

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**“ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SU IMPACTO  
EN LA EFICIENCIA DE TURBINAS FRANCIS EN LA MINI  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CC. NN. BETANIA, PERÚ  
2022”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRICISTA**

**AUTORES:**

**Bach. CAYETANO GOMEZ, Juan Alberto**

**Bach. LINARES DELGADO, Rony Heber**

**Bach. PAUCAR ALTAMIRANO, Anthony Bryan**

**ASESOR:**

**Mg. Ing. MOSCOSO SANCHEZ, Jorge Elias**

**Callao, 2022**

**PERÚ**



## **HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN**

**PRESIDENTE** : **Mg. Ing. Jessica Rosario Meza Zamata**  
**SECRETARIO** : **Mg. Ing. Pedro Antonio Sánchez Huapaya**  
**VOCAL** : **Mg. Lic. Antenor Leva Apaza**  
  
**ASESOR** : **Mg. Ing. Jorge Elías Moscoso Sánchez**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL POR LA MODALIDAD**  
**DE TESIS SIN CICLO DE TESIS**

A los 12 días del mes de octubre Del 2022 siendo las 12 Horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica conformado por los siguientes Docentes Ordinarios de la Universidad Nacional del Callao, (Res. Resolución DECANAL N° 084-2022-DFIEE)

Mg. Ing. JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA	Presidente
Mg. Ing. PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ HUAPAYA	Secretario
Mg. Lic. ANTENOR LEVA APAZA.....	Vocal

Con el fin de dar inicio a la exposición de Tesis de los señores Bachilleres CAYETANO GOMEZ, JUAN ALBERTO; LINARES DELGADO, RONY HEBER y PAUCAR ALTAMIRANO, ANTHONY BRYAN, quienes habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniería Eléctrica. tal como lo señalan los Arts. N° 12 al 15 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentarán la Tesis Titulada "ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE TURBINAS FRANCIS EN LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CC. NN. BETANIA, PERÚ 2022", con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en los Art. N° 14 y 17 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 047-92-CU, en el Capítulo N° 06, corresponde al otorgamiento del Título Profesional con Tesis, efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por aprobado, Calificativo bueno, nota: 15 a los expositores CAYETANO GOMEZ, JUAN ALBERTO; LINARES DELGADO, RONY HEBER y PAUCAR ALTAMIRANO, ANTHONY BRYAN . con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las 13 horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 199 Del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.



.....  
**PRESIDENTE**

Mg. Ing. JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA



.....  
**SECRETARIO**

Mg. Ing. PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ HUAPAYA



.....  
**VOCAL**

Mg. Lic. ANTENOR LEVA APAZA

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a nuestros padres, por brindarnos educación y apoyarnos incondicionalmente durante nuestra etapa universitaria, siempre fueron nuestro motor y motivo para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Alma Mater quienes me abrieron las puertas para brindarme los conocimientos necesarios y lograr con éxito ser un ingeniero profesional.

## Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Realidad Problemática .....	3
1.2. Formulación del Problema .....	4
1.3. Objetivos .....	4
1.4. Justificación .....	4
1.5. Limitantes de la Investigación .....	5
II. MARCO TEÓRICO .....	7
2.2. Antecedentes: Internacionales y Nacionales .....	7
2.2. Bases Teóricas .....	12
2.3. Marco Conceptual.....	18
2.4. Definición de Términos básicos .....	20
III. HIPÓTESIS .....	22
3.1. Hipótesis .....	22
3.2. Definición Conceptual de Variables .....	22
3.2.1. Operacionalización de Variables .....	23
IV. DISEÑO METODOLÓGICO .....	24
4.1. Tipo y diseño de Investigación .....	24
4.2. Método de Investigación .....	25
4.3. Población y muestra.....	25

4.4.	Lugar de Estudio.....	26
4.5.	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información, Validez y Confiabilidad .....	26
4.6.	Análisis y procesamiento de Datos .....	28
4.7.	Aspectos Éticos .....	29
V.	RESULTADOS .....	30
5.1.	Resultados descriptivos. ....	30
5.2.	Resultados inferenciales. ....	32
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	38
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. ....	38
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares. ....	39
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	41
VII.	CONCLUSIONES.....	42
VIII.	RECOMENDACIONES.....	43
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
X.	ANEXOS.....	48
	ANEXO1: Matriz de Consistencia .....	48
	ANEXO 2: Instrumentos de recolección de datos.....	49
	ANEXO 3: Validación de instrumentos. ....	52
	ANEXO 4: Base de datos .....	61
	ANEXO 5: Prueba de fiabilidad.....	63
	ANEXO 6: Prueba de normalidad .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	23
TABLA 2: ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SUS VARIABLES. ....	30
TABLA 3: ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS Y SU VARIABLE.....	31
TABLA 4: AJUSTE DE MODELOS ENTRE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y LA EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS.....	32
TABLA 5: BONDAD DE AJUSTE DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y LA EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS.....	32
TABLA 6: PSEUDO R CUADRADO DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y LA EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS.....	32
TABLA 7: ESTIMACIONES DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y LA EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS. ....	33
TABLA 8: AJUSTE DE MODELOS ENTRE LA DIMENSIÓN ASPECTOS MECÁNICOS Y LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS.	33
TABLA 9: BONDAD DE AJUSTE ENTRE LA DIMENSIÓN ASPECTOS MECÁNICOS Y LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS.	34
TABLA 10: PSEUDO R CUADRADO ENTRE LA DIMENSIÓN ASPECTOS MECÁNICOS Y LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS.	34
TABLA 11: ESTIMACIONES DE LOS PARÁMETROS DE INCIDENCIA DE LA DIMENSIÓN ASPECTOS MECÁNICOS Y LA EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS. ....	35
TABLA 12: AJUSTE DE MODELOS ENTRE LA DIMENSIÓN ASPECTOS ELÉCTRICOS Y LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS. ....	35
TABLA 13: BONDAD DE AJUSTE ENTRE LA DIMENSIÓN ASPECTOS ELÉCTRICOS Y LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS. ....	36

TABLA 14: PSEUDO R CUADRADO ENTRE LA DIMENSIÓN ASPECTOS ELÉCTRICOS Y LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS. .....	36
TABLA 15: ESTIMACIONES DE PARÁMETROS ENTRE LA DIMENSIÓN ASPECTOS ELÉCTRICOS Y LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS.....	36
TABLA 16: RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE CASOS DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN.....	63
TABLA 17: PRUEBA DE FIABILIDAD DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN.....	63
TABLA 18: RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE CASOS DE LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA. ....	63
TABLA 19: PRUEBA DE FIABILIDAD DE LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA.....	63
TABLA 20: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN.....	64
TABLA 21: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SUS VARIABLES. ....	30
FIGURA 2: ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBIA FRANCIS Y SU VARIABLE.....	31
FIGURA 3: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA VARIABLE PARÁMETROS DE OPERACIÓN.....	64
FIGURA 4: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA VARIABLE EFICIENCIA DE LA TURBINA.....	65

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo de determinar los parámetros de operación para conocer el impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022. La cual fue trabajada bajo un enfoque Cuantitativo, por lo cual se contó con una muestra de 45 individuos por la turbina Francis de la mini central hidroeléctrica de la CC.NN, a través de la técnica de la encuesta a través del instrumento del cuestionario, teniendo el resultado donde se demostró que Existe un impacto significativo de los parámetros de operación en la eficiencia de la turbina Francis. Evidenciado a través del Pseudo R cuadrado de Nagelkerke de 46,0%, teniendo una estimación de valor de 2,835, con un coeficiente estimado de Wald mayor a 1, por lo que se acepta la hipótesis de que Los parámetros de operación generan impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.

**Palabras clave:** Parámetros de operación, eficiencia de la turbina Francis, aspectos mecánicos, aspectos electrónicos, eficiencia.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to determine the operating parameters to determine the impact on the efficiency of Francis turbines in the mini-hydroelectric power plant of the CC. NN. Betania, Peru 2022. Which was worked under a quantitative approach, for which there was a sample of 45 individuals for the Francis turbine of the mini hydroelectric power plant of the NPP, through the survey technique through the questionnaire instrument, having the result where it was shown that there is a significant impact of the operating parameters on the efficiency of the Francis turbine. Evidenced through the Pseudo R square of Nagelkerke of 46.0%, having an estimated value of 2.835, with an estimated Wald coefficient greater than 1, so the hypothesis that the operating parameters have an impact on the efficiency of Francis turbines in the mini hydroelectric power plant of the CC. NN. Betania, Peru 2022.

Key words: Operating parameters, Francis turbine efficiency, mechanical aspects, electronic aspects, efficiency.

## **INTRODUCCIÓN**

Muchos países a nivel mundial fueron víctimas de lo que trajo consigo el fenómeno del efecto invernadero, de manera que se buscaron alternativas para poder contenerla, y ante ello, se optó por aprovechar los distintos recursos renovables que cuenta el Perú, tales como los hídricos con la finalidad de poder colaborar al medio ambiente y evitar contaminarlo ya que es energía limpia (Vásquez Hernández, y otros, 2016). Actualmente, el 70 % de electricidad que se usa en el Perú, proviene de las Centrales Hidroeléctricas (Carbajal Cruzado, 2020)

Las maneras en que se obtiene energía en las centrales hidroeléctricas, es mediante un proceso, el cual se basa en la cantidad de agua que es conducido a la planta y luego de ello, es canalizado con fuerte presión hacia la turbina, de tal manera que se saque provecho de lo que brinda la energía hidráulica del agua y ante ello, pase a ser transformada a mecánica por el rodete el cual se encuentra situada u adaptada al generador eléctrico a través de un cojinete y eje con la finalidad de la energía mecánica de la turbina pase a ser energía eléctrica (Salazar Paredes, 2018)

Para que se tenga un desenvolvimiento eficiente en las centrales hidroeléctricas, dependerá del tipo de turbina que se utilice (Ortiz Marin, 2017). El diseño de una turbina requiere la identificación de componentes mecánicos, parámetros, variables operativas y el análisis de la conversión de energía hidráulica en energía mecánica (Arévalo Llumipanta, 2017). Si se quiere sacar provecho de la energía mencionada anteriormente, es importante que se tenga en cuenta el tipo de turbina que mejor se adapte a las condiciones que imponen las características del recurso (Araniva Contreras, y otros, 2013). El usar turbinas que carecen de calidad y no son las indicadas, conlleva a que se tenga sea prematuro su deterioro, las reparaciones se sobrevaluen y demanda de energía eléctrica insatisfecha (Paraguay Cconovilca, 2021)

Actualmente, es pertinente mencionar que la turbina Francis es la propicia para que se empleen en las centrales hidroeléctricas, puesto que se utiliza en alturas

de salto de agua entre el rango de 25 a 400 [m], generando una eficiencia entre el 90 y 94% para grandes instalaciones (Pantigozo Orqque, y otros, 2019)

Ante lo expuesto en la presente indagación, se evaluará si el rendimiento de la turbina Francis desde su instalación es acorde a su potencia instalada realizando un análisis de la ejecución del terminado el proyecto mediante los parámetros de operación y su efecto en el rendimiento o eficiencia de la turbina Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Realidad Problemática**

Las turbinas hidráulicas están sujetas al recurso hídrico, el cual relativo en cuánto a presión y caudal, de manera que su operación se realiza constantemente fuera de las condiciones de diseño. En la misma línea, sucede con la demanda de energía a la central. Las variaciones conllevan a que las condiciones hidrodinámicas en el rotor denoten cambios dentro de lo que se estima como rangos aceptables para su geometría (Melnick D'Etigny, 2017). En las instalaciones de la mini central hidroeléctrica de CC. NN. Betania la turbina seleccionada trabajara en las siguientes condiciones: Altitud 348 m.s.n.m, salto neto de 17.47 metros y caudal de diseño 3 m<sup>3</sup>/s. De acuerdo a las condiciones de trabajo, es pertinente mencionar que no es recomendable hacer uso desmesurado de cualquier tipo de turbina. Llevar a cabo el uso de cualquier tipo de tubería, generará que no se obtenga de manera correcta la transformación de la energía hidráulica en energía mecánica y, por ende, no se logrará generar energía eléctrica (Paraguay Cconovilca, 2021).

El rendimiento de la turbina Francis, está sujeto a ciertas características de las cuales son, el tiempo de operación, mantenimientos, el tipo de calidad del agua entre otros (Salazar Paredes, 2018). En la mini central hidroeléctrica de CC. NN. Betania el rendimiento de la turbina Francis no ha sido el óptimo, ya que su instalación no fue la correcta, puesto que, no se tuvo la potencia esperada y no alcanzó lo que se proyectaba; conllevando a concluir que no se ha llevado un trabajo esquematizado de los parámetros de operación y su efecto en el rendimiento de la turbina Francis (Carbajal Cruzado, 2020).

