



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Análisis de los parámetros de operación para determinar la eficiencia de la
turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza**

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

AUTOR:

Carbajal Cruzado, Sebastián Nerio (ORCID: 0000-0002-5623-4653)

ASESOR:

Dr. Villarreal Albitres, Willian Fernando (ORCID: 0000-0003-1743-6014)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

CHICLAYO – PERÚ

2020

Dedicatoria

A mi querida madre por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, a mi esposa que motiva día a día mis deseos de superación constante, apoyándome en todo momento y a mi hermano por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindo a lo largo de esta etapa de mi vida y así realizarme como un profesional exitoso y tener un logro más en la vida.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad y a mi madre por ser la principal promotora de lograr mis sueños por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me ha inculcado, asimismo agradecer a mi esposa por siempre estar a mi lado apoyándome.

ÍNDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen.....	x
Abstract	xi
I.INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad problemática	2
1.2. Formulación del problema.....	5
1.3. Justificación de la investigación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Hipótesis	6
II. MARCO TEORICO	6
2.1. Antecedentes investigativos.....	6
2.1.1. A nivel nacional	6
2.1.2. A nivel internacional.....	7
2.2. Teorías relacionadas al tema.....	8
2.3. Enfoques conceptuales.....	10
2.3.1. Aplicaciones de la ecuación de Euler	10
2.3.2. Triángulos de velocidades	11
2.3.3. Velocidad específica	12
2.3.4. Pérdidas	14
2.3.5. Potencias:	14
2.3.6. Rendimiento hidráulico, volumétrico y mecánico	15
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y Diseño de la Investigación	16
3.1.1. Tipo de la investigación	16
3.1.2. Diseño de la investigación	16
3.2. Variables y operacionalización.....	16
3.2.1. Variable independiente (cuantitativa):	16

3.2.2. Variable dependiente:	16
3.3. Población, muestra y muestreo.....	17
3.3.1. Población	17
3.3.2. Muestra	17
3.3.3. Muestreo	17
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	17
3.4.1. Validez y Confiabilidad.....	18
3.5. Procedimiento	18
3.5.1. Diagnóstico de la situación actual de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.	19
3.5.2. Determinación de la potencia hidráulica y útil de la Turbina Francis de la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.	21
3.5.3. Determinar el rendimiento hidráulica, volumétrica y mecánica de la turbina Francis de la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza	21
3.5.4. Determinar la eficiencia de la Turbina Francis de la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.	22
3.6. Métodos de Análisis de Datos.....	22
3.7. Aspectos Éticos	22
IV. RESULTADOS	23
4.1. Diagnóstico de la situación actual de la turbina Francis y generador eléctrico en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.....	23
4.1.1. Condiciones Físicas de la turbina Francis y Generador eléctrico.....	23
4.2. Medición de los parámetros de operación de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.	34
4.2.1. Medición del caudal de alimentación de la turbina Francis	34
4.2.2. Medición de la altura neta de la turbina Francis.....	37
4.3. Análisis de los parámetros de operación que influyen en la eficiencia de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.	38
4.3.1. Cálculo de las pérdidas de carga en la tubería de admisión	38
4.3.2. Cálculo de las Pérdidas manométricas por triángulos de velocidades.....	43
4.3.3. Cálculo del rendimiento manométrico.....	45

