hidroeléctrica, y conociendo que la capacidad de generación de energía mediante el uso de agua está basada en la altura de la caída del agua y su caudal se busca el salto.

La topografía del terreno influye en el salto y las características del río en el caudal, estos dos factores son fundamentales para que el diseño de implementación de una picocentral hidroeléctrica sea factible.

Se precisa realizar las mediciones en el lugar, para obtener una precisión lo más exacta posible, para ello se establece realizar un mínimo de tres mediciones con el objetivo de corregir cualquier error existente, ya que entre las tres mediciones puede haber mediciones demasiado discordantes en el punto 2.11. se dieron a conocer varios métodos para la medición de la altura, en esta investigación se utilizará el método de medición conocida como “nivel de carpintero 2.11.6.”, Se utiliza este método por no disponer de ningún otro método.

3.8.1. Procedimiento y materiales para la medición de altura bruta y neta

Se asume que la medición empezará en la salida de agua al nivel del río esto para la medición del salto bruto, y de la futura cámara de carga se medirá para el salto neto, se trazará

el camino que seguirá la tubería de presión hasta llegar a la posición donde se establecerá la turbina.

Se necesita dos maderas rectas de aproximadamente 2 metros a las que se les acopla un nivel de carpintero en cada una de ellas, una servirá de horizontal y la otra de vertical, la horizontal empezará en la salida de la cámara de carga y la vertical se ubicará en el otro extremo, se nivelará las dos maderas y se tomará la altura en la madera vertical hasta llegar al suelo como se aprecia en la figura 37.

Cada altura se ira sumando, se tomará todas las medidas que sean necesarias hasta llegar al nivel más bajo donde estará ubicada la turbina.

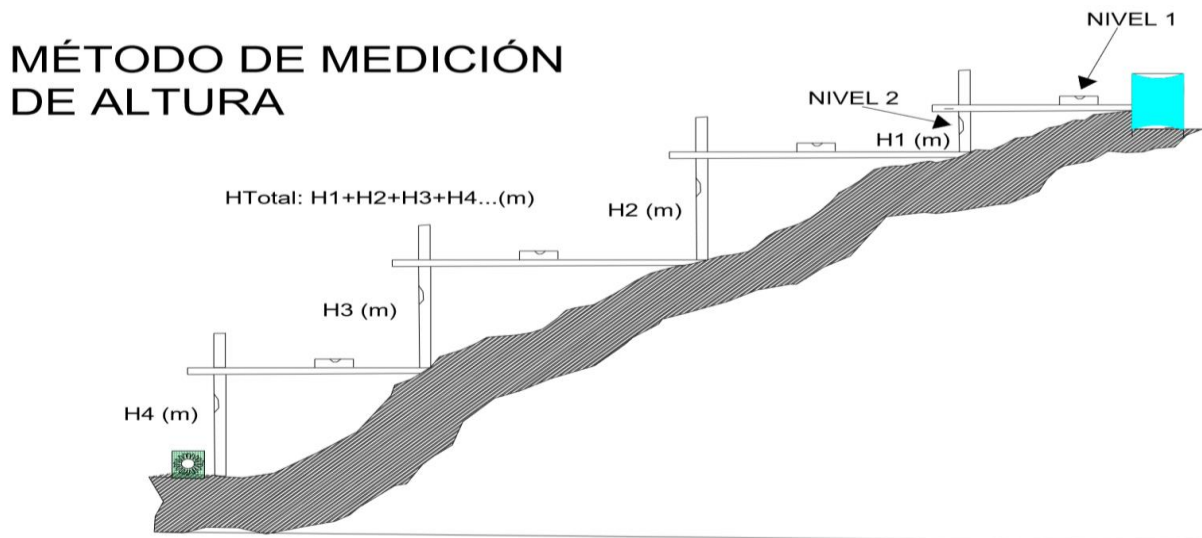


Fig. 37 Medición de Altura
(Autores, 2018)

3.9. Medición de la altura bruta (H_b)

Para la medición de la altura bruta (H_b) se utilizó el método de medición llamada método del nivel de carpintero, de la forma que se aprecia en la figura 38, se realizaron dos medidas con este método para evitar algún error de medición, y corroborar la primera medición, las alturas medidas con el procedimiento del nivel de carpintero se detallan en la tabla 13.



Fig. 38 Medición de altura Bruta con el método de nivel de Carpintero
(Autores, 2018)

Tabla 13 Mediciones de altura bruta 1 y 2.
(Autores, 2018)

Altura (m)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	TOTAL (m)	
Salto bruto 1	0,5	0,6	0,6	0,47	0,35	0,3	0,51	0,74	0,7	0,8	1,46	1,62	1,48	1,75	1,85	1,68	6,4	0,66	0,82	0,83	0,83	24,94	
Salto bruto 2	0,5	0,6	0,6	0,5	0,32	0,31	0,48	0,7	0,68	0,82	1,5	1,62	1,43	1,72	1,8	1,7	6,5	0,6	0,81	0,84	0,81	24,84	
																						Promedio (m)	24,89

Para determinar la altura bruta utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Hb = \Sigma(H1 + \dots + H21) (m) \quad (16)$$

$$Hb \text{ final} = \Sigma(Hb1 + Hb2)/(2) (m)$$

$$Hb \text{ Final} = 24.89 (m) \quad (17)$$

3.9.1. Longitud de la tubería de presión (L)

Esta medida se realizó desde la cámara de carga hasta el punto de las bases de la turbina, la medición se la realizo con una cinta métrica de 20 metros, por el sendero donde se establecería la tubería esta distancia resulto en 67metros.



Fig. 39 Medición de la longitud de la tubería.
(Autores, 2018)

3.10. Determinación de la altura Neta (H_n)

La altura neta es la energía que se aprovecha en forma de presión y resulta de calcular la altura bruta (H_b) menos las pérdidas (H_{per}) que se producen en la tubería de presión y algunos accesorios, para ello utilizamos la ecuación 20.

$$H_n = H_b - H_r \quad (18)$$

Donde:

H_b : Altura bruta 24.89m

H_r : Pérdidas en la tubería.

Las pérdidas de carga en la tubería son la suma de dos clases de pérdidas, como pérdidas primarias y pérdidas secundarias. (Castelo & León, 2008)

$$H_r = H_{rp} + H_{rs} \quad (19)$$

Donde:

H_{rp} : Perdidas primarias (m)

H_{rs} : Perdidas secundarias (m)

3.10.1. Diámetro de la tubería de presión (D)

La ecuación para determinar el diámetro de la tubería de presión es la ecuación 10.

$$D = 0.3 \sqrt[5]{\frac{Q^2 L}{H_b}} \quad (20)$$

Donde:

D: Diámetro de la tubería de presión (m)

Q: Caudal en la tubería de presión 0.00592 (m^3/s)

L: Longitud de la tubería 67(m)

H_b : Altura bruta 24.89(m)

Al sustituir los valores obtenidos de las mediciones de altura bruta, caudal y longitud de la tubería en la ecuación 22 el resultado es el siguiente.

$$D = 0.3 \sqrt[5]{\frac{(0.00592)^2 * 67}{24.89}} = 0.0481m = 4.81cm = 1.89in \quad (21)$$

El diámetro resultante es de 1.89 pulgadas, para el cual se debe tomar un diámetro comercial de 2 pulgadas esto verifica que la tubería utilizada es conveniente.

3.10.2. Perdidas primarias (H_{rp})

Para el cálculo de las perdidas primarias se usa la ecuación 24 de DARCY WESIBACH.

$$H_{rp} = \lambda * \frac{LV^2}{2Dg} \quad (22)$$

Donde:

λ : Coeficiente de perdidas primarias.

L: Longitud de la tubería (m)

V: velocidad del agua en la tubería (m/s)

g: Gravedad de la tierra (9.81 m/s)

D: Diámetro de la tubería (m)

Para hallar el coeficiente de pérdidas primarias λ , nos regimos en el diagrama de Moody en base al número de Reynolds y al material de la tubería que en este caso es tubería lisa de polietileno reticulado.

