

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MICRO CENTRAL
HIDROELÉCTRICA UTILIZANDO TURBINA DE VÓRTICE
PARA EL CENTRO POBLADO EL HUACO – DISTRITO
HUABAL – JAÉN – PERÚ**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autores : Bach. Edson Gianmarco Requejo Contreras
Bach. Kelvin Cortéz Contreras**

Asesor : Ing. Luis Miguel Llanos Sánchez

JAÉN – PERÚ, OCTUBRE, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 11 de setiembre del año 2019, siendo las 6:00 pm horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. José Andrés Fernández Mera

Secretario: Mg. Lenin Quiñones Huatangari

Vocal: Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez, para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA UTILIZANDO TURBINA DE VORTICE PARA EL CENTRO POBLADO EL HUACO-DISTRITO HUABAL-JAÉN-PERÚ presentado por los Estudiantes /Egresados o Bachilleres Edson Gianmarco Requejo Contreras y Kelvin Cortéz Contreras de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

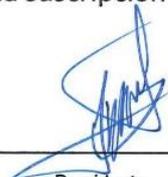
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (14) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 7:00 pm horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios, por estar siempre a mi lado, por iluminar mi camino, por darme la fortaleza necesaria para lograr mis objetivos.

A mi madre Rosa Contreras Ocaña, por su inmenso amor, por el apoyo incondicional porque sin ella no hubiera logrado nada.

A mi padre Victor Requejo Fernandez, por enseñarme a enfrentar la vida, por inculcarme valores.

A mis hermanas Nancy y Leslie, a mi princesita Danna Thais, mi motor y motivo.

A mis familiares y amigos quienes durante el transcurso de mi vida estuvieron allí guiándome por el camino del bien.

Edson Gianmarco Requejo Contreras

La presente tesis la dedico a dios por haberme dado sabiduría y salud para alcanzar mi meta.

A mis padres que me han dado la existencia y la capacidad de superarme en el arduo camino de la vida, y familiares por el apoyo incondicional para seguir adelante y forjar la persona que ahora soy.

A mis maestros y asesor, porque sin su apoyo no hubiese sido posible concluir y desarrollar este logro.

Kelvin Cortéz Contreras

AGRADECIMIENTO

A los docentes de esta prestigiosa universidad que compartieron con nosotros el conocimiento.

De forma especial a nuestro Asesor de Tesis Ing. Luis Miguel Llanos Sánchez por su asesoría, por la cual llegamos a concluir y desarrollar la tesis.

A los centros poblados que visitamos por brindarnos ayuda para recolectar información.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Problemática	2
1.2.	Antecedentes	2
1.3.	Formulación del problema	3
1.4.	Justificación	3
1.5.	Hipótesis	3
II.	OBJETIVOS	4
2.1.	Objetivo general.....	4
2.2.	Objetivos específicos	4
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
3.1.	Materiales.....	5
3.1.1.	Equipos	5
3.1.2.	Software.....	5
3.1.3.	Material de campo	5
3.1.4.	Materiales de gabinete	5
3.1.5.	Diseño de la investigación.....	5
3.2.	Metodología.....	6
3.2.1.	Características de afluente, accesibilidad topográfica, necesidad eléctrica de los centros poblados.	6
3.2.2.	Diseñar la micro central hidroeléctrica mediante una turbina de vórtice al centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén.	11
3.2.3.	Simulación la micro central hidroeléctrica mediante una turbina de vórtice al centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén.	27
3.2.4.	Selección de equipo electromecánico.....	32
3.2.5.	Evaluar técnica y económica el proyecto	35

IV.	RESULTADOS	37
4.1.	Centros poblados con afluente en la provincia de Jaén.	37
4.2.	Determinar los caudales mínimos requeridos de los afluentes en los centros poblados para instalar una turbina de vórtice.	38
4.3.	Turbina de vórtice como mejor elección para generar eléctrica en centros poblados. 39	
4.4.	Micro central hidroeléctrica el Huaco	40
V.	DISCUSIÓN	41
VI.	CONCLUSIONES.....	42
VII.	RECOMENDACIONES	43
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
IX.	ANEXOS	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Centros poblados de Jaén y sus distritos	6
Tabla 2 Máxima demanda	10
Tabla 3 Método del flotador en la Esperanza	16
Tabla 4 Calculo del volumen para la quebrada la Esperanza	16
Tabla 5 Método del flotador en el Huaco	18
Tabla 6 Calculo del volumen en la quebrada del Huaco	18
Tabla 7 Diseño de la cuenca para generar energía eléctrica.....	20
Tabla 8 Ventajas y desventajas de turbina pelton.....	23
Tabla 9 Ventajas y desventajas de turbina de vórtice.....	24
Tabla 10 Clasificación de las centrales hidroeléctricas	25
Tabla 11 Generador eléctrico	32
Tabla 12 Especificaciones técnicas del tablero general.....	34
Tabla 13 Parámetros eléctricos del tablero general	34
Tabla 14 Presupuesto estimado del canal y casa de máquinas	35
Tabla 15 Presupuesto estimado de la parte electro mecánica.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del estudio.....	8
Figura 2. Caudal en el canal	14
Figura 3. Diseño del caudal	25
Figura 4. Croquis en plano alzado	27
Figura 5. Recubrimiento del eje	27
Figura 6. Acoplamiento de paletas	28
Figura 7. Recubrimiento de plano en planta.....	28
Figura 8. Aleta de forma rectangular.....	29
Figura 9. Redondeo de la esquina de la aleta	29
Figura 10. Redondeo de aleta y eje.....	30
Figura 11. Aleta de turbina simulada.....	30
Figura 12. Extrudir la turbina	31
Figura 13. Turbina simulada total	31
Figura 14. Número de centros poblados con afluente en cada distrito de Jaén.....	37
Figura 15. Caudales mínimos	38
Figura 16. Mini central hidroeléctrica	40
Figura 17. Simulación del canal y turbina de vórtice	46
Figura 18. Diagrama unifilar de la micro central hidroeléctrica	47
Figura 19. Generador eléctrico	47
Figura 20. Transformador eléctrico	47
Figura 21. Método del flotador.....	47
Figura 22. Quebrada el Huaco	47
Figura 23. Quebrada la Esperanza	47

RESUMEN

El objetivo principal del proyecto es diseñar y simular de una micro central hidroeléctrica en el centro poblado el Huaco mediante el diseño de una turbina de vórtice. Se aprovecha la fuerza cinética del agua y la transforma en energía eléctrica y que a diferencia de la turbina pelton, no necesita grandes caídas de agua, puesto que trabaja a bajas revoluciones y es mucho más duradera. Con la propuesta de este proyecto la energía generada sería de gran ayuda para mejorar los servicios de la comunidad, para transformar sus productos o para facilitar sus tareas. Todo a un costo beneficioso a comparación de la construcción de otro tipo de micro centrales. Para lograr los objetivos de nuestro proyecto se realizó un estudio previo de los centros poblados de cada distrito de la provincia de Jaén que cuentan con afluentes. El área de estudio fue el distrito de Huabal donde existen dos centros poblados el Huaco y la Esperanza, donde se estimó los caudales que fueron aprovechados para el funcionamiento y diseño de la turbina de vórtice, posteriormente se realizó el diseño de la micro central hidroeléctrica el Huaco, en el que se diseñó el canal de agua que tiene un caudal de $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$, además se simuló el canal y la turbina en el programa SolidWorks el cual nos proporcionó que la turbina tiene un rango de 100 revoluciones por minuto, luego seleccionamos un generador eléctrico, un tablero eléctrico y un transformador, seleccionados de acuerdo a los parámetros que generan 30 kW de potencia eléctrica. El costo total de inversión sería de S/35 865,69 el cual se recuperará en 5 años.

Palabras claves: Diseño, simulación, turbina de vórtice, micro central hidroeléctrica.

ABSTRACT

The main objective of the project is to design and simulate a micro hydroelectric power station in the Huaco populated center by designing a vortex turbine. That harnesses the kinetic force of water and transforms it into electric energy and that unlike the pelton turbine, it doesn't need big drops of water, because it works at low revolutions and is much more durable. With the proposal of this project the energy generated would be of great help to improve the services of the community, to transform their products or to make their tasks easier. All at a beneficial cost in comparison to the construction of another type of micro power plants. In order to achieve the objectives of our project, a previous study was carried out of the populated centres of each district of the province of Jaen that have affluents. Our study area was the district of Huabal where there are two populated centers el Huaco and la Esperanza, where it was estimated the flows rates that were used for the working and design of the vortex turbine, subsequently the design of the el Huaco hydroelectric plant was carried out, in which the water canal that has a flow rate of $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$; also simulated the channel and the turbine in the Solidworks program which provided us that the turbine has a range of 100 revolutions per minute, then we selected an electric generator, an electrical power panel and a transformer, selected according to the parameters that generate 30 kW of electrical power. The total investment cost would be S/35 865,69 which will be recovered in 5 years.

Keywords: Design, simulation, vortex turbine, micro hydroelectric power station.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un servicio básico fundamental para el desarrollo humano, sin embargo, en la zona rural muy pocas familias tienen este servicio. El acceso a través de la red nacional se hace cada vez más costoso y difícil por la lejanía de muchas de las poblaciones y el costo adicional que significa extender el tendido para atender a lugares con baja densidad poblacional.

Este proyecto fue desarrollado en base al pésimo servicio eléctrico de los diferentes centros poblados de la provincia de Jaén o algunos casos, que no cuentan con este servicio básico indispensable para las actividades diarias de la población.

Buscar nuevas formas de generar energía eléctrica sin perjudicar al medio ambiente se ha vuelto un reto, la mayoría de estos centros poblados y caseríos para la realización de sus eventos sociales, actividades agrícolas, entre otros, optan por el uso de motores eléctricos u otros medios contaminantes como la quema de combustibles fósiles e hidrocarburos, para poder obtener energía eléctrica que los ayude a realizar sus actividades. Lo cual a través de los años ha causado daños al medio ambiente, en peores casos lo siguen causando. Está de más decir que la energía eléctrica es una necesidad básica para realizar una innumerable cantidad de actividades, ya sea la iluminación necesaria para el ámbito escolar a la hora de leer un libro o escribir a mano, como también las tareas destinadas a la industria y negocio.

Su necesidad constante de obtener energía eléctrica para realizar sus diferentes actividades diarias fue el punto principal del cual se planteó un proyecto, que ayudara a cumplir estas demandas de energía eléctrica y ayudara a disminuir el daño al medio ambiente, uno que beneficiaria, ayudaría y sería económico para el progreso de la población.

Nuestro proyecto se realizó un estudio previo de los centros poblados de cada distrito de la provincia de Jaén que cuentan con afluentes. Nuestra área de estudio será el distrito de Huabal donde existen dos centros poblados el Huaco y la Esperanza, donde se estimó los caudales que fueron aprovechados para el funcionamiento y diseño de la turbina de vórtice, posteriormente se realizó el diseño de la micro central hidroeléctrica el Huaco.

En el que se diseñó el canal de agua que tiene un caudal de $1,995 \text{ m}^3/\text{s}$, además se simuló el canal y la turbina en el programa Solidworks el cual nos proporcionó que la turbina tiene un rango de 100 revoluciones por minuto, luego seleccionamos un generador eléctrico, un tablero eléctrico y un transformador seleccionados de acuerdo a los parámetros que generan 30 kW de potencia eléctrica.

El costo total de inversión sería de S/35 865,69

La electricidad permite alumbrar los hogares, escuelas y calles, pero también ofrece la oportunidad de desarrollar actividades productivas que mejoran los ingresos familiares, mediante el uso de equipos y máquinas. Algunas de las aplicaciones que serían aprovechadas con el uso de la electricidad para la zona rural sería: uso de computadoras, radios, televisores, alumbrado público, negocio de fotocopias, negocio de carpintería, refrigeración y venta de alimentos, etc.

Con la propuesta de este proyecto la energía generada sería de gran ayuda para mejorar los servicios de la comunidad, para transformar sus productos o para facilitar sus tareas. Todo a un costo beneficioso a comparación de la construcción de otro tipo de micro centrales.

1.1.Problemática

Existen pequeñas poblaciones que son dependientes de energías no renovables que hace que nuestra sociedad busque maneras fáciles y económicas de solventar la falta de energía eléctrica mediante el uso de recursos fósiles procesados, químicos que de un u otro modo van acabando con el entorno ambiental sin reparo alguno.

La energía eléctrica hoy en pleno siglo XXI es uno de los pilares fundamentales, gracias a esta se genera desarrollo en los pueblos. Los avances tecnológicos llevan implícito el consumo creciente de energía eléctrica e incrementan la necesidad de esta.