4.3.4. Rendimiento volumétrico.....	45
4.3.5. Rendimiento mecánico.....	45
4.3.6. Rendimiento total.....	45
4.3.7. Calculo de potencia absorbida y útil de la turbina Francis	45
4.3.8. Justificar la interrelación de los parámetros de operación y su efecto en el desempeño de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.....	48
4.3.9. Determinación de la eficiencia de la turbina de la Mini Central Hidroeléctrica según placa.....	49
4.4. Justificar la interrelación de la potencia generada actual con la que se podría generar de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.	49
V. DISCUSIONES.....	50
VI. CONCLUSIONES.....	52
VII. RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas de recolección datos	17
Tabla 2. Parámetros de operación de Generador GCZ Ingenieros M/0568	23
Tabla 3. Generación de energía día y noche (hora punta) en el sistema de gobernación.....	25
Tabla 4. Registros de Potencia Generada (KW) Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.....	27
Tabla 5. Hora de Máxima Potencia Generada.	29
Tabla 6. Energía Generada Mensual	31
Tabla 7. Factor de Carga Mensual. Minicentral Hidroeléctrica Huarandoza	32
Tabla 8. Valores de caudales registrados por flujómetro ultrasónico a través del Penstock.....	35
Tabla 9. Medición de la altura neta	37
Tabla 10. Velocidad del Fluido en m/s al ingreso a la turbina Francis.....	39
Tabla 11. Pérdidas secundarias en tubería de presión de turbina Francis.....	41
Tabla 12. Cálculo del Número de Reynolds, Factor de fricción y Pérdida de carga en tubería de presión de turbina Francis	42
Tabla 13. Análisis de la Potencia efectiva y su variabilidad	46
Tabla 14. Potencia y rendimiento de la turbina Francis con respecto a su caudal y altura encontrado	46
Tabla 15. Potencia y rendimiento de la Turbina Francis según variación de caudales.....	47
Tabla 16. Tabla de interrelación de los parámetros en la turbina Francis	48
Tabla 17. Relación de potencia actual con la que se podría generar de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.	49
Tabla 18. Operacionalización de variable	56
Tabla 19. Guía de observación	57
Tabla 20. Ficha técnica del instrumento ultrasónica Flowmeter	58
Tabla 21. Ficha técnica del instrumento sub estación total TOPCON OS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la central Hidroeléctrica de Huarandoza.....	3
Figura 2. Vista de Mini-Central hidroeléctrica de Huarandoza	5
Figura 3. Esquema de turbina Francis	9
Figura 4. Notación internacional para la ubicación de la entrada y salida de las turbinas y de los niveles para la determinación de la altura neta.	10
Figura 5. Triangulo de velocidades	12
Figura 6. Mediciones de caudal-equipos Ultrasonic flowmeter	20
Figura 7. Medición de altura con el equipo subestación total (cámara de carga y centro de turbina)	21

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Parámetros de operación del generador.....	24
Gráfica 2. Generación de energía día y noche en el sistema de gobernación	25
Gráfica 3. Diagramas de cargas de la Mini Central Hidroeléctrica, 2019	28
Gráfica 4. Máxima Generación de Potencia (KW) y Hora de Máxima Generación de Potencia, año 2019	30
Gráfica 5. Energía Generada (KW-H/mes), MCH Huarandoza.	31
Gráfica 6. Evolución del Factor de Carga Mensual. MCH Huarandoza.....	33
Gráfica 7. Mediciones de Caudal de Ingreso a Turbina Francis, Mes de diciembre 2019	36
Gráfica 8. Potencia según variación del caudal.....	48

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar los parámetros de operación para determinar la eficiencia de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza”, que consistió en la toma de mediciones de flujo másico, altura neta, la longitud, diámetro del tubo de admisión y la velocidad del caudal, a fin de evaluar el desempeño de la Turbina Francis, esta investigación también abarcó la toma de mediciones eléctricas tanto en el generador y tablero de control respectivamente. El tipo de investigación es aplicada con un diseño no experimental (transversal – descriptivo), se tomó como población a la Turbina Francis de la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza, la muestra fue los parámetros de operación de la Turbina Francis y se utilizó el tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia. La información se obtuvo mediante la utilización de instrumentos como ficha guía de registros de datos. Los resultados indican que la capacidad instalada de la turbina no es acorde con la altura neta (32 m) y el caudal (558.3 lt/ s) encontrados, por tal motivo solo viene trabajando al 57.5 %. En conclusión, según los parámetros analizados, solo se puede generar una potencia máxima de 163.05 kW con una eficiencia del 93 % dándonos así a conocer que la altura y caudal influyen en el rendimiento global de la turbina.

Palabras claves: Turbina Francis, eficiencia, mini central hidroeléctrica, parámetros de operación.

Abstract

The objective of this research is to analyze the operating parameters to determine the efficiency of the Francis turbine in the Huarandoza Mini Hydroelectric Power Plant ", which consisted of taking measurements of mass flow, net height, length and diameter of the intake pipe and the flow velocity, in order to evaluate the performance of the Francis Turbine, this investigation also included taking electrical measurements on both the generator and the control panel; respectively. The type of investigation is applied with a non-experimental design (transversal - descriptive), the Francis Turbine of the Huarandoza Mini Hydroelectric Power Plant was taken as a population, the sample was the operating parameters of the Francis Turbine and the sampling type was used not probabilistic for convenience. The information was obtained through the use of instruments as a data record guide card. The results indicate that the installed capacity of the turbine is not in accordance with the net height (32 m) and the flow (558.3 lt / s) found, for this reason it has only been working at 57.5%. In conclusion, according to the analyzed parameters, only a maximum power of 163.05 kW can be generated with an efficiency of 93%, thus informing us that the height and flow influence the overall performance of the turbine.