Para conocer el número de Reynolds (R_e) utilizamos la siguiente ecuación.

$$R_e = V * \frac{D}{\nu} \quad (23)$$

Donde:

V: Velocidad del agua en la tubería (m/s)

D: Diámetro de la tubería (m)

ν : viscosidad cinemática del agua (m^2/s)

Para la viscosidad cinemática se tomó de las propiedades del agua del libro de mecánica de fluidos de MOTT pag 535, el valor de 1.15×10^{-6} para una temperatura de 15°C.

Para la velocidad del agua en la tubería se utiliza la ecuación de continuidad.

$$V = 4 \frac{Q}{\pi * D^2} \quad (m/s) \quad (24)$$

$$V = 4 \frac{0.00592}{\pi * 0.0481^2} = 3.25 \text{ m/s}$$

Calculo del número de Reynolds, una vez encontrada la velocidad la viscosidad cinemática del agua y el diámetro de la tubería.

$$R_e = V * \frac{D}{\nu}$$

$$R_e = 3.25 * \frac{0.0481}{1.15 \times 10^{-6}} = 1.355 \times 10^5$$

Con el valor de Reynolds y con el tipo de material de la tubería se descifra el valor de λ en el diagrama de MOODY siendo $\lambda = 0.017$

Reemplazando todos los datos obtenidos en la ecuación 24, las perdidas primarias son:

$$H_{rp} = \lambda * \frac{LV^2}{2Dg}$$

$$H_{rp} = 0.017 * \frac{67 * 3.25^2}{2 * 0.0481 * 9.81} = 1.61m$$

Entonces nuestras perdidas primarias son 1.61 metros.

3.10.3. Perdidas secundarias (H_{rs})

Las perdidas secundarias son las pérdidas que se dan en los accesorios conectados a la tubería de presión, cada uno de estos elementos tiene su propio coeficiente de perdidas (K), y se hallan mediante la ecuación siguiente.

$$H_{rs} = K * \frac{V^2}{2g} \quad (25)$$

Donde:

K: Coeficiente de perdidas secundarias.

V: Velocidad del agua en la tubería de presión (m/s)

g: Gravedad de la tierra 9.81m/s

Los coeficientes K que se usan en el sistema son:

- Unión de 2" acoplada al tanque o cámara de carga K1: 1
- Válvula de cierre de agua de 1 ½" K2: 0.20
- Reducción de 2 a 1 ½" para el acople a la turbina K3: 0.40

Por lo tanto, la ecuación resultante es:

$$H_{rs} = K1 * \frac{V^2}{2g} + K2 * \frac{V^2}{2g} + K3 * \frac{V^2}{2g} \quad (26)$$

$$H_{rs} = 1 * \frac{3.25^2}{2 * 9.81} + 0.20 * \frac{3.25^2}{2 * 9.81} + 0.40 * \frac{3.25^2}{2 * 9.81}$$

$$H_{rs} = 0.53\text{m} + 0.11\text{m} + 0.21\text{m}$$

$$H_{rs} = 0.85\text{m}$$

Reemplazando los valores de las pérdidas primarias y secundarias en la ecuación 21.

$$H_r = H_{rp} + H_{rs}$$

$$H_r = 1.61\text{m} + 0.85\text{m}$$

$$H_r = 2.46\text{m}$$

Reemplazando los valores de H_b y H_r , en la ecuación 20 tenemos como resultado la altura neta.

$$H_n = H_b - H_r$$

$$H_n = 24.89 - 2.46$$

$$H_n = 22.43\text{m}$$

3.11. *Potencia bruta disponible en función del caudal y altura*

La potencia disponible está en función del caudal y de la altura existente el valor se obtiene con la ecuación:

$$P_{dis} = Q * H_{neta} * g * \rho \quad (27)$$

Donde:

Q: Caudal 5.92lts/s.

H_{neta} : Altura neta 22.43 metros.

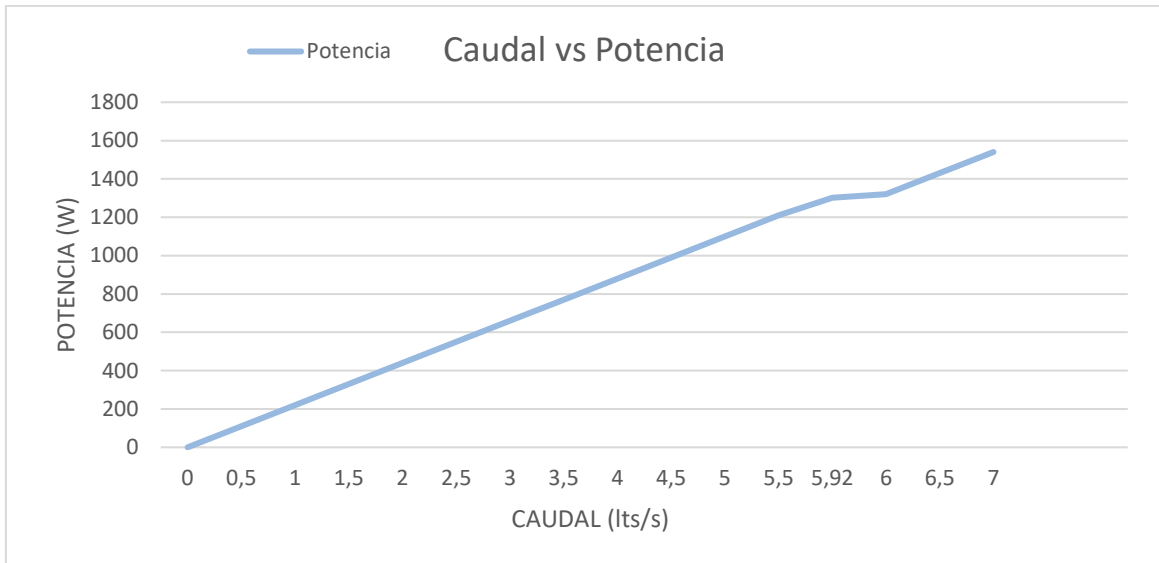
g: Gravedad 9.81 m/s^2

ρ : 1kg/lts

η : Rendimiento de la turbina en general 100%

$$P_{dis} = 5.92 * 22.43 * 9.81 * 1 = 1335 \text{ W} \quad (28)$$

En la siguiente figura 40 se puede observar la potencia bruta dependiendo del caudal y de la altura existente en el sistema, sin tomar en cuenta los rendimientos de cada elemento del sistema.



**Fig. 40 grafica de caudal vs potencia
(Autores, 2018)**

El resultado de la potencia bruta, esto es decir la potencia sin tomar en cuenta la eficiencia de la obra civil y de la eficiencia del grupo generador donde nos resulta de 1.33KW con un caudal promedio de 5.92lts/s y una altura de 22.43m.

3.12. Determinación de la potencia neta

La potencia neta será la potencia del sistema pico-eléctrico resultante donde se incorporan todas las características encontradas con anterioridad, como la eficiencia de la turbina, la altura neta, y el caudal efectivo en la tubería de 2 pulgadas final.

$$P_{neta} = Q * H_{neta} * g * \rho * \eta_0 \quad (29)$$

Donde:

Q= Caudal en lts/s

H_{neta} = Altura neta (m)

g= Gravedad (9.81)

η_0 : Rendimiento global del sistema

Para el rendimiento global de sistema se incluyen todos los rendimientos del sistema de la manera siguiente los rendimientos están en función del criterio del constructor.

$\eta_{turbina}$ = Rendimiento de la turbina 60%.

$\eta_{obra\ civil}$ = Rendimiento de la obra civil 80%.

$\eta_{tuberia}$ =Rendimiento de la tubería de presión 75%.

$\eta_{generador}$: Rendimiento del generador 60%.

Rendimiento total del sistema:

$$\eta_0 = 0.60 * 0.80 * 0.75 * 0.60 \quad (30)$$

$$\eta_0 = 0.216$$

$$P = 5.92 * 22.43 * 9.81 * 0.216 = 281W \quad (31)$$

La potencia final resultante será de aproximadamente 281W, concluyendo que la potencia eléctrica resultante abastece las cargas eléctricas necesarias para iluminar la cabaña por lo tanto el objetivo se cumple.