Ante lo expuesto, nos preguntamos cómo los parámetros de operación generan un impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, es por ello que formulamos el siguiente problema de investigación.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

P.G. ¿Cómo los parámetros de operación generan un impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

P.E.1. ¿Cómo los aspectos mecánicos impactan en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022?

P.E.2. ¿Cómo los aspectos eléctricos impactan en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar los parámetros de operación para conocer el impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

O.E.1 Diagnosticar el impacto de los aspectos mecánicos en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.

O.E.2 Medir el impacto de los aspectos eléctricos en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.

## **1.4. Justificación**

### **Justificación Teórica**

Según **(Hernández, 2015)** Indica que “su propósito del estudio es tomar conocimiento de lo que se investiga y ello conlleva a que se genere intercambios de posiciones y puntos de vistas sobre el conocimiento existente, refutaciones teóricas, contraste de resultados, hacer epistemología del conocimiento existente”.

En base a lo manifestado por el autor, la presente investigación tiene una justificación teórica que permitió analizar la estructura operativa y contrastar la eficiencia de la turbina eléctrica Francis de acuerdo a la variación de los parámetros.

#### **1.4.2. Justificación Práctica**

Según **(Bernal, 2012)** Indica que “se desarrolla tal justificación cuando apunta a resolver una problemática o brinde alternativas para resolverlas”.

De lo expuesto por el autor, la investigación nos permitirá determinar la influencia de los parámetros de operación en la eficiencia de la turbina eléctrica Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania.

#### **1.4.3. Justificación Metodológica**

Según **(Bernal, 2012)** “lo define cuando el proyecto que se va a llevar a cabo, brinda alternativas y estrategias que ameriten concebir conocimientos válidos y confiables”

Lo adscrito por el autor, y en relación al presente trabajo, la citada justificación conlleva a que se tenga un trabajo estructurado, contemplando la variación en la eficiencia de la turbina Francis, asimismo tomar conocimiento de la evolución en base a un análisis matemático.

### **1.5. Limitantes de la Investigación**

#### **1.5.1. Límites de la Investigación**

Según **(Ávila, 2001)**, “Está referida a los inconvenientes que se suscitan en el momento que se está llevando a cabo la investigación. Ante lo descrito, es pertinente que toda limitación que se presenten debe ser razonable”.

Ante lo expuesto por el autor, la investigación se limitó a la variación de los parámetros de operación de la turbina hidráulica a partir de los datos de caudal y diseño, por lo que no se detallaran aspectos como: obras civiles de captación, conducción y las características del generador eléctrico que se instalará.

### **1.5.2. Delimitaciones de la Investigación**

Según **(Sabino, 1986)**, “Se enmarca en la determinación en cuanto al tiempo y espacio, y así la investigación se sitúe de manera concreta y un contexto definido”.

De lo expuesto por el autor, las delimitaciones de la investigación son las siguientes:

#### **Delimitación Espacial**

Se determinó en las turbinas de tipo Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania; de manera que se exceptúa cualquier otro tipo de turbina por cuestiones de costos elevados.

#### **Delimitación Temporal**

Se realizó en el mes de abril del 2022 y tuvo una duración de 6 meses, de manera que no fue tiempo suficiente para poder analizar y comparar la eficiencia de las diferentes turbinas existentes.

#### **Delimitación Social**

Se analizó la variación de los parámetros de operación y la eficiencia en la turbina Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, beneficiando a los consumidores de luz en el ámbito social y económico.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes: Internacionales y Nacionales**

#### **ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

(Ortiz Marin, 2017) tituló su investigación “Comparación del desempeño de una turbina Francis y una turbina de flujo cruzado” Finalmente, para obtener su maestría en Ingeniería de Sistemas Energéticos, la cual identificó como meta comparar el desempeño de las turbinas Francis y de flujo cruzado como dispositivos electromecánicos en Colombia, se recomienda un método que utiliza el modelo para estimar la altura de entrada y el Calcular datos de flujo, la producción anual de energía de una central hidroeléctrica considerando la eficiencia de cada turbina. Se analiza el desempeño económico de las turbinas de flujo cruzado bajo diferentes escenarios hidrológicos y de precios de la electricidad.

Ante lo expuesto, se debe tener en cuenta el desempeño de la turbina Francis tomando los datos de los parámetros de caída y caudal ingresado, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable “Eficiencia de la turbina Francis”.

(Melnick D’Etigny, 2017) en su pesquisa titulada “Identificación de variables mecánicas de condición y de operación para el monitoreo de centrales hidroeléctricas” que fue diseñado para utilizar identificar vibraciones y detectar fallas, utilizó un método que primero realizaba pruebas de calibración del equipo, seguidas de probado en un turbina Francis en un laboratorio de fluidos, se procesan los datos bajo todas las condiciones posibles de operación y en la etapa final para identificar patrones, y finalmente en este trabajo se recomienda el estudio con equipos de emisión de ruido ya que permite que los componentes se vean de inmediato el espectro que el acelerómetro no reconoce.

De lo expuesto, es importante reconocer que se debe tener en cuenta la detección de eventos de cavitación mediante un análisis de vibración para analizar todos los parámetros de operación, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable “Parámetros de operación”.

(Vásquez Hernández, y otros, 2016) en su trabajo de investigación titulado “Diseño de un modelo de rodete de la turbina Francis para el salto ‘la sirena’ para la obtención de su título de ingeniero civil mecánico, cuyo propósito es seleccionar un impulsor Francis en función de los datos de flujo, cabeza o carga y velocidad específica. Además, en este trabajo se obtiene la curva hidráulica del rodete mediante un desarrollo de programa basado en el método de Bovet, método de descripción ya que se enfatiza en el diseño del modelo de rodete Francis para la generación de electricidad a través de una fuente. Se recomienda que las soldaduras utilizadas para conectar elementos entre ellos en turbinas Francis se realicen con cuidado para minimizar el riesgo de agrietamiento.

De lo expuesto por el autor, es importante tener en cuenta el diseño del rodete de la turbina Francis para una eficiente generación de energía, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “eficiencia de la turbina Francis”.

(Alcoser Vizuete, y otros, 2018) en su trabajo de investigación titulada “Implementación de un módulo de prácticas de laboratorio para determinar el rendimiento de turbinas pelton y francis en la asignatura de energías renovables de la carrera de ingeniería electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi” para la obtención de su título de ingeniería electromecánica, con la finalidad de implementar el módulo de investigación de las turbinas Pelton y Francis mediante la integración de sistemas hidráulicos y electrónicos para analizar el rendimiento de conversión de energía, obteniendo dos métodos, uno de los cuales se consideró experimental ya que se utilizó como estrategia de control para el análisis de datos porque se trata de una investigación de datos de medición teórica, adquisición y análisis de datos, y finalmente de un

generador para analizar la eficiencia de convertir energía mecánica en energía eléctrica y energía eléctrica. Examina tus variables.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe instalar un módulo de turbinas para analizar el rendimiento de conversión de energía, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “eficiencia de la turbina Francis”.

(Ponguta Castellanos, y otros, 2021) su trabajo de investigación titulado “modelo de apoyo para la visualización del comportamiento de una turbina francis en función de su eficiencia y ángulos de entrada mediante el software Ansys” para la obtención de su título en ingeniero en Tecnología en mecánica industria; así, el propósito es utilizar el software ANSYS para implementar un modelo de soporte para visualizar el comportamiento de la turbina Francis en función de la eficiencia y el ángulo de admisión, con un enfoque basado en que la turbina a analizar es una turbina de reacción Francis, donde al final, ya que el la presión cambia a medida que el agua fluye a través del rotor de la máquina. En este estudio, se recomienda un estudio más profundo del software ANSYS, ya que es una herramienta eficaz que puede proporcionar una amplia gama de resultados.

De lo expuesto por el autor, es importante que se tome en cuenta el software anteriormente mencionado, ya que es una herramienta de valor para que se tenga un mejor funcionamiento de la turbina Francis.

## **ANTECEDENTES NACIONALES**

(Carbajal Cruzado, 2020) su trabajo titulado “Análisis de los parámetros de operación para determinar la eficiencia de la turbina Francis en la mini central Hidroeléctrica Huarandoza” para obtener su título de ingeniero mecánico eléctrico. Para llevar a cabo esto se implementó un método de aplicación del análisis de parámetros para verificar la mejora de la operación de las Turbinas Francis y desarrollado finalmente durante el transcurso de este trabajo. sugirió. Para gestionar la energía y las pérdidas de potencia en los sistemas de distribución eléctrica.

De lo descrito, se debe analizar los parámetros de operación para calcular la pérdida eléctrica al momento de la conversión de energía, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “parámetros de operación”.

(Gil Bancallan, 2017) en su trabajo de investigación “Diseño de un módulo de simulación de generación hidroeléctrico utilizando turbinas pelton y francis abastecidas por un sistema de recirculación”, para obtener el título en ingeniería mecánica eléctrica. Se quiso diseñar un módulo de simulación de energía hidroeléctrica utilizando una turbina Pelton y Francis alimentada por un sistema de recirculación, utilizando estudios de análisis descriptivos para calcular el equipo que compone el módulo de simulación de energía hidroeléctrica para realizar la capacidad del módulo y el comportamiento del mismo, finalmente en este trabajo. Se recomienda diseñar el sistema de circulación para estimar el caudal y salto hidráulico de la electrobomba centrífuga, manteniendo el diámetro de la tubería y el volumen del tanque.

De lo descrito, se debe realizar la simulación de generación hidroeléctrica para calcular los valores más eficientes de cada parámetro. “parámetros de operación”.

(Salazar Paredes, 2018) en su trabajo de investigación titulado “Repotenciación de turbina francis de la central hidroeléctrica Chavimochic aplicando un análisis y simulación fluidodinámica” para la obtención de su título de Ingeniero Mecánico Electricista. Se realizó un análisis hidrodinámico y simulación de álabes guía de 21 y 17 mm de espesor para mejorar el rendimiento de la turbina. Francis del Proyecto Especial Chavimochic utilizó un método para el análisis energético de la central hidroeléctrica Chavimochic, el cual se basa en 4 etapas, la primera es obtener datos de las variables de intervención, que conllevan a un aumento de la potencia mecánica de la turbina a vapor, y el segundo tiene como finalidad comprobar el estado de funcionamiento del sello mecánico de la cámara espiral de la turbina, para sustituir los actuales álabes por unas nuevas dimensiones proporcionadas por las ecuaciones establecidas en longitudes. Se recomienda un modelo matemático de G óptimo para la turbina Realice, a través de una rotación de las paletas, la fijación de la cámara helicoidal y la ubicación óptima del impulsor Francis, de manera que se pueda utilizar mejor la energía.

De lo escrito, se debe simular y modificar parámetros para incrementar la potencia de las turbinas modelo Francis, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “eficiencia de la turbina Francis”.

(Paraguay Cconovilca, 2021) en su trabajo de investigación titulado “Selección óptima de la turbina hidráulica para el aprovechamiento del recurso hidroenergético de la mini central hidroeléctrica de la CC.NN. Betania” para licenciado en ingeniería eléctrica, el objetivo es determinar el tipo de turbina a instalar y el tamaño de los elementos de turbina a seleccionar para la pequeña central hidroeléctrica, utilizando los mejores criterios de selección. Betania utiliza un método que utiliza un estudio de correlación para examinar la relación entre recurso hidroeléctrico y turbina óptima. Finalmente, en este trabajo, cuando sea necesario diseñar una turbina tipo no Francis, se recomienda utilizar una mesa que pueda ser

utilizada para realizar todo el proceso de dimensionamiento y dimensionamiento.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe determinar las dimensiones de los elementos para optimizar el proceso de la turbina hidráulica, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. "parámetros de operación".

(Pantigozo Orqque, y otros, 2019) en su trabajo "Diseño y construcción de un modelo de turbina Francis a partir de un prototipo de 200 kw de potencia usando la teoría de la semejanza hidráulica" para licenciamiento en ingeniería mecánica, Licenciado en Ingeniería Mecánica en su trabajo de investigación "Diseño y Construcción de un Modelo de Turbina Francis a partir de un Prototipo de 200 kW Usando la Teoría de la Similitud Hidráulica" y aclaró el propósito de diseñar y construir una turbina de acuerdo la modelo óptimo con una potencia de 200 kW, este modelo fue diseñado y construido utilizando la teoría de la similitud hidráulica, basado en un método con fines prácticos. La infraestructura de Bovet es la más relevante y por ello se recomienda la implementación, ya que permite un fácil montaje y desmontaje de sus componentes.