Keywords: Francis turbine, efficiency, mini hydroelectric power station, operating parameters.

I. INTRODUCCIÓN

La Asociación Pro Electrificación Rural, APER- Huarandoza, es una empresa asociativa ubicada en Huarandoza, Distrito de Huarango, Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, dedicada a la generación, distribución y comercialización de energía eléctrica. La Central Hidroeléctrica de Huarandoza tiene una capacidad instalada de 275 kW de potencia eléctrica a condiciones de operación eléctrica, esta acoplada a un Generador Eléctrico GCZ Ingenieros, de 380 V, 412 A, 3 fases, 60 Hertz, y 1200 rpm. El factor de potencia es de 0.80.

Se tiene instalado un tablero de control semi automático para efectos de regular potencia y carga en el sistema, el cual lleva incorporado un banco de resistencias que sirve para descargar la tensión generada que no se utilizada por los usuarios, también se tiene instalada una bomba hidráulica electromecánica para su regulación de válvula mariposa y su sistema de distribuidor de alabes.

La energía generada es de 380 v Trifásica la cual para su traslado a los diferentes pueblos es elevado a 10 k v y en cada pueblo tiene instalada una sub estación para su distribución a los usuarios, se tiene un promedio de 1,350 usuarios que están distribuidos en las 13 localidades que brindamos el servicio eléctrico.

En Marzo del 2012 a través del Consorcio ETUDIO OBREGON – PL CONSULTORIA Y PROYECTOS, realizó un estudio de FACTIBILIDAD EN UN SISTEMA DE GESTION PUBLICO PRIVADO donde hacen mención que el caudal de diseño de la Mini Central es de 600 L/s, si se utilizaría 1,500 L/s la mini central estaría en la capacidad de generar 450 kW, cabe precisar que para ello se tendría que modificar la tubería de PVC de alta presión y con ello aumentaría el caudal de alimentación.

1.1. Realidad problemática

En el año 2108 la demanda de energía eléctrica mundial aumento en un 4% esto se debió a la mayor demanda de calefacción y refrigeración en algunas regiones del mundo, con estos datos podemos decir que la electricidad es el combustible del futuro con 23 000 TWh de consumo y convirtiéndose en el 20 % del consume final total de energía.

La demanda eléctrica en el último año tuvo un crecimiento de un (5 % tanto en MW como MWh), esto se debe a que se realizó ampliaciones a las mineras y también aumento la demanda en las manufacturas y comercial, adicionalmente podemos agregar que en los últimos 10 años estamos creciendo unos 250 MW por año, para el 2021 se tiene proyectado que todos los proyectos mineros sean encaminados y se tendría un auge de inversión de manera gradual. También podemos precisar que la potencia instalada en el Perú es de 14 GW y la demanda en promedio es de 11,28 GW, estando el Perú a un 97 % de electrificación.

En nuestro país existen varias empresas que se dedican a la Generación de Electricidad, en la actualidad el 70 % de electricidad que se consume es de las Centrales Hidroeléctricas y una de ellas es la Minicentral hidroeléctrica Huarandoza. Así como en muchas centrales la falta de eficiencia de la máquina genera muchas pérdidas en la generación eso conlleva a tener bastantes problemas en el sistema de funcionamiento y desempeño de la planta.

Si bien es cierto ahora existen muchos sistemas que nos permiten sacar la máxima eficiencia de una planta, pero en algunos casos por falta de economía las empresas optan por dejar de funcionar y se interconectan al sistema de interconectado nacional.

En la Mini Central Hidroelectrica Huarandoza, somos un claro ejemplo de todos los problemas antes mencionados, se ha realizado muchos estudios y no se ha podido dar solución a la falta de eficiencia de la turbina eso nos lleva qué hora

punta estemos trabajando a limite y solamente estamos con un 8 % de reserva lo cual nos lleva a hacer un análisis de las fallas en la turbina Francis.

El rendimiento de turbina Francis desde su instalación no a sido acorde a su potencia instalada ya que desde un inicio no alcanzó a generar la potencia proyectada, esto se debe a que no se a realizado un análisis y evaluación de ejecución y terminado el proyecto para analizar los parámetros de operación y su efecto en el rendimiento o eficiencia de la turbina Francis.