3.13. Elección de la Turbina para el proyecto

Conocidas las cargas eléctricas necesarias para alimentar de energía eléctrica a la cabaña, se buscó en el mercado ecuatoriano alguna turbina hidroeléctrica disponible para cumplir con nuestro propósito figura 41, dando como resultado en la adquisición de una turbina tipo Turgo, de 500W como potencia nominal máxima de salida, las características de dicha turbina se aprecian en la tabla 14, donde se dispone de varias características.



Fig. 41 Turbina para el sistema pico hidroeléctrico
(Proviento, 2018)

Tabla 14 Características de la Turbina Turgo CJ-500W.
Manual de usuario

 TURBINA TURGO CJ-500W

TURBINA

Tipo	CJ-500W
Altura Nominal	12-18 m
Flujo nominal	5-7 lts/s
Potencia	0,5 KW
Eficiencia	0,60%
Peso neto	22 Kg
Peso bruto	25 Kg

GENERADOR

Tipo	SF-0,5- 4/430
Potencia nominal	0,5 KW
Voltaje nominal	110 V
Corriente nominal	4,5 A
Frecuencia	60 Hz
Revoluciones	1800 r/min
Fases	1
Factor de potencia	1.0
Altitud	≤ 3000 m
Grado de aislamiento	B/B
Grado de protección	IP44
Temperatura ambiente	- 25°+50°C
Humedad relativa	≤ 90%

4. CAPITULO 4

4.1. OBRA CIVIL E INSTALACION

La obra civil consiste básicamente, de todas las obras de construcción que se realizan para el correcto funcionamiento de la picocentral hidroeléctrica, las mismas que constan de lo siguiente:

- Las obras de reservorio y desvío del caudal del río, que llevan el agua hacia la cámara de carga continuando hacia la turbina en este punto estarán la bocatoma, canal de conducción y cámara de carga.
- Las obras de casa de máquinas donde se alojará el equipo electromagnético turbina-generator, donde están las bases de la turbina.
- Obras de salida o desfogue del agua turbinada, que debe retornar al cauce normal del río.

4.2. Bocatoma

La bocatoma es una obra hidráulica que tiene la función principal de desviar, regular y acumular un caudal continuo y lo más limpio posible, sin impurezas de grandes tamaños tales como palos y rocas.

La ubicación más idónea es en tramos rectos o semirectos y lo más estables posibles, donde la corriente del río sea moderada.

En su construcción se pueden utilizar estructuras de cemento y piedra, cuando se trata de picocentrales hidroeléctricas se puede usar piedra, barro y ramas de forma de una bocatoma para riego. (Sanchez, 2012)

Para el caso, la bocatoma se construyó a 67 metros cuesta arriba de la ubicación de la turbina, se realizó un muro de cemento con piedra trabada como se aprecia en la figura 42.



Fig. 42 Obra de Bocatoma
(Autores, 2018)

Esta bocatoma garantiza una capacidad constante de caudal de agua, en especial cuando existen temporadas de estiaje, en la bocatoma se filtran los elementos sólidos y flotantes de gran tamaño para evitar que lleguen a la turbina, también la bocatoma evita que en temporadas de lluvia los fuertes caudales no alteren el sistema de obras aguas abajo.

En la bocatoma se acoplo un tramo de tubo de pvc de 6 pulgadas con una longitud de 60 centímetros, para la salida de agua hacia el canal de derivación, además se acoplo un tubo de 2 metros de longitud al nivel más bajo de pequeña presa con la finalidad de hacer una salida de agua y desarenador de limpieza, en la figura 43, se puede apreciar los dos tubos en la bocatoma de agua.



Fig. 43 Tuberías de salida de 6 y 4 pulgadas.
(Autores, 2018)

4.3. Canal de derivación

El canal de derivación tiene la función de transportar el agua que esta constante en la bocatoma, y llevarla hacia la cámara de carga y desarenador, este canal de derivación puede ser construido de diversos materiales tales como cemento, plástico PVC y de tierra, pueden ser cerrados o abiertos.

Para nuestro sistema se optó por utilizar plástico PVC, lo que haría un canal de derivación cerrado, utilizamos dos tubos de PVC de 3 metros de longitud y de 4 pulgadas de diámetro, los mismo que se unieron utilizando pegamento conocido como “pega tubos”, tratando de reforzar la zona de la unión para evitar que los tubos se desprendan uno del otro o se despegue figura 44.

Para la unión entre el tubo de 6 y 4 pulgadas se utilizó una reducción de 6 a 4 pulgadas, en la imagen se puede observar el canal de derivación para nuestro sistema de picocentral hidroeléctrica.



Fig. 44 Canal de derivación cerrado.
(Autores, 2018)

4.4. Cámara de carga y desarenador

La cámara de carga y desarenador son un solo elemento en este sistema de generación hidroeléctrica que tiene como objetivo de recibir y acumular el agua que proviene de la tubería de derivación, además funcionara como un desarenador ya que el agua puede llegar con residuos tales como arena, que si no se controla puede ser peligrosa para la turbina degradando las aspas de la turbina prematuramente.

4.4.1. Características de la cámara de carga

- Impide el ingreso de objetos flotantes y abrasivos que pueden dañar la turbina.
- Permite eliminar los objetos flotantes por rebalse.
- El exceso de agua debe retornar al cauce del río.
- Permite mantener a la tubería de presión sumergida evitando el acceso de aire que puede alterar el sistema de la picocentral hidroeléctrica.
- La adaptación de la tubería de presión a la cámara de carga debe estar lo más ajustada posible para evitar que se desconecte y para la generación

4.4.2. Construcción de la cámara de carga y desarenador

En el sistema de la picocentral hidroeléctrica, se utilizó un tanque de capacidad de 500lts, como cámara de carga y desarenador, para asegurar que la tubería de presión este siempre llena y con ello evitar el ingreso de aire.

El tanque estará asentado en un agujero del diámetro del tanque a una altura que reciba el agua del canal de derivación en su parte alta.

Para el desarenador se incorporó un adaptador de tanque para realizar la limpieza, este permanecerá con un tapón y solo cuando se realice el mantenimiento se lo retira para la limpieza figura 45.

De la cámara de carga y desarenador se adaptará la manguera de presión de 2 pulgadas, para ello se incorpora un adaptador de tanque de 2 pulgadas a la altura de 40cm en el tanque, para que la adaptación de la manguera al tanque sea firme se la afirmó con una abrazadera de metal de 2 pulgadas de diámetro.



Fig. 45 Cámara de carga y desarenador
(Autores, 2018)

Como el agua que se recibe de la tubería de derivación es mayor que la capacidad que soporta el tanque o cámara de carga el agua que sobra se desborda la misma que vuelve al cauce del río por un canal abierto como se aprecia en la figura 46.



Fig. 46 Canal de exceso de agua.
(Autores, 2018)

4.5. Tubería de presión

La tubería de presión es el elemento encargado de llevar el agua hacia casa de máquinas donde estará la turbina, puede ser de acero, PVC o polietileno, para nuestro sistema hidroeléctrico se usó manguera de polietileno reticulado de diámetro de 2 pulgadas y de 67 metros de longitud desde la cámara de carga hasta la turbina.

Para la unión en el adaptador de tanque de la cámara de carga, se realiza la unión a presión y se la agarra con una abrazadera de acero inoxidable de 2 pulgadas con el fin de evitar que esta llegue a desprenderse del tanque que en este caso es la cámara de carga.



Fig. 47 conexión de la tubería de presión.
(Autores, 2018)

En la figura 47 se observa la tubería de presión conectada con su respectiva abrazadera, existe una consideración extra en la cámara de carga ya que se optó por derivar una manguera extra de color negro brillante y de 3 pulgadas hacia otro tanque de donde se distribuye el agua para los usos sanitarios de la cabaña.

4.6. Base de la turbina

Será una parte fundamental del diseño de la picocentral hidroeléctrica, por ser el lugar donde estará asentada la turbina de manera permanente.

4.6.1. Características de la base de la turbina

- La base de la turbina debe estar nivelada lo máximo posible.
- La base debe ser lo más firme y fuerte posible.
- La base debe ser de materiales resistentes.

