



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**

Diseño de la central hidroeléctrica para el centro poblado La Grama, distrito Eduardo Villanueva, Provincia San Marcos, Departamento Cajamarca

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Ramirez LLajaruna, Erick Anthony (orcid.org/0000-0002-7423-602X)

**ASESOR:**

Dr. Julca Verastegui, Luis Alberto (orcid.org/0000-0001-5158-2686)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**TRUJILLO – PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mí madre: Angela LLajaruna Osorio quien es mi pilar para seguir adelante con el objetivo trazado, ella me apoyo en todo este proceso de enseñanzas que nuestra alma mater nos mostró por lo que estamos culminando nuestra formación educativa y formando carácter profesional adecuado con las expectativas que nuestros docentes nos han inculcado.

A mis tíos, tías y primos por haber estado ahí en cada momento que estaba en la universidad y haberme apoyado en todo el tiempo que estuve en la universidad

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradecer a Dios, por haberme dado la fuerza e inteligencia para poder afrontar todos los retos que me proponía a través de toda la carrera y darme la fuerza para no poder rendirme.

A mi familia, en especial a mi madre Angela LLajaruna Osorio, que gracias a ella que por todo el esfuerzo que hizo para lograr que culmine mi carrera de manera satisfactoria.

A mis docentes, los cuales me inculcaron los conocimientos necesarios para poder sobresalir a través de la carrera, contando con su apoyo en cada momento.

A mis amigos y compañeros que conocí a lo largo de la carrera, que en cada momento de dificultad me apoyaron a seguir adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDOS	
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT.....	X
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. PARTES DE UNA TURBINA HIDRAULICA.....	8
2.2. TIPOS DE TURBINAS.....	8
III. METODOLOGÍA .....	13
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	13
3.2. Variables y operacionalización .....	13
3.3. Población y muestra .....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	15
3.5. Procedimientos.....	16
3.6. Método de análisis de datos .....	17
3.7. Aspectos éticos .....	17
IV. RESULTADOS.....	17
4.1.Evaluación de demanda máxima .....	17
4.2.Evaluación de caudal promedio .....	18
4.2.1.Caudal más alto.....	20
4.2.2.Caudal promedio .....	20
4.2.3.Caudal bajo.....	21
4.3.Calculo de altura .....	22
4.3.1.Calculo con el caudal más alto .....	22
4.3.2.Calculo con el caudal promedio .....	23

4.3.3.Calculo con el caudal bajo .....	25
4.4.Selección y dimensionamiento de la turbina: .....	26
4.4.1.Dimensionamiento de la turbina Michell Banki.....	26
4.4.2.Dimensionamiento de turbina Kaplan:.....	42
4.5.Posible ubicación de la central hidroeléctrica:.....	54
4.6.Selección del generador .....	55
4.7.Análisis económico .....	55
V.    DISCUSIÓN.....	60
5.1.Máxima demanda .....	60
5.2.Calculo de caudal .....	61
5.3.Para el cálculo de la altura de diseño.....	62
5.4.Diseño de la turbina hidráulica .....	63
5.5.Selección del generador .....	64
5.6.Análisis económico .....	64
VI.    CONCLUSIONES .....	64
VII.    RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS .....	67
ANEXOS.....	71
Anexo 1: Normativa sobre demanda de energía eléctrica.....	72
Anexo 2: Cantidad de población .....	72
Anexo 3: Tasa de crecimiento poblacional.....	73

Anexo 4: Máxima demanda proyectada.....	74
Anexo 6: Mapa de indeci.....	76
Anexo 7: Diagrama altura vs caudal .....	77
Anexo 8: Turbina kaplan .....	78
Anexo n°9: Disposición de la turbina.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabala1. (Juan Aponte, Marvin Cubias, Alfredo Portillo, William Romero, 2011) .....	10
Tabla2. (Juan Aponte, Marvin Cubias, Alfredo Portillo, William Romero, 2011)11	
Tabala3. (Juan Aponte, Marvin Cubias, Alfredo Portillo, William Romero, 2011) .....	11
Tabla 4. Varíales de diseño.....	14
Tabla 5. Tabla de recolección de datos.....	15
Tabla N° 6: tipo de localidad y cantidad de energía asignada .....	18
Tabla de selección de numero de álabes del rotor (Fuente INE).....	29
Tabla de ángulos característicos del álabe (Fuente INE) .....	33
Tabla de ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje X (Fuente INE) .....	35
Tabla de factor de corrección del esfuerzo máximo en el álabe (Fuente INE). 37	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen N°1: ubicación de la central hidroeléctrica .....	54
--	----

## RESUMEN

La presente investigación, está basada en el dimensionamiento y selección de una turbina hidráulica, para un central hidroeléctrico, la cual va a satisfacer la demanda eléctrica del centro poblado la Grama – San Marcos – Cajamarca, en donde podremos determinar algunos indicadores, para determinar su máxima demanda, dicha localidad se encuentra cerca al río Crisnejas, de donde se tomaron en cuenta los datos para poder determinar el caudal de diseño óptimo. Donde nuestra metodología, es de enfoque cuantitativo de tipo aplicada y diseño no experimental, que para la recolección de datos no basamos en la página de SENAMHI, que nos brindó los distintos caudales (107.97, 15, 2 m<sup>3</sup>/s); como una máxima demanda proyectada a 20 años, pudimos obtener 500 KW, logrando obtener alturas para cada caudal, obteniendo que los 2 m<sup>3</sup>/s son suficientes para poder generar esa cantidad de energía eléctrica, con una altura optima de 5 m, pero lo cual tenemos una inversión de S/. 410503.43 y un costo de operación anual de S/ 81,936.00, teniendo en cuenta que al estar la central hidroeléctrica las 24 horas funcionando, tenemos ingresos del S/. 77400 mensual y S/. 928800 soles anuales, la cual en un año tendríamos el retorno de nuestra inversión inicial.

**Palabras clave:** Central hidroeléctrica, máxima demanda, caudal

## **ABSTRACT**

The present investigation is based on the sizing and selection of a hydraulic turbine, for a hydroelectric plant, which will satisfy the electrical demand of the town center La Grama - San Marcos - Cajamarca, where we can determine some indicators, to determine its maximum demand, this town is close to the Crisnejas river, from which the data was taken into account to determine the optimal design flow. Where our methodology is of a quantitative approach of an applied type and non-experimental design, which for data collection we did not base on the SENAMHI page, which gave us the different flows (107.97, 15, 2 m<sup>3</sup>/s); As a maximum demand projected to 20 years, we were able to obtain 500 KW, managing to obtain heights for each flow, obtaining that the 2 m<sup>3</sup>/s are enough to be able to generate that amount of electrical energy, with an optimal height of 5 m, for which we have an investment of S/. 410503.43 and an annual operating cost of S/ 81,936.00, taking into account that since the hydroelectric plant is running 24 hours a day, we have income of S/. 77400 monthly and S/. 928,800 soles per year, which in one year we would have the return of our initial investment.

**Keywords:** Hydroelectric power station, maximum demand, flow

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente cuenta con problemas de energía eléctrica, en donde se les corta la energía de manera irregular, la cual no favorece al crecimiento económico y social, por lo que los mismos pobladores deben agenciarse de otros instrumentos para poder tener energía eléctrica, ya sea con grupos electrógenos o baterías, lo cual no les resulta económicamente a los pobladores de la localidad por lo este trabajo de investigación se desarrolló con una guía en conocimiento del diseño de una turbina hidráulica, que usa la fuerza del agua para generar una energía renovable, el estudio estuvo enfocado al diseño y simulación de las partes importantes de la turbina como el rotor, el inyector, los alabes, etc. Con la ayuda de los dimensionamientos que se generen mediante los cálculos se pudo lograr este diseño. Ya que nos basaremos en las ventajas que nos brinda la ubicación geográfica de la localidad, la cual nos brindó los datos necesarios para poder concluir la investigación, con esta ayuda se logró contribuir a proteger al planeta, reduciendo las emisiones de los gases invernaderos que tanto dañan a nuestro ecosistema y así incentivamos a una costumbre de utilizar energías limpias y renovables provenientes de la fuerza de los ríos.

Las turbinas hidráulicas son máquinas que transforman energía mecánica producida por el caudal de agua a energía eléctrica lo cual consta de un sistema de cuchillas. (Turbina Hidroeléctrica [Enel Gren Power])

Dentro de los países industrializados, que pueden ser países en vías del desarrollo, los cuales aprovechan la generación de energía eléctrica con respecto al diseño de centrales hidroeléctricas. (Manual de pequeña hidráulica, 1998)

De acuerdo a lo expuesto anteriormente nos planteamos la siguiente pregunta, ¿Cuáles serían las características del dimensionamiento de una turbina hidráulica para satisfacer la demanda eléctrica del centro poblado la grama? Se ha optado por conseguir esta energía eléctrica

de una manera renovable la cual no afecte a los seres vivos así mismo como para el planeta, esto ha llevado hacer un estudio obteniendo diversas maneras de conseguir esta materia sin utilizar los combustibles fósiles que se usan, este estudio se plantea obtener los mejores resultados y avalar un crecimiento estable y garantizar una fuente de energía alternativa, lo que se conoce como energía renovable

Con el pasar de los tiempos la demanda de energía ha ido en crecimiento, por lo cual se ha optado por conseguir energías renovables y no usando combustibles fósiles para la obtención de energía eléctrica, la cual generan una gran contaminación, como una escasez del combustible, esto genera un gran problema en el medio ambiente que afecta a todos los seres vivos en este planeta, como en la actualidad se pueden observar los cambios climáticos que estamos pasando en el actualidad, el aumento de la temperatura en ciertos lugares del planeta y en temperaturas baja en otros lugares; para 2026, se pronostica que la capacidad mundial de electricidad renovable incrementará más del 60% a partir de los niveles de 2020 a bastante más de 4800 gw, lo cual equivale a la capacidad energética universal total de hoy de combustibles fósiles y nuclear combinados. (La vanguardia, Las energías renovables baten este año nuevo récord de crecimiento mundial)

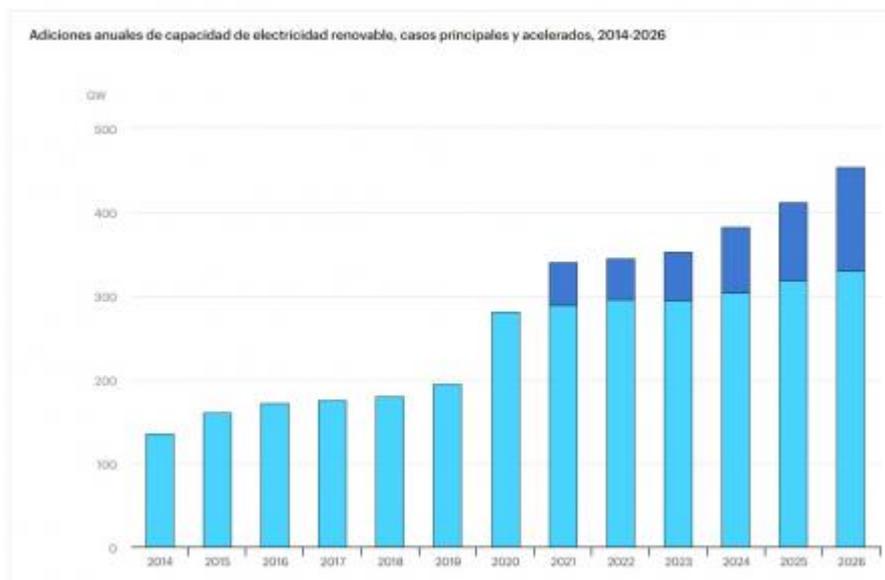


Figura N°1. Crecimiento de la potencia de energías renovables. En azul claro los datos registrados y la tendencia de crecimiento estándar, En azul oscuro, tendencia de crecimiento más favorable. (AIE)

De acuerdo a lo expuesto anteriormente se optó por conseguir la energía eléctrica de una manera más segura tanto como para los seres vivos como para el planeta, lo que nos ha llevado hacer un estudio obteniendo diversas maneras de conseguir energía eléctrica sin utilizar los combustibles fósiles que común mente se usan, en este estudio se plantea obtener los mejores resultados y avalar un crecimiento estable para así garantizar una fuente de energía alternativa, lo que se conoce como energía renovable, que como ejemplo tendríamos la solar, eólica e hidráulica, que en el presente trabajo se realizara un estudio el cual se basara en poder generar energía eléctrica mediante la generación de una turbina hidráulica.

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo diseñar y simular el funcionamiento de la turbina hidráulica, con el propósito de aprovechar la fuerza del agua para poder transformar la energía mecánica en energía eléctrica, ya que actualmente en el centro poblado se encuentra un fluyente de agua, la cual tuvo un caudal máximo fue de 310.06 m<sup>3</sup>/s, y un mínimo de 56.29 m<sup>3</sup>/s y un promedio mensual de 164.71 m<sup>3</sup>/s

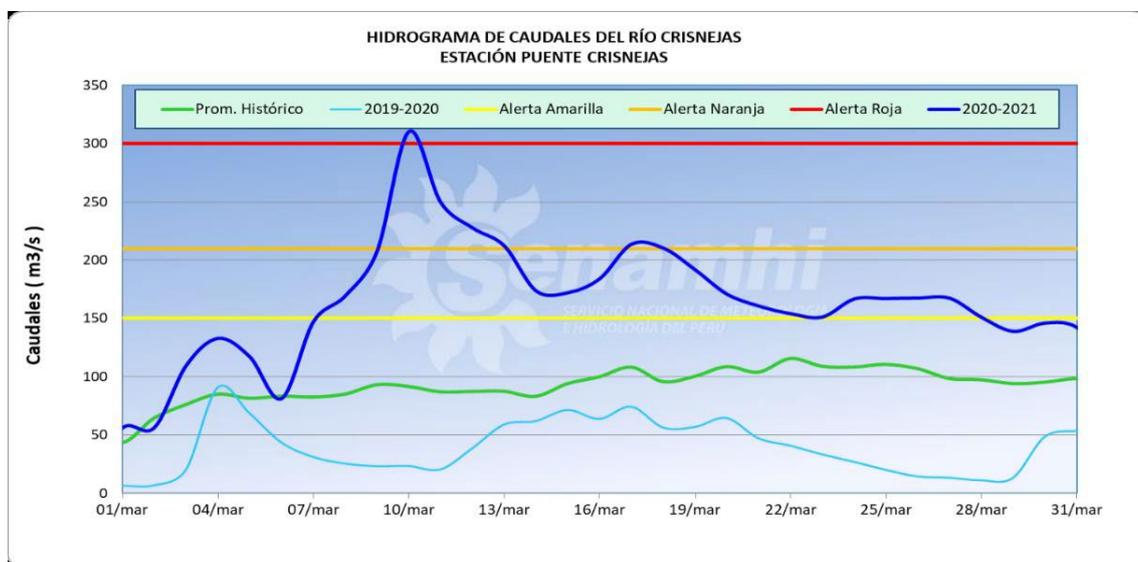


Figura N°2. Hidrograma del Río Crisnejas

Dentro de las turbinas hidráulicas existen diferentes tipos, empezando por el grado de reacción; como son las turbinas axiales, turbinas radiales – axiales y turbinas tangenciales; también se basan en su reactividad, como las cuales son de acción y reacción. (turbinas hidráulicas [Área tecnología])

Para el estudio de este diseño se ha optado en recolectar datos del afluente del río crisnejas lo cual nos permite lograr el estudio y diseño deseado, obteniendo una simulación en la que se pueda visualizar y garantizar si el estudio es fiable. Obteniendo un beneficio social, ya que actualmente en dicho centro poblado cuenta con cortes intermitentes de energía eléctrica, la cual no ayuda al progreso de dicha localidad, de otra manera al presentar este proyecto, se puede beneficiar para poder seguir adelante en centro poblado, por otro lado en el ámbito económico se realizara un crecimiento notable, con respecto al diseño, siguen una línea de investigación, esta inicia con el marco teórico lo cual nos permite entender y abordar los siguientes capítulos de dicho proyecto.

Una vez obtenidos los datos de caudal y altura de la fuente del río, se pudo realizar el estudio para poder dimensionar la turbina hidráulica, con cada uno de sus componentes internos; aplicando software para visualizar el funcionamiento de la turbina hidráulica. La cual nosotros obtuvimos como objetivo general diseñar la central de generación para el centro poblado de la grama, el cual nos brindó los datos necesarios para poder realizar el desarrollo de dicho proyecto y como objetivos específicos podemos obtener; determinar la máxima demanda de la localidad, el determinar el caudal permanente del río crisnejas, diseñar el cálculo para obtener la caída de agua, seleccionar y dimensionar la turbina, selección del generador y por ultimo podemos evaluar económicamente el diseño de la turbina.

Como justificación técnica, se considera que este proyecto es de gran interés e importancia para mí como estudiante, ya que se emplearan los

conocimientos que se han podido adquirir a través de la enseñanza de los docentes durante los años de la carrera, ya que ahora nos permitirá conocer de cerca como es el funcionamiento de un sistema de generación con una turbina hidráulica, la cual nos brindara energía limpia y renovable.

Como justificación social, se considera que este proyecto permitirá generar energía eléctrica que beneficiara a la población y empresas industriales de la zona que dispondrán de energía eléctrica barata y se reducirá la emisión de gases contaminantes.

## **II. MARCO TEÓRICO**

(Lorena Ferrada, 2012). El presente trabajo nos muestra el desarrollo para el dimensionamiento de una turbina de tipo Pelton, la cual tiene una altura neta de 40 m, con 35 l/s, con una potencia de 13.72 KW

Carlos, Góngora (2012). En este trabajo de averiguación nos muestra que los sistemas minihidráulicos para la generación de energía eléctrica es una de las posibilidades para las poblaciones quienes no cuentan con ingreso a una red eléctrica usual y además es un limitado efecto al medio ambiente. Usa modelamientos computacionales del flujo en el centro de la turbina Michell Banki lo cual le posibilita examinar y evaluar la incidencia del flujo de los alabes para las distintas situaciones.

(Andrés Pérez, Jorge Sierra, Diego Hincapié, 2020). En esta tesis se define que la turbina Michell Banki es una turbina de flujo cruzado que tiene un rango de funcionamiento en unas condiciones de sitio intermedias con respecto a otras turbinas, y con eficiencia poco sensible al cambio de caudal.

(Juan Peláez, 2012). En esta tesis se logró diseñar y simular a turbina Michell Banki, dando como resultado una potencia máxima entregada de 229.94 KW, una eficiencia del 50.1%, un caudal de 11,5 l/s y una

velocidad de 6m/s. Lo cual esta prueba evidencia que al aumentar el caudal mejora el rendimiento del prototipo de la turbina

(Martínez Guillen; Farro Oyola, 2019). El presente trabajo nos muestra la metodología de cómo podría ayudar con la elección y dimensionamiento de una turbina hidráulica, para el centro poblado San Gerónimo.