Lo descrito permite ampliar y repotenciar el modelo de turbina Francis a partir de un prototipo de 200 kw de potencia, usando la teoría de la semejanza hidráulica.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **- Triángulos de velocidades**

Se usa un término general para definir el triángulo de velocidad en la entrada y salida del impulsor (Pantigozo Orqque, y otros, 2019). El movimiento dinámico del agua en la turbina crea un campo de fuerza vectorial en la entrada y salida del impulsor, por lo que estas manifestaciones producen velocidades absolutas y tangenciales en estas regiones.

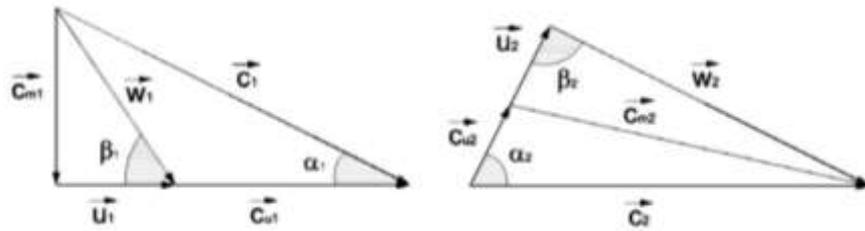


Figura 1. Configuración del Triángulos de velocidades en la entrada y salida del rodete.

La velocidad relativa y tangencial forman un ángulo  $\beta_1$  (ángulo de inclinación del alabe a la entrada)

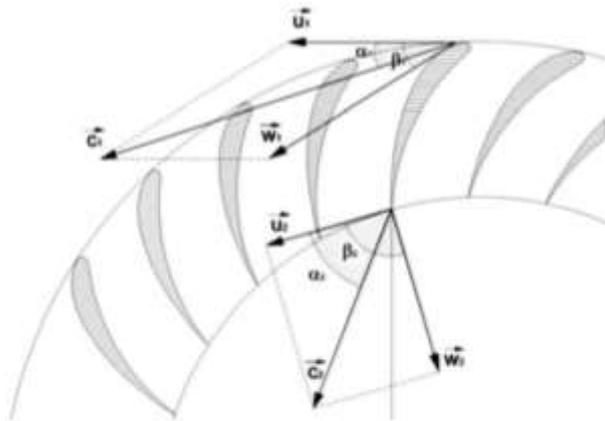


Figura 2. Relación vectorial de las velocidades del flujo de agua.

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w}$$

La trigonometría en el triángulo de velocidad produce la siguiente ecuación (Salazar Paredes, 2018):

$$c_{m1} = c_1 \text{sen} \alpha_1 = W_1 \text{sen} \beta_1$$

$$c_{m2} = c_2 \text{sen} \alpha_2 = W_2 \text{sen} \beta_2$$

$$c_{u1} = c_1 \text{cos} \alpha_1$$

#### - Velocidad específica de una turbina (NS)

Es el número de revoluciones por unidad de tiempo que da la turbina, que desarrolla la unidad de potencia y trabaja bajo la unidad de carga, como se muestra en la siguiente fórmula.

$$n_s = \frac{n \sqrt{P_u}}{H_n^{5/4}}$$

$n$ : Velocidad angular de operación o velocidad de sincronismo (rpm).

$P_u$ : Potencia hidráulica o potencia útil.

$H_n$ : Altura neta o de carga (m) (Vásquez Hernández, y otros, 2016).

## - **Perdidas**

### o Pérdidas hidráulicas

Ocurren desde la entrada de la turbina hasta el distribuidor o eyector; entre el distribuidor y el impulsor. Son las pérdidas de energía que se producen en el paso del fluido por la turbina. Esta pérdida puede deberse a fricción, cambios de sección y orientación en las tuberías que componen la máquina. (Carmona Victoria, 2014).

$$H_{e-s} = H - H_p$$

### o Pérdidas volumétricas

Al medir el caudal en la entrada de la turbomáquina ( $Q$ ) y a la salida existe una diferencia, es decir, caudal perdido. En las turbinas sería el caudal que es suministrado pero que no cede su energía al rodete (Araniva Contreras, y otros, 2013). Una parte de las pérdidas exteriores ( $Q_e$ ) del caudal  $q$  se pierde por la prensa estopa al exterior de la máquina y otra parte que es la pérdida interior ( $Q_i$ ) se pierde en el interior (ver Figura 3). El caudal útil o turbinado que cede su energía al rodete (García Pérez, 2011) se puede calcular con la siguiente ecuación

$$Q_t = Q - Q_e - Q_i$$

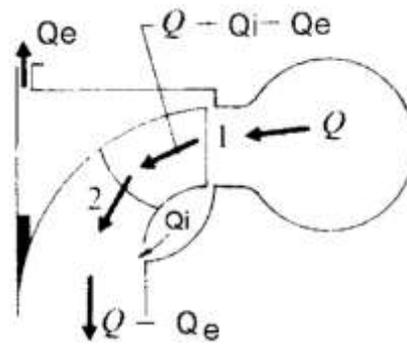


Figura 3. Caudales que circulan a través del rodete de una turbina de reacción.

- o Pérdidas mecánicas  
También llamadas pérdidas orgánicas, son causadas por la fricción entre varios elementos de una turbina, como una turbina fricción entre ejes y cojinetes, activación de dispositivos auxiliares como tacómetros, engranajes para lubricación. (Hernández Rodríguez, y otros, 2017)

#### - Potencias

- o Potencia Teórica o hidráulica
- o En hidráulica, la potencia media se puede expresar en función de las propiedades hidrodinámicas utilizadas (García Gutiérrez, y otros, 2014), de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$P_{media} = \frac{\eta\gamma Q_m H_n (9.81)}{1000}$$

$P_{media}$ : potencia media en kW con base en el factor de conversión (9.81/1000)

$\gamma$ : peso volumétrico del agua,  $kg_f / m^3$

$Q_m$ : gasto medio turbinado,  $m^3 / s$

$H_n$ : carga neta más frecuente, m

$\eta$ : eficiencia total del conjunto turbogenerador

- o Potencia Útil (Pa) o Potencia al freno  
Se debe determinar la cantidad de agua disponible para la producción, con la cabeza en el lugar más adecuado; luego se

puede usar el modelo matemático de Bernoulli para calcular la energía esperada (Arévalo Llumipanta, 2017) utilizando la figura 4 y la siguiente ecuación.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = \text{constante}$$

$V_1$ : Velocidad del agua en el punto 1, ft/s

$P_1$ : presión en el punto 1, lb/ft<sup>2</sup>

$\gamma = \rho g$ =peso específico del agua, lb/ft<sup>3</sup>

$Z_1$ = altura de carga en el punto 1, ft

$V_2$ : velocidad del agua en el punto 2, ft/s

$P_2$ =Presión en el punto 2, lb/ ft<sup>2</sup>

$Z_2$ =altura de carga en el punto 2, ft

$H_f$  = pérdida de altura de carga entre los puntos 1 y 2

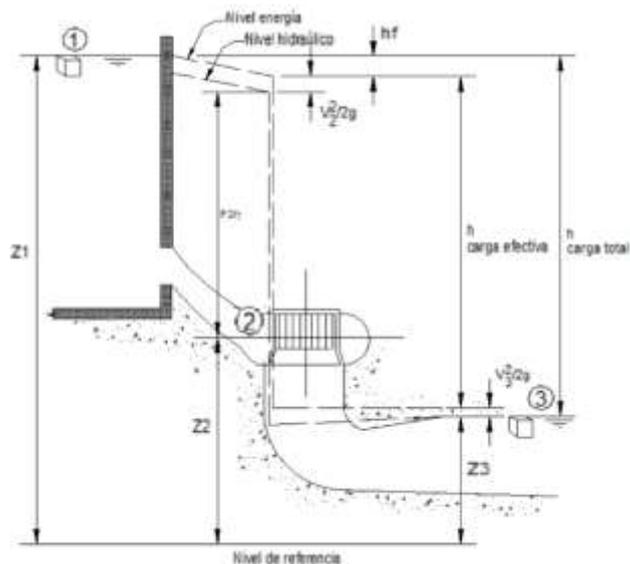


Figura 4. Análisis del paso del fluido por la turbina

o Potencia Interna ( $P_i$ )

La potencia interna es la potencia suministrada a la turbina descontando la potencia necesaria para vencer los rozamientos mecánicos (Canchica, 2016).

$$P_i = P_a + P_m^r$$

Donde:

$P_i$ : Potencia interna [W].

$P_a$ : Potencia de accionamiento [W].

$P_m^r$ : Perdidas por rozamientos mecánicos [W].

#### - Rendimiento

Cuando se puede instalar más de un tipo de turbina para un salto de altura dado, uno de los parámetros clave para seleccionar una u otra es su rendimiento a carga parcial (ver Figura 5), es decir, a un porcentaje de Caudal nominal bajo caudal (Araiz Tabar, 2015).

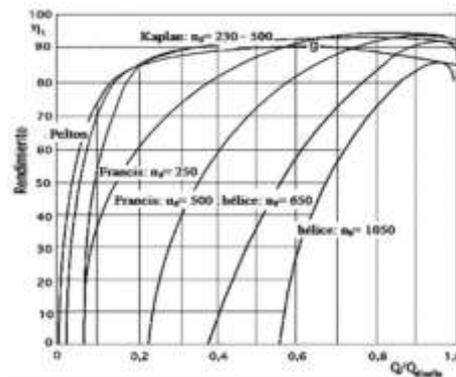


Figura 5. Curvas de rendimiento de las turbinas

#### o Rendimiento Hidráulico

Dado que estamos utilizando el valor medio del triángulo de velocidad, los estudios teóricos en términos de rendimiento son solo aproximados de acuerdo con las ecuaciones de Euler que se muestran a continuación (Góngora Cruz, y otros, 2019).

$$H_t = \frac{c_1 u_1 (\cos \alpha_1) - c_2 u_2 (\cos \alpha_2)}{g}$$

Particularizado al caso de las turbinas Francis, donde,  $\alpha_2 \approx 90^\circ$

#### o Rendimiento Volumétrico

No todo el fluido que ingresa a la turbina puede intercambiar energía con las palas del rotor, y parte del fluido escapa a través de sellos, montajes y conexiones antes de que surja esta oportunidad. "Q" indica el flujo de volumen en la máquina, "q"

indica la fuga de la misma unidad (León Rodríguez, 1998), donde:

$$\eta_v = \frac{Q - q}{Q}$$

o Rendimiento Mecánico

La eficiencia mecánica es la eficiencia que tiene en cuenta las pérdidas mecánicas que se producen en la turbina debido a la fricción de los cojinetes o los sellos mecánicos (Fernández Díaz, 2019).

### 2.3. Marco Conceptual

#### **VARIABLE INDEPENDIENTE: Parámetros de operación.**

Según (Carbajal Cruzado, 2020) “los parámetros de operación son todos los aspectos que se necesitan para el funcionamiento de una Turbina Francis”.

Según (Melnick D'Etigny, 2017) “Los parámetros de operación se toman en cuenta al momento de diseñar una turbina hidráulica. Esto determina la potencia máxima a generar y permite un mejor diseño de la central”.

De lo expuesto por los autores, en el presente trabajo de investigación se verificará como los parámetros de operación puede influir en la eficiencia de la turbina Francis.

#### **DIMENSIONES**

##### **D1: Aspectos Mecánicos**

Según (Valencia Velez, y otros, 2013) “Abarca las normas para la fabricación y montaje, requisitos operativos de los equipos y las pruebas”

De lo expuesto por el autor, la dimensión aspectos mecánicos en nuestro trabajo de investigación permitirá tener un mejor entendimiento sobre las modificaciones que se deben realizar en la parte mecánica para mejorar la eficiencia de la turbina Francis.

I1: Velocidad de giro

I2: Espesor del Alabe

## **D2: Aspectos Eléctricos**

Según (Polo Jaramillo, y otros, 2015) “La obtención de los parámetros característicos de las señales eléctricas permite la recolección de información del comportamiento de dichas señales. Además, permite contrastar los valores encontrados teóricamente con los valores observados en la vida real”

De lo expuesto por el autor, la dimensión Aspectos eléctricos en nuestro trabajo de investigación permitirá tener un mejor entendimiento sobre las modificaciones que se deben realizar en la parte eléctrica para mejorar la eficiencia de la turbina Francis.

I1: Tensión

I2: Potencia útil

## **VARIABLE DEPENDIENTE: EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS**

Según (Aquanovis, 2012) “La eficiencia de la turbina Francis cae bastante rápido a medida que el flujo de agua se reduce por debajo del caudal de diseño.”.

Según (Díaz Salcedo, y otros, 2019) “Al variar los parámetros podemos obtener información para analizar y evaluar la eficiencia de la turbina”.