- La base no debe tener ningún tipo de vibración.
- Las bases no deben permitir el movimiento de la turbina

4.6.2. Materiales para la construcción de la base de la turbina

- 1 saco de cemento
- Arena
- Madera (tablas)
- SERRUCHO
- Clavos
- Pala
- Perfil tipo C numero 120
- Flexómetro
- Amoladora y disco de corte
- Soldadora y electrodos

4.6.3. Construcción de la base de la turbina

Se realiza con el perfil tipo C, una especie de banco con 4 patas y en la parte superior una base donde ira sentada la turbina, en la figura se observa el resultado final, cada pata tiene una altura de 80cm, la base tiene unas dimensiones de 60x30, todas estas se sueldan de manera precisa y reforzada figura 48.



Fig. 48 base de la turbina en construcción.

(Autores, 2018)

Una vez concluido el banco el siguiente paso es fundirla en el terreno donde estará ubicada la turbina, para ello se prepara el saco de cemento con dos carretillas de arena y se mezcla.

En el lugar donde estará ubicada la turbina se realiza un agujero del ancho del banco figura 49, luego se encofra de manera cuadrada alrededor del banco y se funde de manera que en el centro quede un agujero para la salida del agua turbinada, en la figura 50 se puede observar el resultado final.



Fig. 49 Agujero para la ubicación del banco de la turbina.
(Autores, 2018)



Fig. 50 Base de la turbina concluida.
(Autores, 2018)

4.7. Canal de descarga

El canal de descarga con su función principal de retornar el agua turbinada al cauce normal del río, el agua debe regresar normalmente a su cauce, para ello se debe construir de diversas formas una estructura que ayude con el cometido.

4.7.1. Construcción del canal de descarga

Para la elaboración del canal de descarga se necesita de cemento y arena, desde la base de la turbina este canal se deberá ir construyendo, para nuestro sistema de generación eléctrica, se realizó un encementado asentado en la tierra en forma de cuneta extendida hasta llegar al río, la cuneta tiene un metro de largo y 1m de ancho de forma no lineal, en la figura 51 se puede observar el acabado final del canal de descarga para el retorno del agua turbinada.



Fig. 51 Canal de descarga.
(Autores, 2018)

4.8. Tanque del disipador de potencia

El disipador de potencia está acoplado al sistema electrónico de la turbina, y sirve para dejar fluir la energía que no consumen las cargas, esta energía es disipada en forma de calor por el disipador incorporado, en la imagen 52 se puede apreciar el disipador, para que el disipador este a un nivel de temperatura bajo, se lo debe mantener bajo el agua y que esta sea continua, para evitar el sobrecalentamiento.



Fig. 52 Disipador de energía.
(Autores, 2018)

4.8.1. Construcción del tanque disipador

Para la construcción de dicho tanque se necesitó un saco de cemento y arena, cerca de la turbina se diseñó el tanque de las siguientes medidas, largo 60cm, ancho 45cm y 65cm de alto, el agua que es turbinada por la turbina será la que fluya continuamente por el tanque para que no suceda calentamiento excesivo en la imagen 53 se puede observar el tanque del disipador de energía.



Fig. 53 Tanque de agua para el disipador.
(Autores, 2018)

El tanque del disipador de energía debe mantenerse siempre con agua, ya que si no está sumergido puede afectar de manera grave a todo el sistema de generación hidroeléctrica.

4.9. *Cuarto de maquinas*

En los diseños de PCH, el cuarto de máquinas es el lugar donde estará hospedada la turbina, para nuestro diseño se construyó la casa de máquinas de una manera sencilla lo más económica posible y que llame la atención hacia las personas que visiten la cabaña, ya que al ser un lugar alejado de la ciudad no se hizo una casa de bloque y cemento si no que se construyó una pequeña cubierta de paja entrelazada impermeable.

Para la construcción se necesitaron 2 palos de madera de 2 metros de longitud y se utilizó 2 árboles que se encuentran cerca de la turbina para ser las bases de la casa de máquinas, luego se necesitó pequeños tramos de maderas y se diseñó la casa, la cubierta se realizó con paja de la zona, se hizo de esta manera para evitar el uso de bloque y cemento, en la figura 54 se puede apreciar el cuarto de máquinas.



Fig. 54 Cuarto de máquinas.
(Autores, 2018)

4.10. *Instalación de la turbina*

Una vez obtenidos los parámetros principales como altura, caudal y todas las obras civiles, se realiza la instalación del equipo generador.

4.10.1. *Materiales para la instalación de la turbina*

- 4 pernos de 1 ½ con su respectiva tuerca y arandela.
- 2 llaves número 10 para el ajuste de los pernos.
- 1 union universal de plástico de 1 ½ pulgadas.

- 1 llave de paso de 1 ½ pulgadas.
- 3 neoplos de plástico de 1 ½ pulgadas.
- 1 reducción de plástico de 2 a 1 ½ pulgadas.
- 1 llave francesa para el ajuste de los accesorios de plástico.
- 1 unión de aluminio de 2 pulgadas.
- 1 abrazadera de acero inoxidable de 2 pulgadas.
- 1 teflon grande.
- 1 broca de acero numero 6

4.10.2. Proceso de instalación

La instalación se lleva a cabo con la puesta de la turbina se usa los 4 pernos, se realiza 4 agujeros con una broca de metal en la posición de los agujeros de la turbina dichos agujeros vienen realizados de fabrica en los bordes de la turbina, hechos los agujeros se sienta la turbina y se dispone los pernos con sus arandelas y se aprieta de manera que la turbina no tenga ningún movimiento.

Instalada la turbina es hora de dar paso a la instalación de la tubería de presión a la misma, para ello se debe poner teflón en cada uno de los elementos que así lo demanden, con la unión de aluminio de 2 pulgadas calentamos la tubería y a presión y con la ayuda de la abrazadera conectamos los dos elementos, en la imagen 55 se aprecia lo dicho.



Fig. 55 conexión de la tubería de presión a la unión de aluminio.
(Autores, 2018)

Ya conectada la unión de aluminio el siguiente paso es conectar los demás accesorios tales como la unión roscada de plástico de 2 pulgadas se deberán ir apretando con la llave francesa de manera que el ajuste sea el más efectivo posible figura 56.

Luego de ello es conectar 1 neplo reductor de 1 ½ pulgadas para conectar la llave de paso de 1 ½, conectado esto se conecta el segundo neplo y este a su vez a la unión universal de 1 ½ pulgadas.



Fig. 56 Ajuste de los elementos con la llave francesa.
(Autores, 2018)

Siguiendo el proceso en la salida de la unión universal, se conecta el ultimo neplo y este termina conectado en la entrada de 1 ½ pulgada de diámetro con la que cuenta la turbina en la imagen 57 y 58 se observa la instalación final de la turbina.



Fig. 57 Instalación final de la turbina a la tubería de presión.
(Autores, 2018)



Fig. 58 Instalación final de la turbina
(Autores, 2018)

5. CAPITULO 5

5.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y MANUAL DE MANTENIMIENTO

Concluida la instalación correcta del sistema de la picocentral hidroeléctrica, con las obras civiles y la instalación de la turbina se da paso a las pruebas de funcionamiento donde se verifica la potencia real de salida de la turbina.

5.2. Pruebas de funcionamiento finales

Realizadas todas las conexiones exitosamente como se observa en la figura 56, se puso en operación la picocentral hidroeléctrica como se ve en la figura 59, donde se abrió todo el pase de caudal de agua con la llave de paso.



Fig. 59 Picocentral hidroeléctrica en funcionamiento.

(Autores, 2018)

Dando como resultado un voltaje de generación de 120.4 V esto se puede identificar en la figura 60, esta medición se realiza con un multímetro y se comprueba en el voltímetro que se encuentra incorporado en la turbina figura 60.



Fig. 60 Voltaje de salida del generador
(Autores, 2018)

5.3. Voltaje en función de la abertura de la válvula de paso

Según el paso del agua, la turbina arroja un voltaje, en la figura 61 se ve como en función del paso del agua se presenta un voltaje.