(Carlos Morales; Fabian Saavedra; 2017). En esta tesis, se muestra el desarrollo de la ingeniería conceptual para el desarrollo de una pequeña central hidráulica, para el municipio Pisba Bocaya, para así poder abastecer la demanda energética de la localidad.

(Daniel, Vasquez,2007). En esta tesis se rescata información necesaria para conocer los principios básicos en una micro central, centrándose sobre todo en el trabajo de la turbina Michell Banki. Con estos resultados se puede analizar la transferencia de energía con respecto a su fluido y su eficiencia.

(Alfonso, Cabrera, 2018). Este trabajo se está basando en la recolección de información de la población en el macizo montañoso para poder satisfacer las necesidades de los pobladores, entonces se diseñan las instalaciones hidráulicas lo cual se basa en realizar procedimientos de diseño mecánicos con metodología de diseño de turbina hidráulica, logrando estándares de eficiencia y bajos costos

(Fredy, Romero, Laura, Velásquez, Edwin Chica, 2020). Este trabajo tiene como objetivo mostrar los avances e investigaciones de carácter numérico y experimental realizadas hasta la fecha en torno al desarrollo de la turbina Michell – Banki, además de describir de acuerdo con los estudios, una serie de consideraciones para su diseño.

(Lenin, Ibáñez, 2019). En esta tesis se puede rescatar las optimizaciones para los materiales y se plantea en solucionar los porcentajes de error existente que se determinaron mediante pruebas, las cuales son de un 14% a 22% con la ayuda de cálculos de revoluciones y torque que se producen en simulación de un software y datos que se obtuvieron en el canal que se ubicará la turbina Michell Banki. La cual se podría mejorar el rendimiento que se obtiene con los diferentes caudales que se presentan el proyecto.

(Florián Edsgardo, Paredes Víctor, 2019). Esta tesis se ejecutó con la finalidad de lograr el estudio y la mejora del rendimiento de una turbina hidráulica, realizando un prototipo (números de álabes y espesor).

(Michell Pajares, 2017), que lleva por título: “Generación híbrida de 2kw para el Centro Poblado Laguna Huanama en el distrito de Salas”, logra un estudio de Demanda para Centro Residencial Laguna Huanama, Obteniendo Demanda Máxima 1,076 KW y Proyectado a 20 años a 1.98 KW, con un potencial de obtener 60% de velocidad de viento tomando datos 7.3 m/s de materias primas y 40% de capacidad Paneles Fotovoltaicos y Radiación Solar 4.2 W/m<sup>2</sup>, con velocidad y radiación óptimas para producir energía eléctrica y satisfacer las necesidades energéticas del Centro Residencial Laguna Huanama.

(Julio Egúsquiza, Julio Sánchez, 2011). este proyecto, se da a conocer la propuesta económica para el ensayo de una turbina hidráulica, donde se simule el funcionamiento de una minicentral hidroeléctrica la cual permite a los estudiantes tener ideas de proyectos que se pueden realizar en el país.

(Carhuamanca, Frams, 2014). El trabajo desarrollado en esta investigación representa la configuración del rodete para lograr una mejoría en la generación de energía eléctrica de las turbinas hidráulica, mediante la variación de variable independiente.

(Elviz, Goyzueta,2017). Por medio de un análisis del mercado eléctrico se hizo cuantificar la demanda de potencia y energía eléctrica del distrito, donde se ha podido obtener una demanda presente de 225.22 Kilovatios.

(Pablo Zapico, 2015). En el presente documento, se muestra las diferentes ecuaciones para poder realizar el dimensionamiento de la turbina Kaplan o Pelton.

## 2.1. PARTES DE UNA TURBINA HIDRÁULICA

(ComoFunciona. s.f.). **DISTRIBUIDOR:** Esta parte no se mueve, no produce trabajo mecánico y no tiene velocidad angular. Se usa para un flujo de agua se acelere al convertir cierta parte o toda la energía potencial en energía cinética

(Como funciona s.f.). **RODETE:** Se le conoce como rueda o rotor al componente básico de las turbinas hidráulicas. Es un disco que contiene un sistema de alabes, cucharas o paletas.

(Como funciona s.f.). **TUBO DE ASPIRACIÓN:** Normalmente se encuentra en las turbinas de reacción, este va instalado después del rodete. Esta parte se encarga de recuperar una cierta parte de la energía cinética que proviene de la velocidad residual del fluido en la salida del rotor.

(Como funciona s.f.). **CARCASA:** esta parte se encarga de soportar y recubrir las partes de la turbina. Normalmente tiene forma de espiral.

## 2.2. TIPOS DE TURBINAS

### DE ACUERDO AL GRADO DE REACCIÓN

**TURBINAS RADIALES-AXIALES:** El fluido entra al rotor en radial, por consiguiente, cambia su dirección y sale en forma paralela al eje rotativo

**TURBINAS AXIALES:** Sale el fluido en forma paralela

**TURBINAS TANGENCIALES:** El fluido golpea el rotor en la periferia.

## **DE ACUERDO A SU REACTIVIDAD**

**DE ACCION:** El fluido mueve a la turbina golpeando directamente a las paletas del rotor.

**DE REACCION:** El fluido mueve al rodete, por reacción provocada por la salida del fluido sobre el rotor.

## **MODELOS DE TURBINAS HIDRAULICAS**

**TURBINA KAPLAN:** Es de tipo axial y de reacción, normalmente varia su ángulo de las palas mientras está en funcionamiento. Se usa para caudales grandes

**TURBINA PELTON:** Esta turbina es de acción, de flujo transversal con admisión parcial. Se usa para caudales pequeños. Tiene cucharas en vez de alabes.

**TURBINA FRANCIS:** Esta turbina es de reacción y de flujo mixto, existen turbinas que permiten el cambio de los ángulos de las paletas en su funcionamiento. Es usado en caudales medios.

**TURBINA MICHELL BANKI:** Es una turbina radial y de admisión parcial, es de régimen lento por el número de revoluciones específicas. Es usado en caudales bajos.

## **ELEMENTOS DE DISEÑO**

### **COMPONENTES DE UNA TURBINA**

#### **Diseño del Rodete:**

Una turbina Michell Banki opera en condiciones similares cuando el valor  $\frac{Q}{\sqrt{H}}$  es constante, también se sabe que la eficiencia de estas turbinas no varia apreciablemente en amplios intervalos de valores de Q y H, utilizando estos criterios se selecciona el diámetro del rotor, de la siguiente forma:  $\frac{Q}{\sqrt{H}}$  y se selecciona el diámetro del rotor usando la

Tabla 1

$\frac{Q}{\sqrt{H}}$	Diámetro del rotor (mm)
0.02236 – 0.04743	200
0.04743 – 0.07906	300
0.07906 – 0.11068	400
0.07906 – 0.15812	500

**Tabla1.** (Juan Aponte, Marvin Cubias, Alfredo Portillo, William Romero, 2011)

- Diámetro del rodete:

$$D = 19.88 \frac{U}{n} \quad (1)$$

- Diámetro interior del rodete:

$$D_i = 0.66(D) \quad (2)$$

- Ancho del rodete:

$$B_r = 1.3B_i \quad (3)$$

- Diámetro del eje del rodete:

$$L = 0.5 * D_i \left[ \sqrt{1 + \sin^2 B_4 \left( \frac{D}{D_i} \right)^4} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$d_{max} = 2L \quad (5)$$

### Diseño de los álabes de tuberías:

- El número de álabes puede ser seleccionado usando la Tabla

Diámetro del rotor (mm)	Número de álabes
200	22
300	24
400	26
500	28

*Tabla2. (Juan Aponte, Marvin Cubias, Alfredo Portillo, William Romero, 2011)*

- Espesor de los álabes del rotor:

Para facilitar la construcción de los álabes, algunos fabricantes utilizan tuberías comerciales de acero al carbono. La Tabla 3 muestra los diámetros de tuberías recomendados.

ROTOR	TUBERÍA		
	Diámetro (mm)	Diámetro (pulg.)	Espesor (mm)
200	2 ½	5.16	8.62
300	4	6.02	16.07
400	5	6.55	21.78
500	6	7.11	28.26

*Tabla3. (Juan Aponte, Marvin Cubias, Alfredo Portillo, William Romero, 2011)*

- Número de álabes:

$$Z = 0.1\pi \frac{D}{e_p} \quad (6)$$

Donde  $e_p$  es el espesor de la tubería con la cual se construye el álabe.

El número de álabes se redondea en un número par superior y se recalcula el espesor del álabe.

$$e_p = 0.1 \frac{D}{Z} \quad (7)$$

#### Diseño de inyector y alabe directriz:

- Cálculo del ancho del inyector:

$$B_i = \frac{0.96 * Q}{\sqrt{H} D} \quad (8)$$

- Ángulo de abertura del inyector:

$$\delta = \frac{360 * a * Q}{(\pi * D - e_p * Z) B_i * C_4 * \sin(\alpha_4)} \quad (9)$$

Donde “a” es el coeficiente de fuga (0.95) Velocidad de entrada del inyector:

$$C_e = \varphi \sqrt{H} \quad (10)$$

$$C_e \approx 0.98 \sqrt{H}$$

- Álabe directriz:

$$e = 0.07 * D$$

$$L = 0.5 * D$$

$$L = 0.8 * D$$

### **Regulación de potencia y caudal en las turbinas Michell Banki:**

- ✓ El sistema de regulación es controlado automáticamente.
- ✓ Se instalará una válvula mariposa, que ayudaría a regular el recorrido del fluido

## **III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

#### **Tipo de investigación**

El trabajo de investigación es de tipo aplicada

#### **Diseño de la investigación**

El diseño no experimental, debido a que no se van a manipular las variables que se van a estudiar, solo se observarán los elementos ya existentes, los que se obtienen de la problemática

### **3.2. Variables y operacionalización**

VARIABLE INDEPENDIENTE: Caudal del río Crisnejas y determinar la potencia de generación de energía eléctrica

VARIABLE DEPENDIENTE: Determinar las características dimensionales y operaciones de la central hidroeléctrica

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESACALA DE MEDICION
Independiente: Caudal del rio crisnejas y determinar la potencia de generación de energía eléctrica	“Se puede definir el caudal como la cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo. Esta definición es válida para cualquier tipo de fluido” (S&P el blog de la ventilación eficiente)	Se tomarán en cuenta los datos brindados del caudal del rio criznejas en el tramo del centro poblado la grama, así mismo la altura de la localidad para poder realizar los cálculos respectivos del dimensionamiento de una turbina hidráulica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• caudal</li> <li>• velocidad del agua</li> <li>• área</li> <li>• altura geodésica del agua</li> <li>• fuerza del chorro de agua</li> <li>• Potencia</li> <li>• Área</li> </ul>	RAZON
	“Es la cantidad de energía eléctrica transferida de una fuente generadora a un elemento consumidor. La potencia eléctrica suele medirse en vatios” (W). (UNIVERSIDAD EIA “conceptos básicos de energía”)	Para poder determinar nuestra potencia de generación, tendremos que realizar los cálculos para poder tener nuestra máxima demanda de energía eléctrica ya con cálculos de investigaciones previas		
Dependiente: Determinar las características dimensionales y operaciones de la central hidroeléctrica	“se refiere a las medidas y el tipo de turbina adecuada para la central hidroeléctrica, con respecto a su caudal, altura y demanda eléctrica”	Se tomarán en cuenta los resultados obtenidos de los cálculos realizados para poder ver la factibilidad de generación de energía para poder distribuir al centro poblado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de la turbina</li> <li>• Dimensiones de la turbina</li> </ul>	INTERVALO

Tabla 4. Variables de diseño

### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### **Población**

Centrales hidroeléctricas del Perú

#### **Muestra**

Central hidroeléctrica la grama

#### **Muestreo**

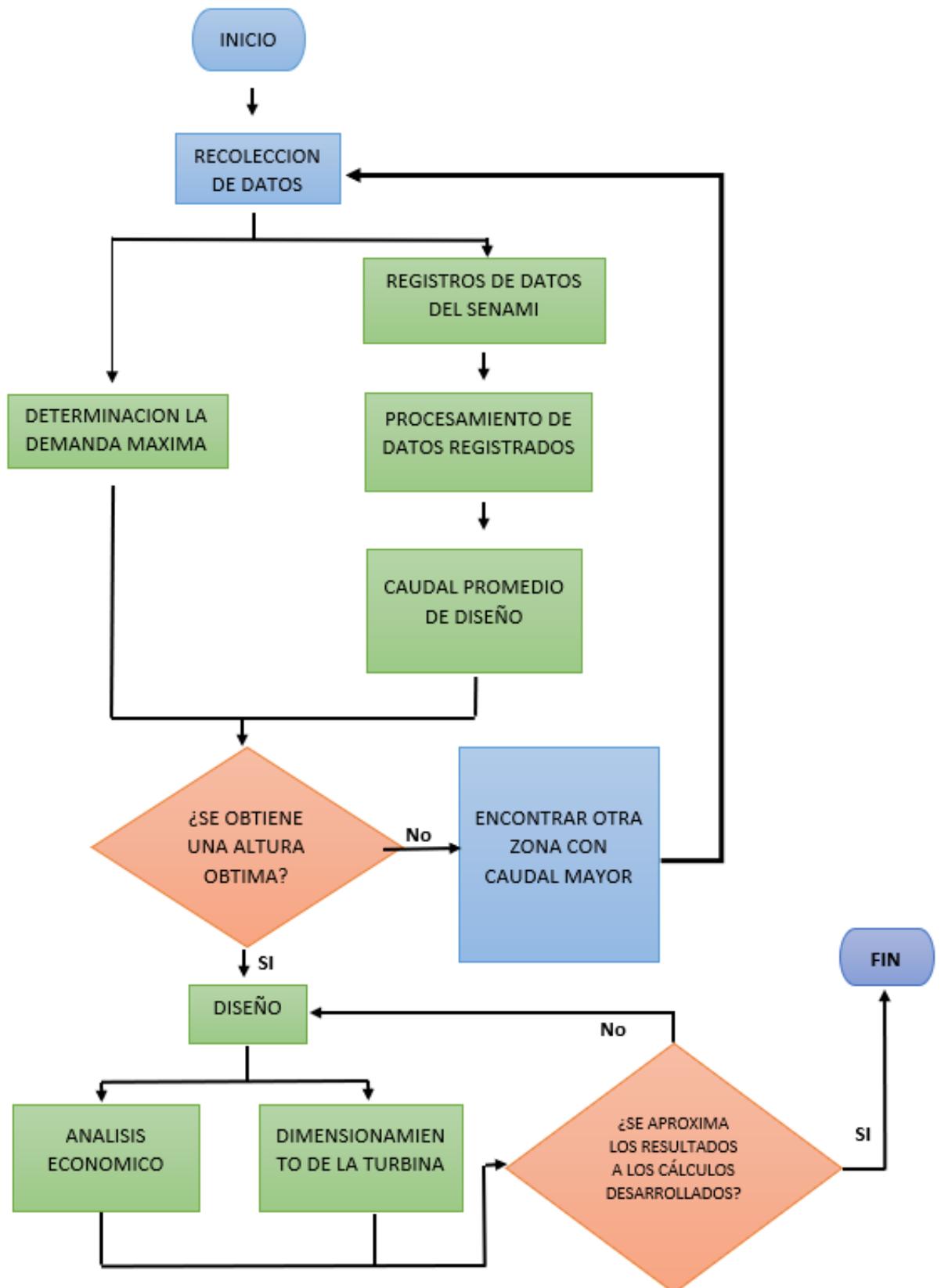
No probabilístico e intencionado

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

<b>Técnica de recolección de datos</b>	<b>Instrumentos de recolección de datos</b>	<b>Validación</b>
Observación	Ficha de observación	Por especialista
Recolección de datos	Encuesta	Por especialista
Análisis documental	Ficha de registro	Por especialista

*Tabla 5. Tabla de recolección de datos*

### 3.5. Procedimientos



### **3.6. Método de análisis de datos**

Nuestro método de análisis es el deductivo, ya que los resultados serán obtenidos con criterios basados en trabajos de investigación por el motivo de su desarrollo para satisfacer las necesidades de nuestro problema planteado para poder dar una solución innovadora frente a la necesidad del centro poblado

### **3.7. Aspectos éticos**

La información que es presentada en este trabajo de investigación es previamente referenciada ya que se utilizó sus trabajos, esto se realizó respetando el derecho de autor y la propiedad, según lo establecido por las normas de la Universidad Cesar Vallejo.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Evaluación de demanda máxima**

Para la evaluación de máxima demanda para el centro poblado la Grama, distrito Eduardo Villanueva, Provincia San Marcos, Departamento Cajamarca, se utilizó el instrumento de recolección de datos (recolección de consumos energéticos de la localidad mediante sus recibos de energía eléctrica), con la ayuda del software Microsoft Excel y los datos recolectados de los diferentes recibos se puede hacer un promedio y una proyección que nos ayudaran a realizar los cálculos seguidamente; así mismo se tomó en cuenta del Código nacional de electricidad que nos menciona un factor de simultaneidad de 0.5, de acuerdo a la norma DGE RD 031-2003-EM, las cuales son bases para el diseño de redes de energía eléctrica:

Localidades	
Tipo I	Son aquellas que son capitales de Distritos o Centros Poblados Urbano-Rurales que presentan configuración urbana definida, compuesta de plaza y calles. La calificación asignada es de 600 W por lote.
Tipo II	Son grupos de viviendas situadas en áreas rurales que no presentan aun configuración urbana o es incipiente. Las viviendas están generalmente situadas a lo largo de carreteras, caminos de herradura o dentro de chacras de los propietarios. La Calificación asignada es de 400 W por lote.

**Tabla N° 6: tipo de localidad y cantidad de energía asignada**

De acuerdo a la normativa, el centro poblado se encuentra en la localidad Tipo I, la cual califica cada lote con una potencia de 600W, en dicha norma nos menciona que colegios, centros de salud, postas médicas, locales comunales, capillas, iglesias, etc. Se les asignará 600W con un factor de simultaneidad de 1.0.

Para el Alumbrado público se optó por la norma técnica DGE “Alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de Distribución”, que nos dice:

$$DMAP = 2\% (DPL + CE)$$

Tomando en cuenta los datos planteados para la demanda máxima del centro poblado, en una proyección de 20 años y un índice de crecimiento de 1.08% que nos brinda el INEI (ver anexo N°1, N°2, N°3, N°4) por donde nuestros cálculos podemos obtener, 500 KW de demanda máxima de energía eléctrica.

#### **4.2. Evaluación de caudal promedio**

Como podremos observar en la siguiente imagen, nos mostrará un histórico del caudal entre primero de septiembre y último día de agosto, obteniendo así los datos necesarios para determinar el caudal más alto, el caudal más bajo y un caudal promedio el cual se tomará de manera histórica ya que el grafico presentado nos brinda los datos promedio.

La ventaja de obtener estos datos es que la ubicación donde se toman, es en el puente crisnejas, el cual está a un costado del centro poblado.