De lo expuesto por los autores, en el presente trabajo de investigación la variación de los parámetros permite tener diferentes valores de eficiencia en la turbina Francis.

## DIMENSIONES

### D1: Eficiencia

Según (Molina, 2018) “La eficiencia de la turbina dependerá en gran medida del ángulo de abertura del distribuidor y de la correcta parametrización de los componentes mecánicos.”

De lo expuesto por el autor, la dimensión eficiencia en nuestro trabajo de investigación nos permite obtener el mejor valor y rendimiento de los componentes.

I1: Potencia mecánica

## 2.4. Definición de Términos básicos

**Central hidroeléctrica:** Aquella instalación que utiliza energía hidroeléctrica para generar electricidad.

**Eficiencia:** Relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los servicios obtenidos.

**Turbina Francis:** Turbina de reacción de flujo interno que combina los conceptos de flujo radial y flujo axial.

**Caudal:** Es la cantidad de agua que fluye sobre una superficie en un tiempo determinado.

**Parámetros:** Se denominan parámetros y se consideran datos necesarios e indicativos para poder evaluar o valorar una situación.

**Recursos hídricos:** Sedimentos e insumos de agua dulce que pueden ser utilizados por los seres humanos para satisfacer necesidades específicas en diferentes estados físicos y disponibilidad.

**Generador:** Máquina eléctrica rotatoria que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

**Electrificación:** Producción y suministro de energía eléctrica es un sitio desprovisto anteriormente de ella.

**Sistemas hidráulicos:** Mueve un fluido presurizado a través de espacios reducidos, como tuberías y mangueras, para accionar maquinaria o mover piezas mecánicas.

### **III. HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.2. Hipótesis General**

H.G. Los parámetros de operación generan impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.

H0. Los parámetros de operación no generan impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.

##### **3.1.3. Hipótesis Específica**

H.E.1 Los aspectos mecánicos impactan en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.

H.E.2 Los aspectos eléctricos impactan en la eficiencia de turbinas Francis en la minicentral hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.

#### **3.2. Definición Conceptual de Variables**

##### **Variable independiente: Parámetros de operación**

Los parámetros de operación son las que pueden ser modificadas de acuerdo a los requerimientos o capacidades del proceso.

##### **Variable dependiente: Eficiencia de la turbina Francis**

Se evalúa en el porcentaje del rendimiento de la turbina.

### 3.2.1. Operacionalización de Variables

Tabla 1: Operacionalización de las Variables

<b>Variable</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Operacionalización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Parámetros de operación	Variable dependiente	Son variables a regular para conseguir unas determinadas condiciones de trabajo para una mayor eficiencia.	Aspectos mecánicos  Aspectos eléctricos	Velocidad de giro  Espesor del Alabe  Tensión  Potencia útil
Eficiencia de la turbina Francis	Variable dependiente	Su determinación se evalúa en el porcentaje del rendimiento de la turbina	Eficiencia	Potencia mecánica

## **IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1. Tipo y diseño de Investigación**

#### **TIPO DE INVESTIGACIÓN: Investigación Aplicada**

**(Lozada, 2014)** “al realizar una investigación aplicada el resultado de la investigación debe generar nuevo conocimiento y el resultado debe ser llevado al campo real para su uso.”

Se optó por un estudio aplicado, ya que se desea realizar un cambio en la realidad para mejorar los parámetros de operación en la turbina.

#### **DISEÑO DE INVESTIGACION: No experimental – transversal**

**(Hernández et al., 2014)** “Los diseños de investigación transaccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único”.

Se tuvo un diseño transversal, ya que se recolectó información detallada y actual para ahondar en las variables.

#### **NIVEL DE INVESTIGACION: DESCRIPTIVO-CORRELACIONAL**

Según **(Hernández et al., 2014)** “Se caracterizan porque primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación. Aunque la investigación correlacional no establece de forma directa relaciones causales, puede aportar indicios sobre las posibles causas de un fenómeno”

El presente proyecto de investigación fue de nivel descriptivo-correlacional porque se mide mediante técnicas estadísticas el nivel de correlación entre los parámetros de operación y la eficiencia en la turbina Francis.

## 4.2. Método de Investigación

De acuerdo con (Tamayo, 2017), “el método utiliza la recopilación y el análisis de datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis previamente formuladas, y se apoya en medidas numéricas, conteos y, en general, el uso de estadísticas para identificar patrones de comportamiento dentro de una población” para determinar exactamente.

En esta pesquisa se utilizó el enfoque hipotético deductivo, ya que a partir de los resultados del procesamiento estadístico se puede determinar la verdad o falsedad de la relación entre dos variables.

## 4.3. Población y muestra

### Población

(Quesada, 1988) mencionó que “se nombrará población a cualquier grupo finito o infinito de individuos o elementos variados, perfectamente identificables sin ambigüedad”.

(Hernández, Fernández y Baptista, 2014) “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”.

La población estuvo conformada por la turbina Francis de la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania. (45) individuos

### Muestra

(Hernández, 2014) señala que “la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población”

(Castro, 2003) señala que "si la población es menor a cincuenta (45) individuos, la población es igual a la muestra”.

De lo expuesto por los autores, se consideró como muestra a la turbina Francis de la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania.

## **Muestreo**

**(Bernal, 2010)** menciona que “El método de muestreo es utilizado para estimar el tamaño de una muestra depende del tipo de investigación que desea realizarse y, por tanto, de las hipótesis y del diseño de investigación que se hayan definido para desarrollar el estudio.”

**(Bernal, 2010)** menciona que “La muestra es un subgrupo de elementos de una población selectos para participar en un estudio, de igual forma se puede decir que la muestra es la selección de una población que la puede representar, esto debido a la imposibilidad de conocer los gustos y las necesidades de todos, de esta forma es posible conocer a proporción las respuestas a las cuestiones planteadas.”

De lo expuesto por los autores, la técnica desarrollada fue NO PROBABILÍSTICA y se empleó un muestreo OPINÁTICO, ya que la población es inferior de 50. Por lo tanto, la muestra es igual a la población.

### **4.4. Lugar de Estudio**

La mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania está ubicado en el Distrito de Río Tambo, Provincia de Satipo, Departamento de Junín.

### **4.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información, Validez y Confiabilidad**

#### **4.5.1. Técnicas**

Según **(Arias, 2006)** “las técnicas de investigación son las distintas maneras, formas o procedimientos utilizados por el investigador para recopilar u obtener los datos o la información.”

#### 4.5.1.1. Encuesta

Para **(Trespalacios, Vázquez y Bello, 2015)** “las encuestas son técnicas de investigación descriptiva que precisan identificar a priori las preguntas a realizar, las personas seleccionadas en una muestra representativa de la población, especificar las respuestas y determinar el método empleado para recoger la información que se vaya obteniendo.” Por lo que se optó el uso de la encuesta para la recolección de datos.

#### 4.5.2. Instrumentación

Según **(Sabino, 1996)** expone que “un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información (...).”

Para la presente investigación, el instrumento que se utilizó fue el cuestionario.

#### 4.5.3. Encuesta

Según **(Sampieri, 2003)** “el método utilizado para la realización de una investigación es la encuesta, la cual consiste en un conjunto de preguntas a una o más variable respecto a una o más variables a medir.”

##### ❖ Cuestionario Virtual

El cuestionario fue validado bajo criterios científicos que evidenciaron que este puede ser aplicado.

#### 4.5.4. Validez

Según **(Rusque M., 2003)** “la validez representa la posibilidad de que un método de investigación sea capaz de responder a las interrogantes formuladas. La validez designa la capacidad de obtener los mismos resultados de diferentes situaciones. La validez no se refiere directamente a los datos, sino a las técnicas de instrumentos de medida y observación,

es decir, al grado en que las respuestas son independientes de las circunstancias accidentales de la investigación.”

De lo expuesto por el autor, la validez de un instrumento en nuestro trabajo de investigación realmente midió las variables que están en la matriz de Operacionalización por lo que tuvo que ser evaluado por un jurado de expertos.

#### **4.5.5. Confiabilidad**

Para **(Martin, 2008)** un instrumento de medición es del todo confiable si conseguimos exactamente el mismo resultado cuando repetimos la medición varias veces en condiciones equivalentes. Cuando más varíen los resultados, menos confiable es el instrumento de medición.

De lo expuesto por el autor, la confiabilidad de los instrumentos, que fueron aplicados en la presente investigación titulada: “Análisis de parámetros de operación y su impacto en la eficiencia de turbinas francis en la mini central hidroeléctrica de CC.NN. Betania, Perú 2022” fueron desarrollados utilizando el alfa de Cronbach y la r de Pearson como señal de conformidad respecto a los datos que hemos tomado y obtenido.

### **4.6. Análisis y procesamiento de Datos**

#### **4.6.1. Método de Análisis de Datos**

Según **(Kinneer y Taylor, 2002)**, “El análisis de datos consiste en la realización de las operaciones a las que el investigador someterá los datos con la finalidad de alcanzar los objetivos del estudio. Todas estas operaciones no pueden definirse de antemano de manera rígida. La recolección de datos y ciertos análisis preliminares pueden revelar problemas y dificultades que desactualizarán la planificación inicial del análisis de los datos. Sin embargo, es importante planificar los principales aspectos del plan de análisis en función de la verificación de cada una de las hipótesis formuladas ya que estas definiciones condicionarán a su vez la fase de recolección de datos.”

Según (Arias, 2004), "en este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan."

**Inferencial:** Es un método que se basa en realizar hipótesis de estudio para establecer una relación positiva o negativa entre dos o más variables, asimismo, consiste en realizar mediciones estadísticas y correlaciones lineales.

**Descriptiva:** Este método se da también con resultados estadísticos, donde arroja gráficos y tablas ordenadas, las cuales permiten medir las variables y establecer posibles premisas.

Se emplearon herramientas de Microsoft Excel y los programas estadísticos SPSS se utilizan principalmente para el trabajo de investigación actual.

#### 4.7. Aspectos Éticos

El presente estudio "Análisis de parámetros de operación y su impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de CC.NN. Betania, Perú 2022" tuvo en consideración las siguientes premisas.

**Académico:** La información está destinada únicamente para uso académico.

**Objetivo:** Análisis de los datos de esta encuesta utilizando estándares técnicos e imparciales.

**Confiable:** Como la información proporcionada por Rennan SAC es parte del servicio postventa, los derechos de propiedad intelectual están reservados.

**Veracidad:** Los hallazgos no fueron manipulados bajo ningún propósito.

**Originalidad:** Las fuentes bibliográficas se citan para evitar el plagio según las normas de la Universidad del Callao.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos.

Tabla 2: Análisis descriptivo de la variable Parámetros de operación y sus variables.

Nivel	V1: Parámetros de operación		D1: Aspectos mecánicos		D2: Aspectos eléctricos	
	f	%	f	%	f	%
<b>Bajo</b>	29	64,4	27	60,0	25	55,6
<b>Medio</b>	12	26,7	14	31,1	16	35,6
<b>Alto</b>	4	8,9	4	8,9	4	8,9
<b>Total</b>	45	100,0	45	1000	45	100,0

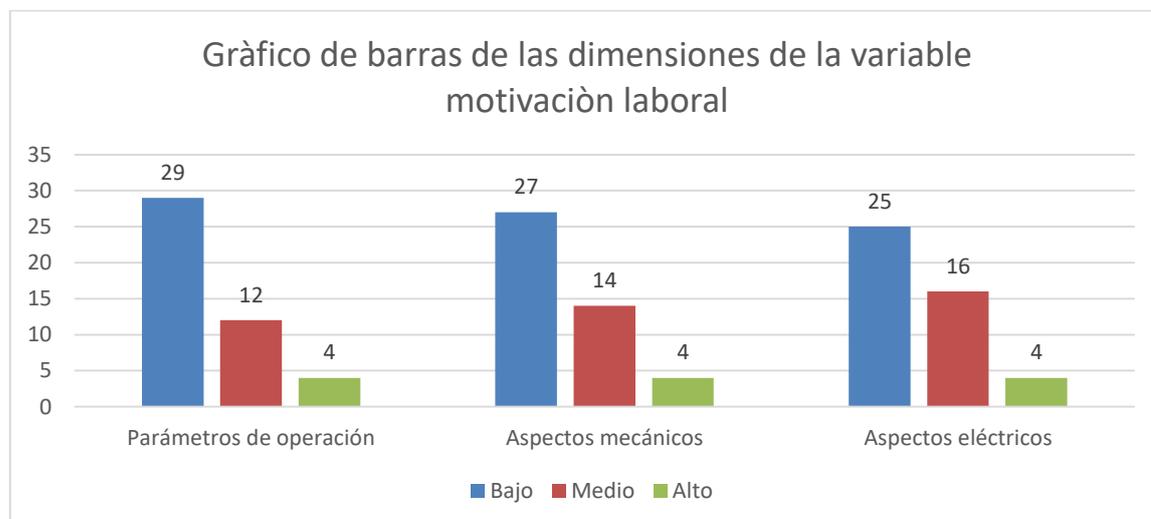


Figura 1: Análisis descriptivo de la variable Parámetros de operación y sus variables.