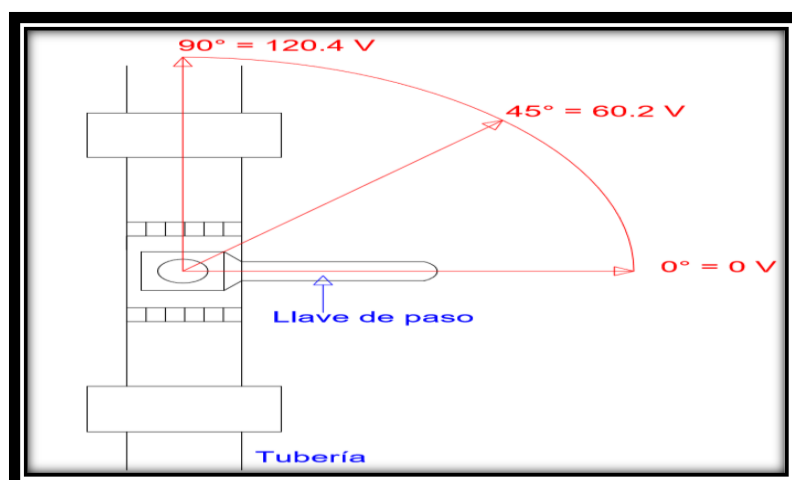


Fig. 61 paso del agua y el voltaje que resulta
(Autores, 2018)

En la tabla 15 se muestran varios voltajes según el Angulo de apertura de la llave de paso, donde a un Angulo de 0° nos resulta en 0 V y con un Angulo de 90° un voltaje final de 120.4 voltios.

Tabla 15 Grados de apertura de la llave de paso y voltaje de salida
(Autores, 2018)

Grados	Voltaje
0°	0 V
10°	13,377 V
20°	26,7555 V
30°	40,133 V
40°	53,511 V
50°	66,888 V
60°	80,2666 V
70°	93,644 V
80°	107,022 V
90°	120,4 V

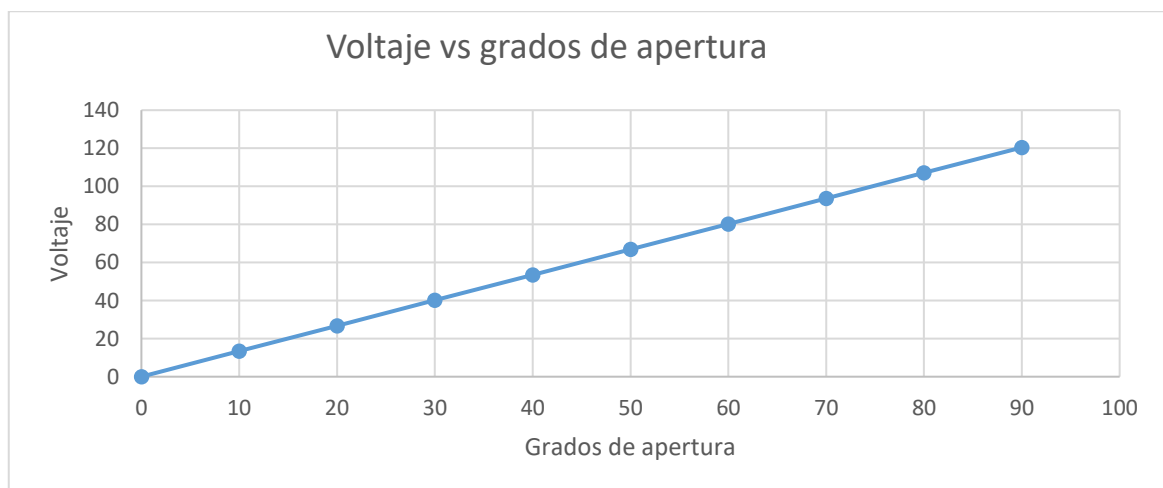


Fig. 62 voltaje de salida en relación con los grados de apertura de la válvula.
(Autores, 2018)

En la figura 62 se muestra la gráfica de salida, del voltaje resultante según la apertura de la válvula en grados.

5.4. Conexión hacia las cargas de la cabaña

Con el voltaje obtenido se realizó la conexión hacia las cargas llegando a una caja de distribución dentro de la cabaña, la cual cuenta con un breaker para protección contra cortocircuitos este breaker es de 16A, una vez conectadas las cargas se realizó en arranque de la turbina.

En la figura 63 y 64 se observa la caja de distribución en donde se realizan las medidas de voltaje y amperaje cuando todas las cargas están activas dando como resultado un voltaje de 112.6 V y un amperaje de 1.9 A.



Fig. 63 Voltaje de salida con todas las cargas activas
(Autores, 2018)



Fig. 64 Amperaje de salida con todas las cargas activas
(Autores, 2018)

La potencia total de salida a plena carga es de aproximadamente 217 W, similar a la potencia de todas las cargas de la tabla 4 en el punto 3.4. donde se observa que la iluminación de la cabaña es satisfactoria con un voltaje optimo, en las figuras 65 y 66 podemos observar la iluminación de la cabaña.



Fig. 65 Iluminación de la cabaña
(Autores, 2018)



**Fig. 66 Iluminación en la cabaña planta alta
(Autores, 2018)**

El resultado final está de acorde a lo esperado, la iluminación es de buena calidad y la satisfacción del propietario es máxima.

5.5. Manual de operación y mantenimiento del sistema

El manual de operación y mantenimiento es necesario para que el sistema de la picocentral hidroeléctrica sea lo más eficiente posible, el enfoque más importante es en el equipo de generación ósea la turbina el proveedor de la turbina nos da algunas recomendaciones, pero también se toma en cuenta el mantenimiento de las obras civiles.

5.5.1. Acciones de mantenimiento del equipo generador

- Revisar, limpiar el barro y los materiales extraños que se encuentran en la cámara de admisión de la turbina.
- En el bastidor de la unidad debe colocarse grasa a prueba de agua mediante el uso del recipiente de grasa que viene incorporado en la turbina.
- En el rodamiento superior también se debe agregar grasa impermeable cada seis meses.
- Para el primer arranque verificar manualmente si las palas de la turbina giran sin ninguna dificultad.

5.5.2. Reglas de servicio

- Cuando la unidad se descompone, manipúlela de acuerdo con la lista de tratamiento de fallas de rutina si solo tiene un ligero error; por favor, envíelo a profesionales o fabricantes si debe ser desmontado.
- Seremos responsables de las tres garantías de la unidad por sus fallas de calidad durante la operación del primer año.
- Si su daño se debe al mal uso del cliente, podemos repararlo con la condición de que el usuario pague la tarifa correspondiente.
- Garantizamos un largo período estable del suministro de repuestos.

5.5.3. Tratamiento de fallas de rutina

Tabla 16 tratamiento de fallas de rutina
(Autores, 2018)

Fallos	Causa y tratamiento
Bajo volumen de agua cuando se enciende la unidad.	Hay material extraño que bloquea la boquilla. Limpiarlo.
El generador no se puede iniciar.	Abrir la válvula para rechazar el aire.
El medidor de voltaje muestra la lectura, pero el indicador y la lámpara de carga no se encienden.	El fusible se ha quemado, reemplácelo.
El voltaje no puede aumentar	El volumen de agua es demasiado bajo, aumentelo Reducir las cargas.
El fusible está quemado	Cortocircuito. Compruébalo y repáralo.
La carga no puede ser transportada por completo	La caída es demasiado baja. Reemplace la boquilla por una más grande si el volumen de agua es el adecuado.

5.6. *Mantenimiento de las obras civiles*

Las obras civiles son de gran importancia para que el sistema pico-hidroeléctrico tenga un funcionamiento adecuado y eficaz, por lo tanto, hay que mantenerlo siempre limpio evitando que no haya obstrucciones en la tubería de presión y que cualquier elemento nocivo altere la vida útil de la turbina al llegar a ella.

Respecto al bocatoma evitar que elementos de gran tamaño ingresen a la cámara de carga, para ello se debe ubicar rejillas para proteger y que su limpieza sea periódicamente.

Respecto de la cámara de carga evitar que los elementos abrasivos como arenas y piedras ingresen a la tubería de presión, limpiando el tanque semanalmente.