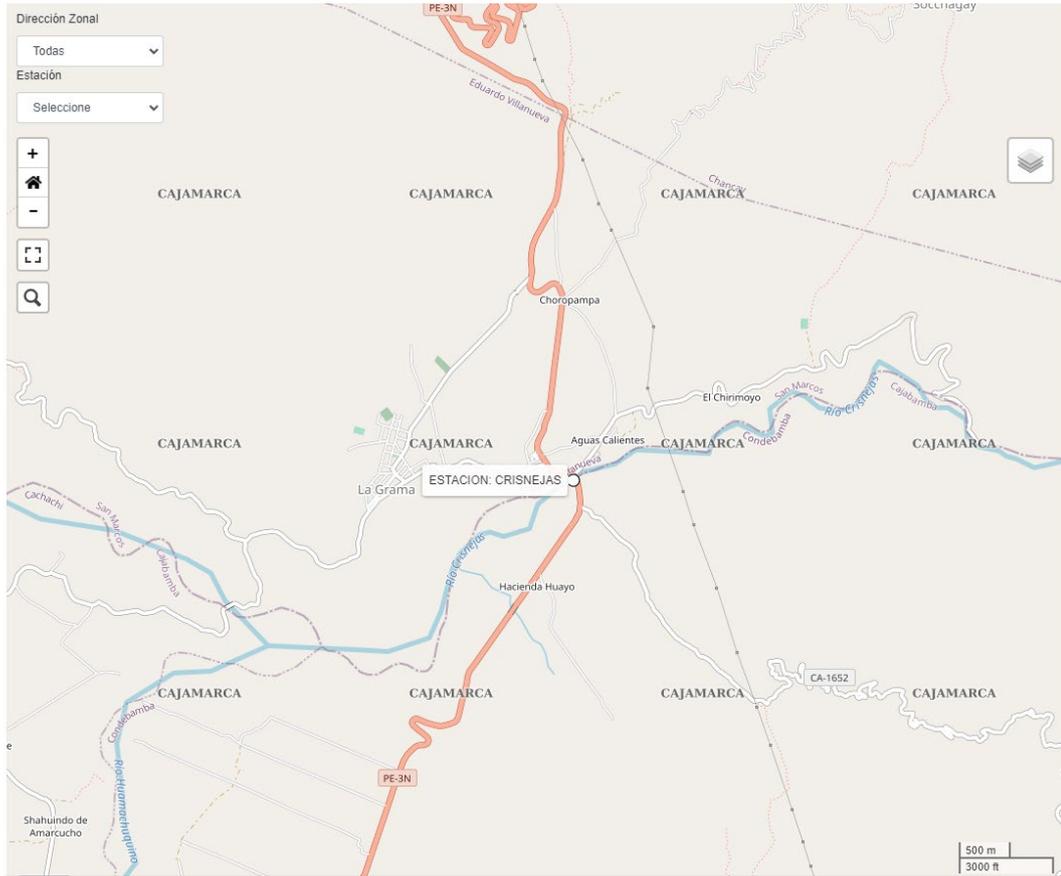


Figura N°3 Ubicación de la toma de datos según SENAMHI

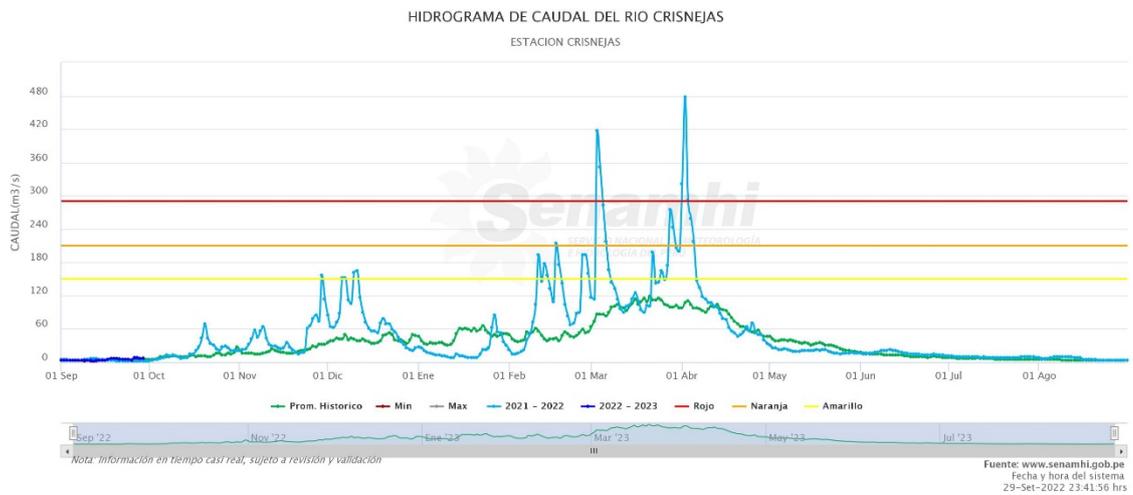


Figura N°4 Diagrama de caudal de la estación según el SENAMHI

#### 4.2.1. Caudal más alto

Al guiarnos de los datos brindados por la página de SENAMHI, podemos observar que el caudal promedio histórico equivale a 107.97 m<sup>3</sup>/s, el cual se puede observar que esta entro los meses de marzo y mayo, ya que en esas fechas por las precipitaciones que hay, el caudal aumenta.

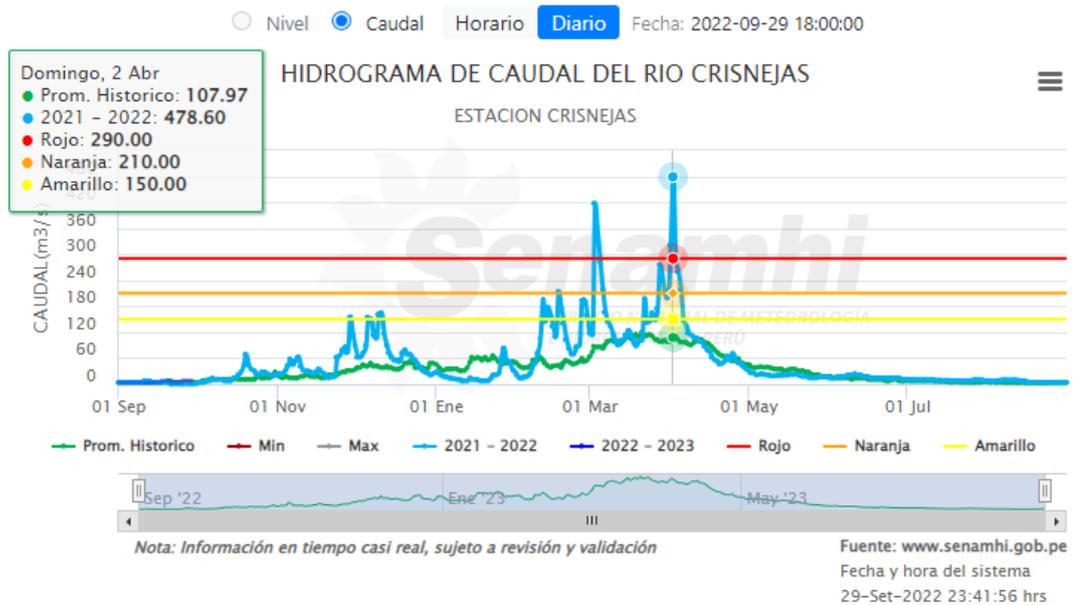


Figura N°5 Diagrama de caudal de la estación según el SENAMHI (caudal alto)

#### 4.2.2. Caudal promedio

Al guiarnos de los datos brindados por la página de SENAMHI, podemos observar que el caudal promedio histórico equivale a 15 m<sup>3</sup>/s, el cual se puede observar que esta entro los meses de mayo y julio



Figura N°6 Diagrama de caudal de la estación según el SENAMHI (caudal promedio)

#### 4.2.3. Caudal bajo

Al guiarnos de los datos brindados por la página de SENAMHI, podemos observar que el caudal promedio histórico equivale a 3.40 m<sup>3</sup>/s, el cual se puede observar que esta entre los meses de julio y agosto

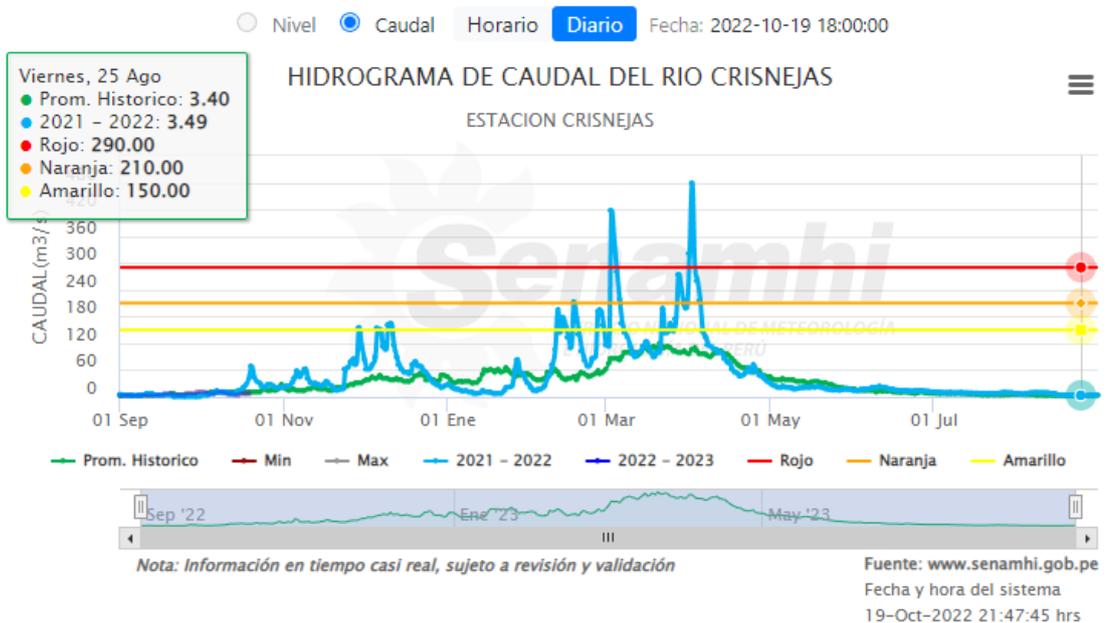


Figura N°6 Diagrama de caudal de la estación según el SENAMHI (caudal mínimo)

### 4.3. Cálculo de altura

#### 4.3.1. Cálculo con el caudal más alto

$$P = \rho * g * Q * H * \eta_t$$

$$H = \frac{P}{\rho * g * Q * \eta_t}$$

$$H = \frac{500000}{1000 * 9.81 * 107.97 * 0.85}$$

$$H = 0.56 \text{ m}$$

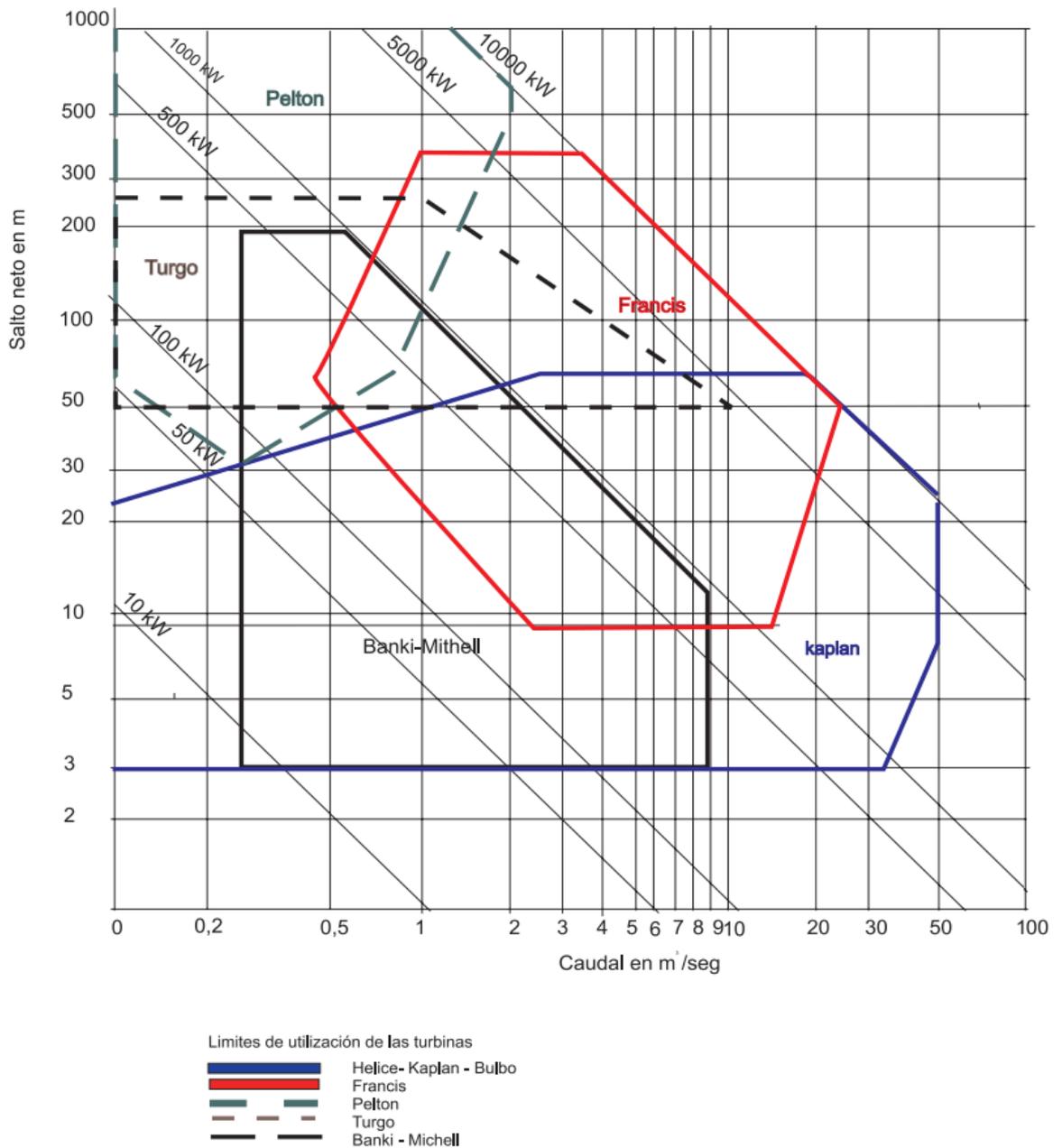


Figura N°7 rango de aplicación para diferentes turbinas

Como podemos observar en el grafico anterior cumplimos con lo que es la demanda máxima proyectada de generación, que hemos redondeado a los 500 KW, pero al ver el grafico y con la ubicación geográfica de la localidad no cumple con las condiciones de realizar el diseño de una central hidroeléctrica, la cual en este caso con un caudal de más de 100 m<sup>3</sup>/s y una altura de 0.56 m no entran en el rango de alguna turbina hidráulica.

#### 4.3.2. Calculo con el caudal promedio

$$P = \rho * g * Q * H * \eta_t$$
$$H = \frac{P}{\rho * g * Q * \eta_t}$$
$$H = \frac{500000}{1000 * 9.81 * 15 * 0.68}$$

$$H = 5 m$$

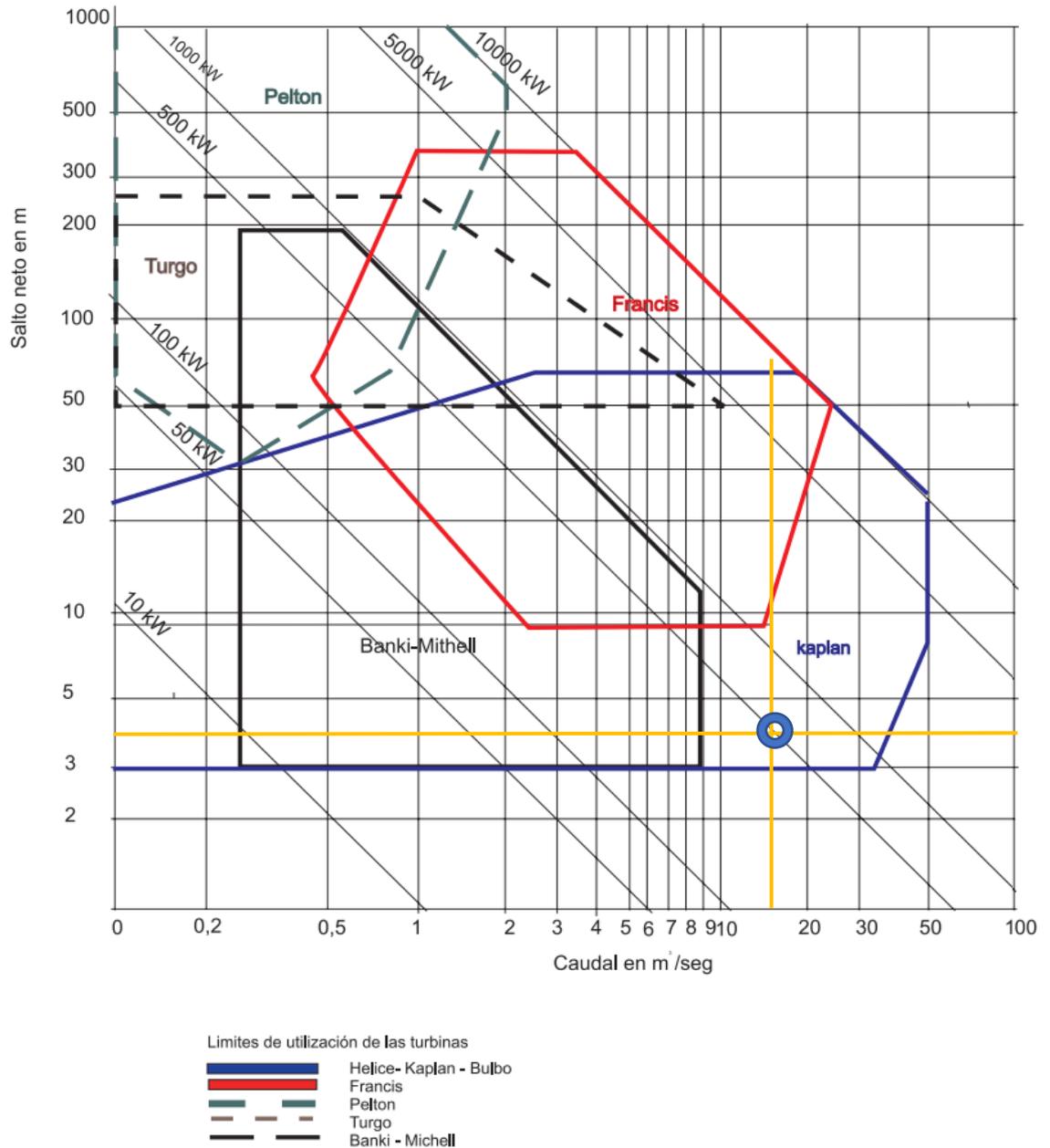


Figura N°8 rango de aplicación para diferentes turbinas

Como podemos observar en el grafico anterior cumplimos con lo que es la demanda máxima proyectada de generación, que hemos redondeado a los 500 KW y con una altura de 4 m, con la ubicación de la localidad es factible que se pueda realizar una desviación de la fuente del rio crisnejas con la caída ya calculada. Pero en este caso tenemos la opción para poder realizar el diseño de la turbina (Kaplan).