Tras realizar la encuesta sobre la variable parámetros de operación, se obtuvo diversos datos de frecuencia y porcentajes. Respecto a la variable, un 64,4% reflejó que se sitúa en un nivel bajo, un 26,7 % plasmó que se encuentra en un nivel medio y el 8,9% representó en un nivel alto. Por otro lado, en la dimensión “aspectos mecánicos” el 60,0% se encuentra en un nivel bajo, el

31,1% en un nivel medio y el 8,9% en un nivel alto. Finalmente, en la dimensión “aspectos eléctricos”, el 55,6 % se encuentra en un nivel bajo, el 35,6 % en un nivel medio y el 8,9 % en un nivel alto.

Tabla 3: Análisis descriptivo de la variable Eficiencia de la turbina Francis y su variable.

V1: Eficiencia de la turbina Francis			D1: Eficiencia	
Nivel	f	%	f	%
<b>Bajo</b>	16	35,6	16	35,6
<b>Medio</b>	24	53,3	24	53,3
<b>Alto</b>	5	11,1	5	11,1
<b>Total</b>	45	100,0	45	100,0

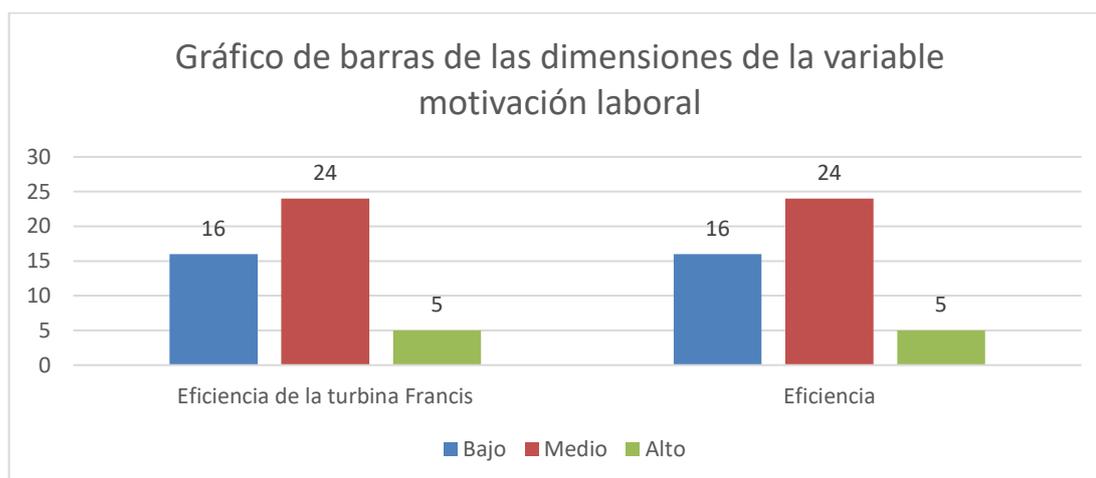


Figura 2: Análisis descriptivo de la variable Eficiencia de la turbina Francis y su variable.

Tras realizar la encuesta sobre la variable eficiencia de la turbina Francis, se obtuvo diversos datos de frecuencia y porcentajes. Respecto a la variable, un 35,6% reflejó que se sitúa en un nivel bajo, un 53,3% plasmó que se encuentra en un nivel medio y el 11,1% representó en un nivel alto. Por otro lado, en la dimensión “eficiencia” el 35,6% se encuentra en un nivel bajo, el 53,3% en un nivel medio y el 11,1% en un nivel alto.

## 5.2. Resultados inferenciales.

### Hipótesis general

Tabla 4: Ajuste de modelos entre la variable Parámetros de operación y la eficiencia de la turbina Francis.

Información de ajuste de los modelos				
Modelo	Logaritmo de la verosimilitud -2	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo intersección	34,799			
Final	12,496	22,303	1	,000

Función de enlace: Logit.

Como se puede ver en la tabla, el valor de significancia que obtuvo es 0.000, y el valor de significancia dado como modelo final es menor a 0.05, lo que significa que existen diferencias en los efectos de los parámetros operativos variables y la eficiencia variable de las turbinas Francis relativamente el modelo subyacente implica relevancia para las aplicaciones logísticas.

Tabla 5: Bondad de ajuste de la variable Parámetros de operación y la eficiencia de la turbina Francis.

Bondad de ajuste			
	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	3,327	3	,344
Desvianza	4,000	3	,261

Función de enlace: Logit.

En la tabla se pueden determinar valores de significación dentro del valor de Pearson de 0,344, que es mayor al valor de 0,05, por lo que no se considera normal la bondad de ajuste entre parámetros de operación variables y eficiencias variables de las turbinas Francis.

Tabla 6: Pseudo R cuadrado de la variable Parámetros de operación y la eficiencia de la turbina Francis.

Pseudo R cuadrado	
Cox y Snell	,391
Nagelkerke	,460
McFadden	,262

Función de enlace: Logit.

Se puede ver que, como un pseudo R-cuadrado, el valor de Nagelkerke es 0,460, como se sugiere, lo que indica el 46,0% de la varianza explicada entre los parámetros operativos variables y la eficiencia variable de la turbina Francis.

Tabla 7: Estimaciones de los parámetros de operación de la variable Parámetros de operación y la eficiencia de la turbina Francis.

		Estimaciones de parámetro					Intervalo de confianza al 95%	
		Estimación	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Umbral	[v2agrup = 2]	5,765	1,702	11,476	1	,001	2,429	9,100
	[v2agrup = 3]	10,318	2,572	16,090	1	,000	5,276	15,360
Ubicación	v1agrup	2,835	,788	12,939	1	,000	1,290	4,379

Función de enlace: Logit.

Los parámetros operativos variables y la eficiencia de la turbina Francis se estimaron en 2,835, y un coeficiente de Wald estimado superior a 1 también resultó en un nivel de significación de 0,000. Esto da como resultado un P-valor de 0.000, y si se considera menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula cuando se determina que existe un efecto significativo entre los parámetros variables de operación y la eficiencia variable de la turbina Francis.

### Hipótesis específicas:

Tabla 8: Ajuste de modelos entre la dimensión aspectos mecánicos y la variable eficiencia de la turbina Francis.

Información de ajuste de los modelos				
Modelo	Logaritmo de la verosimilitud -2	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo intersección	28,215			
Final	12,928	15,287	1	,000

Función de enlace: Logit.

Como se puede ver en la tabla, el valor de significación resultante de 0,000 es inferior a 0,05 como modelo final, lo que indica diferencias en la importancia del tamaño y la eficiencia variable en los aspectos mecánicos de la turbina Francis. Relevancia para el modelo subyacente, es decir, relevancia para las aplicaciones logísticas.

Tabla 9: Bondad de ajuste entre la dimensión aspectos mecánicos y la variable eficiencia de la turbina Francis.

<b>Bondad de ajuste</b>			
	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	1,408	3	,704
Desviación	2,031	3	,566

Función de enlace: Logit.

En la tabla se pueden obtener valores de significación dentro del valor de Pearson de 0,704, que es mayor al valor de 0,05, por lo que no se considera normal la bondad de ajuste entre las dimensiones mecánicas y las variables eficiencia de la turbina Francis.

Tabla 10: Pseudo R cuadrado entre la dimensión aspectos mecánicos y la variable eficiencia de la turbina Francis.

<b>Pseudo R cuadrado</b>	
Cox y Snell	,288
Nagelkerke	,339
McFadden	,179

Función de enlace: Logit.

Se puede observar que, como pseudo R-cuadrado, el valor de Nagelkerke es 0,339, lo que, como se propone, indica el 33,9% de la varianza explicada entre la dimensión mecánica y la variable eficiencia de la turbina Francis.

Tabla 11: Estimaciones de los parámetros de incidencia de la dimensión aspectos mecánicos y la eficiencia de la turbina Francis.

Estimaciones de parámetro								
		Estimació	Error	Wald	gl	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
		n	estándar				Límite inferior	Límite superior
Umbral	[v2agrup = 2]	4,171	1,380	9,143	1	,002	1,467	6,875
	[v2agrup = 3]	7,878	1,907	17,064	1	,000	4,140	11,616
Ubicación	v1d1agrup n	2,047	,598	11,729	1	,001	,876	3,219

Función de enlace: Logit.

Al estimar el tamaño del aspecto mecánico y el tamaño de la eficiencia de la turbina Francis, se obtuvo un valor de 2.047, y cuando el coeficiente de Wald estimado fue mayor a 1, el nivel de significancia fue de 0.000, y se dio un valor de P de 0.000, si era se consideró menor a 0.05, se rechazó la hipótesis nula y se señaló que existía una asociación significativa entre las dimensiones mecánicas y la variable eficiencia de la turbina Francis.

Tabla 12: Ajuste de modelos entre la dimensión aspectos eléctricos y la variable eficiencia de la turbina Francis.

Información de ajuste de los modelos				
Modelo	Logaritmo de la verosimilitud -2	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo intersección	29,663			
Final	12,359	17,304	1	,000

Función de enlace: Logit.

Como se puede observar en la tabla, el valor de significancia obtenido es 0.000, y el valor de significancia dado como modelo final es menor a 0.05, lo que significa que la significancia de las variables eléctricas y de eficiencia de la turbina Francis es diferente. Relevancia para el modelo subyacente, es decir, relevancia para las aplicaciones logísticas.

Tabla 13: Bondad de ajuste entre la dimensión aspectos eléctricos y la variable eficiencia de la turbina Francis.

<b>Bondad de ajuste</b>			
	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	1,030	3	,794
Desviación	1,485	3	,686

Función de enlace: Logit.

En la tabla se pueden obtener valores de significación dentro del valor de Pearson de 0,794, que es mayor al valor de 0,05, por lo que no se considera normal la bondad de ajuste entre la dimensión eléctrica y la variable eficiencia de la turbina Francis.

Tabla 14: Pseudo R cuadrado entre la dimensión aspectos eléctricos y la variable eficiencia de la turbina Francis.

<b>Pseudo R cuadrado</b>	
Cox y Snell	,319
Nagelkerke	,376
McFadden	,203

Función de enlace: Logit.

Se puede observar cómo se eleva al cuadrado la pseudo-R, con un valor de Nagelkerke de 0.376, que como se propone muestra el 37.6% de la varianza explicada entre la dimensión eléctrica y las variables de eficiencia de la turbina Francis.

Tabla 15: Estimaciones de parámetros entre la dimensión aspectos eléctricos y la variable eficiencia de la turbina Francis.

<b>Estimaciones de parámetro</b>								
							Intervalo de confianza al 95%	
		Estimació	Error	Wald	gl	Sig.	Límite inferior	Límite superior
		n	estándar					
Umbral	[v2agrup = 2]	4,623	1,423	10,560	1	,001	1,835	7,412
	[v2agrup = 3]	8,448	1,971	18,373	1	,000	4,585	12,311
Ubicación	v1d2agrup	2,202	,609	13,065	1	,000	1,008	3,396
n								

Función de enlace: Logit.

Al estimar las dimensiones eléctricas y de eficiencia de la turbina Francis, el valor resultante es 2.202, el coeficiente de Wald estimado es mayor a 1, y el nivel de significación también es 0.000, dando un valor P de 0.000, si se considera menor a 0.05 rechazar el original Hipotéticamente, se señala que existe un efecto significativo entre el tamaño de los aspectos eléctricos y la eficiencia variable de la turbina Francis.

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.**

Tras analizar la primera hipótesis, existe un impacto significativo de los parámetros de operación en la eficiencia de la turbina Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC.NN. Betania, Perú 2022. Ante el análisis de correlación causal se pudo determinar mediante la regresión multinomial según la variable parámetros de operación y la eficiencia de la turbina Francis que mediante el ajuste de modelos el valor de significancia al ser menor a 0.05 pudo obtener relevancia en cuanto a la aplicación logística, al mismo tiempo que la bondad de ajuste presentó un valor de Pearson de 0,344 siendo positivo bajo por su cercanía al número 1. Por otro lado, el Pseudo R al cuadrado según Nagelkerke pudo determinar un 46,0% de varianza entre las variables. Finalmente, según la estimación de parámetros al obtenerse un nivel de significancia de Wald mayor, se puede rechazar la hipótesis nula y aceptar la incidencia que tiene los parámetros de operación en cuanto a la eficiencia de la turbina Francis.