La Mini central hidroeléctrica Huarandoza utiliza una turbina tipo Francis, es una turbina de reacción en la que su altura bruta comprende entre la cámara de carga y el canal de descarga. Con esto podemos decir que se adapta a todo tipo de salto y caudales.

El mayor consumo registrado en la Central es en hora punta y alcanza a 141 kW; lo que indica que la central hidroeléctrica está generando energía mecánica, por debajo de su capacidad instalada. La turbina Francis es una turbomáquina sin placa de lectura que describe los parámetros de operación a la cual debe trabajar. La carcasa de la turbina Francis tiene apariencia hechiza por los bordes y cordones de soldadura que presenta esta. Las conexiones eléctricas no cuentan con terminales, hecho que podría estar causando falso contacto. Al momento de la investigación realizada se observó que el flujo volumétrico no es medido. El ducto de alimentación de agua o penstock a la turbina es de PVC, clase extrapesada y de 20 pulg de diámetro interno.



Figura 1. Ubicación de la central Hidroeléctrica de Huarandoza

El mecanismo de generación eléctrica se produce por la conversión de energía mecánica generada en la turbina y transmitida al generador, el cual está acoplada a la turbina Francis. El trabajo mecánico se produce por conversión de la energía cinética presente en las partículas de agua que impactan en los álabes del impulsor o “runner”. El flujo de agua que viene desde el canal abierto, el cual se encuentra aproximadamente a 40 m de altura sobre el eje de giro, al llegar las partículas de agua a la turbina, la energía potencial es convertida a energía cinética, al punto que cada partícula de fluido adquiere una determinada cantidad de movimiento capaz de hacer girar el “runner” e impactar sobre las superficies de los alabes para causarle giro o momento de giro.

Según estudio la turbina Francis de la mini central Hidroeléctrica Huarandoza es de tipo horizontal, de ingreso de agua radial y salida del impulsor axial. El flujo de agua es controlado a través de un gobernador de velocidad tipo Woodward, el cual acciona sobre un conjunto de venas de geometría aerodinámica. El agua de salida de la turbina es finalmente descargada en un río. La turbina Francis de Huarandoza trabaja las 24 horas y 360 días al año aproximadamente, con paradas periódicas programadas para mantenimiento y limpieza mecánica de material sedimentado en los canales abiertos.

Para la minicentral hidroeléctrica Huarandoza, no ha sido ajena la problemática de la alta demanda de energía eléctrica aun cuando la proyección de mayor generación como función del caudal y otros parámetros externos tales como el sistema de la central y su distribución eléctrica a sus clientes, la baja demanda de energía eléctrica de la actual turbina Francis a afectado en la calidad de la corriente generada, así mismo aumento de fallas y pérdidas de corriente en su sistema de control y distribución, estos problemas afectan los ingresos económicos de la minicentral Huarandoza.



Figura 2. Vista de Mini-Central hidroeléctrica de Huarandoza

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida el análisis de los parámetros de operación permitirá evaluar el desempeño de la turbina Francis en la mini central Hidroeléctrica Huarandoza?

1.3. Justificación de la investigación

➤ **Justificación tecnológica**

Permite generar conocimientos que ayudan y nos demuestran de como los parámetros de operación influyen en el desempeño de la turbina Francis, aplicando todas las metodologías correspondientes.

➤ **Justificación económica**

Permite ser una central sostenible, ya que mejorando la calidad y disminuyendo las pérdidas de generación se podrá dar servicio a más comercios e industrias.

➤ **Justificación Social**

La generación de energía eléctrica es de vital importancia para el desarrollo de los pueblos, lo cual mejorando la eficiencia de la turbina permitirá llegar a más familias permite y así tener un impacto social muy alentador ya que estamos ubicados en una zona rural de difícil acceso.