La falta de concientización y la necesidad de la población provocan que den uso indiscriminado de los combustibles fósiles para su conveniencia.

1.2.Antecedentes

Turbina vortex de 15 kW en Donihue, ha estado activa desde el 9 de enero de 2018 y en pleno funcionamiento desde marzo de 2018. Proporciona producción de energía para una granja local, y fue construida por trabajadores locales de Chile con la ayuda de nuestros ingenieros. (Turbulent, 2018)

Turbina vortex de 15kW en Bali, Indonesia suministrara energía a la Escuela Verde al largo del rio Ayung en Bali. Cuatrocientos estudiantes y una granja local se beneficiarán de la producción de energía. La turbina se insertará en una cubeta de concreto preexistente que se usó para una turbina anterior que no funciona. Fue diseñado a medida para girar en sentido contrario a las agujas del reloj. (Turbulent, 2016)

Turbina vortex de 15 kW en Cunco, Chile fue hecha para llevar electricidad a la comunidad indígena de Mapuche, y fue instalada por personas locales con la ayuda de nuestros ingenieros expertos en el lugar y proporciona energía a seis hogares. El jefe religioso indígena bendijo el proyecto ya que se construyó por respeto al entorno natural y la vida silvestre. El proyecto se encuentra actualmente en proceso de acabado mecánico/eléctrico. (Turbulent, 2018)

1.3.Formulación del problema

¿Cuál es la solución más factible de utilizar para evitar dañar nuestro medio ambiente, reducir su impacto y mejorar la condición de vida de las personas residentes en estos lugares?

1.4.Justificación

Cada vez que se presenta un problema de abastecimiento eléctrico en estos centros poblados, se recurre a la solución más común que es el uso de combustibles fósiles no renovables (uso de motores eléctricos), el presente proyecto de investigación está destinado a ayudar a resolver de manera más confiable, económica y segura utilizando el agua como recurso energético.

Los centros poblados serán los beneficiados con éste proyecto de investigación novedoso en ésta región, ya que no cuenta con energía eléctrica no contaminante. La población de éstos centros poblados se auto abastecerán y serán ellos mismos los que den el paso a la prosperidad y desarrollo de sus pueblos.

1.5.Hipótesis

El diseño y simulación de micro central hidroeléctrica utilizando turbina de vórtice para el centro poblado el Huaco – distrito Huabal – Jaén – Perú,

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar y simular una micro central hidroeléctrica mediante una turbina de vórtice al centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén.

2.2. Objetivos específicos

- Características de afluente, accesibilidad topográfica, necesidad eléctrica, entre otros de los centros poblados.
- Diseñar la micro central hidroeléctrica mediante una turbina de vórtice al centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén.
- Simular la micro central hidroeléctrica mediante una turbina de vórtice al centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén.
- Evaluar técnica y económica el proyecto

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Los materiales y equipos utilizados para el desarrollo de la investigación fueron los siguientes.

3.1.1. Equipos

Calculadora científica

Laptop

Cámara fotográfica

GPS

3.1.2. Software

Microsoft Word 2016

Microsoft Excel 2016

Mendeley Desktop

Solidworks

AutoCAD

3.1.3. Material de campo

Lapiceros

Tabla de apuntes

Libreta de apuntes

Cinta métrica

3.1.4. Materiales de gabinete

Libros

Útiles de escritorio

3.1.5. Diseño de la investigación.

No experimental.

3.2. Metodología.

3.2.1. Características de afluente, accesibilidad topográfica, necesidad eléctrica de los centros poblados.

Comenzamos este estudio con la identificación de afluente de cada centro poblado de cada distrito de la provincia de Jaén, así mismo la accesibilidad topográfica del afluente y por último la necesidad eléctrica de los centros poblados.

3.2.1.1. Identificación de los centros poblados con afluentes.

Para poder identificar los centros poblados con afluente de la provincia de Jaén, realizamos la visita a los centros poblados de cada distrito y los distritos que no se logró llegar, se investigó con distintas fuentes de información.

Los centros poblados están descritos en la tabla 1.

Tabla 1
Centros poblados de Jaén y sus distritos

N°	Distrito	Centros Poblados	Afluente / no Fuentes	Distancia del afluente al C.P
1	Huabal	1.1. La Esperanza	Si	500 m
		1.2. El Huaco	Si	100 m
		2.1. Shumba Alto	Si	100 m
2	Bellavista	2.2. Ambato Tamborapa	Si	100 m
		2.3. Vista Alegre de Chingana	No	-----
		2.4. Rosario de Chingama	No	-----
3	Chontalí	3.1. Pachapiriana	Si	4 km
		3.2. Tabacal	Si	511 km
4	Colasay	4.1. Chunchuquillo	Si	100 m
		4.2. Chunchuca	Si	100 m
		4.3. San Lorenzo	Si	300 km
		4.4. Cedro del Pasto	Si	1 km
5	Las Pirias	5.1. Las Pirias	No	-----
6	Pomahuaca	6.1. Palo Blanco	No	-----
7	Pucará	-----	No	-----
8	Sallique	-----	Si	4 km
9	San Felipe	-----	No	-----
10	San José del Alto	10.1. Angash	Si	500 m
		10.2. El Triunfo	Si	200 m
		10.3. Pampas del Inca	Si	2 km
		10.4. Valle Primavera	Si	100 m
11	Santa Rosa	11.1. Montango	No	
		11.2. Shumbana	No	
		11.3. Puenteccillos	No	
		11.4. Huallape	Si	70 m
		12.1. La Cascarilla	No	
		12.2. La Virginia	Si	500 m
		12.3. Vista Alegre De Zonanga	No	
12	Jaén	12.4. Chamaya	Si	30 m
		12.5. Valillo	No	
		12.6. San Martin	No	
		12.7. Tabacal	No	
		12.8. La Palma Central	Si	1.5 km
		12.9. Granadillas	Si	
		12.10. Las Naranjas	Si	100 m
		12.11. Chambamontera	no	

Fuente elaboración propia

Los centros poblados con afluentes en el distrito de Huabal son: El distrito de Huabal es uno de los doce distritos de la Provincia de Jaén en el departamento de Cajamarca, bajo la administración del gobierno regional de Cajamarca, en el Perú. Se ubica en la zona central de la provincia de Jaén, con una extensión aproximada de 80,69 km², y cuya capital distrital se encuentra a 1,785 msnm y está conformado por 2 centros poblados como el Huaco y la Esperanza.

Centro poblado el Huaco: Ubicado en la parte norte del distrito de Huabal, a una altitud media de 1952 m.s.n.m., latitud sur: 5° 38' 27" y 79° 00' 20" S (-5.58); longitud oeste 78° 54' 52" W (-78.91). El territorio donde se encuentra ubicado es pedregoso. Su afluente es la quebrada la Huaca. En este centro poblado realizaremos nuestra investigación.

Centro poblado la Esperanza: Ubicada en la parte norte del distrito de Huabal, a una altitud media de 1133 m.s.n.m., latitud sur: 5° 34' 40" y 79° 02' 26" S (-5.58); longitud oeste: 78° 42' 57" W (-78.88). Territorio quebrado, rodeado de cerros. Su afluente es la quebrada Oropel.(Municipalidad distrital de Huabal, 2019)

3.2.1.2. Accesibilidad topográfica.

La accesibilidad topográfica del área de estudio fue muy buena, la ruta que se ha seguido es por la entrada de Shumba Alto, la cual se encuentra ubicada a 24,9 km desde la plaza de armas de la provincia de Jaén, con un aproximado de 33 minutos de traslado por la carretera Jaén-San Ignacio. Esta carretera conecta a los caseríos donde se realizó el estudio y que cuentan con los afluentes adecuados para el funcionamiento de la turbina de vórtice. Es de buena accesibilidad de unos 5 m de ancho de carretera en su gran mayoría. (Prieto, 2016). Ver la figura 1.

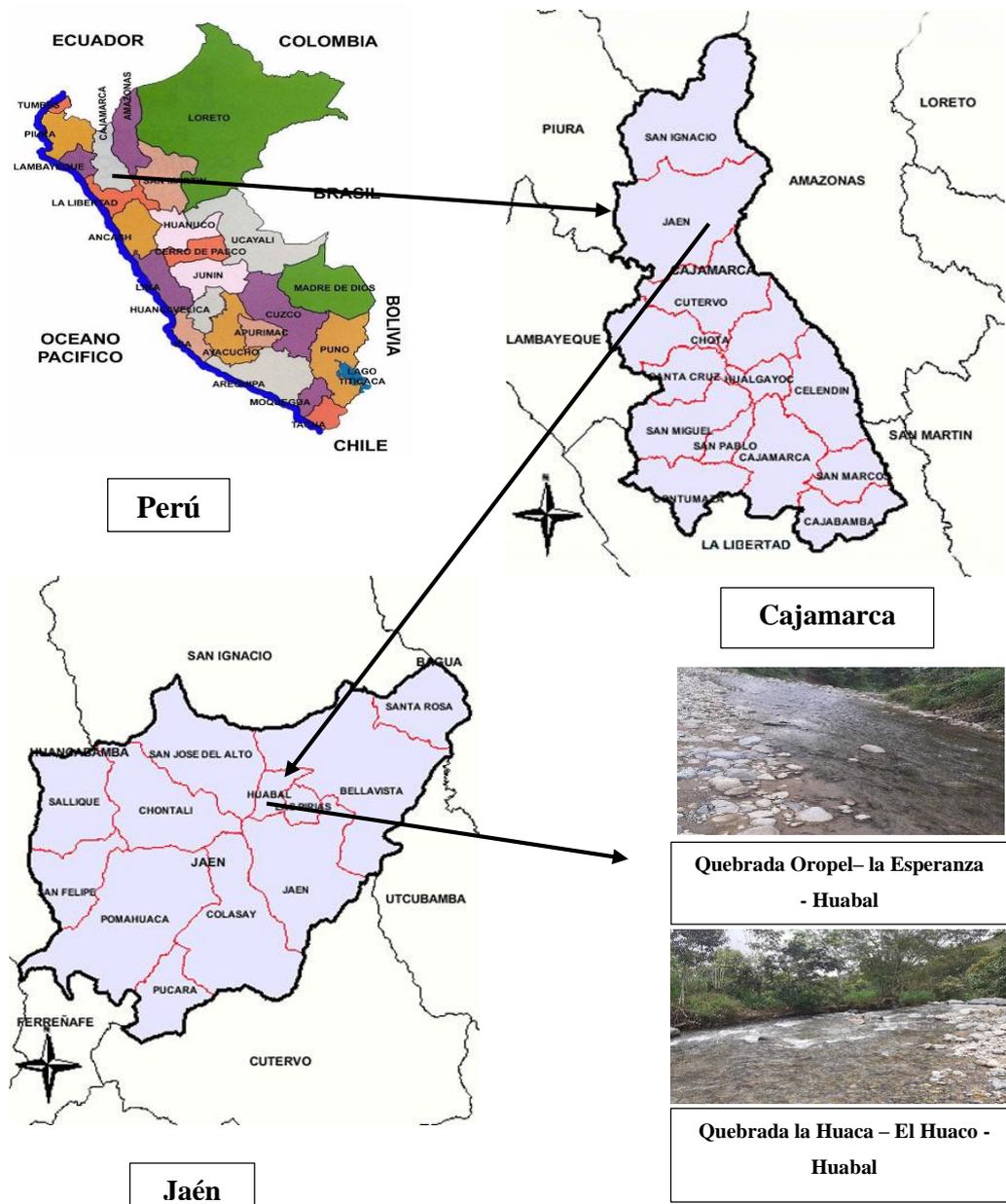


Figura 1. Ubicación geográfica del estudio.

3.2.1.3. Necesidad eléctrica.

La mayoría de estos centros poblados y caseríos para la realización de sus eventos sociales, actividades agrícolas, entre otros, optan por el uso de motores eléctricos u otros medios contaminantes como la quema de combustibles fósiles e hidrocarburos, para poder obtener energía eléctrica que los ayude a realizar sus actividades. Lo cual a través de los años ha causado daños al medio ambiente, en peores casos lo siguen causando. Está de más decir que la energía eléctrica es una necesidad básica para realizar una innumerable cantidad de actividades, ya sea la iluminación necesaria para el ámbito escolar a la hora de leer un libro o escribir a mano, como también las tareas destinadas a la industria y negocio.