Continuando con los resultados obtenidos ante la hipótesis sobre si existe un impacto significativo de los aspectos mecánicos en la eficiencia de la turbina Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC.NN. Betania, Perú 2022. Ante el análisis de correlación causal se pudo determinar mediante la regresión multinomial según la dimensión aspectos mecánicos y la eficiencia de la turbina Francis que mediante el ajuste de modelos el valor de significancia al ser menor a 0.05 pudo obtener relevancia en cuanto a la aplicación logística, al mismo tiempo que la bondad de ajuste presentó un valor de Pearson de 0,704 siendo positivo alto por su cercanía al número 1. Por otro lado, el Pseudo R al cuadrado según Nagelkerke pudo determinar un 33,9% de varianza entre las variables. Finalmente, según la estimación de parámetros al obtenerse un nivel de significancia de Wald mayor a uno se puede rechazar la hipótesis nula y aceptar la incidencia que tiene los aspectos mecánicos en cuanto a la eficiencia de la turbina Francis.

Finalmente, con los resultados obtenidos ante la hipótesis sobre si existe un impacto significativo de los aspectos eléctricos en la eficiencia de la turbina Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC.NN. Betania, Perú 2022. Ante el análisis de correlación causal se pudo determinar mediante la regresión multinomial según la dimensión aspectos eléctricos y la eficiencia de la turbina Francis que mediante el ajuste de modelos el valor de significancia al ser menor a 0.05 pudo obtener relevancia en cuanto a la aplicación logística, al mismo tiempo que la bondad de ajuste presentó un valor de Pearson de 0,794 siendo positivo alto por su cercanía al número 1. Por otro lado, el Pseudo R al cuadrado según Nagelkerke pudo determinar un 37,6% de varianza entre las variables. Finalmente, según la estimación de parámetros al obtenerse un nivel de significancia de Wald mayor a uno se puede rechazar la hipótesis nula y aceptar la incidencia que tiene los aspectos eléctricos en cuanto a la eficiencia de la turbina Francis.

## **6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares.**

Luego de analizar los resultados de la encuesta y los hallazgos analíticos establecidos en los supuestos generales, a través de un valor de Nagelkerke pseudo r-cuadrado de 2.835 a un nivel de significancia de 0.000 a un coeficiente de Wald estimado mayor a 1 como alto y positivo, se observa que los parámetros operativos afectan la eficiencia de la turbina de flujo mixto; lo que tiene sentido ya que ante lo encontrado por (Carbajal Cruzado, 2020) al analizar los parámetros de operación de la turbina Francis dentro de una hidroeléctrica pudo determinar que existieron pérdidas eléctricas dentro del sistema de gobernación como también de la distribución de energía eléctrica. Asimismo (Vásquez et al., 2016) al querer seleccionar los datos caudales del rodete Francis por medio de la altura, carga y velocidad pudo demostrar que se necesita de una cuidada aplicación de estas piezas para que no exista riesgo alguno, finalmente (Alcoser et al., 2018) al querer implementar un módulo de investigación tanto de turbinas Pelton como Francis pudo mediante la incorporación de un sistema hidráulico y electrónico analizar el rendimiento de conversión energética para poder realizar futuros de la conversión de este tipo de energías.

Continuando con lo desarrollado por medio de la primera hipótesis específica, se pudo encontrar relación de lo determinado por (Salazar Paredes, 2018) al realizar una simulación fluidodinámica a los alabes directrices de 21 y 17 centímetros de la turbina Francis ya que con ello se pudo determinar que a través de un modelo matemático se va a poder llegar a una sincronización óptima que permita aprovechar de mejor manera la energía hidráulica. Lo que tiene relación con lo obtenido ya que a través del Pseudo R cuadrado dentro del valor de Nagelkerke se obtuvo un 33,9%, como dentro de la estimación un valor de 2,047 con un nivel de significancia de 0.00 donde también se determinó un coeficiente de Wald mayor a 1 siendo este positivo alto lo que permitió determinar la influencia de los aspectos mecánicos con la eficiencia de la turbina Francis, lo que tiene sentido ya que (Melnick D'Etigny, 2017) al detectar mediante un análisis de vibraciones las fallas que pueden determinarse dentro de una unidad, se pudo resolver que mediante el uso de equipos acústicos se puede ver que tipo de componentes mecánicos son los que están fallando, asimismo (Ponguta et al., 2021) al querer implementar un modelo de apoyo que permita ver el comportamiento de la turbina Francis en cuanto a los ángulos y eficiencia por medio de un software llamado ANSYS pudo demostrar que este tipo de herramienta es eficaz para suministrar una larga serie de resultados en cuanto al funcionamiento mecánico de estas turbinas.

En cuanto a la segunda hipótesis específica, que en este estudio tiene un valor de Nagelkerke de 37.6% por pseudo R-cuadrado, también se puede obtener una estimación de la variable de 2.202, con un nivel de significación de 2.202 si se aceptan los aspectos eléctricos que influyen en el flujo mixto. El coeficiente de Wald estimado de 0,000 a más de 1 se considera influyente y significativo en la evaluación de la eficiencia de la turbina. Esto se puede constatar al diseñar un modelo de turbina Francis accionada por energía hidráulica (Pantigozo et al., 2019), se sugiere completar el diseño simplemente ensamblando sus componentes de la misma forma (Ortiz Marin, 2017) para ser implementada en Cuando Al comparar el rendimiento de las turbinas Francis y las turbinas de flujo cruzado, se puede demostrar que la turbina de flujo se comporta mejor en estos casos debido al rendimiento técnico económico a favor de la electricidad.

Continúa (Gil Bancallan, 2017) En una simulación de generación de energía hidroeléctrica por una turbina Pelton y Francis a través de un sistema de recirculación, sugirió que con un diseño estimado del sistema de recirculación se podría mantener el volumen de la vasija. Finalmente (Paraguay, 2021) pudo demostrar con su mejor selección de aerogeneradores mediante una tabla que el hecho de que se trate la selección se puede utilizar como medida de estos diseños de aerogeneradores.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.**

Los autores dentro de este presente estudio tienen la responsabilidad de la información depositada dentro de este documento titulado “Análisis de parámetros de operación y su impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de CC. NN. Betania, Perú 2022” cumpliendo con las normas establecidas por la Universidad Nacional del Callao

## VII. CONCLUSIONES

**Primera:** se encontró que los parámetros de operación tienen un efecto significativo en la eficiencia de la turbina Francis. Demostrado por el pseudo R-cuadrado de Nagelkerke, al obtener un porcentaje de 46.0% con un valor estimado de 2.835, el coeficiente de Wald estimado es mayor a 1.

**Segunda:** Se determinó el impacto significativo de los aspectos mecánicos en la eficiencia de la turbina Francis. Demostrado por el pseudo R-cuadrado de Nagelkerke, ya que obtiene un porcentaje del 33,9% con un valor estimado de 2,047 y un coeficiente de Wald estimado superior a 1.

**Tercero:** Se midió el impacto significativo de los aspectos eléctricos en la eficiencia de la turbina Francis. Demostrado por la pseudo R-cuadrada de Nagelkerke, ya que obtiene un porcentaje del 37,6% con un valor estimado de 2,202 y un coeficiente de Wald estimado superior a 1.

## VIII. RECOMENDACIONES

**Primera:** Mantener y aumentar los niveles encontrados sobre el uso continuo de parámetros de operación para que mayores usuarios puedan tener acceso a la información requerida para este tipo de actividades en el futuro y tenga un referente en el cual pueda confiar la información recolectada.

**Segunda:** Actualizar constantemente las piezas mecánicas para mantener un funcionamiento óptimo, como también mejorar las piezas ya existentes por otras que sean de mayor calidad para reforzar la vida útil de la turbina Francis.

**Tercero:** Continuar con la optimización de los componentes eléctricos y generar un aprendizaje constante sobre toda actualización que pueda darse, de esta manera podrá reforzarse y economizarse la energía en la turbina Francis.

## **IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Alcoser Vizuite, Edison Omar y Suárez Jiménez, Henry Mauricio. 2018.** *Implementación de un módulo de prácticas de laboratorio para determinar el rendimiento de turbinas pelton y francis en la asignatura de energías renovables de la carrera de ingeniería electromecánica en la universidad técnica de Cotopaxi.* Latacunga : Universidad Técnica de Cotopaxi, 2018.

**Aquanovis. 2012.** *Turbinas.* Londres : Aquanovis, 2012.

**Araiz Tabar, Amaia. 2015.** *Estudio del potencial hidroeléctrico en sakana.* Gipuzkoa : Escuela universitaria de ingeniería técnica industrial, 2015.

**Araniva Contreras, Carlos Antonio, Castro Chávez, José Ricardo y Rivera Cornejo, Victor Emilio Antonio. 2013.** *Propuesta de instalación de una micro planta hidráulica para el aprovechamiento de las aguas de reinyección en la planta geotérmica de Berlín.* San Salvador : Universidad de El Salvador, 2013.

**Arévalo Llumipanta, Héctor Reynaldo. 2017.** *Modelación de la transferencia de energía entre un aprovechamiento hidroenergético y turbomáquinas.* Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2017.

**Cáceres Chávez, Martín Alexis, Flores Rodríguez, David Oswaldo y Gutiérrez Zambrano, Javier Hugo. 2017.** *Gestión de la Calidad en las Empresas de Transmisión de Energía Eléctrica en el Perú.* Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.

**Canchica, Jesús. 2016.** *Evaluación de la operación de los sistemas de turbina francis y turbina pelton del laboratorio de hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Carabobo.* Valencia : Universidad de Carabobo, 2016.

**Carbajal Cruzado, Sebastián Nerio. 2020.** *Análisis de los parámetros de operación para determinar la eficiencia de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.* Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2020.

**Carmona Victoria, Raquel. 2014.** *análisis, caracterización y diseño de una turbina Francis.* Jaén : Universidad de Jaén, 2014.

**Coaquira Mamani, Jimmy. 2018.** *Implementación de gestión de la calidad para la ejecución de proyectos de sistemas de distribución eléctrica.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.

**Díaz Salcedo, Giovany Enrique y Muñoz Gómez, Javier. 2019.** *Análisis de eficiencia de una turbina de álabes curvados para generación de energía eléctrica por el método de vórtice gravitacional.* Barrancabermeja : Unidades Tecnológicas de Santander, 2019.

**Fernández Díaz, Carlos. 2019.** *Estudio de un aprovechamiento hidráulico para una central minihidráulica.* Jaén : Universidad de Jaén, 2019.

**García Gutiérrez, Héctor y Nava Mastache, Arturo. 2014.** *Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas.* Distrito Federal : Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

**García Pérez, Mario Alberto. 2011.** *Turbomáquinas – Turbinas Hidráulicas.* Callao : Universidad Nacional del Callao, 2011.

**Gil Bancallan, Luis Orlando. 2017.** *Diseño de un módulo de simulación de generación hidroeléctrico utilizando turbinas pelton y francis abastecidas por un sistema de recirculación.* Chiclayo : Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2017.

**Góngora Cruz, Luis Alberto y Rojas Macedo, Olger Gabriel. 2019.** *Diseño e implementación de un módulo de turbina francis para el laboratorio de termofluidos de la escuela profesional de ingeniería mecánica, mecánica-eléctrica y mecatrónica.* Arequipa : Universidad Católica de Santa María, 2019.

**Guevara Flores, Arneth María Reneé. 2016.** *Incidencia de la inversión pública en energía eléctrica rural en la provincia Nor-Yungas del departamento (PERIODO 2004-2014).* La Paz : Universidad Mayor de San Andrés, 2016.

**Hernández Palma, José Ricardo y Benavides Buitrago, Sandra Patricia. 2019.** *Elaboración de procedimientos para ejecución de proyectos eléctricos de alta tensión.* Bogotá : Universidad Piloto de Colombia, 2019.

**Hernández Rodríguez, Julio, Gómez del Pino, Pablo y Zanzi, Claudio. 2017.** *Máquinas hidráulicas.* Madrid : Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2017.

**León Rodriguez, Hernando Efraín. 1998.** *Cálculo, diseño y prototipo de un turbogenerador hidráulico de 3KW AC para la granja piscícola en Belen.* Boyacá : Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, 1998.

**Melnick D'Etigny, Gabriel. 2017.** *Identificación de variables mecánicas de condición y de operación para el monitoreo de centrales hidroeléctricas.* Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2017.

**Ministerio de Energía y Minas del Perú. 2020.** *Plan Nacional de Electrificación Rural Periodo 2021-2023.* Lima : Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2020.