### 4.3.3. Calculo con el caudal bajo

$$P = \rho * g * Q * H * \eta_t$$

$$H = \frac{P}{\rho * g * Q * \eta_t}$$

$$H = \frac{500000}{1000 * 9.81 * 2 * 0.85}$$

$$H = 30 \text{ m}$$

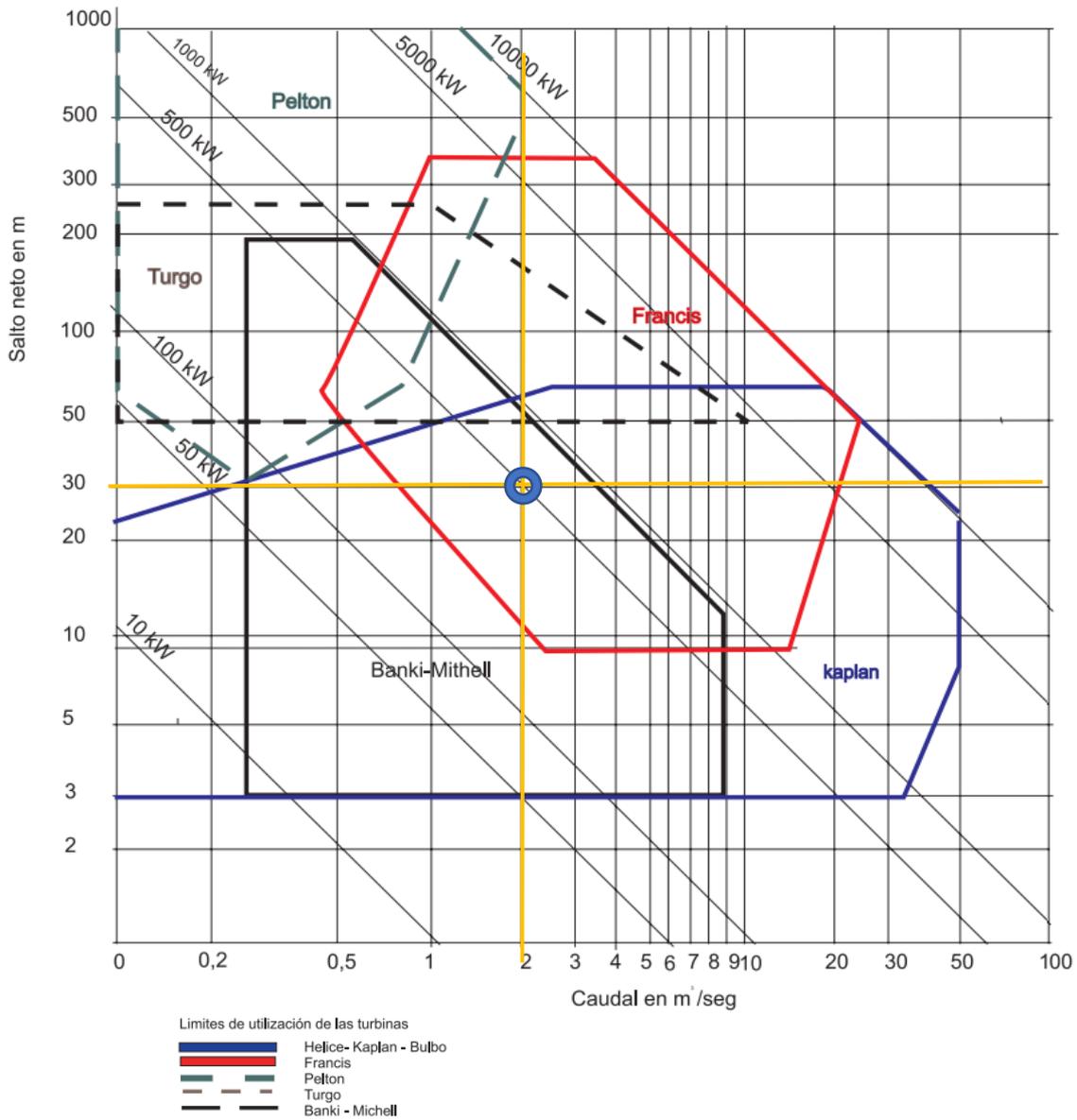


Figura N°9 rango de aplicación para diferentes turbinas

Como podemos observar en el grafico anterior no cumplimos con lo que es la demanda máxima proyectada de generación, que hemos redondeado a los 500 KW y con una altura de 8.28 m no llegamos a lo planteado, si observamos podríamos cumplir una nuestra demanda

máxima con más de 9 metros, pero la ubicación geográfica no cumple para poder realizar la caída de agua en este caso. Pero en este caso tenemos varias opciones para poder realizar el diseño de la turbina (Michell Banki o Kaplan).

#### 4.4. Selección y dimensionamiento de la turbina:

##### 4.4.1. Dimensionamiento de la turbina Michell Banki

Entonces los valores hallados por experimentación sirvieron para evaluar el valor de la potencia mediante el gráfico Altura vs Caudal:

- ✓ Caudal Máximo ( $Q_{diseño}$ ): 2.  $m^3/s$
- ✓ Altura Máxima ( $H_{diseño}$ ): 30 m
- ✓  $\varphi = 0.98$
- ✓  $\alpha = 14^\circ$
- ✓  $a = 0.95$
- ✓  $\eta_m = 0.87$
- ✓ Potencia Nominal = 500 kW

$$P = \rho * g * Q * H * \eta_t$$

$$\eta_t = \frac{500000}{(1000)(9.81)(30)(2.12)}$$

$$\eta_t = 0.801$$

- Eficiencia ideal de la Turbina:

$$\eta_i = \varphi^2(1 - tg^2(\alpha))$$

$$\eta_i = (0.98)^2(1 - (tg14)^2)$$

$$\eta_i = 0.9007$$

- Eficiencia real de la Turbina:

$$\eta_r = a * \eta_i$$

$$\eta_r = (0.95)(0.9007)$$

$$\eta_r = 0.8556$$

- **Eficiencia total de la Turbina:**

$$\eta_t = \eta_r * \eta_m$$

$$\eta_t = (0.8556)(0.87)$$

$$\eta_t = 0.7444$$

- **Velocidad del rotor:**

$$n = 51.85276 * H^{\frac{3}{4}} * Q^{-\frac{1}{2}}$$

$$n = 51.85276 * (30)^{\frac{3}{4}} * (2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$n = 470 \text{ rpm}$$

- **Velocidad específica de caudal:**

$$n_q = 3 * n * H^{-3/4} * Q^{1/2}$$

$$n_q = 3(470)(30)^{-3/4}(2)^{1/2}$$

$$n_q = 155.56 \text{ rpm}$$

- **Velocidad específica de potencia:**

$$n_s = n * P^{1/2} * H^{-5/4}$$

$$n_s = (470)(500)^{1/2}(3)^{-5/4}$$

$$n_s = 149.69 \text{ rpm}$$

Para verificar si nuestra turbina será la adecuada, los valores deben estar entre  $40 \leq n_q \leq 180$  y  $45 \leq n_s \leq 250$ . Por lo que se identifica que se pudo garantizar con los datos desarrollados de las velocidades de caudal y potencia el eficiente funcionamiento de nuestra turbina.

- **Velocidad absoluta de entrada:**

$$C = 4.43 * \varphi * H^{1/2}$$

$$C = 4.43(0.98)(30)^{1/2}$$

$$C = 23.78 \text{ m/s}$$

- **Velocidad tangencial:**

$$U = \frac{C}{2 * \cos * \alpha}$$

$$U = \frac{(23.78)}{2\cos(14)}$$

$$U = 12.25 \text{ m/s}$$

Determinación de los parámetros dimensionales:

 **Diseño de la Turbina:**

- **Diámetro del rotor:**

$$D = 19.08 \left( \frac{U}{n} \right)$$

$$D = 19.08 \left( \frac{12.25}{470} \right)$$

$$D = 0.4973 \text{ m} = 497.3 \text{ mm}$$

- **Diámetro interno del rotor:**

$$D_i = 0.58 * D$$

$$D_i = 0.58(497.3)$$

$$D_i = 288.43 \text{ mm}$$

- **Número de álabes del rotor:**

Mediante tablas, tenemos que la cantidad real de álabes sería:

<b>Diámetro del rotor (mm)</b>	<b>Número de álabes</b>
200	22
300	24
400	26
500	28

*Tabla de selección de numero de álabes del rotor (Fuente INE)*

Como al identificar los valores necesarios brindados por la tabla, para obtener la cantidad de álabes que necesita nuestro rotor de diámetro de 497.3 mm, por lo tanto, será de 28 alabes.

El número de álabes se redondea en un número par superior y se recalcula el espesor del álabe.

$$e_p = 0.1 * \frac{D}{Z}$$

$$e_p = 0.1 * \frac{497.3}{28}$$

$$e_p = 1.78 \text{ mm}$$

- Paso externo de los álabes:

$$t_i = \left(\frac{D}{Z}\right)$$

$$t_i = \left(\frac{497.3}{28}\right)$$

$$t_i = 17.76 \text{ mm}$$

- Ancho del inyector:

$$B_i = \frac{0.96 * Q}{H^{1/2} * D}$$

$$B_i = \frac{0.96(2)}{(30)^{\frac{1}{2}}(0.4973)}$$

$$B_i = 0.7049 \text{ m} = 704.9 \text{ mm}$$

- Angulo de abertura del inyector:

$$\delta = \frac{360 * a * Q}{(\pi * D - e_p * Z) * C * \text{sen} \alpha * B_i}$$

$$\delta = \frac{360(0.95)(2)}{[\pi * (0.4973) - (1.78 * 10^{-3}) * (28)] * (23.78) * (\text{sen}(14)) * (0.7049)}$$

$$\delta = 120.8^\circ$$

- **Numero de alabes que interactúan con el fluido**

$$Z_f = \frac{\delta}{360} * Z$$

$$Z_f = \frac{120.8}{360} * 28$$

$$Z_f = 9.4 = 10 \text{ alabes aproximadamente}$$

- **Diámetro máximo del eje del rotor:**

$$d_{max} = 2 * L$$

$$L = 0.5 * D_i \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \text{sen}^2(2\alpha) \left(\frac{D}{D_i}\right)^4}} \right)$$

$$L = 0.5 * (0.2884) * \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \text{sen}^2(2(14)) * \left(\frac{0.4973}{0.2884}\right)^4}} \right)$$

$$L = 0.1171 \text{ m} = 11.71 \text{ cm} = 117.1 \text{ mm}$$

$$d_{max} = 2(117.1)$$

$$d_{max} = 234.2 \text{ mm} = 23.42 \text{ cm}$$

- **Caudal que ingresa en un alabe:**

$$Q_a = \frac{Q}{Z}$$

$$Q_a = \frac{2}{28}$$

$$Q_a = 0.0714 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Peso de un álabe:**

Material de Acero Inoxidable, con un valor de  $P_u = 28.26 \text{ kgf/m}$ , entonces:

$$P_a = P_u * L$$

$$P_a = (28.26)(0.1171)$$

$$P_a = 3.31 \text{ kgf}$$

- **Peso total del rotor:**

$$P_{tr} = Z * P_a + 75.963 * N_d * D_e^2$$

$$d_{max} = 0.33 * D_e$$

$$D_e = \frac{d_{max}}{0.33}$$

$$D_e = \frac{234.2}{0.33}$$

$$D_e = 709.70 \text{ mm}$$

Entonces, como se diseñará solo una turbina el valor de  $N_d = 1$ :

$$P_{tr} = (28)(3.31) + 75.963(1)(0.70970)$$

$$P_{tr} = 146.59 \text{ kgf}$$

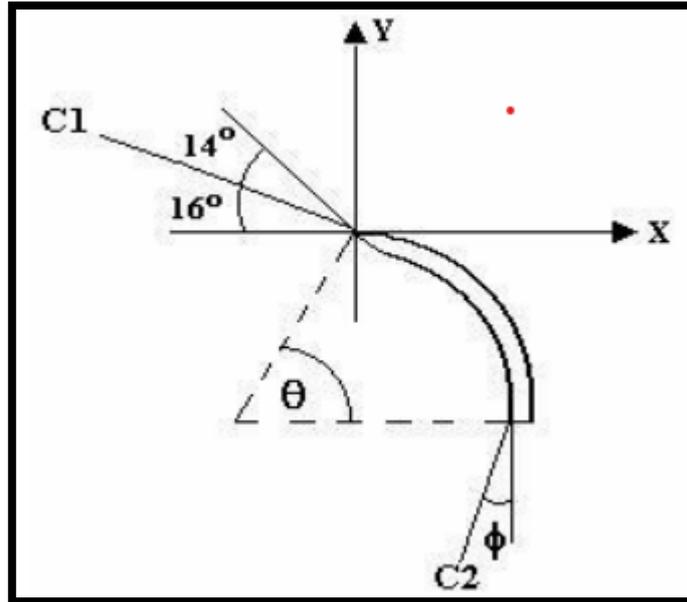
- Fuerza hidráulica sobre el álabe:

$$F_{hr} = \sqrt{(F_{hx})^2 + (F_{hy})^2}$$

De la siguiente tabla se puede hallar los valores de los ángulos  $\phi$  y  $\theta$ :

<b>Diámetro del rotor (mm)</b>	<b><math>\phi</math> (°)</b>	<b><math>\theta</math> (°)</b>
200	15,5	74,5
300	20,0	70,0
400	17,0	73,0
500	14,6	75,4

*Tabla de ángulos característicos del álabe (Fuente INE)*



Teniendo en cuenta el diagrama de cuerpo libre del álabe, como se identifica en la figura, hallamos los valores de sus fuerzas hidráulicas de la siguiente forma:

▪ En eje "x":

$$F_{hx} = 429.38 * Q_a * \sqrt{H} * (\cos 16 - \text{sen} \phi)$$

$$497.3 \text{ mm} \rightarrow \phi = 14.6^\circ$$

$$F_{hx} = 429.38(0.0714)\sqrt{30}(\cos 16 - \text{sen}(14.6))$$

$$F_{hx} = 119.09 \text{ kgf}$$

▪ En eje "y":

$$F_{hy} = 429.38 * Q_a * \sqrt{H} * (\text{sen} 16 + \cos \phi)$$

$$F_{hy} = 429.38 * (0.0714) * \sqrt{30} * (\text{sen} 16 + \cos(14.6))$$

$$F_{hy} = 208.78 \text{ kgf}$$

$$F_{hr} = \sqrt{(119.09)^2 + (208.78)^2}$$

$$F_{hr} = 240.36 \text{ kgf}$$

- Fuerza centrífuga sobre el álabe:

$$F_c = 0.895 * \left( \frac{P_a * H}{D_e} \right)$$

$$F_c = 0.895 \left( \frac{(3.31)(30)}{0.70970} \right)$$

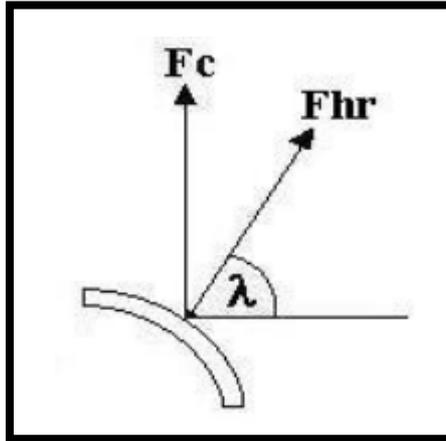
$$F_c = 125.23 \text{ kgf}$$

- Fuerza total sobre el álabe:

$$R_T = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2}$$

<b>Diámetro del rotor (mm)</b>	<b><math>\lambda(^{\circ})</math></b>
200	29,75
300	32,02
400	30,50
500	29,90

*Tabla de ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje X (Fuente INE)*



Teniendo en cuenta el diagrama de cuerpo libre de la composición de fuerzas sobre el álabe, que se identifica en la figura, hallamos los valores de sus reacciones con respecto del ángulo  $\lambda$  de la siguiente forma:

$$0.4973 \text{ mm} \rightarrow \lambda = 29.90^\circ$$

**REACCION EN EJE X:**

$$R_x = F_{hr} * \cos(\lambda)$$

$$R_x = (240.36)\cos(29.90)$$

$$R_x = 208.37 \text{ kgf}$$

**REACCION EN EJE Y:**

$$R_y = F_{hr} * \text{sen}(\lambda) + F_c$$

$$R_y = (240.36)\text{sen}(29.90) + (125.23)$$

$$R_y = 245.05 \text{ kgf}$$

$$R_T = \sqrt{(208.37)^2 + (245.05)^2}$$

$$R_T = 321.66 \text{ kgf}$$

- **Momento flector máximo sobre el álabe:**

$$M = \frac{R_T * B_{rc}}{12}$$

**Ancho del rotor:**

$$B_r = 1.3 * B_i$$

$$B_r = 1.3(704.9)$$

$$B_r = 916.37 \text{ mm}$$

$$M = \frac{(321.66)(0.91637)}{12}$$

$$M = 24.56 \text{ kgf} - m$$

- **Esfuerzo máximo en el álabe:**

$$\sigma = E * M$$

<b>Diámetro del rotor (mm)</b>	<b>E (1/cm<sup>3</sup>)</b>
200	510,88
300	250,32
400	162,92
500	111,91

*Tabla de factor de corrección del esfuerzo máximo en el álabe (Fuente INE)*

Al interpolar el diámetro del rotor de 497.3 mm

$$\sigma = (111.91)(24.56)$$

$$\sigma = 2748.51 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 0.274851 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- Diseño del eje del rotor:

Se calcula mediante el código ASME para ejes:

$$d^3 = \frac{16}{\pi * S_d} * \sqrt{(k_m * M_{max})^2 + (k_t * T_{max})^2}$$

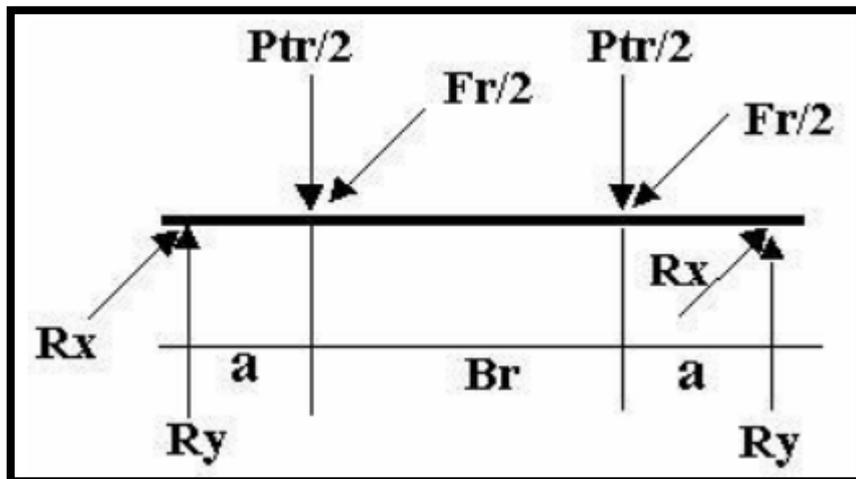


Figura 10. Diagrama de fuerzas sobre el eje del rotor (8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica)

Se halla el valor de la Fuerza resultante a una distancia “a” de los puntos de reacciones en X y Y:

$$F_r = 1948 * \left( \frac{P}{n * D_e} \right)$$

$$F_r = 1948 \left( \frac{500}{(470)(709.70)} \right)$$

$$F_r = 2.92 \text{ kgf}$$

Entonces el valor del momento máximo:

$$M_{max} = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2}$$

Momento en eje X

$$M_x = \frac{F_r * a}{2}$$

$$M_x = \frac{(2.92)(0.25)}{2}$$

$$M_x = 0.2863 \text{ kgf} - m$$

Momento en eje Y

$$M_y = \frac{P_{tr} * a}{2}$$

$$M_y = \frac{(146.59)(0.25)}{2}$$

$$M_y = 18.3238 \text{ kgf} - m$$

$$M_{max} = \sqrt{(0.2863)^2 + (18.3238)^2}$$

$$M_{max} = 18.3260 \text{ kgf} - m$$

Cálculo del torque máximo:

$$T_{max} = 974 * \left(\frac{P}{n}\right)$$

$$T_{max} = 974 \left(\frac{500}{470}\right)$$

$$T_{max} = 1036.1702 \text{ kgf} - m$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi(480 \times 10^4)} \sqrt{((1.5)(18.3260))^2 + ((1)(1036.1702))^2}$$

$$d = 0.1032 \text{ cm}$$

Entonces garantizamos que el diámetro del eje del rotor  $d$  es menor que el diámetro máximo del eje del rotor  $d_{max}$ .