La actividad principal y de la cual se basan la mayoría de estos caseríos para solventar sus gastos es la actividad agrícola del café u otros casos la ganadería. Este proyecto tiene como objetivo ayudar a reducir estos medios contaminantes, y empezar a producir energías limpias, ya que proviene del uso de recurso renovable del agua. Además, con este inicio dará un impulso muy importante para el desarrollo de éstos caseríos.

De acuerdo a estudios las formas modernas de producir energías limpias ayudarán a reducir la pobreza, impactos ambientales, entre otros, y nos llevara a aumentar la productividad y el empleo, promover mejores niveles de vida a través de la salud, educación y comunicación.

3.2.1.4. Estimación de la máxima demanda del centro poblado el Huaco.

Estimamos la máxima demanda del centro poblado el Huaco con el número de viviendas y con la calificación eléctrica (Sector de distribución tipo 2), según el ministerio de energía y minas Normal DGE “Calificación eléctrica para la elaboración de proyectos de subsistemas de distribución secundaria”

La siguiente tabla es obtenida de la red eléctrica secundaria que se cargó en el software RedCAD.

Tabla 2
Máxima demanda

Sub estación de distribución el Huaco				
Sector	M.D. kW	Cantidad	F.S.	kW
Domestico	0,40	80	0,5	16
Cargas especiales:		4	1	3
Centro de salud	1			
I.E San Juan Bautista	1			
Casa comunal	0,5			
Iglesia católica	0,5			
Alumbrado publico	0,6	25	100	1,56
Sub total				20,56
Perdidas de distribución (3%)				0,55
Total kW				21,12
Total kVA				23,35

Fuente municipalidad distrital de Huabal

3.2.2. Diseñar la micro central hidroeléctrica mediante una turbina de vórtice al centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén.

Al realizar el diseño de la micro central hidroeléctrica se debe considerar los métodos que se utilizaran para determinar el caudal necesario con el que operara la turbina de vórtice; así como los parámetros de la construcción del canal, la cuenca y la casa de máquinas donde posteriormente se instalara el tablero general y el transformador. Por consiguiente y como primer punto la determinación de los caudales mínimos para instalar la turbina de vórtice.

3.2.2.1. Determinar los caudales mínimos requeridos de los afluentes en los centros poblados para instalar una turbina de vórtice.

Para determinar los caudales mínimos de agua en un afluente existen diversas maneras convenientes. El método que se emplee dependerá de varios factores:

- la exactitud del resultado que se necesite;
- la cantidad de agua existente en el arroyo o canal que va a medir;
- el material que puede usar.

3.2.2.1.1. Estimación de caudales

Para este proyecto se ha utilizado el método del flotador, el cual es un método practico y sencillo para medir el caudal en de agua.

A. Método del flotador

El agua es un elemento de la naturaleza fundamental para el sostenimiento y reproducción de la vida en el planeta. Y conocer la cantidad de agua que pasa por las quebradas, ayuda a descubrir y estar al tanto de ciertos fenómenos que ocurren o que pueden ocurrir cuando se presenta una alta o baja cantidad de agua y, con base en este conocimiento, tomar las medidas para la prevención de desastres o aminorar la vulnerabilidad ante el riesgo. (Turbulent, 2016)

Además, la información de la cantidad de agua es importante para conocer la disponibilidad de la misma, esta información es significativa para la estimación de la cantidad de agua que entra y sale de la cuenca.

La manera más adecuada de la cantidad de agua que pasa por un afluente es el caudal; el caudal de agua es el volumen, un ejemplo es la cantidad de litros que pasa por una sección específica de la quebrada, río o arroyo en un tiempo determinado, por ejemplo, en segundos. Pasos para calcular el caudal:

Paso 1: Seleccionar el lugar adecuado

Seleccionar un tramo de la quebrada o río, que sea uniforme (son piedras grandes o troncos de árboles) en el que el agua fluya uniformemente y sin turbulencias, que sea recto.

Paso 2: Medición del área de la sección

Para determinar el área de una sección se debe realizar el siguiente procedimiento:

- Ubica los extremos de la sección en ambas orillas.
- Amarra una cuerda de dos estacas ubicadas en los extremos de la sección.
- Mide el ancho superficial.
- Divide en varias partes iguales (fajas) la sección (mínimo tres partes).
- Mide la profundidad del agua para cada faja.
- Registra los datos en el formato de campo.
- Calcula el área para cada faja.
- Suma el área de todas las fajas.

En la ecuación (1) se determina el área total, sumando todas las secciones en la que se dividió dicha área.

$$\text{Área}_t = \text{Área faja 1} + \text{Área faja 2} + \text{Área faja 3} + \dots \quad (1)$$

Donde:

Área_t : Área total

Se recomienda realizar la división de la sección en fajas iguales, si la sección es menor a dos metros debemos dividirla en cuatro o más fajas iguales y si es mayor, realizamos la faja cada metro, entre más fajas realicemos es más preciso este método.

Para determinar el caudal se realiza con la ecuación (2)

$$Q = (A) \times (V) \quad (2)$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)

A: Área de la Sección (m^2)

V: Velocidad (s)

*un metro cubico contiene 1000 litros

Las unidades de este cálculo serán en m/s (metros cúbicos por segundo) y se pasa a L/s (litros por segundo) multiplicando el resultado por 1000.

Algunas variables que afectan el caudal de las fuentes de agua:

- El clima: en temporada de lluvias, el caudal incrementa, y en temporada de sequía tiende a disminuir.
- La permeabilidad del suelo: si el suelo es permeable, absorbe y retiene una gran cantidad de agua, que luego aflorará a través de los manantiales a muchos kilómetros de distancia. En suelos impermeables el agua escurre de manera superficial.
- La vegetación: evita el desplazamiento rápido de las aguas por las laderas, siendo excelente para disminuir las crecidas violentas y torrenciales de los ríos y quebradas.
- El hombre: altera el comportamiento natural de los ríos y quebradas a través de la construcción de represas y embalses, de la extracción de material de aluvión, del depósito y acumulación de residuos sólidos, entre otros.

Paso 3: Medición de la velocidad

Es la distancia que recorre el agua en un tiempo determinado. Por ejemplo, si el agua recorre un metro cada 10 segundos, entonces la velocidad que lleva es de 1 metro/segundo.

La velocidad de la corriente de agua de río o quebrada se calcula con base en la ecuación (3):

$$v = \frac{d}{t} = \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3)$$

Donde:

v : Velocidad (m/s)

d : Distancia (m)

t : Tiempo (s)

B. Calculo del caudal del canal

Las medidas que se hemos obtenido en campo son las siguientes

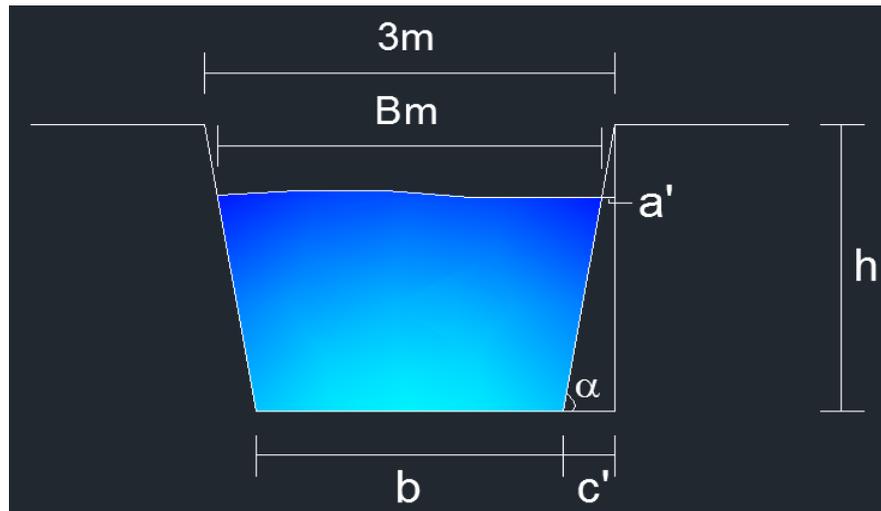


Figura 2. Caudal en el canal

Estimamos a' con la ecuación (4)

$$2 * a' = h - \text{altura del agua} \quad (4)$$

Donde

h : Altura del canal

$$2a' = 3m - 2,6m$$

$$a' = 0,2m$$

Ahora calculamos el ángulo " α "

$$\tan \alpha = \frac{0,20}{0,2}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

Con el valor del ángulo α estimamos el valor de " c' "

$$\tan \alpha = \frac{1,3}{c'}$$

$$c' = 0,8m$$

El valor de “b” lo obtenemos con el valor de “c”

$$2,6m - 2c' = b$$

$$b = 2,6m - 1,6m = 1 m$$

Área de un trapecio, se calcula con la ecuación 5.

$$A = (B_m + b) \left(\frac{h}{2} \right) \quad (5)$$

Donde:

A: Área de un trapecio (m²)

B_m: Base mayor (m)

b: Base menor (m)

h: Altura (m)

$$A = (2,6 m + 1 m) \left(\frac{1,3 m}{2} \right)$$

$$A = 2,34m^2$$

Para calcular el caudal, aplicamos la ecuación 6.

$$Q = VxA \quad (6)$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

A: Área de la Sección (m²)

V: Velocidad (s)

$$Q = 0,86 \frac{m}{s} \times 2,34m^2$$

$$Q = 2,0124 \frac{m^3}{s}$$

C. Calculo del caudal del centro poblado la Esperanza.

Tabla 3
Método del flotador en la Esperanza

Lanzamientos		
Tiempo 1	9,78	segundos
Tiempo 2	14,36	segundos
Tiempo 3	9,21	segundos
Tiempo 4	11,29	segundos
Tiempo 5	10,6	segundos
Tiempo 6	10,25	segundos
Promedio	10,84	segundos

Fuente elaboración propia

Primero realizamos los lanzamientos respectivos en el afluente y tomamos nota del tiempo que tarda en llegar del punto A (partida) al punto B (llegada), lo hacemos repetidas veces, luego determinamos el tiempo promedio sumando todos los tiempos y dividiéndolo entre el número de veces que se realizó este acto.

Tabla 4
Calculo del volumen para la quebrada la Esperanza

Cuadro de cálculo de volumen			
Sección	Área	Longitud (m)	Volumen (m^3)
1	1,05	0	0
2	0,85	6	5,72
3	0,93	6	5,36
4	0,85	6	5,36
Sumatoria de volumen			16,45

Fuente elaboración propia

Con estos datos obtenidos por medio del Excel y AutoCAD, lo siguiente es determinar el volumen de la quebrada la esperanza, por lo que se utiliza la ecuación 7.

$$V = \frac{\text{Area Sec}(n-1) + \text{Area Sec}(n)}{2} \times L \quad (7)$$

Dónde:

V : volumen (m^3)

Área sec : Área de sección

L : Longitud

Utilizando la ecuación (7) se obtuvo el volumen total.

Volumen total = $16,45 m^3$

Tiempo promedio = 10,84 s

El volumen estimado es de $16,45 m^3$ con un promedio de tiempo de 10.84 segundos.

Cálculo de caudal con la ecuación 8

$$Q = \frac{V}{t} \quad (8)$$

Dónde:

Q : Caudal

L : Velocidad

t : Tiempo

Reemplazando en la ecuación 8 los valores de volumen total y tiempo promedio.

$$Q = \frac{16,45 m^3}{10,84 s} = 1,52 \frac{m^3}{s}$$

El caudal estimado la para el afluente del centro poblado la Esperanza es de $1,52 \frac{m^3}{s}$.

D. Cálculo del caudal del centro poblado el Huaco

Tabla 5
Método del flotador en el Huaco

Lanzamientos		
Tiempo 1	8,04	Segundos
Tiempo 2	8,75	Segundos
Tiempo 3	13,23	Segundos
Tiempo 4	9,35	Segundos
Promedio	9,84	Segundos

Fuente elaboración propia

Primero realizamos los lanzamientos respectivos en el afluente y tomamos nota del tiempo que tarda en llegar del punto A (partida) al punto B (llegada), lo hacemos repetidas veces, luego determinamos el tiempo promedio sumando todos los tiempos y dividiéndolo entre el número de veces que se realizó este acto.

Tabla 6
Calculo del volumen en la quebrada del Huaco

Cuadro de cálculo de volumen			
Sección	Área	Longitud (m)	Volumen (m^3)
1	3,59	0	0
2	2,99	6	19,78
3	3,57	6	19,73
Sumatoria de volumen			39,51

Fuente elaboración propia

Para determinar el volumen aplicamos la formula número (7).

$$V = \frac{\text{Area Sec}(n - 1) + \text{Area Sec}(n)}{2} \times L$$

Dónde:

V : volumen (m^3)

Área sec : Área de sección

L : Longitud

$$\text{Volumen total} = 39,52 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo promedio} = 9,84 \text{ s}$$

El volumen estimado es de $16,45 \text{ m}^3$ con un promedio de tiempo de 10.84 segundos.