**Molina, Andrés Felipe . 2018.** *Modelamiento de una turbina Francis en CFD e impresión 3D del prototipo.* Bogotá : Universidad de los Andes, 2018.

**Ortiz Marin, Cristian Camilo. 2017.** *Comparación del Desempeño de una Turbina Francis y una Turbina de Flujo Cruzado.* Medellín : Universidad Nacional de Colombia – Sede, 2017.

**Pantigozo Orque, Wilmer y Jaimes Gallegos, Jonathan Rodrigo. 2019.** *Diseño y construcción de un modelo de turbina Francis a partir de un prototipo de 200 KW de potencia usando la teoría de semejanza hidráulica.* Cusco : Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2019.

**Paraguay Cconovilca, Jander. 2021.** *Selección óptima de la turbina hidráulica para el aprovechamiento del recurso hidroenergético de la mini central hidroeléctrica de la CC.NN. Betania.* Huancayo : Universidad Nacional Del Centro del Perú, 2021.

**Polo Jaramillo, Kevin Andrés y Rodríguez León, Wilson Jair. 2015.**

*Obtención de los principales parámetros de las señales de tensión y corriente presentes en un sistema monofásico utilizando un sistema digital.*

Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2015.

**Ponguta Castellanos, K. y Rojas Forero, D.A. 2021.** *Modelo de apoyo para la*

*visualización del comportamiento de una turbina francis en función de su*

*eficiencia y ángulos de entrada mediante el software ANSYS. [Tesis de Título,*

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas], s.l. : 2021.*

*Research methodology for novelty technology. Lai, P C. 2018. s.l. : Journal of*

*Information Systems and Technology Management – Jistem USP, 2018, Vol.*

*15.*

**Salazar Paredes, Emerson Andre. 2018.** *Repotenciación de turbina Francis*

*de la Central Hidroeléctrica Chavimochic aplicando un análisis y simulación*

*fluidodinámica. Trujillo : Universidad César Vallejo, 2018.*

**Valencia Velez, Alejandro y Rincon Castro, Cristian Camilo. 2013.** *Criterios*

*de diseño y montaje para una central hidroelectrica con capacidad de*

*generacion de 20 mw. Santiago de Cali : Universidad Autónoma de Occidente,*

*2013.*

**Vásquez Hernández, Kevin Ariel y David Jiménez, Rodrigo. 2016.** *Diseño*

*de un modelo de rodete de la turbina Francis para el salto “La Sirena”.*

Managua : Universidad Nacional de Ingeniería, 2016.

## X. ANEXOS

### ANEXO1: Matriz de Consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTACION	METODOLOGIA
<p><b>Problema General:</b>  <b>P.G.</b> ¿Cómo los parámetros de operación generan un impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022?</p>	<p><b>Objetivo general</b>  <b>O.G.</b> Determinar los parámetros de operación para conocer el impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b>  <b>H.G.</b> Los parámetros de operación generan impacto en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.</p>	<p><b>Variable independiente</b>  <b>Parámetros de operación</b>  <b>Dimensiones</b>  <b>Indicadores:</b>  <b>D1: Aspectos mecánicos</b>            I1: Velocidad de giro            I2: Espesor del Alabe  <b>D2: Aspectos eléctricos</b>            I1: Tensión            I2: Potencia útil</p>	<p><b>Técnicas:</b>            Encuesta            Según lo expuesto por el autor, la encuesta para el presente trabajo de investigación es una técnica que consiste en obtener información de las personas encuestadas mediante el uso de cuestionarios diseñados en forma previa para la obtención de información específica.  <b>Instrumento:</b>            Cuestionario            El cuestionario para el presente trabajo de investigación servirá de herramienta de investigación que consiste en una serie de preguntas y otras indicaciones con el propósito de obtener información de los consultados.</p>	<p><b>Tipo y Diseño de la Investigación:</b>            Para el presente trabajo de investigación:  <b>Tipo de Investigación:</b>            Aplicada  <b>Diseño de la Investigación:</b>            NO EXPERIMENTAL – TRANSVERSAL  <b>Nivel de la Investigación:</b>            DESCRIPTIVO-CORRELACIONAL</p>
<p><b>Problemas Específicos:</b>  <b>P.E.1.</b> ¿Cómo los aspectos mecánicos impactan en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022?  <b>P.E.2.</b> ¿Cómo los aspectos eléctricos impactan en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022?</p>	<p><b>Objetivos Específicos:</b>  <b>O.E.1.</b> Diagnosticar el impacto de los aspectos mecánicos en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.  <b>O.E.2.</b> Medir el impacto de los aspectos eléctricos en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas:</b>  <b>H.E.1</b> Los aspectos mecánicos impactan en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.  <b>H.E.2</b> Los aspectos eléctricos impactan en la eficiencia de turbinas Francis en la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, Perú 2022.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b>            Eficiencia de la turbina Francis  <b>Dimensiones</b>  <b>Indicadores:</b>            D1: Eficiencia            I1: Potencia mecánica</p>		<p><b>Población Y Muestra:</b>  <b>Población:</b>            La población es de 45, se identifica como la turbina Francis de la mini central hidroeléctrica de la CC.NN. Betania.  <b>Muestra:</b>            La muestra es igual a la población, considerando como muestra a la turbina Francis de la mini central hidroeléctrica de la CC. NN. Betania, ya que la población es inferior de 50, en este caso, 45.</p>

## ANEXO 2: Instrumentos de recolección de datos

### CUESTIONARIO DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN

**Título: ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE TURBINAS FRANCIS EN LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CC. NN. BETANIA, PERÚ 2022.**

La presente es una encuesta que tiene como propósito identificar la problemática de la eficiencia en las turbinas, por tal motivo agradecemos su colaboración y tiempo brindado para responder cada una de las siguientes preguntas del cuestionario.

#### Indicaciones:

La presente encuesta es de carácter confidencial, agradecemos responder objetiva y verazmente. Lea detenidamente cada pregunta y marque la opción que considere correspondiente según la siguiente leyenda:

Totalmente de acuerdo 5	De acuerdo 4	Ni de acuerdo ni en desacuerdo 3	En desacuerdo 2	Totalmente en desacuerdo 1
----------------------------	-----------------	-------------------------------------	--------------------	-------------------------------

PREGUNTAS: Parámetros de operación	RESPUESTAS				
	1	2	3	4	5
<b>DIMENSIÓN “Aspectos mecánicos”</b>					
<b>INDICADOR “Velocidad de giro”</b>					
1. La velocidad de giro funciona correctamente en la turbina.					
2. La velocidad de giro tiene como respuesta valores fiables y constantes.					
3. El rpm de la velocidad de giro muestra una calidad óptima en el rotor para el correcto funcionamiento de los ejes					
<b>INDICADOR “Espesor del Alabe”</b>					
4. Los álabes del rotor son eficientes al generar energía.					
5. Los álabes tienen una correcta distribución y un óptimo desarrollo al desempeñar sus funciones.					
6. El espesor que tiene el álabe es el indicado para el buen funcionamiento de la turbina hidroeléctrica					
<b>DIMENSIÓN “Aspectos eléctricos”</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>INDICADOR “Tensión”</b>					
7. El voltaje generado por la turbina es eficiente para generar un adecuado flujo de corriente eléctrica					
8. La tensión de la turbina es adecuada para cubrir las necesidades de la central hidroeléctrica					
9. La tensión es constante y aumenta la productividad de la central hidroeléctrica					

INDICADOR "Potencia útil"					
10. Considera que el rendimiento de la potencia útil es apropiado durante el proceso de diferencia potencial.					
11. La potencia útil de la turbina hidroeléctrica es la indicada.					
12. La potencia útil genera un desgaste de los elementos que conforman la turbina hidroeléctrica.					

## CUESTIONARIO DE EFICIENCIA DE TURBINAS FRANCIS

### Título: ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE TURBINAS FRANCIS EN LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CC. NN. BETANIA, PERÚ 2022.

La presente es una encuesta que tiene como propósito identificar la problemática de la eficiencia en las turbinas, por tal motivo agradecemos su colaboración y tiempo brindado para responder cada una de las siguientes preguntas del cuestionario.

**Indicaciones:**

La presente encuesta es de carácter confidencial, agradecemos responder objetiva y verazmente. Lea detenidamente cada pregunta y marque la opción que considere correspondiente según la siguiente leyenda:

Totalmente de acuerdo 5	De acuerdo 4	Ni de acuerdo ni en desacuerdo 3	En desacuerdo 2	Totalmente en desacuerdo 1
----------------------------	-----------------	-------------------------------------	--------------------	-------------------------------

<b>PREGUNTAS: Eficiencia de la turbina</b>	<b>RESPUESTAS</b>				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>DIMENSIÓN “Eficiencia”</b>					
<b>INDICADOR “Potencia mecánica”</b>					
1. La potencia mecánica de la turbina se encuentra optimizada al realizar el trabajo cinético.					
2. El nivel de la potencia mecánica que entrega la turbina es correcto para el buen funcionamiento del eje del generador.					
3. A mayor desgaste, mayor potencia mecánica para el funcionamiento de la turbina.					
4. La potencia mecánica actual es eficiente para la calidad en la distribución de energía.					

### ANEXO 3: Validación de instrumentos.

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DE LOS INSTRUMENTOS QUE MIDEN ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE TURBINAS FRANCIS EN LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CC. NN. BETANIA, PERÚ 2022”.**

**Cuestionario: Parámetros de planeación**

DIMENSIONES / ÍTEMS		Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	
<b>Dimensión “Aspectos mecánicos”</b>								
<b>Velocidad de giro</b>								
1	La velocidad de giro funciona correctamente en la turbina.	X		X		X		
2	La velocidad de giro tiene como respuesta valores fiables y constantes.	X		X		X		
3	El rpm de la velocidad de giro muestra una calidad óptima en el rotor para el correcto funcionamiento de los ejes	X		X		X		
<b>Espesor del Alabe</b>								
4	Los álabes del rotor son eficientes al generar energía.	X		X		X		
5	Los álabes tienen una correcta distribución y un óptimo desarrollo al desempeñar sus funciones.	X		X		X		
6	El espesor que tiene el álabe es el indicado para el buen funcionamiento de la turbina hidroeléctrica	X		X		X		
<b>Dimensión “Aspectos eléctricos”</b>								
<b>Tensión</b>								

7	El voltaje generado por la turbina es eficiente para generar un adecuado flujo de corriente eléctrica	X		X		X		
8	La tensión de la turbina es adecuada para cubrir las necesidades de la central hidroeléctrica	X		X		X		
9	La tensión es constante y aumenta la productividad de la central hidroeléctrica	X		X		X		
<b>Potencia útil</b>								
10	Considera que el rendimiento de la potencia útil es apropiado durante el proceso de diferencia potencial.	X		X		X		
11	La potencia útil de la turbina hidroeléctrica es la indicada.	X		X		X		
12	La potencia útil genera un desgaste de los elementos que conforman la turbina hidroeléctrica.	X		X		X		



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DE LOS INSTRUMENTOS QUE MIDEN ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE TURBINAS FRANCIS EN LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CC. NN. BETANIA, PERÚ 2022”.**

**Cuestionario: Parámetros de planeación**

DIMENSIONES / ÍTEMS		Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	
<b>Dimensión “Aspectos mecánicos”</b>								
<b>Velocidad de giro</b>								
1	La velocidad de giro funciona correctamente en la turbina.	X		X		X		
2	La velocidad de giro tiene como respuesta valores fiables y constantes.	X		X		X		
3	El rpm de la velocidad de giro muestra una calidad óptima en el rotor para el correcto funcionamiento de los ejes	X		X		X		
<b>Espesor del Alabe</b>								
4	Los álabes del rotor son eficientes al generar energía.	X		X		X		
5	Los álabes tienen una correcta distribución y un óptimo desarrollo al desempeñar sus funciones.	X		X		X		
6	El espesor que tiene el álabe es el indicado para el buen funcionamiento de la turbina hidroeléctrica	X		X		X		
<b>Dimensión “Aspectos eléctricos”</b>								
<b>Tensión</b>								
7	El voltaje generado por la turbina es eficiente para generar un adecuado flujo de corriente eléctrica	X		X		X		

8	La tensión de la turbina es adecuada para cubrir las necesidades de la central hidroeléctrica	X		X		X		
9	La tensión es constante y aumenta la productividad de la central hidroeléctrica	X		X		X		
<b>Potencia útil</b>								
10	Considera que el rendimiento de la potencia útil es apropiado durante el proceso de diferencia potencial.	X		X		X		
11	La potencia útil de la turbina hidroeléctrica es la indicada.	X		X		X		
12	La potencia útil genera un desgaste de los elementos que conforman la turbina hidroeléctrica.	X		X		X		