➤ **Justificación Ambiental**

Por ser una minicentral hidroeléctrica se contribuye a la generación de energía eléctrica limpia ya que no existe contaminación alguna del recurso hídrico.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Analizar los parámetros de operación para determinar la eficiencia de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.
- Medir el caudal y altura de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.
- Analizar los parámetros de operación que influyen en la eficiencia de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.
- Justificar la interrelación de la potencia generada con la que se podría generar, de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

1.5. Hipótesis

El análisis de los parámetros de operación permite evaluar la eficiencia de la turbina Francis en la mini central Hidroeléctrica Huarandoza.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes investigativos

2.1.1. A nivel nacional

Paitan (2015). En su trabajo de investigación denominado: *Recuperación del potencial hidroenergético de la pequeña central hidroeléctrica San José-Yurinaki, para obtener un óptimo funcionamiento.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. concluyo que: La generación de energía eléctrica en zonas aisladas es primordial para prosperar las condiciones de vida de las comunidades cercanas, así también cubrirse las necesidades esenciales los pobladores y mejorar sus condiciones de vida; facilitando las actividades nocturnas, la comunicación, el entretenimiento y el confort, entre otras utilidades que se le pueda dar a la energía generada.

Chong (2017), En su trabajo de investigación denominado: *Optimización del flujo bajo del principio de la presión diferencial y su importancia en la Ingeniería de Control y Automatización industrial*. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo palma. Lima, Perú. menciona en su resumen: El flujo de fluidos en tuberías cerradas se define como la cantidad de fluido que pasa por una sección transversal de la tubería por unidad de tiempo. Esta cantidad de fluido se puede medir en volumen o en masa. De acuerdo a esto se tiene flujo volumétrico o flujo másico. Además, los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento) o indirectamente (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino, ultrasónico).

Pantigoso y Orque (2019). En su investigación denominado: *Diseño y construcción de un modelo de turbina Francis a partir de un prototipo de 200 kW de potencia utilizando la teoría de turbina de la semejanza hidráulica*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Perú. Concluyo que: El análisis dimensional es una herramienta que nos permite obtener las relaciones funcionales entre las variables y los parámetros de funcionamiento de una turbomáquina hidráulica con el fin de poder caracterizar su comportamiento con otra turbomáquina físicamente semejante. Una ventaja adicional que nos proporciona el análisis dimensional es la de predecir los resultados de una turbomáquina hidráulica, en base a los resultados obtenidos con un modelo a escala y nos describe los fenómenos influyentes en su desarrollo y los relaciona entre ellos.

2.1.2. A nivel internacional

García y Guillen (2016), en su investigación denominado: “Simulación del campo del flujo a través del rotor en una turbina Hidráulica Axial tipo Kaplan utilizando técnicas de CDF”, **presentado a la** Facultad de Ingeniería, UNIVERSIDAD DE CARABOBO, Valencia – España, **menciona en su resumen:**

En la actualidad ha crecido rápidamente el uso de herramientas computacionales anulando a eso su velocidad de procesamiento de datos, estas herramientas permiten evaluar las ecuaciones de dinámica de fluidos que no se pueden trabajar analíticamente debido a sus complejidades matemáticas, por lo tanto, aplicar esta investigación, permite predecir las propiedades de flujo con más detalles y obtener resultados más próximos a la realidad.

Una utilidad de las herramientas CFD, es que se tiene la posibilidad de excluir físicamente el equipo que se desea estudiar y obtener variables físicas en cualquier punto del espacio geométrico, solo basta con su dimensionamiento en un software de diseño computacional. De esta manera se obtienen beneficios económicos en todos los ámbitos de estudio.

Hernández (2011), en su tesis de grado, denominado: *Guía para la rehabilitación de pequeñas hidroeléctricas, aplicada a el Porvenir.* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala. Concluyó que: La planta hidroeléctrica de “El Porvenir” tiene instalada una turbina Pelton de 2.34 MW, inicio sus operaciones el año 1968 y en inicios utilizo el recurso hídrico para su generación utilizando como afluentes el rio Tzoc y Chapa. La central estuvo en funcionamiento hasta el año 1977, y su producción promedio fue de 8 GWh. En el año 1977 y 1978 se realizó la repotenciación de la planta.

En la Hidroeléctrica el porvenir se desarrolló proyectos de repotenciación cuyo objetivo principal era de aumentar su capacidad instalada del INDE. El cual consistió en registrar las medidas necesarias y con ello garantizar unos 40 años más de generación, como también se tomó en cuenta el recurso hídrico del rio Chapa y Cabuz el cual es muy superior al caudal actualmente utilizado.

2.2. Teorías relacionadas al tema

Las turbomáquinas rotativas utilizan la energía del fluido la cual es transferida del líquido al rotor que tiene incorporado los álabes, transformando la energía

cinética en energía dinámica, en las turbinas hidráulicas su fluido transfiere su energía al equipo. Actualmente se diseñan las turbinas hidráulicas sacando el máximo provecho en su rendimiento como también se trabaja en la protección de la turbina y así evitar problemas de cavitación como también el desgaste o envejecimiento de la máquina, Según Muñoz (2014, p.4).