Cálculo de caudal

Aplicamos la ecuación 8 y reemplazamos los valores de volumen total y tiempo promedio.

$$Q = \frac{39,52 \text{ m}^3}{9,84 \text{ s}} = 4,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal estimado la para el afluente del centro poblado el Huaco es de $4,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

E. Cálculo para el diseño de la cuenca

Tabla 7

Diseño de la cuenca para generar energía eléctrica

	Modelo – 15 kW	Modelo – 30 kW	Modelo – 45 kW	Modelo – 60 kW	Modelo – 75 kW
Cabeza (<i>m</i>)	1,5 - 2	1,5 - 3	1,5 - 3	2 - 3	2 – 3,5
Caudal (m^3/s)	1,4 – 1,85	1,85 – 3,7	2,8 – 5,6	3,7 – 5,6	4 - 7
Generador eléctrico de potencia (<i>kVA</i>)	15	30	45	60	75
Anchura del pozo de la turbina (<i>a</i>)	1,5	2,15	2,25	2,25	2,5
Forma de cuenca			Espiral semicircular		
Diámetro máx. de la cuenca Db1 (<i>m</i>)	3,8	5,5	6	6,5	7
Diámetro mín. de la cuenca Db2 (<i>m</i>)
Altura de la cuenca Hb (<i>m</i>)	Cabeza – 0,6	Cabeza – 0,7	Cabeza – 0,8	Cabeza – 0,9	Cabeza - 1
Altura de salida Hc (<i>m</i>)	0,7	0,7	0,9	1	1.3
Dimensiones de la unidad central	1,5x1,5x1	2,15x2,15x1.2	2,25x2,25x,4	2,25x2,25x1,5	2,5x2,5x1,8
Tipo de generador	Generador de inducción sumergible trifásico refrigerado por agua			Generador de inducción refrigerado por agua trifásico o generador PM	
Relación de transmisión	16,2 (o personalizable)			16,2 o Disco directo	
Generador de voltaje nominal	380V Y ± 5%(IEC 60034-1)				
Generador de frecuencia nominal	50Hz ± 2%(IEC 60034-1)				
Tipo de control	Control de velocidad, seguimiento del punto de máxima potencia				
Wi (<i>m</i>)	1,5	2,3	2,5	2,5	2,2
Wo (<i>m</i>)	3,6	5,5	5,8	6,0	5,2

Fuente (Turbulent,2017)

3.2.2.2. Demostrar que la turbina de vórtice puede ser una alternativa adecuada ante la turbina pelton instalada en el distrito aledaño Huabal.

La turbina pelton instalada hace algunos años en el distrito de Huabal demostró que consta de grandes saltos o caídas de agua, lo cual implica construcciones de canales en diferencias de alturas, desde la bocatoma hasta la casa de máquinas, por consiguiente, costos adicionales para su implementación.

Por otro lado, las grandes revoluciones a las que trabaja el generador y las paletas es un indicador del desgaste de las mismas y un mantenimiento prematuro. Buscar un método adecuado u otro diseño que sea de mayor durabilidad y eficacia es en lo que está basado este proyecto, el cual es novedoso y mucho más económico.

3.2.2.2.1. Selección de la turbina más adecuada para generar energía eléctrica

La turbina hidráulica es el equipo encargado de transformar la energía hidráulica en energía mecánica. Para esto se aprovecha el cambio en la energía cinética y de presión que ocurre en el agua por su paso por los alabes de la turbina.

Las turbinas hidráulicas se clasifican por la variación de la presión estática del fluido sobre ella, siendo de presión constante turbinas de acción y de presión variable de reacción. Un segundo criterio de clasificaciones es el paso del flujo a través de la turbina, siendo esta de flujo axial, semi-axial, radial, tangencial, transversal o cruzado.

El tipo de turbina que mejor se desempeña es una central hidroeléctrica se seleccionan por medio de dos parámetros que son los rangos de aplicación específicos según el caudal y la altura disponible.

A. Turbina pelton.

Las turbinas pelton, conocidas también como turbinas de presión por ser ésta constante en la zona del rotor, de chorro libre, de impulsión, de admisión parcial por atacar el agua sólo una parte de la periferia del rotor.

Asimismo, entran en el grupo de las denominadas turbinas tangenciales y turbinas de acción. (Chile, 2014)

Es utilizada en saltos de gran altura (alrededor de 200 m y mayores), y caudales relativamente pequeños (hasta $10 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente).

Son de buen rendimiento para amplios márgenes de variación del caudal (entre 30 % y 100 % del caudal máximo).

Principios de funcionamiento de una turbina pelton

- La arista de los alabes corta al chorro de agua, seccionándolo en dos láminas de fluido, simétricas y teóricamente del mismo caudal.
- Estos chorros de agua inciden tangencialmente sobre el rodete, empujando a los alabes que lo forman, obteniéndose el trabajo mecánico deseado.
- Las formas cóncavas de los alabes hacen cambiar la dirección del chorro de agua, saliendo éste, ya sin energía apreciable, por los bordes laterales, sin ninguna incidencia posterior sobre los alabes sucesivos.
- De este modo, el chorro de agua transmite su energía cinética al rotor, donde queda transformada instantáneamente en energía mecánica.
- La aguja, gobernada por el regulador de velocidad, cierra más o menos el orificio de salida de la tobera, consiguiendo modificar el caudal de agua que fluye por ésta, a fin de mantener constante la velocidad del rotor, evitándose embalsamiento o reducción del número de revoluciones.
- Ventajas y desventajas

A continuación, se muestra algunas ventajas y desventajas del funcionamiento de una rueda pelton.

Tabla 8
Ventajas y desventajas de turbina pelton

Ventajas	Desventajas
Más robustas.	Altura mínima para su funcionamiento: 20 metros.
Menos peligro de erosión de los alabes.	Costo de instalación inicial.
Regulación de presión y velocidad más fácil.	El impacto ambiental es grande en caso de grandes centrales hidroeléctricas.
Mejores rendimientos a cargas parciales.	Requiere de múltiples inyectores para grandes caudales.
Infraestructura más sencilla.	
Gira con alta velocidad, entonces se puede conectar el generador en forma directa, sin pérdidas de transmisión mecánica.	

B. Turbina De Vórtice

La turbina de vórtice hace uso de las pequeñas corrientes que se forman para aprovechar la energía. La empresa escaba la tierra en el lateral del curso de agua y allí construye una especie de cuenca de concreto preformado. Donde se coloca un generador e impulsor en el fondo de esta cuenca.

Cuando están abiertas las compuertas, el agua del río entra por esta vía alternativa y la turbina comienza a funcionar a medida que se forma el remolino por culpa de la forma de las paredes. De esta forma la energía se produce ininterrumpidamente mientras el agua fluye por la desviación.

La turbina tiene una larga vida útil y no requiere mucho mantenimiento y la cuenca de hormigón puede resistir hasta cien años. Esta fuente de energía limpia funciona las 24 horas del día y es amigable para los peces y el medio ambiente en general. Los peces pueden nadar libremente, tanto en la cuenca, como en la turbina, donde sólo queda un vórtice de agua constante, sin ningún tipo de obstrucción en el canal.

Una turbina de vórtice se puede instalar en ríos, arroyos y canales, aprovechando el agua corriente para generar energía para hasta sesenta casas.

Tabla 9
Ventajas y desventajas de turbina de vórtice

Ventajas	Desventajas
<p>Requieren cabezas de agua muy pequeñas (1,5 m). En contraste, una micro turbina pelton opera con cabezas de 20 a 550 m.</p> <p>Diseño simple, bajo costo y poco mantenimiento requerido.</p> <p>Relativamente alta eficiencia (máximo 80 %).</p> <p>Menos impacto en el ecosistema, no interfieren con el paso de peces y otros animales.</p> <p>Debido a la baja velocidad del agua, pueden operar con agua contaminada o que arrastra pequeñas piedras, tierra y arena.</p>	<p>Las plantas hidroeléctricas que han sido construidas no suelen superarlos 100 kW.</p> <p>Es una tecnología relativamente reciente, por lo que se encuentra poco desarrollada</p>

3.2.2.3. Clasificación de las centrales de energía eléctrica

La clasificación de centrales hidroeléctricas es importante para poder determinar el tipo de central que estamos diseñando.

3.2.2.4. Por la potencia generada

Según (Sierra Vargas, Sierra Alarcón, y Guerrero Fajardo, 2017) por la cantidad de potencia generada tenemos la siguiente clasificación según la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía).

Tabla 10
Clasificación de las centrales hidroeléctricas

Potencia	Tipo	Bajo	Salto Medio	Alto
0.5 – 5 kW	Pico central	N.A.		
5 – 50 kW	Micro central	< 15	15-50	>50
50 – 500 kW	Mini central	< 20	20-100	>100
500 – 5000 kW	Pequeña central	< 25	25-130	>130

Fuente (Sierra Vargas, Sierra Alarcón, y Guerrero Fajardo, 2017)

3.2.2.5. Diseño del canal de agua

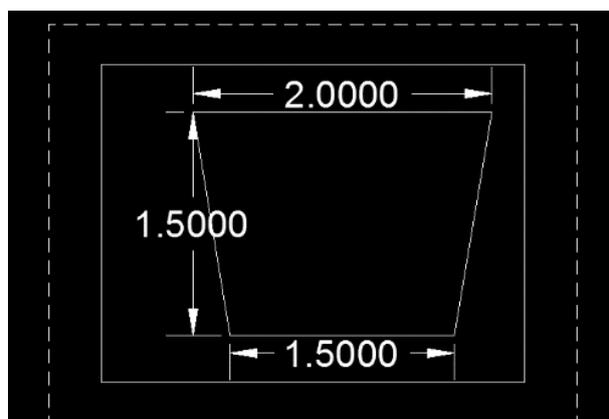


Figura 3. Diseño del caudal

Se calculó el área del canal con la ecuación 9.

$$A = (B_m + b) \left(\frac{h}{2} \right) \quad (9)$$

Donde:

A : área trapezoidal

B_m : Base mayor

b : base menor

h : altura

$$A = (2m + 1,5m) \left(\frac{1,5m}{2} \right)$$

$$A = 2,62m^2$$

Determinamos el caudal que necesita el canal con la siguiente ecuación, donde se multiplica la velocidad del fluido por el área del canal.

$$Q = VxA \tag{9}$$

Donde:

Q : caudal

V : velocidad

A : área transversal

$$Q = 0,76 \frac{m}{s} \times 2,62 m^2$$

$$Q = 1,99 \frac{m^3}{s}$$

El caudal estimado es de $1,99 \frac{m^3}{s}$.

3.2.3. Simulación la micro central hidroeléctrica mediante una turbina de vórtice al centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén.

La simulación de la turbina de vórtice se realizó en el programa Solidworks.

3.2.3.1. Diseño y simulación, cotas de la parte central donde va acoplada las paletas de la turbina.

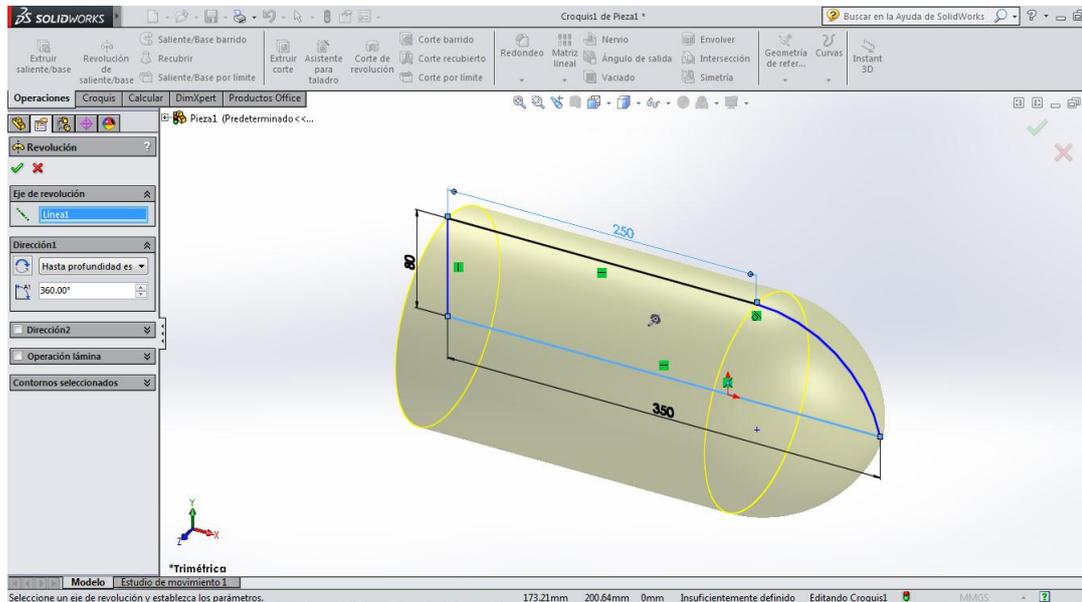


Figura 4. Croquis en plano alzado

Se realiza un croquis en plano alzado, y usando los comandos línea y tangente se traza la imagen que se está visualizando, por lo general se trabaja en milímetros; dependiendo de la hélice q se quiere obtener.