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DE LOS INSTRUMENTOS QUE MIDEN ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE TURBINAS FRANCIS EN LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CC. NN. BETANIA, PERÚ 2022”.**

**Cuestionario: Parámetros de planeación**

DIMENSIONES / ÍTEMS		Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	
<b>Dimensión “Aspectos mecánicos”</b>								
<b>Velocidad de giro</b>								
1	La velocidad de giro funciona correctamente en la turbina.	X		X		X		
2	La velocidad de giro tiene como respuesta valores fiables y constantes.	X		X		X		
3	El rpm de la velocidad de giro muestra una calidad óptima en el rotor para el correcto funcionamiento de los ejes	X		X		X		
<b>Espesor del Alabe</b>								
4	Los álabes del rotor son eficientes al generar energía.	X		X		X		
5	Los álabes tienen una correcta distribución y un óptimo desarrollo al desempeñar sus funciones.	X		X		X		
6	El espesor que tiene el álabe es el indicado para el buen funcionamiento de la turbina hidroeléctrica	X		X		X		
<b>Dimensión “Aspectos eléctricos”</b>								
<b>Tensión</b>								
7	El voltaje generado por la turbina es eficiente para generar un adecuado flujo de corriente eléctrica	X		X		X		

8	La tensión de la turbina es adecuada para cubrir las necesidades de la central hidroeléctrica	X		X		X		
9	La tensión es constante y aumenta la productividad de la central hidroeléctrica	X		X		X		
<b>Potencia útil</b>								
10	Considera que el rendimiento de la potencia útil es apropiado durante el proceso de diferencia potencial.	X		X		X		
11	La potencia útil de la turbina hidroeléctrica es la indicada.	X		X		X		
12	La potencia útil genera un desgaste de los elementos que conforman la turbina hidroeléctrica.	X		X		X		



## ANEXO 4: Base de datos

Parámetros de operación												Eficiencia de la turbina			
Aspectos mecánicos						Aspectos eléctricos						Eficiencia			
p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P1	P2	P3	P4
2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	3
1	2	2	1	1	2	1	1	2	3	3	3	3	2	2	3
3	3	2	1	1	3	2	3	3	3	1	2	2	2	3	2
3	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	2	1	3	3	1
3	3	2	1	3	3	2	3	3	1	3	1	2	3	3	1
2	1	3	3	2	2	1	2	1	1	2	2	3	3	1	2
2	2	1	3	2	3	1	3	3	1	2	3	1	2	2	2
2	2	2	2	3	3	3	2	1	1	3	1	2	1	2	3
2	2	2	2	2	3	3	1	3	1	3	1	1	2	1	3
2	1	2	1	2	2	1	2	3	2	1	2	2	2	1	2
2	2	1	3	2	1	3	1	2	3	1	3	1	1	1	1
1	2	2	1	3	2	2	1	3	3	3	3	3	2	3	3
1	1	1	1	3	2	1	2	2	3	3	3	2	2	2	2
3	2	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	1	2	2	2
2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	3	3	2	1	3	3
2	2	3	2	3	1	1	2	1	1	3	3	2	2	2	3
1	2	2	1	3	3	2	2	3	1	1	2	3	3	3	2
2	3	3	3	3	3	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1
1	3	1	3	1	1	2	1	1	1	1	2	3	3	3	1
1	2	3	2	1	1	3	1	2	2	3	2	3	3	1	1

2	2	1	3	2	3	1	3	1	1	2	2	2	1	1	1
2	2	2	1	3	3	1	2	3	2	2	1	2	3	3	1
1	3	2	1	1	2	2	2	1	1	3	3	3	3	3	2
2	1	2	2	2	1	2	1	1	3	3	2	3	2	3	1
2	2	3	3	1	1	3	2	1	3	3	1	2	2	1	3
3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1	3	1	2	1
1	1	3	1	3	1	1	1	2	2	3	2	1	3	2	1
1	1	1	1	1	2	3	3	2	2	2	3	3	1	2	3
2	1	1	2	3	3	1	3	2	1	2	3	1	1	2	3
3	3	1	2	2	2	1	1	2	2	3	1	3	1	1	2
4	3	4	3	3	3	3	2	4	3	4	2	3	3	3	2
4	4	2	2	2	3	4	4	2	4	2	2	2	2	4	4
4	3	3	4	4	3	2	4	2	4	3	4	4	3	4	3
4	3	2	4	3	2	4	3	3	4	2	4	4	3	3	4
3	3	3	3	2	3	2	3	4	2	3	3	4	4	3	3
3	4	2	4	3	3	3	2	2	4	3	2	2	3	2	3
4	2	2	3	4	2	3	4	4	3	2	4	4	3	2	2
2	4	2	2	3	2	3	3	3	2	2	4	2	3	2	4
3	3	3	2	3	2	2	3	3	4	4	2	5	4	4	3
2	4	4	3	2	2	3	4	4	2	4	4	5	5	3	5
2	2	4	4	3	3	2	2	4	2	3	4	3	3	5	5
5	4	3	4	3	3	3	4	3	3	5	5	5	4	3	4
3	3	5	4	5	3	4	4	4	3	5	5	5	4	4	4
5	3	5	5	4	3	4	3	3	5	5	3	3	4	3	3
4	5	4	5	5	5	5	3	4	3	4	5	5	3	3	3

## ANEXO 5: Prueba de fiabilidad

Tabla 16: Resumen de procesamiento de casos de la variable Parámetros de operación.

		N	%
Casos	Válido	45	100,0
	Excluido <sup>a</sup>	0	,0
	Total	45	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Tabla 17: Prueba de fiabilidad de la variable Parámetros de operación.

	Alfa de Cronbach	N de elementos
Parámetros de operación	0,895	12

Se obtuvo un valor de 0,895 en la variable parámetros de operación compuesta por 12 elementos siendo fiable por su cercanía al número uno.

Tabla 18: Resumen de procesamiento de casos de la variable eficiencia de la turbina.

		N	%
Casos	Válido	45	100,0
	Excluido <sup>a</sup>	0	,0
	Total	45	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Tabla 19: Prueba de fiabilidad de la variable eficiencia de la turbina.

	Alfa de Cronbach	N de elementos
Eficiencia de la turbina	0,770	4

Se obtuvo un valor de 0,770 en la variable eficiencia de la turbina compuesta por 4 elementos siendo fiable por su cercanía al número uno.

## ANEXO 6: Prueba de normalidad

Tabla 20: Prueba de normalidad de la variable Parámetros de operación.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Parámetros de operación	,218	45	,000	,881	45	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

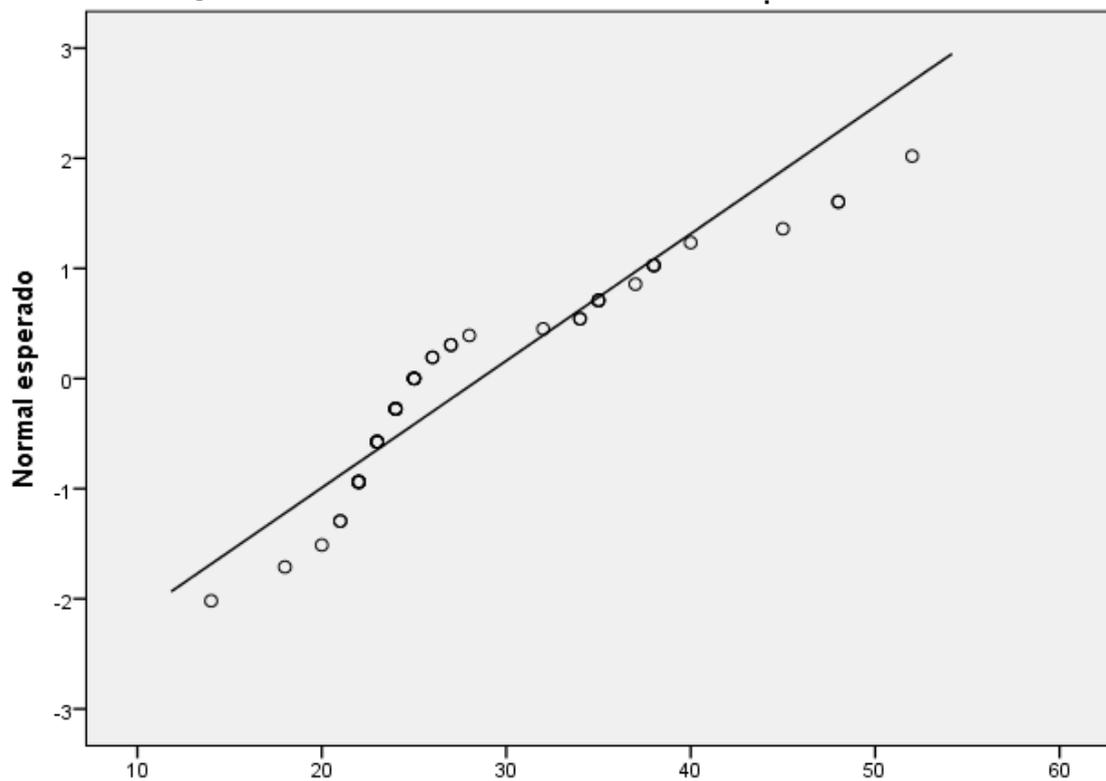


Figura 3: Prueba de normalidad de la variable Parámetros de operación.

En la variable parámetros de operación el <p valor> se considera menor a 0,05 lo cual puede confirmar que la población no es considerada normal lo que hace que se recurra a una prueba no paramétrica.

Tabla 21: Prueba de normalidad de la variable eficiencia de la turbina.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia de la turbina	,162	45	,004	,940	45	,021

a. Corrección de significación de Lilliefors

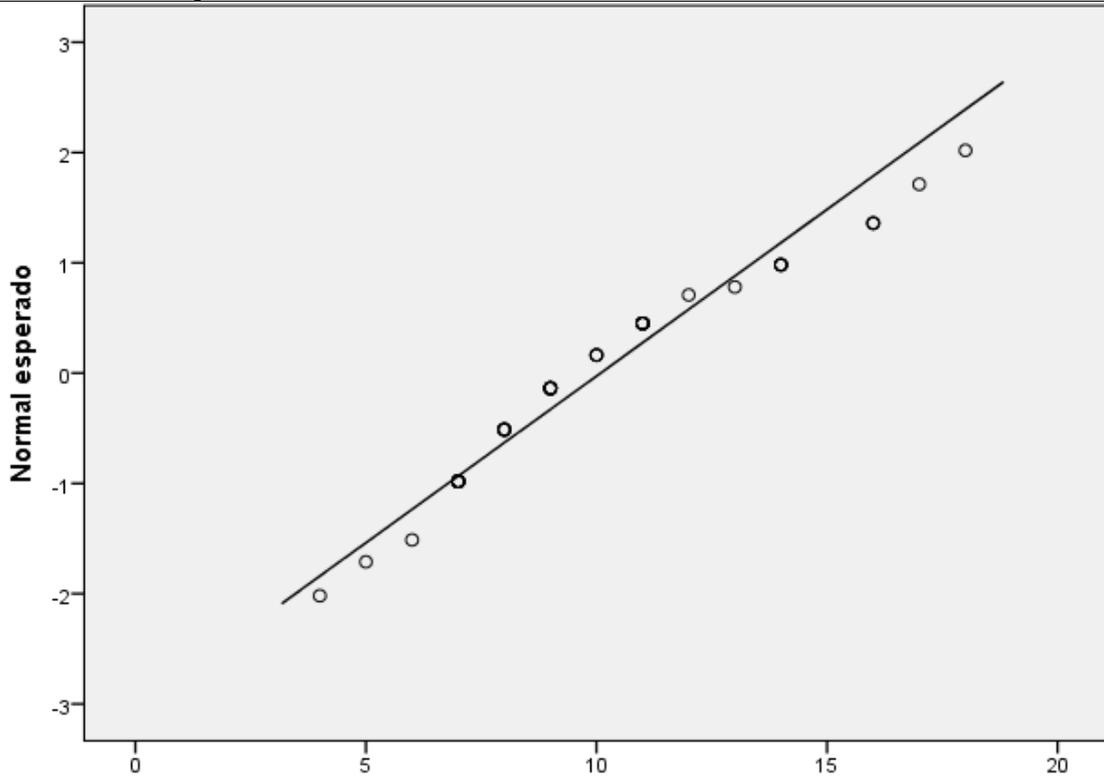


Figura 4: Prueba de normalidad de la variable eficiencia de la turbina.

En la variable eficiencia de la turbina el <p valor> se considera mayor a 0,05 lo cual puede confirmar que la población es considerada normal lo que hace que se recurra a una prueba paramétrica.