6. CONCLUSIONES

- El caudal hídrico que pasa cerca de la cabaña es bastante superior para cubrir la demanda de potencia de la cabaña, lo utilizado es únicamente lo necesario para cubrir la demanda calculada.
- En la instalación de pequeños proyectos hidroeléctricos de pequeña escala como una picocentral hidroeléctrica, el impacto ambiental es mínimo y tienen gran valor para los usuarios que están alejados del sistema de distribución y que no cuentan con el servicio básico de suministro de energía.
- Las obras civiles realizadas, fueron lo más simples posibles y el objetivo principal fue iluminar la cabaña, ya que desde hace mucho tiempo el propietario anhelaba tener iluminación.
- Se ha conseguido implementar la picocentral hidroeléctrica para abastecer la demanda de cargas eléctricas que necesita la cabaña.
- Culminadas las pruebas de funcionamiento se observa que la iluminación es de buena calidad y que se abastecen todas las cargas eléctricas calculadas.
- El resultado es satisfactorio, el propietario se encuentra muy a gusto con los resultados obtenidos.
- La potencia eléctrica necesaria para la cabaña es cubierta con la potencia calculada que entrega la turbina.
- Las magnitudes eléctricas tales como: voltaje, corriente y frecuencia resultante de activar todas las cargas; se encuentran dentro de los parámetros óptimos de calidad.
- El caudal turbinado regresa siempre al cauce normal del río por medio del canal de descarga.
- El caudal sobrante del tanque de carga se aprovecha de forma de agua para la cocina, baño y ducha de la cabaña.
- En caso de precipitaciones de gran magnitud la bocatoma se desborda al cauce del río evitando riesgo de inundación en la cámara de carga.
- El voltaje de la turbina tiende a caer drásticamente si la potencia de la carga es de gran magnitud.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar este tipo de proyectos de pico centrales hidroeléctricas en lugares rurales ya que es más factible en cuanto a lo económico al invertir en una turbina que invertir en una extensión de red.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo a la turbina por lo general cada 3 meses, en donde se revisa los componentes de la turbina, se limpia de hojas, barro y de cualquier otro tipo de material extraño que se encuentre en el interior de la turbina, además de engrasar el bastidor de esta según el manual de usuario.
- En caso de alguna falla y corte del suministro, se recomienda primero que nada visualizar el fusible que se encuentra incorporado a la turbina, en caso de que se encuentre quemado remplazarlo.
- Se recomienda visualizar periódicamente la cámara de carga, ya que debido al caudal excesivo que cuenta la cascada, esta puede desprender la tubería forzada debido a la presión.
- Se recomienda limpiar y colocar rejillas en la bocatoma, para que no ingresen elementos extraños a la turbina.
- Desarenar periódicamente la cámara de carga, ya que cuenta con un tapón de desagüe para realizar este tipo de mantenimiento.
- Se recomienda abrir la llave de paso principal que se encuentra al final de la tubería forzada cerca de la turbina de una manera lenta, ya que con esto limpiamos las impurezas que se han filtrado a la turbina cuando esta se encuentra desactivada.
- Para arrancar la turbina cada vez que este desactivada, se recomienda tener desactivado el switch que da paso a las cargas hasta estabilizar el voltaje mediante la llave de paso, una vez realizado este proceso se activa el switch.
- Se recomienda desactivar o apagar el equipo electro generador o sea la turbina en el caso de no uso en periodos prolongados.
- Mantener el disipador de carga continuamente en agua circulante, ya que es la mejor forma de disipar el calor.
- Evitar que el disipador de carga se encuentre a temperatura ambiente.
- Se recomienda enterrar la tubería de presión, ya que por ser de polietileno y estar expuesta al sol, su degradación se acelera.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (SAG), S. d. (2009). *Guía metodológica para el establecimiento de microcentrales hidroeléctricas en áreas rurales*. Tegucigalpa, Honduras: Hondupress Litografía.
- Alajo, D., & Anchatuña, E. (2013). *Diseño y construcción de una pico central hidroeléctrica en la hostería "Los Llanganates" Ubicada en el sector Las Carmelitas en el kilómetro 65 de la carretera Salcedo-Tena para generar energía eléctrica limpia*. Tesis de Grado, Universidad técnica de Cotopaxi, Latacunga-Ecuador.
- Association, B. H. (2009). *GUIDE TO UK MINI-HYDRO*.
- Autores. (12 de 2018). Implementación de una picocentral de energía hidroeléctrica para una cabaña autosustentable en el sector de Chanlud provincia del Azuay.
- Castelo, M., & León, R. (2008). *DISEÑO, CONSTRUCCION E INSTALACIÓN DE UNA PICO CENTRAL HIDROELECTRICA EN LA FINCA MANUELITA SECTOR PINDOCHICO*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
- Coz, F., & al.], [. (1995). *Manual de Mini Y microcentrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos*. Lima, Perú: ITDG.
- Creus Solé, A. (2014). *Energías renovables*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Duchi, T., & Peralta, A. (2014). *Manual de operación y mantenimiento para la central Hidroeléctrica Saymirin V*. Tesis Grado, Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Earth, G. (04 de 05 de 2018). *Google Earth*.
- Federico Coz. (1995). *Manual de mini y microcentrales hidráulicas*. Lima: ITDG.
- Freddy Landa, L. L. (2009). *Diseño y construcción de una pico central hidráulica utilizando una turbina Mitchell Banki para generación eléctrica en el sector de las Carmelitas del cantón Tena*. Latacunga.
- García, D. G. (2014). *Cálculo y selección de una micro central hidroeléctrica empleando como fluido de trabajo un sistema de riego*. México.
- González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACION.
- Harper, G. (2011). *Tecnologías de generación de energía eléctrica*. México: Limusa.
- Harper, G. (2012). *El abc de las energías renovables en los sistemas eléctricos*. México: Limusa.
- Hauser, S. (2011). *Caracterización de la turbina hidráulica tipo Turgo para microgeneración*. Santiago de Chile.

- Landa, F., & Llanganate, L. (2009). *Diseño y construcción de una pico cenral hidroelectrica utilizando una turbina Michell Banki para generacion eléctrica en el sectro de las Carmelitas del Cantón Tena*. Tesis de Grado, Escuela Politécnica del Ejercito, Latacunga.
- Miguel, C. J. (09 de Noviembre de 2010). *El ciclo hidrológico*. Madrid, España.
- Moreno, R. D. (2016). *Creacion de una aplicacion grafica con Matlab para la caracterizacion y mejora de una turbina Kaplan*.
- Ortiz, R. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Proviento, S. (12 de 2018). www.proviento.com.ec.
- Sanchez, T. (2012). *Microcentrales hidroeléctricas. cartilla informativa para la generacion de energía eléctrica*, 14.
- Vásquez, V. (2015). *Estudio y Diseño de un Sistema Micro Hidroeléctrico para Generacion y abastecimiento de Energia Eléctrica mediante Energia Renovable para una vivienda tipica del sector Sinincay perteneciente al Canton Cuenca*. Tesis previa a la obtencion del Título de Ingeniero Eléctrico., Cuenca.
- Vega de Kuyper, J., & Ramirez, S. (2014). *Fuentes de energia, renovables y no renovables: Aplicaciones*. Mexico D.F.: Alfaomega.
- Vélez, R. (2013). *Factibilidad de sistemas de micro y mini hidroeléctrcas comunitarias rurales en el Azuay*. Maestria en planificación y Gestion Energética, Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.

9. ANEXOS

Anexos A Caudales diarios en la cámara de carga.