- Fuerza total sobre la plancha del inyector:

$$F_{ti} = 390 * D_e * H * B_r$$

$$F_{ti} = 390 * (0.70970) * (30) * (0.91637)$$

$$F_{ti} = 7609.0691 \text{ kgf} - m$$

- Momento máximo sobre la plancha del inyector:

$$M_i = \frac{F_{ti} * B_r}{12}$$

$$M_i = \frac{(7609.0691)(0.91637)}{12}$$

$$M_i = 581.0602 \text{ kgf} - m$$

- Álabe directriz:

$$e = 0.07 * D$$

$$e = 0.07 * (497.3)$$

$$e = 34.81 \text{ mm}$$

$$L_1 = 0.5 * D$$

$$L_1 = 0.5 * (497.3)$$

$$L_1 = 248.65 \text{ mm}$$

$$L_2 = 0.8 * D$$

$$L_2 = 0.8 * (497.3)$$

$$L_2 = 397.84 \text{ mm}$$

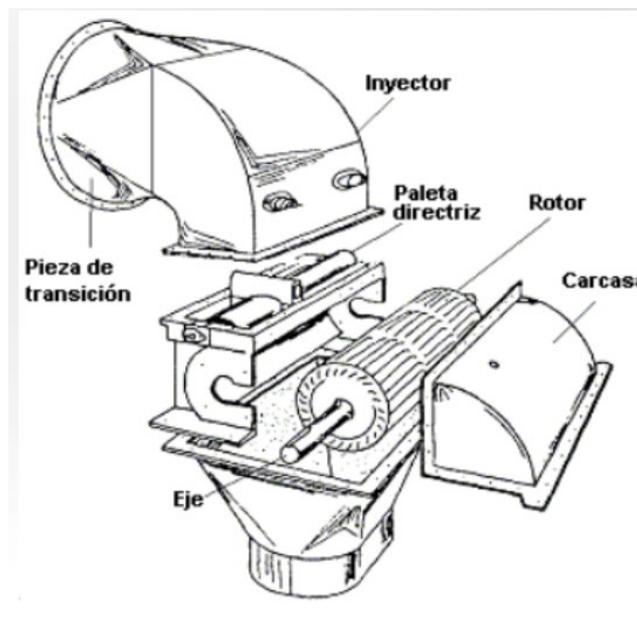
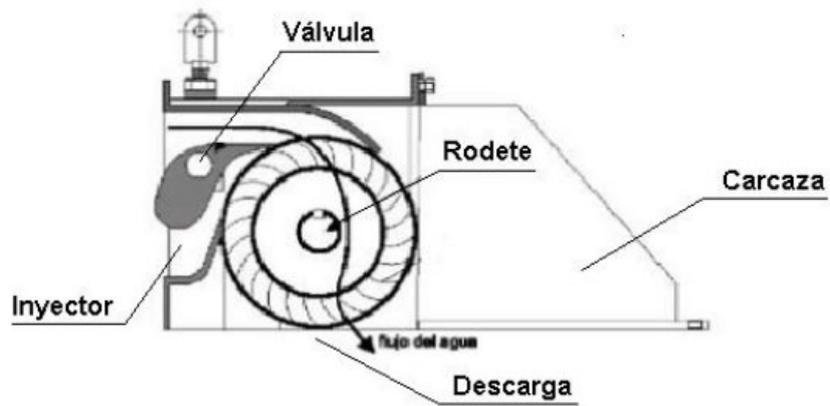


Figura 11. Diagrama de una turbina hidráulica  
(8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica)

## CUADRO DE RESULTADOS DE LA TURBINA MICHELL BANKI

VARIABLE / PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	VALORES
Caudal máximo	$Q_{diseño}$	m <sup>3</sup> /s	2
Altura máxima	$H_{diseño}$	m	30
Potencia nominal	$P$	kW	500
Numero de álabes	$Z$	Unidad	28
Velocidad del rotor	$n$	rpm	470
Diámetro del rotor	$D$	m	0.4973
Diámetro interno del rotor	$D_i$	m	0.28843
Espesor de álabe	$e_p$	mm	1.78
Paso externo de los álabes	$t_i$	mm	17.76
Ancho del inyector	$B_i$	m	0.7049
Ángulo de abertura del álabe directriz	$\delta$	°	120.8

### 4.4.2. Dimensionamiento de turbina Kaplan:

Datos:

Altura = 5 m

Caudal = 15 m<sup>3</sup>/s

RPM = 800

$$N_s = \frac{n\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

$N_s$  = Número específico de revoluciones

$N$  = revoluciones de la turbina

$P$  = potencia de la turbina

$H$  = altura de salto

$Q$  = caudal

$H$  = rendimiento

## CALCULO PARA EL DISEÑO DE UNA TURBINA KAPLAN

Ns	Tipo de turbina	Altura del salto metros
Hasta 18	Pelton con un inyector	800 o más
De 18 a 25	» un inyector	de 800 a 400
De 26 a 35	» un inyector	de 400 a 100
De 26 a 35	» dos inyectores	de 800 a 400
De 36 a 50	» dos inyectores	de 400 a 100
De 51 a 72	» cuatro inyectores	de 400 a 100
De 55 a 70	Francis lentísima	de 400 a 200
De 70 a 120	Francis lenta	de 200 a 100
De 110 a 200	Francis media	de 100 a 50
De 200 a 300	Francis veloz	de 50 a 25
De 300 a 450	Francis ultravelocísima	de 25 a 15
De 400 a 500	Hélice velocísima	hasta 15
De 270 a 500	Kaplan lenta	de 50 a 15
De 500 a 800	Kaplan veloz	de 15 a 5
De 800 a 1100	Kaplan velocísima	5
Más de 1100	Bulbo	Menor de 5

$$N_s = \frac{800\sqrt{500}}{\frac{5}{5^4}} = 2392.56$$

Parámetros de la turbina:

Coefficiente de velocidad periférica

$$K_u = 0.79 + \frac{N_s}{621}$$

$$K_u = 0.79 + \frac{1778.78}{621}$$

$$K_u = 4.64$$

Diámetro exterior del rodete

$$D_M = \frac{84.55 * K_u \sqrt{H}}{n}$$

$$D_M = \frac{84.55 * 3.65 * \sqrt{4}}{800}$$

$$D_M = 0.98$$

Una vez determinado el diámetro exterior del rodete procedemos a calcular las dimensiones de la turbina:

$$D_m = \left(0.25 + \frac{94.64}{N_s}\right)$$

$$D_m = \left(0.25 + \frac{94.64}{2392.56}\right)$$

$$D_m = 0.2896$$

$$H_m = \frac{6.94 * D_M}{N^{0.403}}$$

$$H_m = \frac{6.94 * 0.98}{800^{0.403}}$$

$$H_m = 0.4605$$

$$H_1 = \left(0.38 + \frac{N_s}{19342}\right)$$

$$H_1 = \left(0.38 + \frac{2392.56}{19342}\right)$$

$$H_1 = 0.5037$$

$$V_1 = 3.17 + \frac{759.21}{N_s}$$

$$V_1 = 3.17 + \frac{759.21}{2392.56}$$

$$V_1 = 3.4873$$

Con caracol de acero

$$V_2 = 2.44 - \frac{N_s}{840}$$

$$V_2 = 2.44 - \frac{2392.56}{840}$$

$$V_2 = 0.4083$$

Con caracol de hormigón

$$V_2 = 1.876$$

Dimensiones del caracol de acero:

Tramo  $A_1$ :

$$A_1 = 0.4 * N_s^{0.2} * D_M$$

$$A_1 = 0.4 * 2392.56^{0.2} * 0.98$$

$$A_1 = 1.8606$$

Tramo  $B_1$ :

$$B_1 = \left(1.26 + \frac{N_s}{2634.5}\right) * D_M$$

$$B_1 = \left(1.26 + \frac{2392.56}{2634.5}\right) * 0.98$$

$$B_1 = 2.1278$$

Tramo  $C_1$ :

$$C_1 = \left(1.46 + \frac{N_s}{3086.4}\right) * D_M$$

$$C_1 = \left(1.46 + \frac{2392.56}{3086.4}\right) * 0.98$$

$$C_1 = 2.1935$$

Tramo  $D_1$ :

$$D_1 = \left(1.59 + \frac{N_s}{1742.2}\right) * D_M$$

$$D_1 = \left(1.59 + \frac{2392.56}{1742.24}\right) * 0.98$$

$$D_1 = 2.9081$$

Tramo  $E_1$ :

$$E_1 = \left(1.21 + \frac{N_s}{3690}\right) * D_M$$

$$E_1 = \left(1.21 + \frac{2392.56}{3690}\right) * 0.98$$

$$E_1 = 1.8238$$

Tramo  $F_1$ :

$$F_1 = \left(1.45 + \frac{72.17}{N_s}\right) * D_M$$

$$F_1 = \left(1.45 + \frac{72.17}{2392.56}\right) * 0.98$$

$$F_1 = 1.4526$$

Tramo  $G_1$ :

$$G_1 = \left(1.29 + \frac{72.17}{N_s}\right) * D_M$$
$$G_1 = \left(1.29 + \frac{72.17}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$G_1 = 1.2956$$

Tramo  $H_1$ :

$$H_1 = \left(1.13 + \frac{31.86}{N_s}\right) * D_M$$
$$H_1 = \left(1.13 + \frac{31.86}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$H_1 = 1.1220$$

Tramo  $I_1$ :

$$I_1 = \left(0.45 - \frac{31.8}{N_s}\right) * D_M$$
$$I_1 = \left(0.45 + \frac{31.8}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$I_1 = 0.4286$$

Tramo  $L_1$ :

$$L_1 = \left(0.74 + \frac{N_s}{1149.4}\right) * D_M$$
$$L_1 = \left(1.21 + \frac{2392.56}{1149.4}\right) * 0.98$$
$$L_1 = 2.7690$$

Tramo  $M_1$ :

$$M_1 = \left(\frac{D_M}{\left(2.06 + \frac{N_s}{833.3}\right)}\right)$$
$$M_1 = \left(\frac{0.98}{\left(2.06 + \frac{2392.56}{833.3}\right)}\right)$$
$$M_1 = 0.1990$$

## Dimensiones del caracol de hormigón

Tramo  $B_2$ :

$$B_2 = \frac{D_M}{\left(0.76 + \left(\frac{N_s}{11211}\right)\right)}$$

$$B_2 = \frac{0.98}{\left(0.76 + \left(\frac{2392.56}{11211}\right)\right)}$$

$$B_2 = 1.0082$$

Tramo  $C_2$ :

$$C_2 = \frac{D_M}{\left(0.55 + \left(\frac{N_s}{67568}\right)\right)}$$

$$C_2 = \frac{0.98}{\left(0.55 + \left(\frac{2392.56}{67568}\right)\right)}$$

$$C_2 = 1.6764$$

Tramo  $D_2$ :

$$D_2 = \left(1.58 - \frac{N_s}{11050}\right) * D_M$$

$$D_2 = \left(1.58 - \frac{2392.56}{11050}\right) * 0.98$$

$$D_2 = 1.3635$$

Tramo  $E_2$ :

$$E_2 = \left(1.48 - \frac{N_s}{47393}\right) * D_M$$

$$E_2 = \left(1.48 - \frac{2392.56}{47393}\right) * 0.98$$

$$E_2 = 1.4029$$

Tramo  $F_2$ :

$$F_2 = \left(1.62 - \frac{N_s}{31477}\right) * D_M$$

$$F_2 = \left(1.62 - \frac{2392.56}{31477}\right) * 0.98$$

$$F_2 = 1.5152$$

Tramo  $G_2$ :

$$G_2 = \left(1.36 + \frac{7.79}{N_s}\right) * D_M$$
$$G_2 = \left(1.36 + \frac{7.79}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$G_2 = 1.3378$$

Tramo  $H_2$ :

$$H_2 = \left(1.19 + \frac{4.69}{N_s}\right) * D_M$$
$$H_2 = \left(1.19 + \frac{4.69}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$H_2 = 1.1697$$

Tramo  $I_2$ :

$$I_2 = \left(0.44 - \frac{21.47}{N_s}\right) * D_M$$
$$I_2 = \left(0.44 - \frac{21.47}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$I_2 = 0.4230$$

Tramo  $L_2$ :

$$L_2 = \left(1.44 + \frac{105.29}{N_s}\right) * D_M$$
$$L_2 = \left(1.44 + \frac{105.29}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$L_2 = 1.4563$$

Tramo  $M_2$ :

$$M_2 = \left(1.03 + \frac{136.29}{N_s}\right) * D_M$$
$$M_2 = \left(1.03 + \frac{136.28}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$M_2 = 1.0667$$

Dimensiones del tubo de aspiración

Tramo  $H_t$ :

$$H_t = \left(0.24 + \frac{N_s}{12788}\right) * D_M$$
$$H_t = \left(0.24 + \frac{2392.56}{12788}\right) * 0.98$$
$$H_t = 0.4191$$

Tramo  $N$ :

$$N = \left(2.0 - \frac{N_s}{467290}\right) * D_M$$
$$N = \left(2.0 - \frac{2392.56}{467290}\right) * 0.98$$
$$N = 1.9577$$

Tramo  $O$ :

$$O = \left(1.4 - \frac{N_s}{59880}\right) * D_M$$
$$O = \left(1.4 - \frac{2392.56}{59880}\right) * 0.98$$
$$O = 1.3347$$

Tramo  $P$ :

$$P = \left(1.26 - \frac{16.35}{N_s}\right) * D_M$$
$$P = \left(1.26 - \frac{16.35}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$P = 1.2298$$

Tramo  $Q$ :

$$Q = \left(0.66 - \frac{18.40}{N_s}\right) * D_M$$
$$Q = \left(0.66 - \frac{18.40}{2392.56}\right) * 0.98$$
$$Q = 0.6402$$

Tramo  $R$ :

$$R = \left(1.25 - \frac{N_s}{12531}\right) * D_M$$

$$R = \left(1.25 - \frac{2392.56}{12531}\right) * 0.98$$

$$R = 1.2216$$

Tramo S:

$$S = \left(4.26 + \frac{201.21}{N_s}\right) * D_M$$

$$S = \left(4.26 + \frac{201.21}{2392.56}\right) * 0.98$$

$$S = 4.2631$$

Tramo T:

$$T = \left(1.2 + \frac{N_s}{1953}\right) * D_M$$

$$T = \left(1.2 + \frac{2392.56}{1953}\right) * 0.98$$

$$T = 2.3799$$

Tramo Z:

$$Z = \left(2.58 + \frac{102.66}{N_s}\right) * D_M$$

$$Z = \left(2.58 + \frac{102.66}{2392.56}\right) * 0.98$$

$$Z = 2.5740$$

VARIABLE / PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	VALORES
Caudal máximo	$Q_{diseño}$	m <sup>3</sup> /s	15
Altura máxima	$H_{diseño}$	m	5
Potencia nominal	$P$	kW	500
Numero de álabes	$Z$	Unidad	4
Velocidad del rotor	$n$	rpm	800
Diámetro del rotor	$D$	m	0.98
Diámetro interno del rotor	$D_i$	m	0.2896
Espesor de álabe	$e_p$	mm	2.76

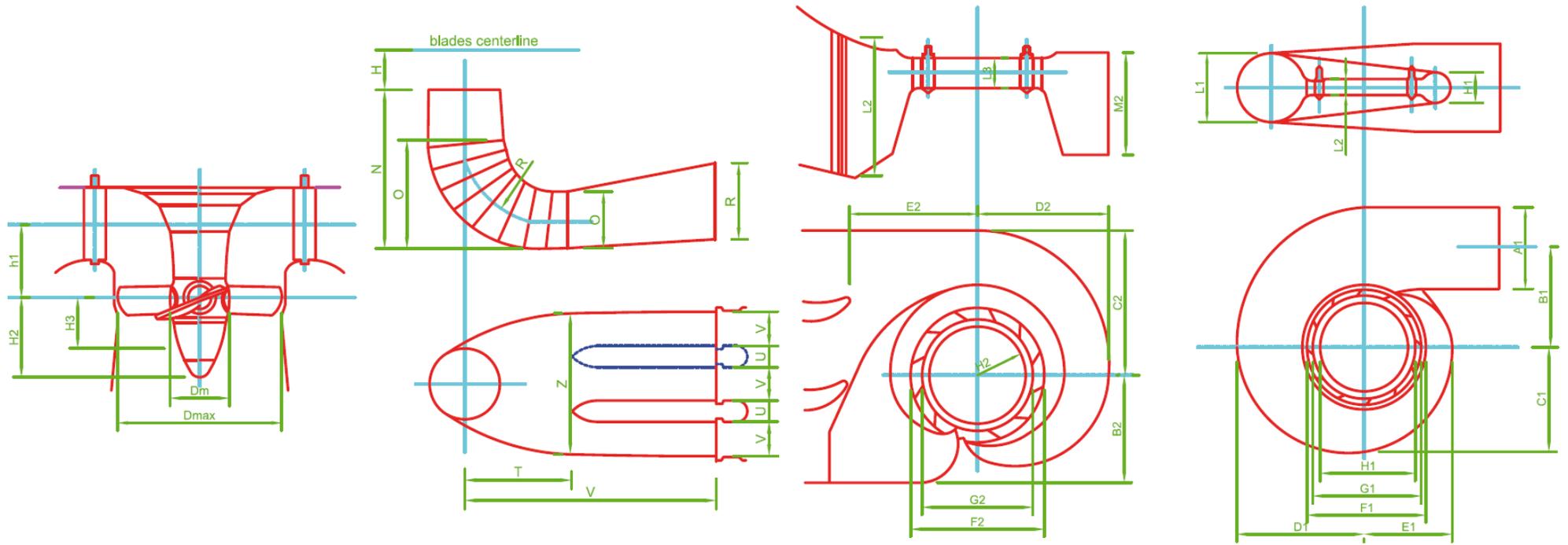


Figura N°12: turbina Kaplan

Una vez desarrollado el método de diseño sobre la turbina Kaplan, podemos justificar los datos obtenidos, con respecto a los datos que nos brindaría el proveedor de la turbina, ya que con la velocidad específica de la turbina podemos justificar que los cálculos son correctos para la turbina de tipo Kaplan

Calculo para comparar la velocidad específica de la turbina con min y máx.

$$N_s = \frac{n\sqrt{P}}{h^{\frac{5}{4}}} \rightarrow N_s = \frac{800\sqrt{100}}{1^{\frac{5}{4}}} = 8000$$

$$N_s = \frac{n\sqrt{P}}{h^{\frac{5}{4}}} \rightarrow N_s = \frac{800\sqrt{5000}}{20^{\frac{5}{4}}} = 1337.48$$

Por los resultados obtenidos, podemos demostrar que el diseño corresponde a los rangos necesarios para el diseño y funcionamiento de la turbina de tipo Kaplan (Anexo N°8, Anexo N°9)

Luego de haber realizado los cálculos sobre el dimensionamiento de la turbina, según nuestros datos obtenidos por los diferentes caudales que obtuvimos de la página del SENAMI, por lo que también según la ubicación geográfica podemos tomar la mejor decisión para seleccionar la turbina hidráulica.