3.2.3.2. Recubrimiento en el eje

Se escoge sobre que eje se van a dar las revoluciones, por consiguiente, se obtiene el núcleo y el capacete de nuestra hélice.

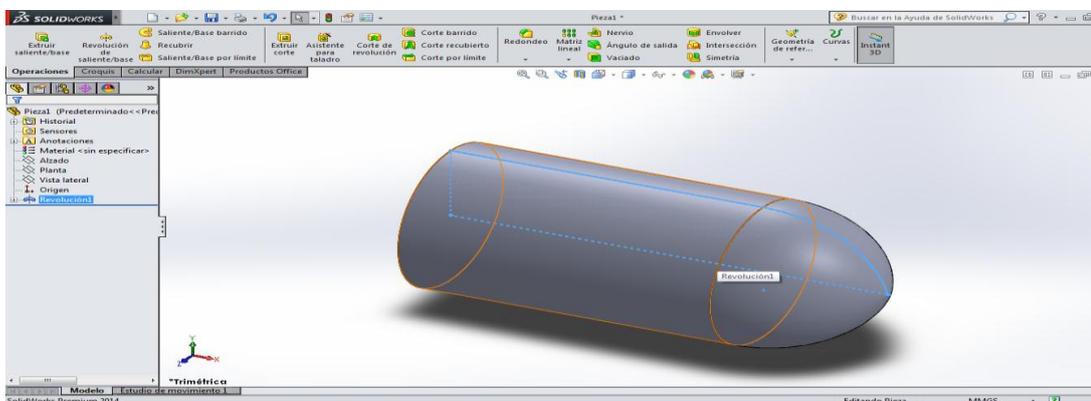


Figura 5. Recubrimiento del eje

3.2.3.3. Plano en planta a una cierta distancia del plano de diseño.

En este plano se elige los puntos donde se van a acoplar las paletas con el comando rectángulo tres puntos esquina

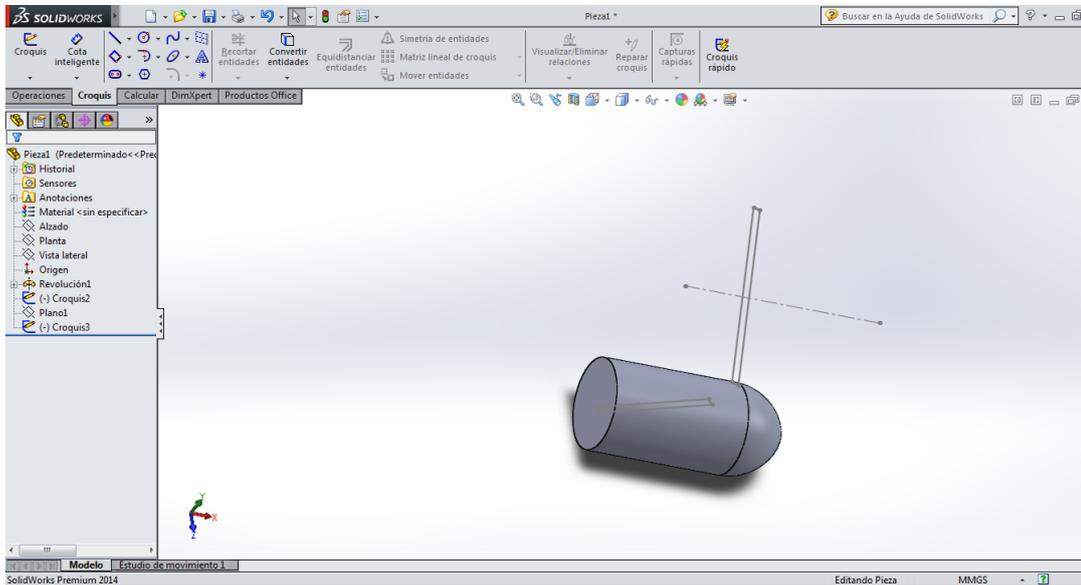


Figura 6. Acoplamiento de paletas

3.2.3.4. Recubrimiento de plano en planta con plano de diseño para dar origen a la paleta de turbina.

Se acota a nuestro eje para así originar una paleta acoplada como se observa en la imagen, tomando en cuenta siempre nuestro punto de referencia, el cual es nuestro plano de planta.

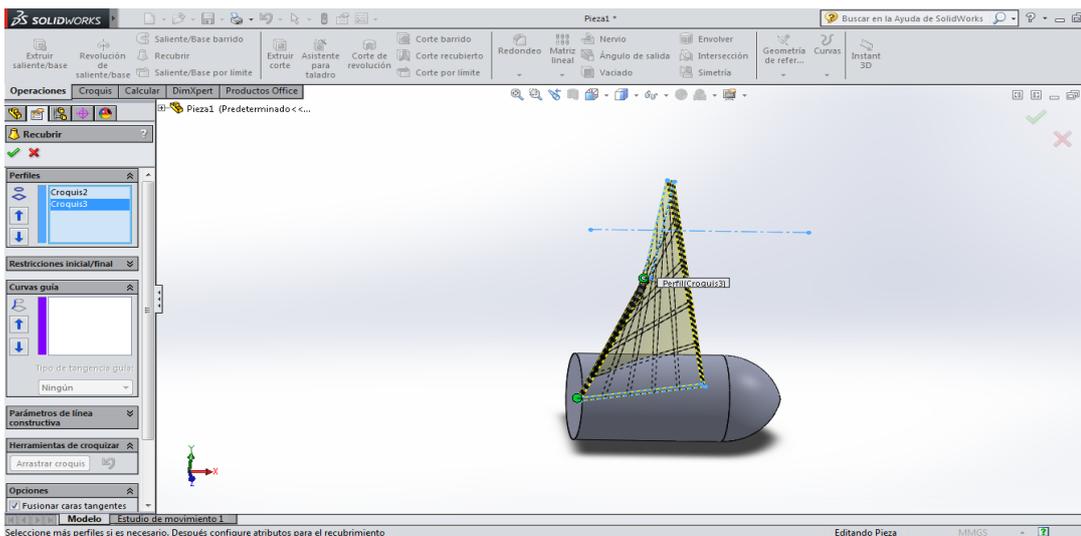


Figura 7. Recubrimiento de plano en planta

3.2.3.5. Aleta de forma rectangular.

Se traza una línea constructiva que atraviese el centro del núcleo del capacete lo cual sirve para poder acotar nuestra paleta y dar origen a la misma de nuestra hélice.

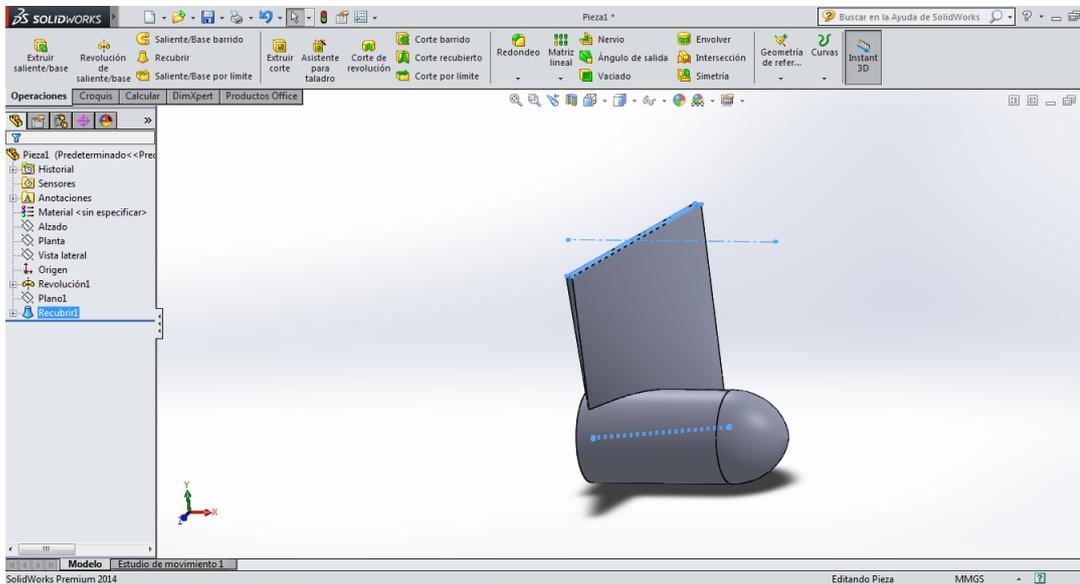


Figura 8. Aleta de forma rectangular

3.2.3.6. Redondeo de esquinas de la aleta.

Para darle forma a nuestra paleta se emplea la función redondeo donde se toma las esquinas de la paleta y se le da ciertos milímetros de radio a criterio de diseñador.

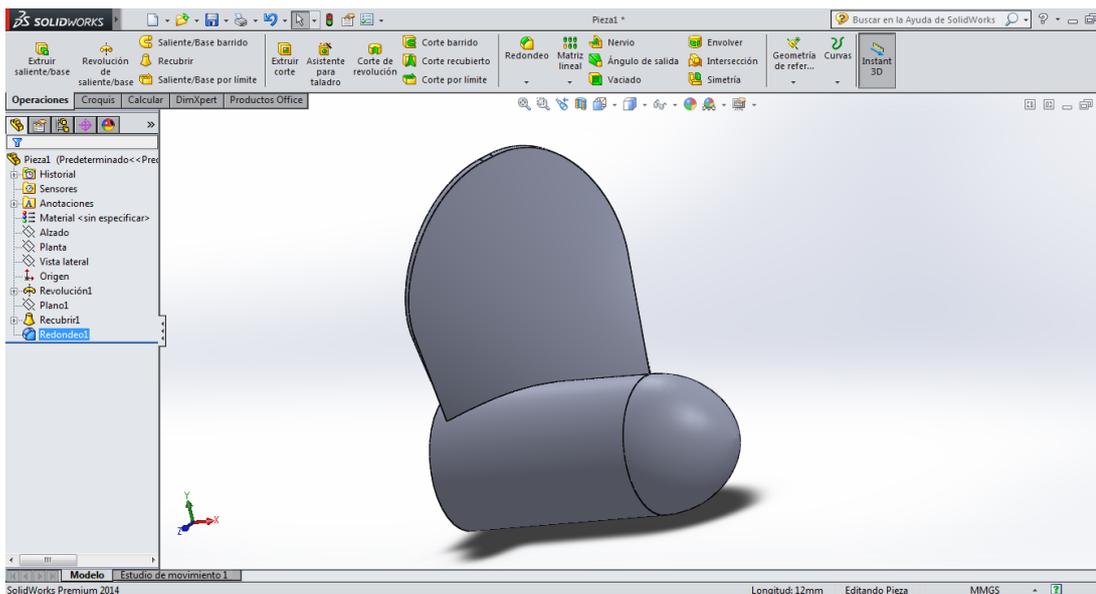


Figura 9. Redondeo de la esquina de la aleta

3.2.3.7. Redondeo de aleta en parte donde se acopla (paleta y eje tubular).

Con la función de redondeo en el programa se le da ciertos criterios o dimensiones en radios a la paleta, haciendo así adecuada al medio donde trabajara.