Mes	Fecha	Dia	Hora	Volumen	Tiempo		Caudal Agosto
Agosto	01/08/2018	Miercoles	9:00 AM	500	58,62	s	8,53 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	57,2	s	8,74 lts/s
Agosto	02/08/2018	Jueves	9:00 AM	500	56,14	s	8,91 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	58,88	s	8,49 lts/s
Agosto	03/08/2018	Viernes	9:00 AM	500	55,39	s	9,03 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	56,35	s	8,87 lts/s
Agosto	04/08/2018	Sábado	9:00 AM	500	57,82	s	8,65 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	56,52	s	8,85 lts/s
Agosto	05/08/2018	Domingo	9:00 AM	500	54,35	s	9,20 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	52,97	s	9,44 lts/s
Agosto	06/08/2018	Lunes	9:00 AM	500	54,38	s	9,19 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	53,17	s	9,40 lts/s
Agosto	07/08/2018	Martes	9:00 AM	500	55,39	s	9,03 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	56,35	s	8,87 lts/s
Agosto	08/08/2018	Miércoles	9:00 AM	500	57,82	s	8,65 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	58,62	s	8,53 lts/s
Agosto	09/08/2018	Jueves	9:00 AM	500	57,2	s	8,74 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	56,14	s	8,91 lts/s
Agosto	10/08/2018	Viernes	9:00 AM	500	50,14	s	9,97 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	58,88	s	8,49 lts/s
Agosto	11/08/2018	Sábado	9:00 AM	500	55,39	s	9,03 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	56,35	s	8,87 lts/s
Agosto	12/08/2018	Domingo	9:00 AM	500	50,82	s	9,84 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	56,52	s	8,85 lts/s
Agosto	13/08/2018	Lunes	9:00 AM	500	54,35	s	9,20 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	55,35	s	9,03 lts/s
Agosto	14/08/2018	Martes	9:00 AM	500	52,24	s	9,57 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	54,38	s	9,19 lts/s
Agosto	15/08/2018	Miércoles	9:00 AM	500	53,19	s	9,40 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	55,39	s	9,03 lts/s
Agosto	16/08/2018	Jueves	9:00 AM	500	56,63	s	8,83 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	57,82	s	8,65 lts/s
Agosto	17/08/2018	Viernes	9:00 AM	500	58,69	s	8,52 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	57,82	s	8,65 lts/s
Agosto	18/08/2018	Sábado	9:00 AM	500	56,52	s	8,85 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	54,35	s	9,20 lts/s
Agosto	19/08/2018	Domingo	9:00 AM	500	57,2	s	8,74 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	56,14	s	8,91 lts/s
Agosto	20/08/2018	Lunes	9:00 AM	500	56,14	s	8,91 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	58,88	s	8,49 lts/s
Agosto	21/08/2018	Martes	9:00 AM	500	56,52	s	8,85 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	54,35	s	9,20 lts/s
Agosto	22/08/2018	Miércoles	9:00 AM	500	57,2	s	8,74 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	55,39	s	9,03 lts/s
Agosto	23/08/2018	Jueves	9:00 AM	500	56,63	s	8,83 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	57,82	s	8,65 lts/s
Agosto	24/08/2018	Viernes	9:00 AM	500	58,69	s	8,52 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	58,62	s	8,53 lts/s
Agosto	25/08/2018	Sábado	9:00 AM	500	57,2	s	8,74 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	46,14	s	10,84 lts/s
Agosto	26/08/2018	Domingo	9:00 AM	500	46,35	s	10,79 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	47,82	s	10,46 lts/s
Agosto	27/08/2018	Lunes	9:00 AM	500	46,52	s	10,75 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	48,69	s	10,27 lts/s
Agosto	28/08/2018	Martes	9:00 AM	500	50,82	s	9,84 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	50,52	s	9,90 lts/s
Agosto	29/08/2018	Miércoles	9:00 AM	500	54,67	s	9,15 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	57,2	s	8,74 lts/s
Agosto	30/08/2018	Jueves	9:00 AM	500	56,14	s	8,91 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	58,09	s	8,61 lts/s
Agosto	31/08/2018	Viernes	9:00 AM	500	58,02	s	8,62 lts/s
Agosto			5:00 PM	500	59,54	s	8,40 lts/s

Mes	Fecha	Dia	Hora	Volumen	Tiempo		Caudal Septiembre
Septiembre	01/09/2018	Sábado	9:00 AM	500	61,16	s	8,18 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61	s	8,20 lts/s
Septiembre	02/09/2018	Domingo	9:00 AM	500	61,12	s	8,18 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61,01	s	8,20 lts/s
Septiembre	03/09/2018	Lunes	9:00 AM	500	61,03	s	8,19 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61,11	s	8,18 lts/s
Septiembre	04/09/2018	Martes	9:00 AM	500	61,08	s	8,19 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	60,58	s	8,25 lts/s
Septiembre	05/09/2018	Miércoles	9:00 AM	500	60,05	s	8,33 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	60,6	s	8,25 lts/s
Septiembre	06/09/2018	Jueves	9:00 AM	500	60,87	s	8,21 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	60,51	s	8,26 lts/s
Septiembre	07/09/2018	Viernes	9:00 AM	500	60	s	8,33 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	59,57	s	8,39 lts/s
Septiembre	08/09/2018	Sábado	9:00 AM	500	59,75	s	8,37 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	59,67	s	8,38 lts/s
Septiembre	09/09/2018	Domingo	9:00 AM	500	58,5	s	8,55 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	57,8	s	8,65 lts/s
Septiembre	10/09/2018	Lunes	9:00 AM	500	52,89	s	9,45 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	50,5	s	9,90 lts/s
Septiembre	11/09/2018	Martes	9:00 AM	500	51,76	s	9,66 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	49,58	s	10,08 lts/s
Septiembre	12/09/2018	Miércoles	9:00 AM	500	51,38	s	9,73 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	56,23	s	8,89 lts/s
Septiembre	13/09/2018	Jueves	9:00 AM	500	56,28	s	8,88 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	57,8	s	8,65 lts/s
Septiembre	14/09/2018	Viernes	9:00 AM	500	56,89	s	8,79 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	56,78	s	8,81 lts/s
Septiembre	15/09/2018	Sábado	9:00 AM	500	56,4	s	8,87 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	57,29	s	8,73 lts/s
Septiembre	16/09/2018	Domingo	9:00 AM	500	58,05	s	8,61 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61,01	s	8,20 lts/s
Septiembre	17/09/2018	Lunes	9:00 AM	500	61,03	s	8,19 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61,11	s	8,18 lts/s
Septiembre	18/09/2018	Martes	9:00 AM	500	61,08	s	8,19 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	60,58	s	8,25 lts/s
Septiembre	19/09/2018	Miércoles	9:00 AM	500	60,05	s	8,33 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	60,6	s	8,25 lts/s
Septiembre	20/09/2018	Jueves	9:00 AM	500	60,87	s	8,21 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	60,51	s	8,26 lts/s
Septiembre	21/09/2018	Viernes	9:00 AM	500	57,89	s	8,64 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	57,5	s	8,70 lts/s
Septiembre	22/09/2018	Sábado	9:00 AM	500	56,76	s	8,81 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	56,58	s	8,84 lts/s
Septiembre	23/09/2018	Domingo	9:00 AM	500	56,38	s	8,87 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	56,23	s	8,89 lts/s
Septiembre	24/09/2018	Lunes	9:00 AM	500	56,28	s	8,88 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	56,78	s	8,81 lts/s
Septiembre	25/09/2018	Martes	9:00 AM	500	56,4	s	8,87 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	57,29	s	8,73 lts/s
Septiembre	26/09/2018	Miércoles	9:00 AM	500	58,05	s	8,61 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61	s	8,20 lts/s
Septiembre	27/09/2018	Jueves	9:00 AM	500	61,12	s	8,18 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61,01	s	8,20 lts/s
Septiembre	28/09/2018	Viernes	9:00 AM	500	61,03	s	8,19 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61,11	s	8,18 lts/s
Septiembre	29/09/2018	Sábado	9:00 AM	500	56,28	s	8,88 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	56,78	s	8,81 lts/s
Septiembre	30/09/2018	Domingo	9:00 AM	500	56,4	s	8,87 lts/s
Septiembre			5:00 PM	500	61,11	s	8,18 lts/s