Ya que en la localidad podemos encontrar información, la cual no es de ayuda para poder determinar la ubicación del cuarto de máquinas, ya que en este caso no puede estar ubicada lo más cerca al centro poblado, ya que el INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL – INDECI, nos da un plano el cual nos indica la posible zona afectada en caso el río Crisnejas se desborde y cause problemas en la localidad, el cual podemos observar en el anexo N°1

4.5. Posible ubicación de la central hidroeléctrica:

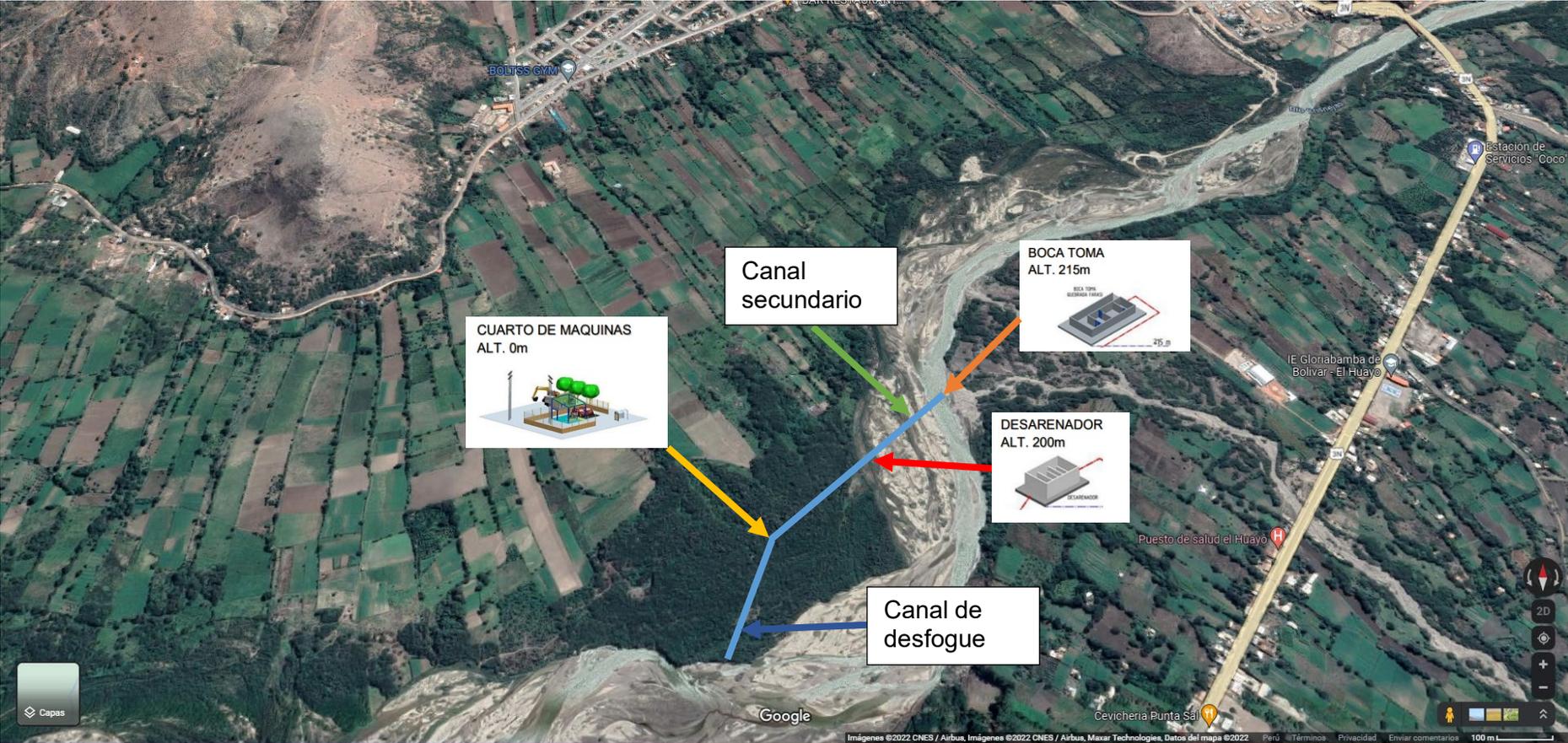


Imagen N°1: ubicación de la central hidroeléctrica

#### 4.6. selección del generador

En principio, un motor eléctrico es un generador que funciona a la inversa, es decir. Es decir, en lugar de aportar energía mecánica al eje para generar energía eléctrica.

El motor actúa como un generador que absorbe y emite energía eléctrica. Mecanismo de salida en el eje. Dado que el principio de funcionamiento es básicamente el mismo, es posible utilizar un motor eléctrico como generador. si

El motor de investigación se utilizará como generador, ya que la amplia gama de motores eléctricos del mercado puede adaptarse para muchas máquinas con diferentes condiciones, por lo que al haber investigado sobre los distintos generadores podemos tomar en cuenta el modelo W50 500 kW 4P 400J/H 3F 6600 V 60 Hz IC411 - TEFC - B3R(E), ya que cuenta con la capacidad de soportar el trabajo que realizará la turbina hidráulica. (anexo N° 5)

#### 4.7. Análisis económico

Al realizar el presupuesto de la central hidroeléctrica, en la cual se incluirá los costos de los componentes mecánicos, eléctricos, obra civil, la instalación de la turbina, operación y el mantenimiento de dicha central.

Ítem	Denominación	Cantidad	U.M	Precio Unitario	Sub Total
				Soles/UM	soles
1	Turbina Kaplan de eje vertical, de marca CINK, con un tiempo de vida de 25 años, la cual genera 500 kW, a una velocidad específica de 2392.56 RPM, la cual incluye los accesorios de montaje.	1	Pza.	S/ 150,000.00	S/ 150,000.00
2	Válvula de mariposa de 24"	2	Pza.	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
3	Tuberías de 630 Mm	150	m	S/ 155.00	S/ 23,250.00
4	Rejilla de platina de acero inoxidable de 2x2	60	m	S/ 17.00	S/ 1,020.00
5	Electroválvula de apertura y cierre rápido con regulación de caudal de 0.6 m3/s	1	Pza.	S/ 600.00	S/ 600.00

6	Tablero de control, con reguladores de frecuencia en base a caudal y consumo energético, protecciones térmicas y relés de seguridad, analizador de fases y llave térmica para el consumo	1	Pza.	S/ 9,000.00	S/ 9,000.00
Tabla de Inversión en activos del equipo				Total	S/ 186,870.00

Ítem	Denominación	Cantidad	U.M	Precio	Sub Total soles
				Unitario	Soles
1	Interruptor automático de caja moldeada	1	Pza.	S/ 7,650.00	S/ 7,650.00
2	cable NYY-NYSY, 0.6/1 Kv, Tmáx=90°	30	m	S/ 42.30	S/ 1,269.00
3	Regulador de voltaje, 440 V	1	Pza.	S/ 22,000.00	S/ 22,000.00
4	Tablero de distribución 440 V, 500 KW	1	Pza.	S/ 6,500.00	S/ 6,500.00
5	Generador W50 de 500 kW	1	Pza.	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00
6	Multímetro eléctrico digital	1	Pza.	S/ 1,200.00	S/ 1,200.00
7	Accesorios: tubo Conduit, bornes, etc.	1	Glb	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00
Tabla de sistemas de control de la central				Total	S/ 130,619.00

Dentro del análisis económico, se contempla un tiempo de proyecto de 45 días, de los cuales se necesitan los siguientes especialistas, de los cuales se toman en cuenta su salario promedio, en el rubro.

Ítem	Especialista	Cantidad	Sueldo mensual	Días laborados	total
1	Ingeniero Mecánico	1	S/ 3,000.00	45	S/ 4,500.00
2	Ingeniero Geólogo	1	S/ 2,500.00	45	S/ 3,750.00
3	Ingeniero Civil	1	S/ 2,500.00	45	S/ 3,750.00
4	Mecánico de mantenimiento	3	S/ 2,000.00	45	S/ 3,000.00
5	Electricista industrial	2	S/ 2,000.00	45	S/ 3,000.00
6	Ayudantes	10	S/ 1,024.00	45	S/ 1,536.00
7	Alquiler de equipos	-	-	-	S/ 5,000.00
8	Otras subvenciones	-	-	-	S/ 2,500.00
				Total	S/ 27,036.00

Tabla N°: costo del personal

Se tomo en cuenta a la empresa GEOLOGÍA PVD, la cual se encargará de realizar el servicio de ingeniería, en la localidad, la cual contará con sus divisiones entre el la turbo máquina y elementos de control.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
<b>1</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				<b>S/ 1,568.85</b>
1.01	CASETA DE GUARDIANÍA Y ALMACÉN	glb	1	S/ 480.35	S/ 480.35
1.02	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	glb	1	S/ 508.50	S/ 508.50
1.03	FLETE DE MATERIALES	glb	1	S/ 580.00	S/ 580.00
<b>2</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				<b>S/ 991.53</b>
2.01	TRAZO Y REPLANTEO	día	3	S/ 245.76	S/ 737.28
2.02	REMOJO DE TERRENO	día	3	S/ 84.75	S/ 254.25
<b>3</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>S/ 3,454.02</b>
3.01	EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS PARA CIMENTACIONES	m3	60	S/ 12.85	S/ 771.00
3.02	EXCAVACION CON EQUIPO PARA CIMENTAR	m3	50	S/ 4.50	S/ 225.00
3.03	REFINE Y NIVELACION DE TERRENO	m3	45	S/ 2.29	S/ 103.05
3.04	CAPA DE AFIRMADO EN BASE DE ESTRUCTURAS	m3	23	S/ 88.09	S/ 2,026.07
3.05	RELLENO HIDRATADO DE ZANJAS	m3	26	S/ 12.65	S/ 328.90
<b>4</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</b>				<b>S/ 6,418.15</b>
4.01	SOLADO DE CONCRETO C:H 1:10 E=2"	m2	30	S/ 28.50	S/ 855.00
4.02	FALSO PISO 2"	m2	20	S/ 30.90	S/ 618.00
4.03	CONCRET O CICLOPEO PARA CIMENTACION 1:10 + 30% P.M.	m2	13	S/ 225.80	S/ 2,935.40
4.04	SOBRECIMIENTO 1:8 + 25% P.M.	m2	0.45	S/ 285.00	S/ 128.25
4.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE CIMIENTOS CORRIDOS	m2	53	S/ 35.50	S/ 1,881.50
<b>5</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO ARMADO</b>				<b>S/ 17,861.50</b>
5.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	1000	S/ 4.20	S/ 4,200.00
5.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA	m2	130	S/ 46.55	S/ 6,051.50
5.03	CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2	m3	20	S/ 380.50	S/ 7,610.00
<b>6</b>	<b>ALBAÑILERIA</b>				<b>S/ 6,126.84</b>
6.01	MURO CARAVISTA K.K. ARCILLA 18 H (0.09x0.13x0.24)	m2	93	S/ 65.88	S/ 6,126.84
<b>7</b>	<b>REVOQUES</b>				<b>S/ 1,154.13</b>
7.01	PISO PULIDO	m2	20	S/ 30.90	S/ 618.00
7.02	SOLAQUEO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO	m2	63	S/ 8.51	S/ 536.13
<b>8</b>	<b>CARPINTERIA METÁLICA</b>				<b>S/ 1,803.60</b>
8.01	PORTÓN DE 2.50MX2.00M	und	3	S/ 601.20	S/ 1,803.60

<b>9</b>	<b>COBERTURA DE ALUZINC + ESTRUCTURA METÁLICA</b>				<b>S/ 9,151.05</b>
9.01	SUMINISTRO DE COBERTURA + ESTRUCTURA METÁLICA	glb	1	S/ 7,055.85	S/ 7,055.85
9.02	INSTALACIÓN DE COBERTURA + ESTRUCTURA METÁLICA	glb	1	S/ 2,095.20	S/ 2,095.20
<b>TOTAL</b>					<b>S/ 48,529.67</b>

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
<b>10</b>	<b>TRABAJOS COMPLEMENTARIOS A LA PROPUESTA</b>				<b>S/ 8,842.88</b>
<b>11.01</b>	<b>PROFUNDIZACIÓN DE PLATAFORMA Y CIMENTACIONES (-0.60M)</b>				<b>S/ 1,350.60</b>
11.01.01	EXCAVACIONES DE PLATAFORMA PARA TURBINA	m3	22	S/ 18.55	S/ 408.10
11.01.02	EXCAVACIONES EN ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS	m3	16	S/ 32.50	S/ 520.00
11.01.03	RELLENOS EN ZAPATAS Y CIMIENTOS CORRIDOS	m3	13	S/ 32.50	S/ 422.50
<b>11.02</b>	<b>MAYOR ALTURA DE COLUMNAS (+0.60M)</b>				<b>S/ 927.40</b>
11.02.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	76	S/ 4.20	S/ 319.20
11.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	9	S/ 46.55	S/ 418.95
11.02.03	CONCRETO F´C=210 KG/CM2	m3	0.45	S/ 420.55	S/ 189.25
<b>11.04</b>	<b>MAYOR ALTURA DE SOBRECIMENTOS (+0.60M)</b>				<b>S/ 2,565.38</b>
11.04.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	203	S/ 4.20	S/ 852.60
11.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	33	S/ 46.55	S/ 1,536.15
11.04.03	CONCRETO F´C=210 KG/CM2	m3	0.42	S/ 420.55	S/ 176.63
<b>11.05</b>	<b>ADICIONAR SOBRELOSA PARA TURBINA (E=0.20M)</b>				<b>S/ 846.56</b>
11.05.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	36	S/ 4.20	S/ 151.20
11.05.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	5	S/ 46.55	S/ 232.75
11.05.03	CONCRETO F´C=210 KG/CM2	m3	1.1	S/ 420.55	S/ 462.61
<b>11.06</b>	<b>REDISEÑO DE RAMPA DE ACCESO (Aumento de Pendiente)</b>				<b>S/ 1,469.87</b>
11.06.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	31	S/ 4.20	S/ 130.20
11.06.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	8	S/ 46.55	S/ 372.40
11.06.03	CONCRETO F´C=210 KG/CM2	m3	2.3	S/ 420.55	S/ 967.27
<b>11.07</b>	<b>ADICIONAR CANALETA POR PROFUNDIZACIÓN DE RAMPA</b>				<b>S/ 1,524.58</b>
11.07.01	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2	kg	34	S/ 4.20	S/ 142.80
11.07.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	11	S/ 46.55	S/ 512.05
11.07.03	CONCRETO F´C=175 KG/CM2	m3	0.86	S/ 380.50	S/ 327.23
11.07.04	REJILLA METÁLICA	m	5	S/ 108.50	S/ 542.50
<b>11.08</b>	<b>CARPINTERIA METÁLICA</b>				<b>S/ 158.50</b>
11.08.01	INCREMENTO ALTURA (+0.40M) DE PORTÓN EN RAMPA	und	1	S/ 158.50	S/ 158.50

COSTO DIRECTO		S/ 57,372.55
GASTOS GENERALES	8%	S/ 4,589.80
UTILIDADES	7%	S/ 4,016.08
<b>SUB TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>S/ 65,978.43</b>

El costo total de la obra:  $186870 + 130619 + 27036 + 65978.43 =$   
S/. 410503.43

Con una capacidad para poder generación: 500 KW

Dentro de los costos, debemos tener en cuenta el mantenimiento y la operación de la central.

Personal	costo			Participación	N° de personal	Costo anual (S/.)
	Unitario (S/.)	Leyes sociales	Total (S/.)			
Supervisor de área	S/ 1,800.00	26%	S/ 2,268.00	20%	1	S/ 27,216.00
Mecánico electricista	S/ 2,000.00	26%	S/ 2,520.00	35%	1	S/ 30,240.00
Operario	S/ 1,500.00	26%	S/ 1,890.00	50%	1	S/ 22,680.00
Materiales, repuestos y accesorios	S/ 150.00	-	S/ 150.00	100%	-	S/ 1,800.00
				total		S/ 81,936.00

Como podemos tener ya los gastos que contempla la central hidroeléctrica, podemos ver los ingresos que podremos obtener de la central:

- Potencia efectiva en barras de 440 v y 500 KW
- Tiempo de operación en horas de consumó punta:  $(6 \text{ hr/día} * 30 \text{ día/mes}) = 180 \text{ horas/mes}$
- Tiempo de operación en horas de consumó normal:  $(18 \text{ hr/día} * 30 \text{ día/mes}) = 540 \text{ horas/mes}$
- Tiempo mensual de operación en horas:  $(24 \text{ hr/día} * 30 \text{ día/mes}) = 720 \text{ horas/mes}$

Para obtener el costo mensual que se recibirá por parte de la central eléctrica

- Costo unitario de energía eléctrica para el consumo de energía eléctrica en horas punta, MT2:0.2150 soles/KW-h.

$$(180\text{hr/mes} * 500 \text{ KW}) * 0.2150 \text{ soles/KW-h} = 19350 \text{ soles/mes}$$

- Costo unitario de energía eléctrica para el consumo de energía eléctrica fuera de horas punta, MT2:0.2150 soles/KW-h.

$$(540\text{hr/mes} * 500 \text{ KW}) * 0.2150 \text{ soles/KW-h} = 58050 \text{ soles/mes}$$

- El beneficio bruto económico sería:

$$77400 \text{ soles/mes} * 12 \text{ mes/año} = 928800 \text{ soles/año}$$

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Máxima demanda

Según la normativa de osinergmin (RD-031-2003-EM/DGE), la cual es vigente para desarrollar el cálculo de la máxima demanda tanto rural como urbana se llegó a determinar que máxima demanda del centro poblado La Grama, distrito Eduardo Villanueva, provincia San Marcos es de 471.84 KW, la cual, se redondeó a 500 KW tomando en cuenta el crecimiento de la población y el consumo de energía eléctrica. Por lo que también con la información brindada por el INEI se obtiene un índice de crecimiento poblacional promedio de los años 2020 -2040, el cual nos brinda un 0.81 de tasa de crecimiento poblacional anual en la localidad, ya que ese dato nos ayuda para que en la norma RD-031-2003-EM/DGE.