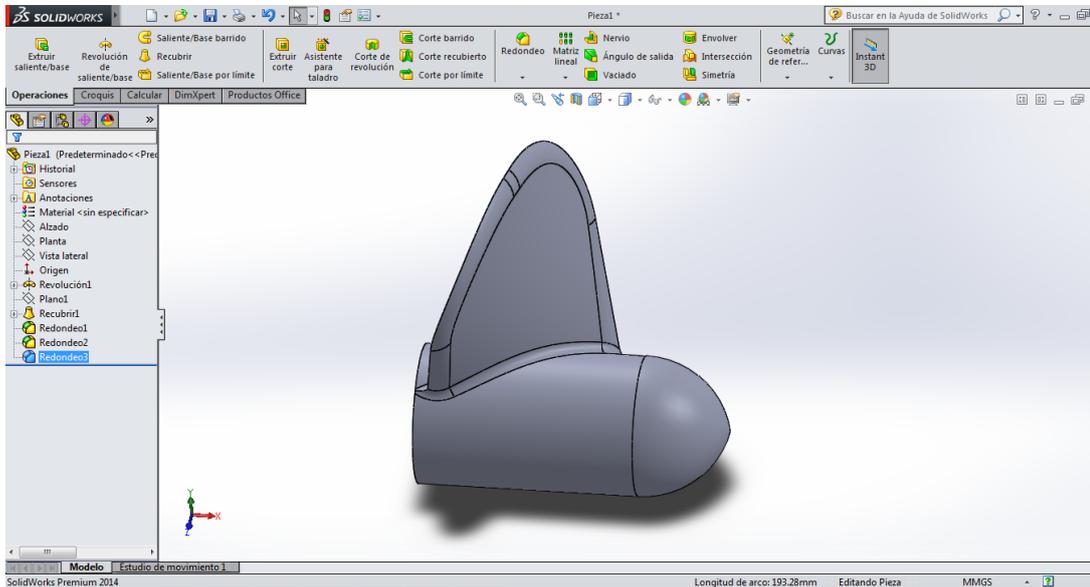


Figura 10. Redondeo de aleta y eje

3.2.3.8. Aleta de turbina.

Con la aleta diseñada a criterio, se da inicio a la selección de la parte cónica de la hélice y trabajar en plano con la misma.

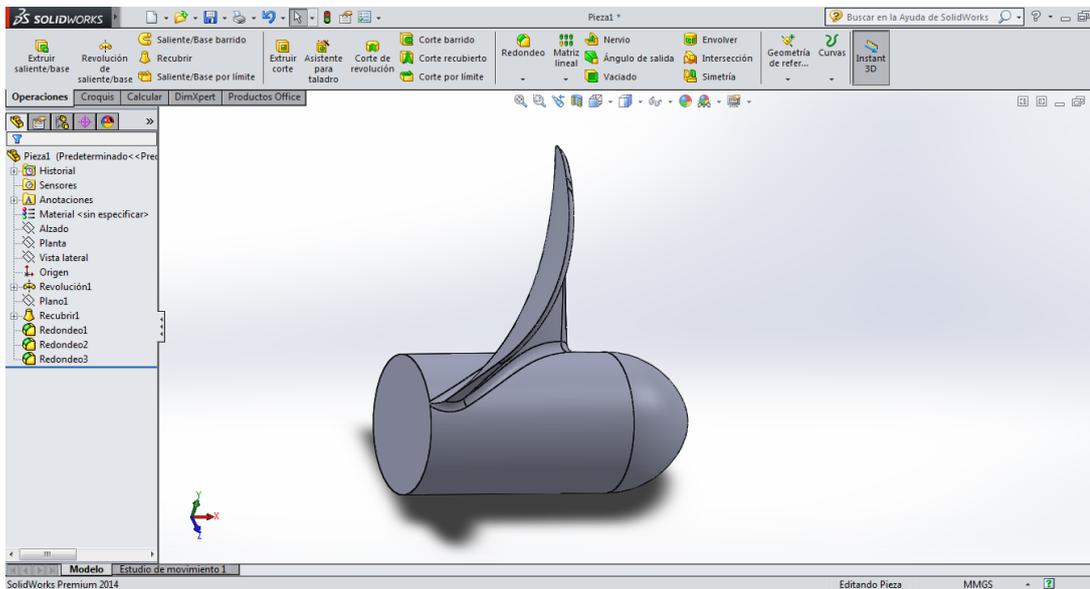


Figura 11. Aleta de turbina simulada

3.2.3.9. Extrudir corte de la parte tubular de la turbina a una cierta dimensión (diámetro).

Al darle profundidad para el acoplamiento del eje con el cual va a operar la hélice, se procede a realizar las demás hélices teniendo en cuenta sobre que cargas se va acoplar a nuestra matriz circular y determinar el número de aletas que se requiere en el diseño de la misma.

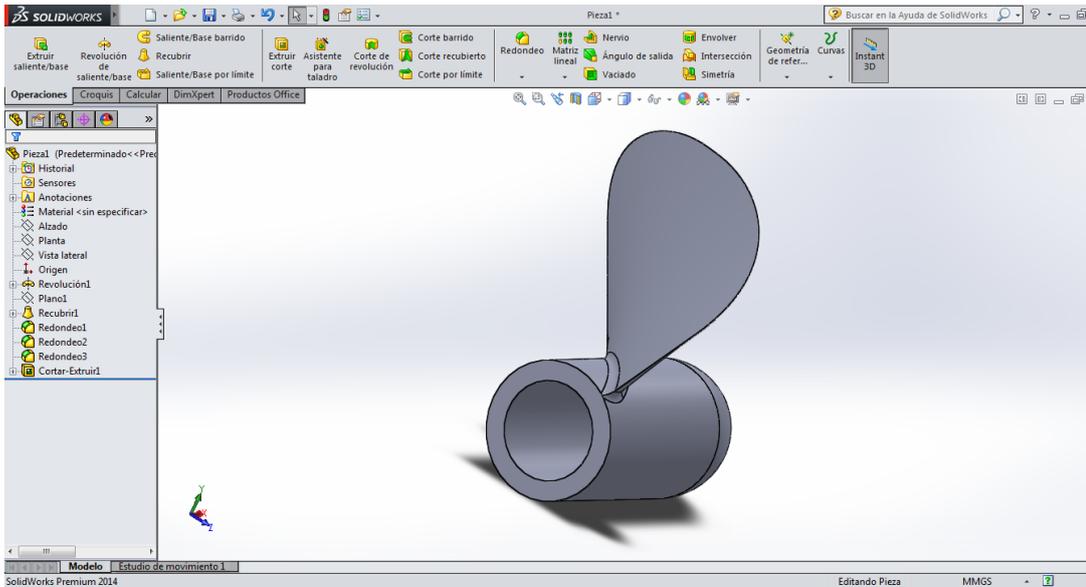


Figura 12. Extrudir la turbina

3.2.3.10. Turbina (vista de diferentes ángulos).

Una vez asignados los puntos en la matriz donde se va a trabajar, se determinó trabajar con 5 paletas a nuestra hélice de diseño.

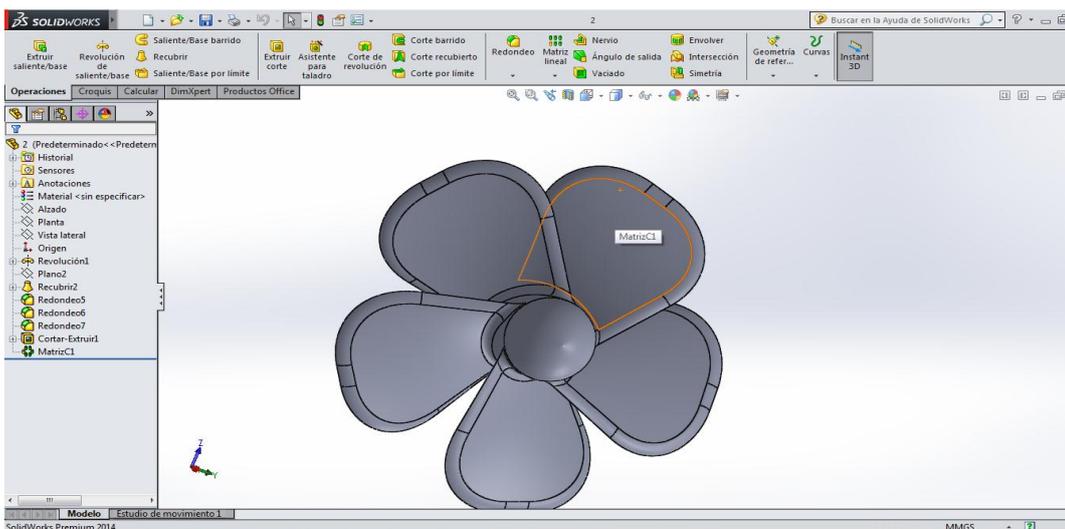


Figura 13. Turbina simulada total

3.2.4. Selección de equipo electromecánico

Los siguientes equipos electromecánicos son elegidos porque cumplen con las especificaciones técnicas de la turbina que se ha diseñado.

3.2.4.1. Generador Eléctrico

Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz (F.E.M.).

Se ha seleccionado el siguiente generador eléctrico, encontrado en el mercado internacional.

Las especificaciones del generador se muestran en la tabla 11.

Tabla 11
Generador eléctrico

Modelo	ARE-30 kW
Potencia nominal (W)	30 kW
Potencia máxima (W)	38 kW
Tensión nominal(V)	220 V/380 V/420 V (Se puede ajustar según sus requisitos)
Velocidad nominal rotatoria (r/m)	100 - 170 r/m
Peso neto superior (kg)	380 kg
Corriente de salida	AC
Par nominal (N * m):	842,6 N*m
Generador	Generador síncrono de imán permanente de 3 fases
Aislamiento de clase:	F
La vida de servicio:	Más de 20 años
Rodamiento	HRBO para su pedido
Material del eje	De hierro
Material de la carcasa	De acero al carbono
Imán permanente Material	De la tierra rara NdFeB
Clase de protección	IP68
Lubricación	Lubricación de grasa
Temperatura de trabajo	-40°C-80 °C

Fuente (Alibaba, 2019)

Características principales:

- Sin engranaje, accionamiento directo, generador de bajas r.p.m.
- Baja velocidad de arranque debido a un diseño de par resistente y bajo agarre
- Componentes de alta calidad para uso en entornos extremos y duros para turbinas eólicas
- Alta eficiencia y baja resistencia mecánica pérdida de energía
- Excelente disipación de calor debido al marco exterior de aleación de aluminio y a la estructura interna especial
- Alta resistencia de la estructura especialmente desy selecign y tratamiento de aluminio totalmente térmico
- El generador está diseñado con material especial y tratado para resistir la corrosión y la oxidación
- Diseñado para una vida útil larga y fiable con una salida completa a largo plazo
- Diseñado para una vida útil de 20 años
- Protegido por patente de diseño

3.2.4.2. Tablero eléctrico general

Un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica y adecuada dentro de un sistema eléctrico.

Por lo general, los equipos de protección y de control, así como los instrumentos de medición, se instalan en tableros eléctricos, por lo que su fabricación o ensamblaje deben cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados.

En una instalación eléctrica, los tableros son la parte principal porque albergan los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.

A. Características

En Baja Tensión (BT), se pueden clasificar de diferentes maneras, tales como:

- Por su diseño interior: abierto, frente muerto, cerrado.
- Por su lugar de instalación: uso interior y exterior.
- Por el modo de montaje: mural y auto-soportado.
- Por su ejecución: Fijo y extraíble.
- Por la posibilidad de desplazamiento: estático y móvil.
- Por la magnitud de los interruptores: bajo, mediano y bajo.

Tabla 12
Especificaciones técnicas del tablero general

Parámetros Eléctricos	Bajas Capacidades
Capacidad de Corriente (A)	63 – 100 – 160 – 200 – 250
Tensión (V)	220 – 380 – 440
Capacidad de Ruptura (kA)	85 – 50 – 42

Tabla 13
Parámetros eléctricos del tablero general

Parámetros Eléctricos	Medianas Capacidades
Capacidad de Corriente (A)	400 -630 – 800 – 1000 – 1250
Tensión (V)	220 – 380 -440
Capacidad de Ruptura	85 – 50 – 42

3.2.4.3. Transformador eléctrico

El transformador eléctrico se encontró en el mercado internacional teniendo las siguientes características principales.