Mes	Fecha	Dia	Hora	Volumen	Tiempo	Caudal Octubre
Octubre	01/10/2018	Lunes	9:00 AM	500	60,6 s	8,25 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	60,87 s	8,21 lts/s
Octubre	02/10/2018	Martes	9:00 AM	500	45,6 s	10,96 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	60 s	8,33 lts/s
Octubre	03/10/2018	Miércoles	9:00 AM	500	59,57 s	8,39 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	61,75 s	8,10 lts/s
Octubre	04/10/2018	Jueves	9:00 AM	500	59,67 s	8,38 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	58,5 s	8,55 lts/s
Octubre	05/10/2018	Viernes	9:00 AM	500	57,8 s	8,65 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	56,89 s	8,79 lts/s
Octubre	06/10/2018	Sábado	9:00 AM	500	57,5 s	8,70 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	56,76 s	8,81 lts/s
Octubre	07/10/2018	Domingo	9:00 AM	500	56,58 s	8,84 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	51,38 s	9,73 lts/s
Octubre	08/10/2018	Lunes	9:00 AM	500	56,23 s	8,89 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	52,28 s	9,56 lts/s
Octubre	09/10/2018	Martes	9:00 AM	500	57,8 s	8,65 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	53,89 s	9,28 lts/s
Octubre	10/10/2018	Miércoles	9:00 AM	500	56,28 s	8,88 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	57,8 s	8,65 lts/s
Octubre	11/10/2018	Jueves	9:00 AM	500	56,89 s	8,79 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	52,78 s	9,47 lts/s
Octubre	12/10/2018	Viernes	9:00 AM	500	56,4 s	8,87 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	58,29 s	8,58 lts/s
Octubre	13/10/2018	Sábado	9:00 AM	500	58,05 s	8,61 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	61,01 s	8,20 lts/s
Octubre	14/10/2018	Domingo	9:00 AM	500	61,03 s	8,19 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	61,11 s	8,18 lts/s
Octubre	15/10/2018	Lunes	9:00 AM	500	61,08 s	8,19 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	60,58 s	8,25 lts/s
Octubre	16/10/2018	Martes	9:00 AM	500	60,05 s	8,33 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	50,6 s	9,88 lts/s
Octubre	17/10/2018	Miércoles	9:00 AM	500	50,87 s	9,83 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	52,51 s	9,52 lts/s
Octubre	18/10/2018	Jueves	9:00 AM	500	53,89 s	9,28 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	50,82 s	9,84 lts/s
Octubre	19/10/2018	Viernes	9:00 AM	500	56,52 s	8,85 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	54,35 s	9,20 lts/s
Octubre	20/10/2018	Sábado	9:00 AM	500	55,35 s	9,03 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	52,24 s	9,57 lts/s
Octubre	21/10/2018	Domingo	9:00 AM	500	55,38 s	9,03 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	53,19 s	9,40 lts/s
Octubre	22/10/2018	Lunes	9:00 AM	500	55,39 s	9,03 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	51,63 s	9,68 lts/s
Octubre	23/10/2018	Martes	9:00 AM	500	57,82 s	8,65 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	58,69 s	8,52 lts/s
Octubre	24/10/2018	Miércoles	9:00 AM	500	54,82 s	9,12 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	56,52 s	8,85 lts/s
Octubre	25/10/2018	Jueves	9:00 AM	500	47,82 s	10,46 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	46,52 s	10,75 lts/s
Octubre	26/10/2018	Viernes	9:00 AM	500	48,69 s	10,27 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	50,82 s	9,84 lts/s
Octubre	27/10/2018	Sábado	9:00 AM	500	50,52 s	9,90 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	54,67 s	9,15 lts/s
Octubre	28/10/2018	Domingo	9:00 AM	500	57,2 s	8,74 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	56,14 s	8,91 lts/s
Octubre	29/10/2018	Lunes	9:00 AM	500	58,09 s	8,61 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	48,37 s	10,34 lts/s
Octubre	30/10/2018	Martes	9:00 AM	500	47,22 s	10,59 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	46,89 s	10,66 lts/s
Octubre	31/10/2018	Miércoles	9:00 AM	500	43,5 s	11,49 lts/s
Octubre			5:00 PM	500	41,7 s	11,99 lts/s

Mes	Fecha	Dia	Hora	Volumen	Tiempo		Caudal Noviembre
Noviembre	01/11/2018	Jueves	9:00 AM	500	52,51	s	9,52 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	53,89	s	9,28 lts/s
Noviembre	02/11/2018	Viernes	9:00 AM	500	50,82	s	9,84 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	56,52	s	8,85 lts/s
Noviembre	03/11/2018	Sábado	9:00 AM	500	54,35	s	9,20 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	55,35	s	9,03 lts/s
Noviembre	04/11/2018	Domingo	9:00 AM	500	52,24	s	9,57 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	50,38	s	9,92 lts/s
Noviembre	05/11/2018	Lunes	9:00 AM	500	53,19	s	9,40 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	55,39	s	9,03 lts/s
Noviembre	06/11/2018	Martes	9:00 AM	500	51,63	s	9,68 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	57,82	s	8,65 lts/s
Noviembre	07/11/2018	Miércoles	9:00 AM	500	58,69	s	8,52 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	54,82	s	9,12 lts/s
Noviembre	08/11/2018	Jueves	9:00 AM	500	42,8	s	11,68 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	45,29	s	11,04 lts/s
Noviembre	09/11/2018	Viernes	9:00 AM	500	42,8	s	11,68 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	45,29	s	11,04 lts/s
Noviembre	10/11/2018	Sábado	9:00 AM	500	58,9	s	8,49 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	53,19	s	9,40 lts/s
Noviembre	11/11/2018	Domingo	9:00 AM	500	48,69	s	10,27 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	42,8	s	11,68 lts/s
Noviembre	12/11/2018	Lunes	9:00 AM	500	45,29	s	11,04 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	42,8	s	11,68 lts/s
Noviembre	13/11/2018	Martes	9:00 AM	500	45,29	s	11,04 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	58,9	s	8,49 lts/s
Noviembre	14/11/2018	Miércoles	9:00 AM	500	53,19	s	9,40 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	58,39	s	8,56 lts/s
Noviembre	15/11/2018	Jueves	9:00 AM	500	56,63	s	8,83 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	60,8	s	8,22 lts/s
Noviembre	16/11/2018	Viernes	9:00 AM	500	55,8	s	8,96 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	47,82	s	10,46 lts/s
Noviembre	17/11/2018	Sábado	9:00 AM	500	46,52	s	10,75 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	48,69	s	10,27 lts/s
Noviembre	18/11/2018	Domingo	9:00 AM	500	42,8	s	11,68 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	45,29	s	11,04 lts/s
Noviembre	19/11/2018	Lunes	9:00 AM	500	58,9	s	8,49 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	53,19	s	9,40 lts/s
Noviembre	20/11/2018	Martes	9:00 AM	500	58,39	s	8,56 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	56,63	s	8,83 lts/s
Noviembre	21/11/2018	Miércoles	9:00 AM	500	57,82	s	8,65 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	58,69	s	8,52 lts/s
Noviembre	22/11/2018	Jueves	9:00 AM	500	59,82	s	8,36 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	56,52	s	8,85 lts/s
Noviembre	23/11/2018	Viernes	9:00 AM	500	54,35	s	9,20 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	57,2	s	8,74 lts/s
Noviembre	24/11/2018	Sábado	9:00 AM	500	56,14	s	8,91 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	55,8	s	8,96 lts/s
Noviembre	25/11/2018	Domingo	9:00 AM	500	47,82	s	10,46 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	46,52	s	10,75 lts/s
Noviembre	26/11/2018	Lunes	9:00 AM	500	48,69	s	10,27 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	42,8	s	11,68 lts/s
Noviembre	27/11/2018	Martes	9:00 AM	500	45,29	s	11,04 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	58,9	s	8,49 lts/s
Noviembre	28/11/2018	Miércoles	9:00 AM	500	53,19	s	9,40 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	58,39	s	8,56 lts/s
Noviembre	29/11/2018	Jueves	9:00 AM	500	56,63	s	8,83 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	46,52	s	10,75 lts/s
Noviembre	30/11/2018	Viernes	9:00 AM	500	48,69	s	10,27 lts/s
Noviembre			5:00 PM	500	42,8	s	11,68 lts/s



PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL

Nosotros, **Jhonny Saul Peñaloza Jaya** y **Byron Wilfrido Guerrero Suarez** portadores(a) de las cédulas de ciudadanía N° 0104502851 y 0104925086. En calidad de autores/as y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Implementación de una picocentral de energía hidroeléctrica para una cabaña autosustentable en el sector de Chanlud provincia del Azuay”** 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, 18 de enero de 2019

F:

Jhonny Saul Peñaloza Jaya
C.I. 0104502851

F:

Byron Wilfrido Guerrero Suarez
C.I. 0104925086