Dentro de la normativa de osinergmin (RD-031-2003-EM/DGE) se encuentra los datos para determinar la máxima demanda en una zona rural como en la que se está realizando en esta localidad, así mismo podemos tomar en cuenta datos de crecimiento poblacional, brindados por el INEI, la cual nos ayuda a tener una proyección de demanda eléctrica para dicha localidad.

Por lo que, en el desarrollo para poder hallar la máxima demanda, se realizó la recolección de datos sobre el consumo de energía eléctrica,

mediante sus recibos de energía eléctrica, la cual en la localidad existen más de 300 viviendas habitadas, las cuales nos ayudan a tener un aproximado de consumo eléctrico en la localidad, ya que en dicha localidad cuentan con restaurantes, centro médico, una municipalidad, etc. Al realizar los cálculos para la demanda eléctrica proyectada, nos da un resultado de 471.84 KW, la cual, para facilitar los cálculos de diseño, se redondeó a 500 KW.

Por lo mismo, Michael Pajares Espejo, 2017, nos logra brindar la información metodológica para poder determinar la demanda máxima eléctrica de 2 KW, la cual tiene en cuenta la normativa RD-031-2003-EM/DGE, de demanda eléctrica, la cual se registró en el laboratorio de ingeniería mecánica y eléctrica de la universidad de Señor de Sipán, Pimentel. (agregar el título de la investigación)

## **5.2. Calculo de caudal**

Según el modelo de guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica se deberían evaluar los datos de caudal, del cual se tomara en cuenta la metodología de diseño, por lo podremos aplicar el desarrollo de la guía, en donde podremos recolectar con respecto a la ubicación de la localidad, por lo que, respecto a la recolección de datos, que nos brinda la página web de SENAMHI, del cual obtenemos el caudal máximo histórico (107.7 m<sup>3</sup>/s), caudal promedio histórico (15 m<sup>3</sup>/s), caudal menor histórico (2 m<sup>3</sup>/s) del rio criznejas

En este caso para poder evaluar los datos brindados por la zona de estudios, es de gran importancia tener los datos históricos del caudal del rio criznejas, que en este caso se tomaron de la página de SENAMHI, la cual nos ayudara a tener una precisión a la hora de realizar el diseño de la turbina hidráulica, con respecto a los datos tomados del caudal, podemos tener 3 datos distintos.

Como caudal máximo histórico, tenemos 107.7 m<sup>3</sup>/s, con el cual tendríamos la primera propuesta para diseñar una turbina hidráulica, que, en este caso, con el caudal de diseño ya y nuestra demanda máxima proyectada, vemos nuestro Anexo N°7, lo cual este dato no

nos brinda las mejores condiciones para realizar el diseño de la turbina.

Con nuestro caudal promedio histórico, tenemos 15 m<sup>3</sup>/s con el cual tendríamos la primera propuesta para diseñar una turbina hidráulica, que, en este caso, con el caudal de diseño ya y nuestra demanda máxima proyectada, vemos nuestro Anexo N°7, lo cual este caso nos brinda las condiciones para poder realizar el diseño de la turbina de modelo Kaplan

Con nuestro caudal mínimo histórico, tenemos 2 m<sup>3</sup>/s con el cual tendríamos la primera propuesta para diseñar una turbina hidráulica, que, en este caso, con el caudal de diseño ya y nuestra demanda máxima proyectada, vemos nuestro Anexo N°7, lo cual este caso nos brinda las condiciones para poder realizar el diseño de la turbina de modelo Michell Banki.

### **5.3. Para el cálculo de la altura de diseño**

Ya que con los datos recolectados de los distintos caudales y de la demanda máxima proyectada, podemos realizar las diferentes alturas con respecto a cada caudal. Ya que Néstor Gutiérrez nos brinda la información metodológica para poder realizar el cálculo para determinar la altura de diseño, ya que en su investigación “Minicentral Hidroeléctrica” nos brinda las ecuaciones necesarias para poder resolver la incógnita de nuestra altura de diseño.

Como caudal máximo histórico, verificamos con nuestra máxima demanda de 500 KW, podemos calcular que nuestra altura es de 0.56 m, que en este caso en nuestro Anexo N°7, no nos da los datos para poder diseñar alguna turbina hidráulica, la cual sobre pasa nuestro caudal y nuestra altura no es la suficiente

Con nuestro caudal promedio histórico verificamos con nuestra máxima demanda de 500 KW, podemos calcular que nuestra altura es de 4 m, que en este caso en nuestro Anexo N°7, en este caso, podemos observar que nos brindan los datos necesarios para realizar el diseño una turbina hidráulica de tipo Pelton, la cual también por la

ubicación geográfica de la localidad se puede realizar esa caída de agua para poder satisfacer la demanda eléctrica de la localidad.

Con nuestro caudal mínimo histórico verificamos con nuestra máxima demanda de 500 KW, podemos calcular que nuestra altura es de 8.28 m, que en este caso en nuestro Anexo N°7, en este caso, podemos observar que nos brindan los datos necesarios para realizar el diseño una turbina hidráulica de tipo Michell Banki, la cual también por la ubicación geográfica de la localidad se puede realizar esa caída de agua para poder satisfacer la demanda eléctrica de la localidad.

#### **5.4. Diseño de la turbina hidráulica**

Ya que gracias a trabajos previos que realizaron el diseño de una central hidroeléctrica, se toman en cuenta algunos rangos para tener un diseño óptimo y que funcione con normalidad y poder solucionar el problema que se plantean.

Ya que, al desarrollar el diseño de la turbina, tuvimos 3 opciones distintas, ya que, en nuestros datos recolectados, obtuvimos distintos caudales de diseño, la cual nos sirvió para poder determinar qué tipo de turbina podemos diseñar, ya que en Jaime Cascante y Bashir El-Ghellali nos brindan información metodológica para poder escoger que tipo de turbina es adecuada para nuestros datos obtenidos, tales como nuestra demanda máxima, caudal y altura.

Ya que, con nuestro caudal más alto, en los rangos presentados por el manual para centrales hidroeléctricas, no son aceptados para poder realizar el diseño de una turbina para la centra

En el caso del caudal promedio, nuestros datos están dentro del rango para el diseño de una turbina hidráulica de tipo Michell Banki, la cual gracias al autor Jeison Alfonso, en su proyecto de investigación, nos brinda la metodología de diseño de una turbina Michel Banki, la cual tienen un diámetro de 0.4973 m, la cual está dentro de los rangos permitidos para dicha turbina.

Con respecto al diseño de la turbina con el caudal mínimo, el rango en

el que podemos realizar nuestro de la turbina es de tipo Kaplan, que, en este caso, el autor Pablo Zapico, nos brinda la metodología de diseño que nos permite desarrollar el diseño de dicha turbina, la cual nos brinda un diámetro de rotor de 0.98 m, la cual aún corresponde a los rangos permitidos en la metodología brindada por el autor.

#### **5.5. Selección del generador**

Gracias a la empresa GOTYARD, que nos brinda la información teórica de como poder escoger el generador adecuado para la tarea que vamos a realizar, tenemos en cuenta la teoría y llegamos a encontrar el modelo adecuado para nuestra turbina de tipo Kaplan, el cual es el modelo W50 500 kW 4P 400J/H 3F 6600 V 60 Hz IC411 - TEFC - B3R(E).

#### **5.6. Análisis económico**

Por estudios previos de Inoñan Ventura y Vargas Calderón, podemos obtener la metodología para poder desarrollar el análisis económico, para poder obtener el costo de la central hidroeléctrica y el beneficio económico que podríamos obtener en este caso, al realizar la metodología, podemos obtener como resultado que tendremos un gasto de S/. 410503.43 para la central hidroeléctrica, con una turbina de tipo Kaplan, la cual constituyen unos gastos de operación de S/ 81,936.00 anuales.

## **VI. CONCLUSIONES**

Por lo tanto, nuestra máxima demanda es de 500 KW en el estricto cumplimiento de la norma RD-031-2003-EM/DGE y además nos encontramos dentro lo establecido por la normativa, la cual nos brinda la cantidad de demanda eléctrica necesaria corroborado por el investigador Pajares en su trabajo "Generación híbrida de 2kw para el Centro Poblado Laguna Huanama en el distrito de Salas"

Al procesar nuestros datos de caudales, podemos obtener 3 distintos, los cuales son de 107.7, 15 y 2 m<sup>3</sup>/s, ya que de cada uno de ellos dependerá que tipo de turbina se podrá diseñar con respectó a la máxima demanda,

ya que, por la metodología aplicada, por el autor Esha en la guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica.

Por lo siguiente, al realizar el cálculo, para así poder obtener la caída de agua para la turbina, podemos obtener 0.56, 5 y 30 m, con respecto a cada caudal, ya que Néstor Gutiérrez nos muestra la metodología para poder realizar el cálculo de la altura de caída, en su investigación **MINICENTRAL HIDROÉLECTRICA**

Una vez realizado los cálculos necesarios, con respecto a la demanda máxima de energía eléctrica proyectada, el caudal necesario y la altura adecuada que necesitamos, podemos obtener qué tipo de turbina es la óptima para nuestros datos, por medio de trabajos previos como el de Jaime Cacante y Bashir El-Ghellali, que nos brindan rangos en los cuales podemos determinar qué tipo de turbina es la adecuada para los datos que tenemos, que en este caso se seleccionó la turbina de tipo Kaplan, la cual se desarrolló el diseño gracias a la metodología que nos brinda Pablo Zapico en su trabajo, “Redimensionamiento de turbinas Kaplan y Pelton” del cual nos basamos para el diseño de la turbina.

Para poder determinar el tipo de generador que necesitaríamos para poder transformar nuestra energía mecánica a eléctrica, tomamos en cuenta la información brindada por la página web GATOYARD, en su publicación “Criterios de selección para un generador eléctrico”, la cual nos indica que tipo de generador podemos, que, en este caso, pudimos tener el generador W50 500 kW 4P 400J/H 3F 6600 V 60 Hz IC411 - TEFC - B3R(E), el cual es el indicado para nuestra central.

Con respecto a nuestro análisis económico, nuestra inversión inicial sería de S/. 410503.43 y nuestros gastos operacionales serían de S/. 81936, teniendo en cuenta que nosotros generaremos 500 KW, tenemos un ingreso anual de 928800 soles/año, por lo que ya en un año estaríamos recuperando nuestra inversión inicial.

## **VII. Recomendaciones**

Se recomienda tener un controlador, el cual pueda identificar alguna falla dentro del sistema de la turbina, la cual pueda realizar un apagado del sistema y poder verificar el buen funcionamiento de ella y no tener problemas.

Se sugiere tener en cuenta la evaluación de aspectos técnicos, con respecto a la ubicación de la central hidroeléctrica

Se recomienda la evaluación de la distribución de energía eléctrica.

## REFERENCIAS

- ✓ Vásquez, José. (2007). Micro hidroeléctrica tipo Michell Banki, funcionamiento, mantenimiento y componentes. Disponible en: [http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0550\\_M.pdf](http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0550_M.pdf)
- ✓ GÓNGORA, Carlos. *Micro Turbinas para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Turbina Michell-Banki.* (2012). Tesis Doctoral. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias de la Ingeniería–Mención en Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/26393807/microturbinas-para-pequenos-aprovechamientos-hidroelectricos->
- ✓ ALFONSO CABRERA, Jeison. Procedimientos metodológicos para el diseño estandarizado de turbinas michell-banki. (2018). Tesis Doctoral. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Mecánica. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/10308/Alfonso%20Cabrera%20Jeison.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- ✓ ROMERO, Fredys, VELASQUEZ, Laura, CHICA, Edwin (2020). Consideraciones de diseño de una turbina Michell – Banki. Colombia. Revista UIS Ingeniería, 2021. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/10906>
- ✓ IBAÑEZ SOLIS, Lenin Edwin. (2019). Diseño y construcción de una mini-turbina hidráulica tipo MICHELL–BANKI para ser instalada en canales primarios abiertos y generar energía mecánica. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica
- ✓ FLORIÁN QUIROZ, Edsgardo Anderson (2019); PAREDES VARGAS, Víctor Augusto. Influencia del espesor y número de álabes sobre el rendimiento total de una turbina Michell Banki.
- ✓ Julio Egúsquiza, Julio Sánchez (2011), Diseño de un Banco de Pruebas para Turbinas MICHEL BANKI para el laboratorio de energía de la Pontificia Universidad Católica del PERÚ.

- ✓ Xavier Criollo, Cristian Quezada, (2011) Diseño de una minicentral de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad cuenca
- ✓ Vinicio Palomeque, Ismael Valdez, Nelson Jara, Fran Reinoso (2020) Diseño de una mini central hidroeléctrica
- ✓ CASTRO, Frans Dennys Carhuamaca (2014). Configuración del rodete para mejorar la producción de energía eléctrica con turbinas Michell-Banki.
- ✓ GOYZUETA, Elviz, (2017). Estudio Y Diseño para la minicentral hidroeléctrica ii etapa del Distrito de Phara-Sandia-Puno,
- ✓ Turbina hidroeléctrica, [Enel Gren Power]. Disponible en: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/turbina-hidroelectrica>
- ✓ Turbinas hidraulicas, [AREATECNOLOGIA]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>
- ✓ Las energías renovables baten este año nuevo récord de crecimiento mundial [LA VANGUARDIA]. Disponible en : <https://www.lavanguardia.com/natural/20211201/7901190/energias-renovables-baten-ano-nuevo-record-crecimiento-mundial.html#foto-3>
- ✓ Marcelo Olivares, James Mcphee, (2011) metodología de identificación de impactos ambientales en pequeñas centrales hidroeléctricas de pasada en cauces naturales, estudio de caso. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104172>
- ✓ Stephen J. Chapman, (2000) Maquinas eléctricas 3ra edición
- ✓ VII encuentro latinoamericano y del caribe sobre pequeños aprovechamientos hidro energéticos 1999
- ✓ Ortiz Ramiro, (1982), Pequeñas centrales hidroeléctricas segunda edición
- ✓ Olade, (1983), Manual de dsieño estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.
- ✓ Castro, (2006), Mini centrales hidroeléctricas en Madrid
- ✓ L. Tapia, (2005) Operación de subestaciones en ecuador
- ✓ F. Zarate, C. Aguerre, R. Aguerre, (1987), Turbina Michell Banki: criterios de diseño, selección y utilización
- ✓ L. K. Van Dixjorn, H. L. Moses, J. Moore, (1984), Experimental determination of Blade forces in a cross-flow turbine

- ✓ B. P. Akerkar, A. A. Fiuzat, Hidro, (1989) Better efficiency for cross Flow turbines
- ✓ Mataix, Claudio. (1986) Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2° Edición. Madrid, España: Ediciones del Castillo S.A.,
- ✓ Streeter, Víctor L. (1972) Mecánica de los Fluidos, 4° Edición. Naucalpán de Juárez, México: McGraw-Hill Editions.
- ✓ Chapman, Stephen J. (1986) Máquinas Eléctricas, 3° Edición. México D.F., México: McGraw-Hill Editions.
- ✓ Shigley, D. Mishke. (1983) Diseño en Ingeniería Mecánica, 3° Edición, New York: McGraw-Hill Editions.
- ✓ Mott, Robert. (1995) Diseño de Elementos de Máquinas, 2° Edición, New York: Prentice-Hall.
- ✓ Beer, Ferdinand P. y Russel, Johnston. (1998) Mecánica de Materiales, 3° Edición, Mexico D.F., México: Editorial McGraw-Hill.
- ✓ Gere, J.M. y Timoshenko, S.P. (1998) Mecánica de Materiales. México D.F, México: Internacional Thomson.
- ✓ Biraj Singh, (2011) Hydraulic Design Of Francis Turbine To Minimize Sediment Erosion (Nepal)
- ✓ Hasan A, Zeynep A, Fatma A, Ece O, Emre A, Kutay C, Selin A, (2015), A CFD Aided Hydraulic Turbine Design Methodology Applied to Francis Turbines (Turkey)
- ✓ Ashlesha K, Sonal S, Pooja W, (2017) Design and Fabrication of Domestic Hydro Turbine (India)
- ✓ Istiak A, Saima A, Mohammad Z, (2015) Construction and experimental study of a Pelton turbine (Bangladesh)
- ✓ Yassi Y, (1999), An experimental study of improvement of a micro hydro turbine performance, University of Glasgow.
- ✓ Myat W.K, Yi Yi K, Than Z, (2019) Desing and Analysis of Pelton Wheel (Myanmar)

- ✓ Dr. K.R.ARORA, (2009) Fluid Mechanics Hydraulics and Hydraulics machines
- ✓ R.S.Khurmi, J.K. Gupta, (2015), Theory of machines
- ✓ Erick O, Elcilane A, Erb F, Jerson R, (2020) Performance assessment of an Indalma hydro-turbine

# ANEXOS

## ANEXO 1: NORMATIVA SOBRE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

NORMA R.D.N° 031-2004-EM/DGE		
Tipo de Servicio	Factor de Potencia	Factor de Simultaneidad
Particular	1.00	0.50
Alumbrado Público	0.90	1.00

Tipo de Localidad	Carga Asignada (kW)
Tipo I	0.60
Tipo II	0.40

**LOCALIDAD EL TUBO ES TIPO I**

## ANEXO 2: CANTIDAD DE POBLACIÓN

### CANTIDAD DE POBLACION LOCALIDAD EL TUBO

Cantidad de Casas (und)	Personas por Casa (Aprox.)	Total de Habitantes
400	2	800

### CÁLCULO DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL

Nombre	Variable	Valor
Población Inicial	Po	800
Tasa de Crecimiento (%)	r	0.81
Tiempo (Años)	t	20
<b>Población en 20 años</b>	<b>Pf</b>	<b>940</b>