El flujo de la corriente forma una línea, la cual es tangente al vector y no atraviesa la pared del tubo el cual es formada por el flujo. En tal sentido la línea del flujo se comporta en una superficie ficticia e impermeable. Domingo (2011).

James B. Francis desarrolló una turbomáquina de acción y reacción con un flujo de agua mixto, el funcionamiento se da con la entrada del agua por la tubería al caracol mediante la cámara de espiral, donde el distribuidor está constituido por álabes móviles directores, de esta manera modifica el rendimiento de la turbomáquina ajustándose a las cargas del sistema eléctrico de esta manera la potencia eléctrica es variable.

Según Yepes (2017), La energía mecánica es producida por la turbina la cual recibe la energía hidráulica del fluido haciendo girar el rodete con un movimiento rotacional que está acoplado al generador, es decir la velocidad del rodete, se controla con los álabes directores, estos pueden girar permitiendo el ingreso de más o menos caudal.

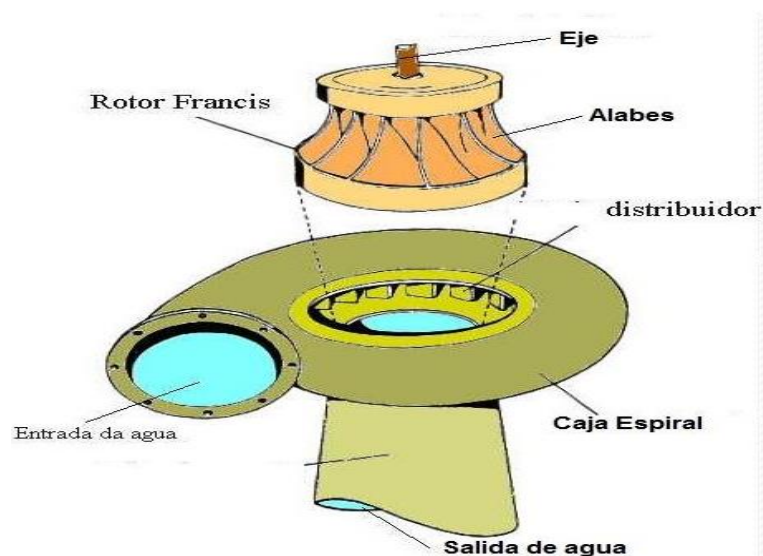


Figura 3. Esquema de turbina Francis

2.3. Enfoques conceptuales

2.3.1. Aplicaciones de la ecuación de Euler

a) Altura Neta (H)

Según García (2011), menciona que “la altura neta es la energía o altura puesta a disposición de la turbina, además se relaciona con la altura de Euler o altura útil según: H_{e-s} - pérdidas de energía entre la entrada y la salida de la turbina” (p.28).

$$H = H_u + H_{e-s} \quad (\text{Ecuación 1})$$

b) Altura útil

Según García (2011), Es el valor de la altura de Euler: $H_u = \frac{u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}}{g}$ (2)

Para condiciones óptimas se recomienda que $\alpha_2 = 90$

$$H_u = \frac{U_1 c_{1u}}{g} \quad (3)$$

c) Normas internacionales para la determinación de la altura neta.

Según García (2011), menciona que “La sección de entrada e, se encuentra inmediatamente después de la válvula de admisión de la tubería forzada, antes del inyector en las turbinas Pelton y antes de la entrada al caracol en las turbinas de reacción” (p. 28).