A. Descripción:

ELECTRO BUSINESS	Hz 60
Potencia 35 kVA	Factor k 13
Tipo seco	Fuente (Alibaba, 2018)
Entrada 380 v / 220 v	
Salida 220 v / 380 v	
Fases 03	

3.2.5. Evaluar técnica y económica el proyecto

Tabla 14

Presupuesto estimado del canal y casa de máquinas

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Obra canal de derivación				
1.1	Volumen excavación	m3	50	S/ 17.43	S/ 871.35
1.2	Hormigón H-30	m3	20	S/. 196.32	S/ 3,926.48
1.3	Sistema de bombeo	m3/h	20	S/. 27.49	S/ 549.72
1.4	Mano de obra	m3/h	20	S/. 47.12	S/ 942.34
1.5	Base compactada	m3	9	S/. 26.36	S/ 237.28
1.6	Moldaje	m3	14	S/. 27.50	S/ 384.94
1.7	Armadura malla	m2	186	S/. 5.48	S/ 1,019.65
			Costo 1		S/ 7,931.76
2	Obra Casa de Máquinas				
2.1	Hormigón H-30	m3	3.51	S/. 196.32	S/. 689.10
2.2	Armadura Malla	m2	9	S/. 5.48	S/. 49.34
2.3	Volumen excavación	m3	1.8	S/. 17.43	S/. 31.37
2.4	Moldaje	m2	45.54	S/. 27.50	S/. 1,252.17
2.5	Techo (tabique pino 2"x3")	und	35	S/. 6.91	S/. 241.92
2.6	Techo (cubierta zinc alum 0,35 mm)	m2	15.79	S/. 9.76	S/. 154.03
			Costo 2		S/. 2,417.92
			Costo total		S/ 10,349.69

Tabla 15
Presupuesto estimado de la parte electro mecánica

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
3		Costo electromecánico			
3.1	Turbina de vortex	und	1	S/. 4056.00	S/. 4056.00
3.2	Generador ARE - 30 kW	und	1	S/. 10000.00	S/. 10000.00
3.3	Tablero eléctrico general	und	1	S/. 4950.00	S/. 4950.00
3.4	Transformador 25 kVA	und	1	S/. 5010.00	S/. 5010.00
		Costo Total			S/. 24016.00

IV. RESULTADOS

4.1. Centros poblados con afluente en la provincia de Jaén.

El número de centros poblados con afluente es de 20, todos los centros poblados podrían ser beneficiados con la turbina de vórtice. Como se muestra en la figura 13.

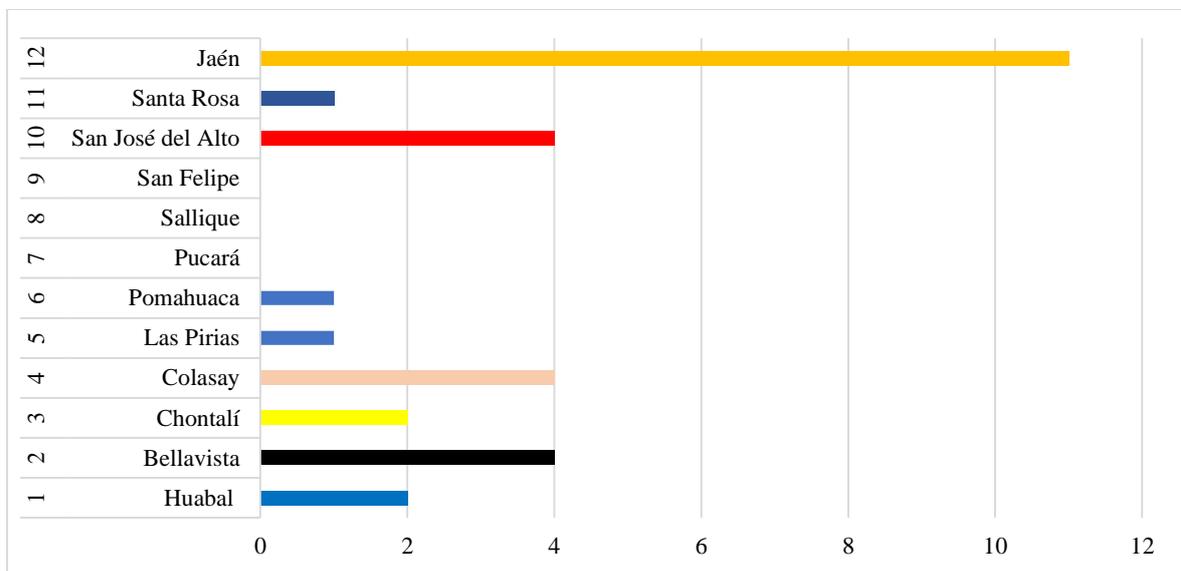


Figura 14. Número de centros poblados con afluente en cada distrito de Jaén

4.2. Determinar los caudales mínimos requeridos de los afluentes en los centros poblados para instalar una turbina de vórtice.

Los caudales estimados con el método del flotador, nos determinó el siguiente resultado.

Ver figura 14.

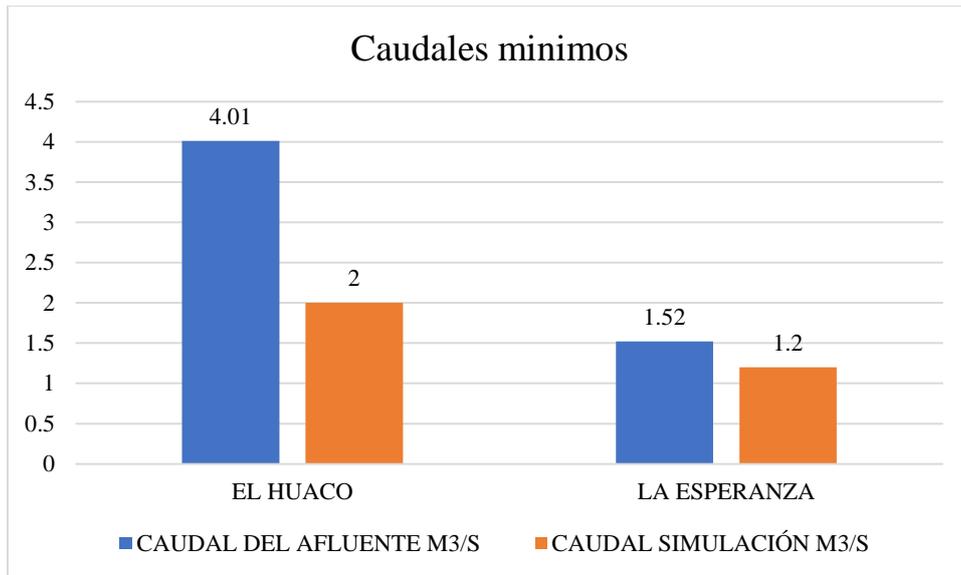


Figura 15. Caudales mínimos

4.3. Turbina de vórtice como mejor elección para generar eléctrica en centros poblados.

Requieren cabezas de agua muy pequeñas (1,5 m). En contraste, una micro turbina pelton opera con cabezas de 20 a 550 m.

Diseño simple, bajo costo y poco mantenimiento requerido.

Relativamente alta eficiencia (máximo 80 %).

Menos impacto en el ecosistema, no interfieren con el paso de peces y otros animales.

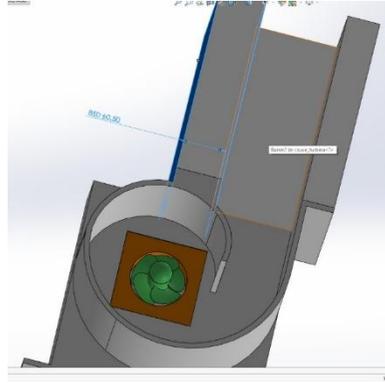
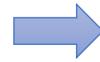
Debido a la baja velocidad del agua, pueden operar con agua contaminada o que arrastra pequeñas piedras, tierra y arena.

Se elige la turbina de vórtice como una de las mejores alternativas para su implementación en un futuro.

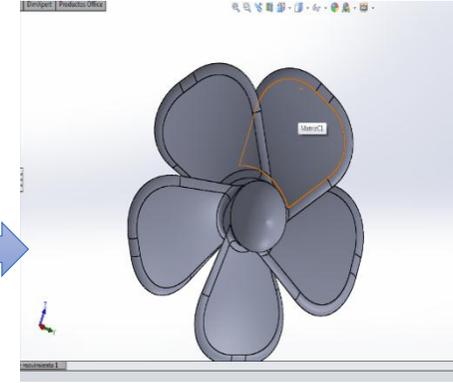
4.4. Micro central hidroeléctrica el Huaco



Afluente– Quebrada Oropel



Canal



Turbina



Generador



Tablero de control



Transformador

Figura 16. Mini central hidroeléctrica

V. DISCUSIÓN

- La propuesta de la micro central hidroeléctrica en el centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén mediante una turbina de vórtice es muy parecida a proyectos ya ejecutados como por ejemplo en Chile su flujo de 1,65 m³/s y produce 15 kW nuestro canal diseñado tiene un caudal de $1,995 \frac{m^3}{s}$, lo que permite el funcionamiento de la turbina de vórtice.
- El generador eléctrico seleccionado es ARE-30 kW, el cual tiene una potencia eléctrica de 30 kW, así mismo un transformador eléctrico trifásico de marca ELECTRO BUSINESS, estos equipos son extranjeros, esperamos que un futuro la tecnología peruana pueda fabricar equipos similares para obtener precios más decibles.
- Con los cálculos y el estudio que se hicieron se demuestra que la turbina de vórtice puede ser una alternativa adecuada, porque no requiere de construcciones con grandes saltos, es más duradera porque trabaja a revoluciones bajas que a su vez evita el desgaste prematuro de los alabes a diferencia de la turbina pelton ya instalada en el distrito aledaño Huabal.
- La energía generada en la micro central hidroeléctrica viene a ser una óptima opción puesto que su construcción es económica ya que su inversión al inicio llega a ser de S/35 865,69 y puede ser recuperada en un periodo de 6 años en su totalidad y cabe resaltar que su mantenimiento es barato para los beneficiados de estos centros poblados, esta estimación se puede mejorar si se realizara un estudio de pre factibilidad técnico económica.

VI. CONCLUSIONES.

- La micro central hidroeléctrica en el centro poblado el Huaco – Huabal – Jaén mediante una turbina de vórtice es viable porque cumple con las características que se requieren para poder instalar la micro central ya que el caudal de su quebrada es de $4m^3/s$ y según nuestra investigación estimada es de solo es requerido $2m^3/s$.
- Los centros poblados de la provincia de Jaén, los cuales de 33 solo 20 de estos centros poblados cuentan con afluentes y en algunos de ellos su accesibilidad topográfica es complicada de transitar con vehículos.
- El diseño de la micro central hidroeléctrica tiene un caudal de $1,995 \frac{m^3}{s}$, lo que permite el funcionamiento de la turbina de vórtice que se acoplara a un generador eléctrico seleccionado es ARE-30 kW, el cual tiene una potencia eléctrica de 30 kW, así mismo un transformador eléctrico trifásico de marca ELECTRO BUSINESS.
- La energía generada en la micro central viene a ser una óptima opción puesto que su construcción es económica ya que su inversión al inicio llega a ser de S/ 35 865.69 y puede ser recuperada en un periodo de 6 años en su totalidad y cabe resaltar que su mantenimiento es barato para los beneficiados de estos centros poblados.