**FÓRMULA DE PROYECCIÓN ARITMÉTICA :  $Pf = Po (1+ r/100)^t$**

### ANEXO 3: TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

#### ESTIMACIÓN DE LA PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN 2020 - 2040 SEGÚN INEI

Año	Número de Habitantes	r = Tasa de crecimiento anual (%)
2020	32,625,948	1.54
2021	33,035,304	1.25
2022	33,396,698	1.09
2023	33,725,844	0.99
2024	34,038,457	0.93
2025	34,350,244	0.92
2026	34,660,114	0.90
2027	34,957,600	0.86
2028	35,244,330	0.82
2029	35,521,943	0.79
2030	35,792,079	0.76
2031	36,054,888	0.73
2032	36,309,290	0.73
2033	36,555,034	0.68
2034	36,791,909	0.65
2035	37,019,661	0.62
2036	37,238,190	0.59
2037	37,447,651	0.56
2038	37,648,215	0.54
2039	37,840,036	0.51
2040	38,023,290	0.51
	<b>PROMEDIO</b>	<b>0.81</b>

## ANEXO 4: MÁXIMA DEMANDA PROYECTADA

N°	Item	Cargas de Servicio particular según normas DGE (kW)	Cantidad (und)	Factor de Simultaneidad (FS)	Demanda Máxima Eléctrica (kW)
1	Lotes	0.4	450	0.80	360.00

25.83

### DEMANDA MÁXIMA DE LAS CARGAS ESPECIALES PARA LA LOCALIDAD EL TUBO

N°	Equipo o Taller	Potencia (kW)	Cantidad (und)	Demanda de Carga por Equipo (kW)	Factor de Simultaneidad (FS)	Demanda Máxima Eléctrica (kW)
1	Electrobomba	0.31	4	1.22	0.50	0.61
2	Luminaria de Cancha Deportiva	0.40	0	0.00	0.50	0.00
3	Taller	4.71	2	9.42	0.50	4.71
4	Peluqueria	5.00	1	5.00	0.70	3.50
5	Restaurante	4.00	4	16.00	0.70	11.20
6	Bodega	1.00	4	4.00	0.70	2.80
7	Otros	1.00	3	3.00	1.00	3.00

Nombre	Variable	Valor
Demanda Actual (kW)	Da	360.00
Tasa de Crecimiento (%)	r	0.81
Tiempo (Años)	t	20
Demanda Proyectada	Dp	422.87

**FÓRMULA DE PROYECCIÓN ARITMÉTICA :  $D_p = D_i (1 + r/100)^t$**

### DEMANDA MÁXIMA TOTAL DE LA LOCALIDAD EL TUBO

N°	Descripción	Demanda de Carga (Kw)	Incluidas las Pérdidas (kW)	Factor de Potencia (kW)	Potencia Total (kW)
1	Demanda de Cargas Especiales	25.82	26.59	1.00	26.59
2	Demanda de AP a 20 años	8.62	8.72	0.90	9.69
3	Demanda de Carga Proyectada 20 Años	422.87	435.560	1.00	435.56
				<b>TOTAL</b>	<b>471.84</b>

# ANEXO 5: GENERADOR

Producto: 13008267

VISIÓN GENERAL

DETALLES DEL PRODUCTO

SOBRE EL PRODUCTO

CENTRO DE DESCARGAS

GENERAR DOCUMENTOS



Imagen meramente ilustrativa



Los motores W50 media tensión fueron proyectados para aplicaciones industriales y garantizan excelente performance y confiabilidad en las más severas condiciones. Combinan un motor compacto, con alta densidad de potencia y bajo mantenimiento. Se destacan por su alta resistencia mecánica, durabilidad, bajos niveles de vibración y eficiencia.

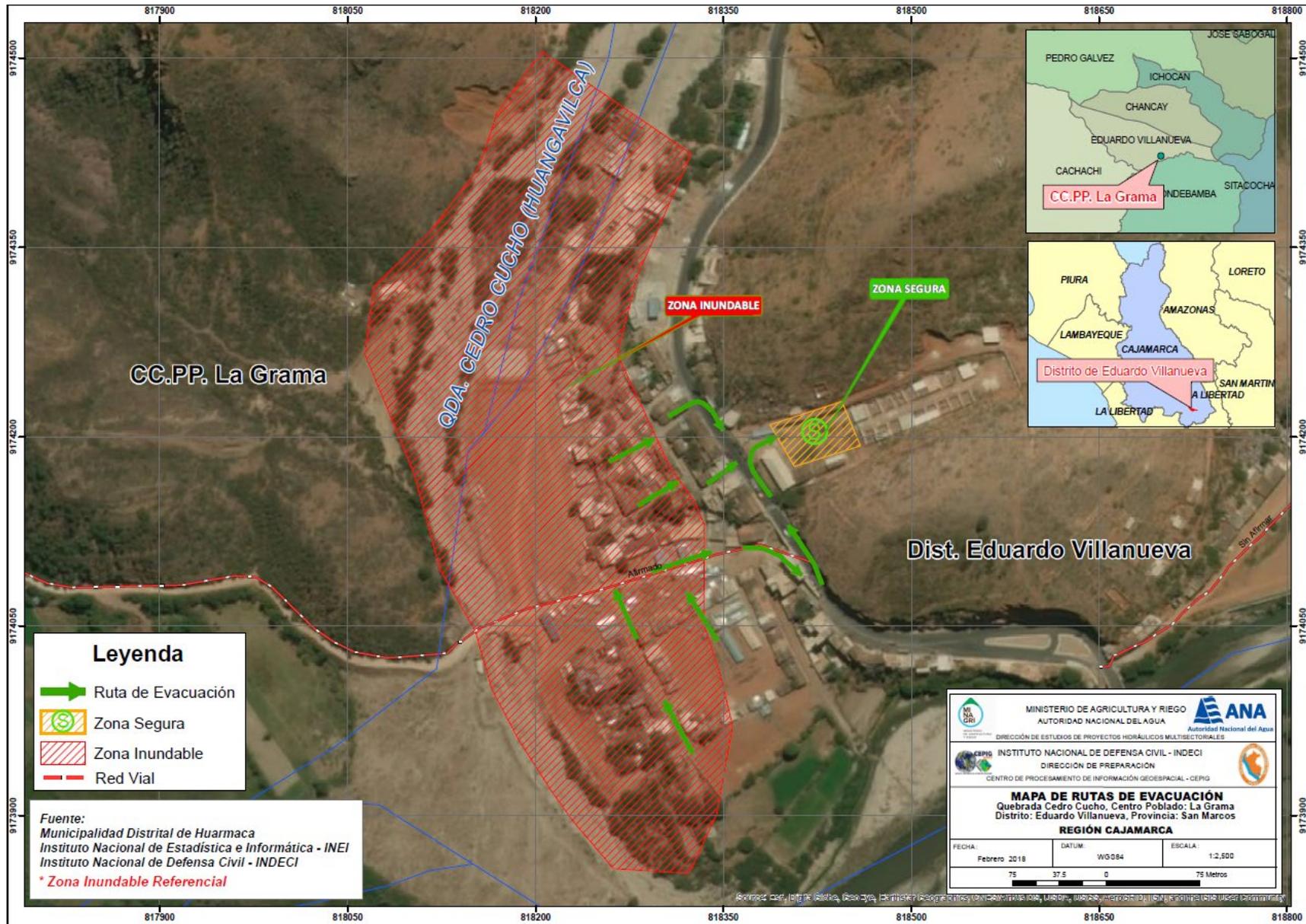
### Resumen de las características técnicas

Norma	IEC 60034-1	Potencia	500 kW
Frecuencia	60 Hz	Fijación	Con pies
Tensión	6600 V	Brida	Sin
Numero de polos	4	Forma constructiva	B3R(E)
Grado de protección	IP55	Caja de conexión <sup>1</sup>	Posición derecha
Rotación sincrónica	1800 rpm	Refrigeración	IC411 - TEFC

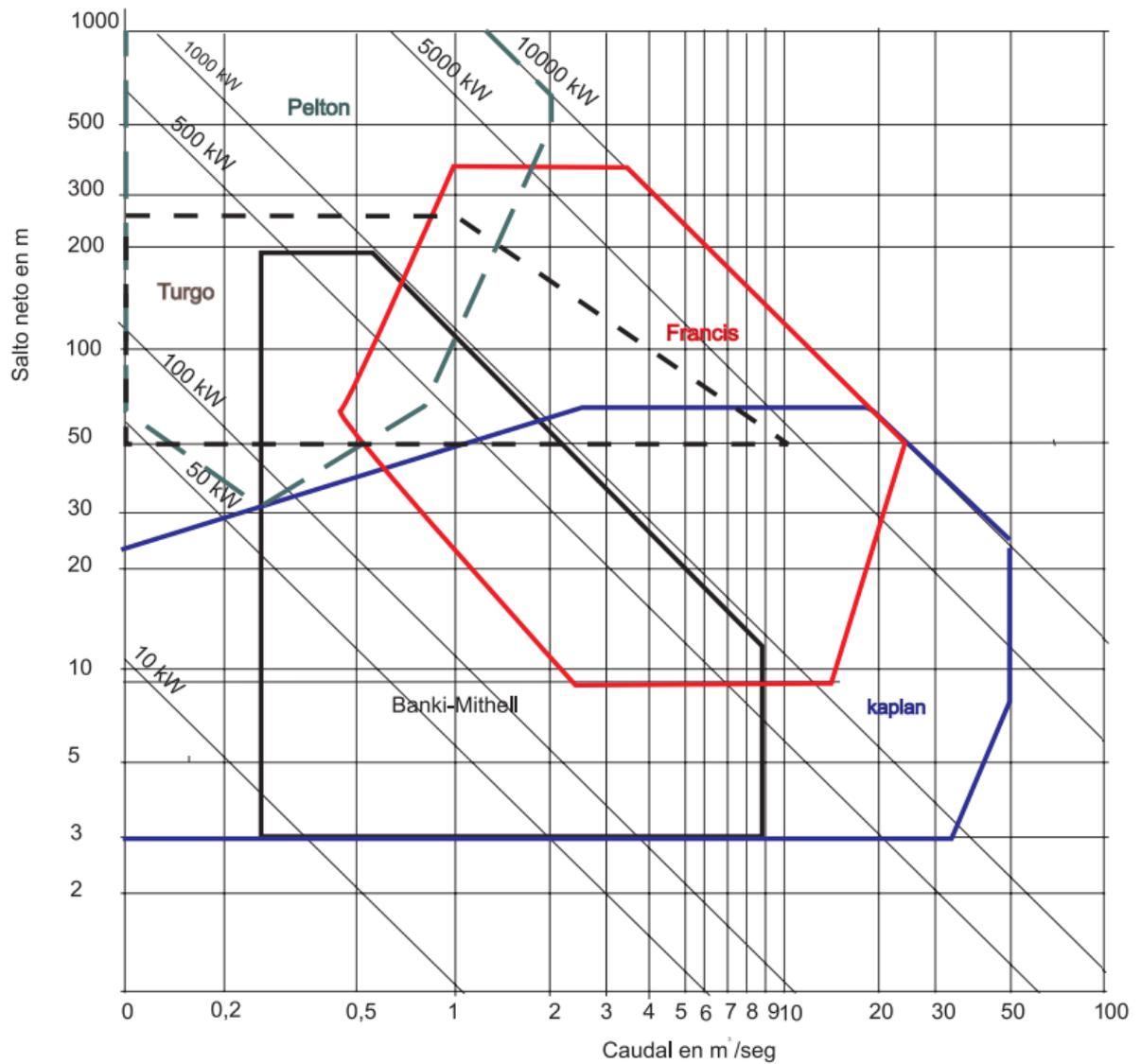
↔ Comparar

W50 500 kW 4P 400J/H 3F 6600 V 60 Hz IC411 - TEFC - B3R(E)

# ANEXO 6: MAPA DE INDECI



## ANEXO 7: DIAGRAMA ALTURA VS CAUDAL



Limites de utilización de las turbinas

- ▬ Helice- Kaplan - Bulbo
- ▬ Francis
- ▬ Pelton
- ▬ Turgo
- ▬ Banki - Michell

## ANEXO 8: TURBINA KAPLAN

[Sobre nosotros](#)[Productos y servicios](#)[Referencias](#)[Demanda](#)[Contacto y asistencia](#)[Español](#)

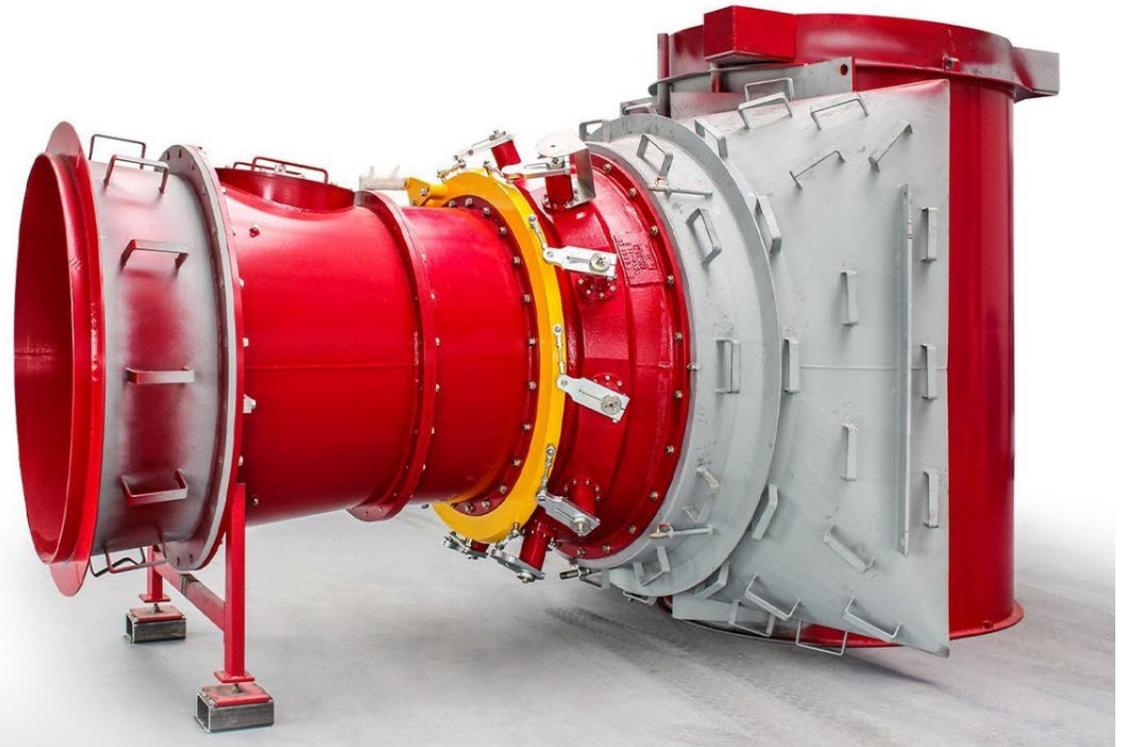
CINK HYDRO - ENERGY K.S. / PRODUCTOS Y SERVICIOS / [TURBINA KAPLAN](#)



### Turbina Kaplan

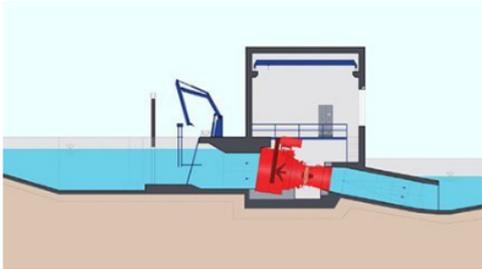
Rango de Salto	Rango de Caudal	Potencia
1 - 20 m	0,4 - 50 m <sup>3</sup> /s	100 - 5 000 kW

Turbinas Kaplan de doble regulación para saltos bajos. Con un diseño compacto y mínimos requisitos de excavación y construcción. Fácil mantenimiento, larga vida útil y alto rendimiento en todo el rango de trabajo (del 20% al 100% del caudal de diseño). Preparadas para una conexión a tubería y disponible en cuatro disposiciones diferentes para adaptarse a cada presa o central de bajo presión.



## ANEXO N°9: DISPOSICIÓN DE LA TURBINA

### Horizontal



Potencia  
**100 - 1200 kW**

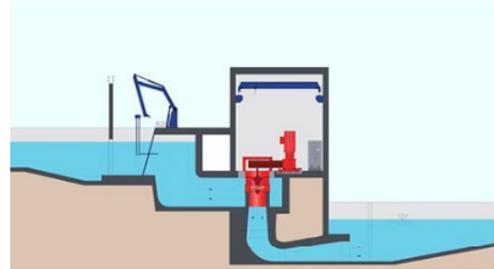
Diámetro del rodete  
**630 - 3000 mm**

Con transmisión por correa

Rango de salto  
**1 - 20 m**

Rango de caudal  
**2 - 50 m<sup>3</sup>/s**

### Vertical



Potencia  
**100 - 5000 kW**

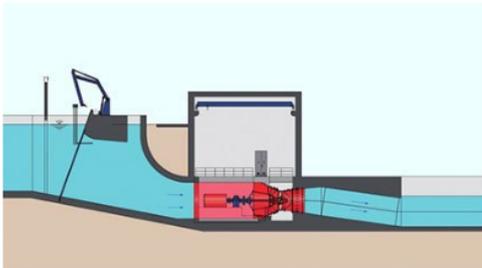
Diámetro del rodete  
**630 - 3000 mm**

Con transmisión por correa o caja de cambios

Rango de salto  
**1 - 20 m**

Rango de caudal  
**2 - 50 m<sup>3</sup>/s**

### Horizontal con caja de cambios



Potencia  
**1200 - 5000 kW**

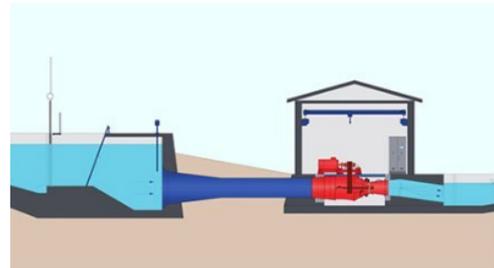
Diámetro del rodete  
**630 - 3000 mm**

Con caja de cambios

Rango de salto  
**1 - 20 m**

Rango de caudal  
**2 - 50 m<sup>3</sup>/s**

### Horizontal tubular



Potencia  
**100 - 500 kW**

Diámetro del rodete  
**320 - 1000 mm**

Con transmisión por correa

Rango de salto  
**1 - 15 m**

Rango de caudal  
**2 - 6 m<sup>3</sup>/s**



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, LUIS ALBERTO JULCA VERASTEGUI, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de la central hidroeléctrica para el Centro Poblado La Grama, Distrito Eduardo Villanueva, Provincia San Marcos, Departamento Cajamarca", cuyo autor es RAMIREZ LLAJARUNA ERICK ANTHONY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 21.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 25 de Noviembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
LUIS ALBERTO JULCA VERASTEGUI <b>DNI:</b> 19336932 <b>ORCID:</b> 0000-0001-5158-2686	Firmado electrónicamente por: JULCAL el 18-01- 2023 08:00:26

Código documento Trilce: TRI - 0454489