VII.RECOMENDACIONES

- A la empresa encargada de realizar el estudio y ejecución del proyecto se le recomienda que para la instalación de los equipos electromecánicos contar con personal calificado, con experiencia en este tipo de trabajos.
- El personal encargado de la micro central para el centro poblado el Huaco, tiene que ser calificado se con el fin de aumentar la vida útil de, además deben seguir un plan de mantenimiento, de seguridad y protección.
- A la empresa encargada de realizar el estudio y ejecución del proyecto se recomiendo considerar para la protección de la micro central instalar rejillas metálicas tanto para el canal de conducción y la cabeza donde va instalada la turbina, a fin de evitar cualquier tipo de accidentes y además de equipar a la micro central con luces de emergencia tipo LED con baterías de carga, como prevención en caso de una falla inesperada del equipo de generación durante horas de la noche.
- El personal encargado de la central hidroeléctrica debe implementar un programa de eficiencia energética dentro de la estación, para motivar a los usuarios a hacer un uso responsable y racional de la energía disponible.
- Los estudiantes de pregrado y egresados se les recomienda promover el desarrollo de nuevos trabajos finales de investigación en los que se desarrolle formas de aprovechamiento para la energía disipada en las cargas secundarias de control de la micro central, tales como des humidificación de cuartos, calentamiento de agua, entre otros.
- Para el diseño de micro centrales hidroeléctricas, el diseñador debe de realizar un trabajo en forma integral, considerando los diferentes elementos de una planta hidroeléctrica como un todo, en una construcción simple, mientras que, en plantas hidroeléctricas de mayor capacidad, existe una especialización en cada área por separado.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alibaba. (2018). A.transformador Trifasico 20 Kva 220/380/440 V - S/ 2.000,00 en Mercado Libre. Recuperado 21 de agosto de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-428590355-atransformador-trifasico-20-kva-220380440-v-_JM?quantity=1
- Alibaba. (2019). Viento Bajas Revoluciones Turbina Hidráulica Uso 5kw 10kw 15kw Trifásico Generador De Imán Permanente Pmg También Llamado 3 Generador Trifásico - Buy 3 Fase Generador 10kw Generador Generador 10kw Product on Alibaba.com. Recuperado 21 de agosto de 2019, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/low-rpm-wind-turbine-hydro-use-5kw-10kw-15kw-three-phase-permanent-magnet-generator-pmg-also-called-3-phase-generator-60528998156.html?spm=a2700.8699010.normalList.22.1ae41d17xHQh4S>
- Céspedes, A. M. D. E., Cerezal, S., Carlos, J., Amado, A., y Céspedes, M. D. E. (2012). *Aprovechamiento residual tratada de la estación depuradora del barrio de buenos aires , santa cruz de tenerife.*
- Ceupe. (2019). Turbinas hidráulicas. Recuperado 20 de mayo de 2019, de <https://www.ceupe.com/blog/turbinas-hidraulicas.html>
- Chile, C. de computo. (2014). Turbina Pelton. Recuperado 21 de agosto de 2019, de <http://turbina-pelton-angy-yara.blogspot.com/>
- Damian, X. leonardo C. C., y Quezada, C. L. (2011). *Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de cuenca.* 155. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>
- Ecoinventos. (2018). Una turbina hidráulica capaz de generar 10 MW sin dañar a los animales. Recuperado 20 de mayo de 2019, de <https://ecoinventos.com/turbina-hidraulica-capaz-de-generar-10-mw-sin-danar-a-las-especies-marinas/>
- ElevationMap.net. (2019). Cajones, Huabal, Jaén, Perú en el Mapa de Elevación. Mapa

- topográfico de Cajones, Huabal, Jaén, Perú. Recuperado 21 de agosto de 2019, de <https://elevationmap.net/cajones-huabal-jaen-pe-1006417444>
- Minagri. (2015). *Manual N ° 5 Medición de agua*. 4. Recuperado de minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf
- Municipalidad distrital de Huabal. (2019). La Esperanza, Huabal, Jaén, Perú on the Elevation Map. Topographic Map of La Esperanza, Huabal, Jaén, Perú. Recuperado 21 de agosto de 2019, de <https://elevationmap.net/la-esperanza-huabal-jaen-pe-1006435612>
- Prieto, W. (2016). *Municipalidad Provincial de Jaen*. Recuperado de http://www.munijaen.gob.pe/documentos/coprosec/plan_provincial_seguridad_ciudad_ana_jaen_2016.pdf
- Sanchez, T., y R, E. (2012). *Microcentrales hidroeléctricas*. 1-24. Recuperado de http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/130bib_arch.pdf
- Sierra Vargas, F. E., Sierra Alarcón, A. F., y Guerrero Fajardo, C. A. (2017). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. *Informador Técnico*, 75(November). <https://doi.org/10.23850/22565035.22>
- Solidworks. (2019). Software de diseño CAD 3D. Recuperado 21 de agosto de 2019, de <https://www.solidworks.com/es>
- Turbulent. (2015). *Planta micro hidroeléctrica creada en Bélgica para aprovechar la energía renovable de las corrientes de poca altura*. Recuperado de <https://www.ideassonline.org/public/pdf/turbulentturbine-esp.pdf>
- Turbulent. (2016). *Decentralized hydropower inspired by nature brochure*.
- Turbulent. (2018). Turbulent | Technology. Recuperado 20 de mayo de 2019, de <https://www.turbulent.be/technology>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Simulación del canal y la turbina de vórtice

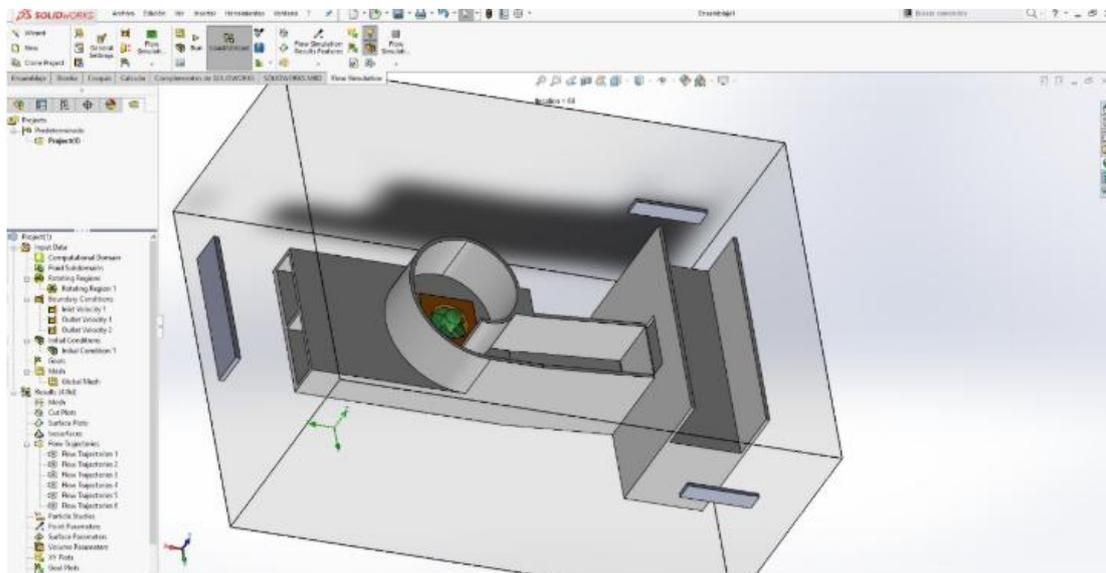
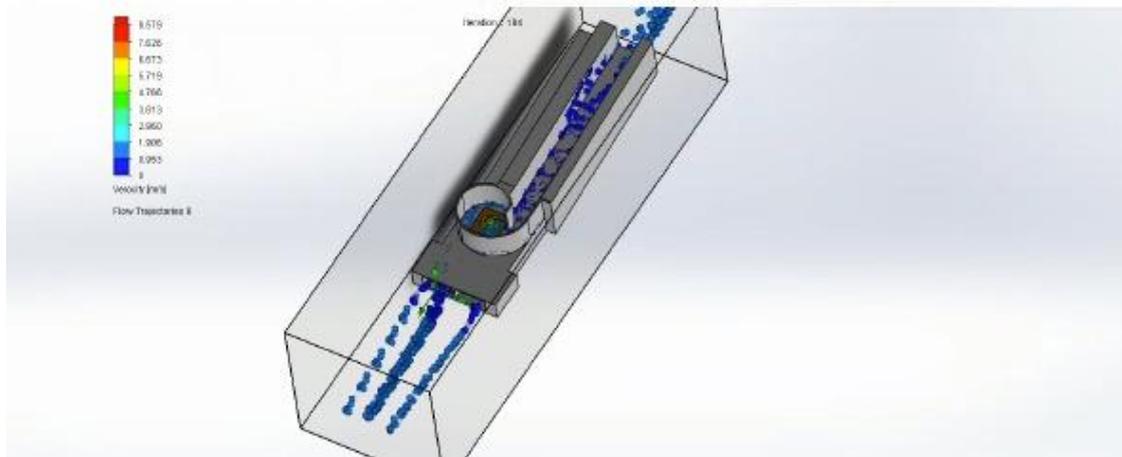


Figura 17. Simulación del canal y turbina de vórtice

Anexo 2. Diagrama unifilar de la micro central hidroeléctrica

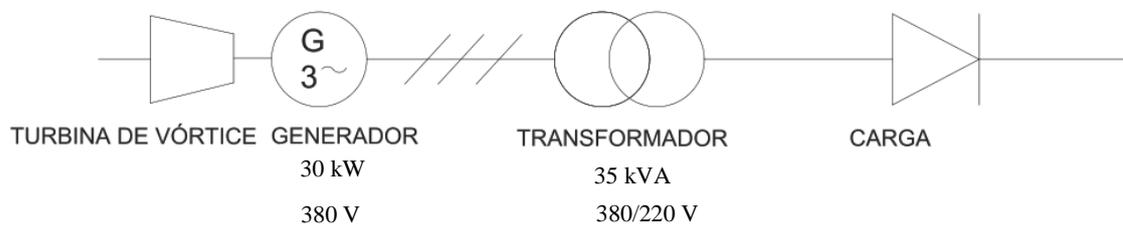


Figura 18. Diagrama unifilar de la micro central hidroeléctrica

Anexo 3. Generador eléctrico



Figura 19. Generador eléctrico

Anexo 4. Transformador eléctrico



Figura 20. Transformador eléctrico

Anexo 5. Método del flotador

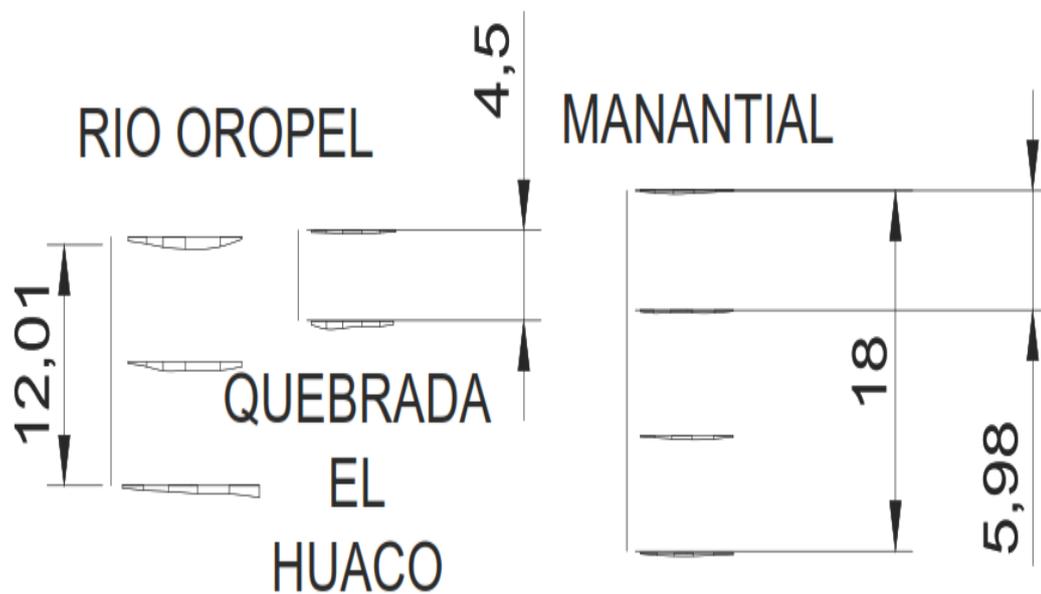


Figura 21. Método del flotador

Anexo 6. VAN Y TIR del proyecto

Flujo de caja proyectada en soles

"Micro central hidroeléctrica el Huaco "

Descripción	Año "0"	Año "2020"	Año "2021"	Año "2022"	Año "2023"	Año "2024"
A.Caja inicial	s/ -	-s/ 26,535.69	-s/ 4,035.69	s/ 18,464.31	s/ 40,964.31	s/ 63,464.31
B. Total ingresos						
Ingreso por ahorro de energía	s/ -	s/ 24,000.00	s/ 24,000.00	s/ 24,000.00	s/ 24,000.00	s/ 24,000.00
C. Egresos						
Obra canal de derivación	S/7,931.76	S/-	S/-	S/-	S/-	S/-
Obra casa de máquinas	S/2,417.92	S/-	S/-	S/-	S/-	S/-
Costo electromecánico	S/24,016.00	S/-	S/-	S/-	S/-	S/-
Operación y manteniendo	S/1,500.00	S/1,500.00	S/1,500.00	S/1,500.00	S/1,500.00	S/1,500.00
C. Total de egresos	S/35,865.69	-S/1,500.00	-S/1,500.00	-S/1,500.00	-S/1,500.00	-S/1,500.00
D. Saldo económico	-S/35,865.69	S/22,500.00	S/22,500.00	S/22,500.00	S/22,500.00	S/22,500.00
Saldo acumulado	-S/35,865.69	-S/13,365.69	S/9,134.31	S/31,634.31	S/54,134.31	S/76,634.31
Tasa de descuento		10.0%				
VAN	S/	49,427.02				
TIR		56%				

Anexo 7. Quebrada el Huaco



Figura 22. Quebrada el Huaco

Anexo 8. Quebrada la Esperanza



Figura 23. Quebrada la Esperanza