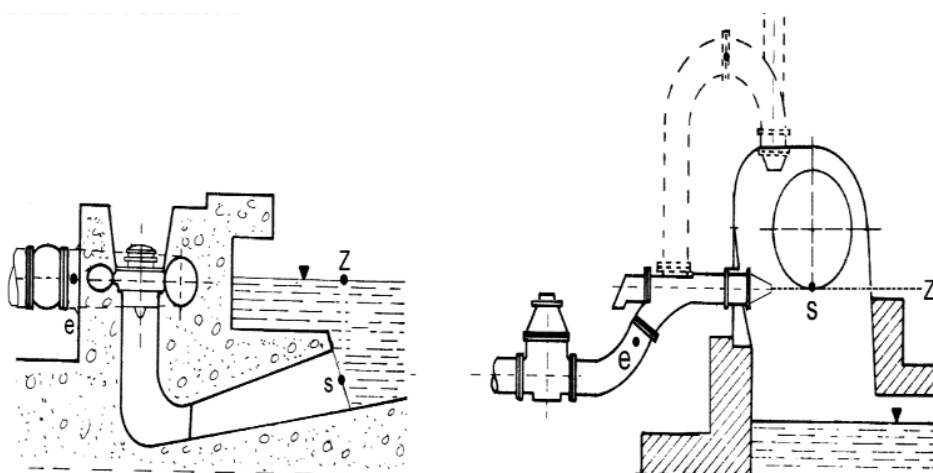


Figura 4. Notación internacional para la ubicación de la entrada y salida de las turbinas y de los niveles para la determinación de la altura neta.

“Según La sección de salida s, se encuentra en la sección de salida del tubo de aspiración en las turbinas de reacción y en el punto de tangencia del eje del chorro con un círculo de centro en el eje del rodete en las turbinas de acción” (García, 2011).

La sección 1, corresponde a la entrada al rodete

La sección 2, corresponde a la salida del rodete.

García (2011), especifica que: entre la entrada y la salida de la turbina se halla el rodete limitado por las secciones 1 y 2, donde se cumple que:

$$H_{e-s} = H_{e-1} + H_{1-2} + H_{2-s} \quad (\text{ecuación 4})$$

$$\text{Luego } H = H_u + H_{e-1} + H_{1-2} + H_{2-s} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

H_{e-s} Pérdidas de energía hidráulica en la turbina, entre la entrada y salida.

H_{e-1} Pérdidas de energía entre la entrada de la turbina y salida al rodete.

H_{1-2} Pérdidas de energía entre la entrada y la salida del rodete o al interior del rodete.

H_{2-s} Pérdidas de energía de energía entre la salida del rodete y la salida de la turbina.

Escribiendo la ecuación de Bernoulli entre la entrada (e) y la salida (s) de cualquier turbina:

$$\frac{V_e^2}{2g} + \frac{P_e}{\gamma} + Z_e - H_u = \frac{V_s^2}{2g} + \frac{P_s}{\gamma} + Z_s + H_{e-s} \quad (6)$$

2.3.2. Triángulos de velocidades

Según Silva (2007), En las turbinas hidráulicas sobre el movimiento de agua se debe utilizar una nomenclatura universal que determina los triángulos de velocidades, a la entrada y salida del rodete, éstos son:

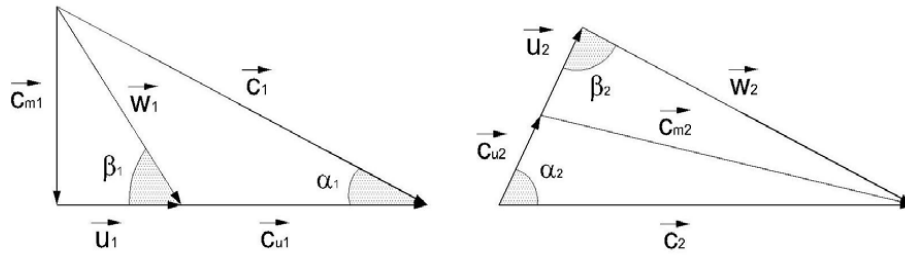


Figura 5. Triangulo de velocidades

En la figura 5. Se observa que:

$$C_{m1} = C_1 \text{ sen} \alpha_1 = w_1 \text{ sen} \beta_1 \quad (7)$$

$$C_{m2} = C_2 \text{ sen} \alpha_2 = w_2 \text{ sen} \beta_2 \quad (8)$$

$$C_{u1} = C_1 \text{ cos} \alpha_1 \quad (9)$$

$$C_{u2} = C_2 \text{ cos} \alpha_2 \quad (10)$$

En el cual tenemos que:

$\vec{u}_1; \vec{u}_2$ Velocidades tangenciales o perifericas en la entrada y salida del distribuidor

$\vec{c}_1; \vec{c}_2$ Velocidades absolutas a la entrada y salida del rodete

$\vec{w}_1; \vec{w}_2$ Velocidades relativas en la entrada y salida del rodete

\vec{c}_{m1}

\vec{c}_{m2} Componentes de velocidad absolutas en la direccion meridional del rodete

$\vec{c}_{u1}; \vec{c}_{u2}$ Componentes de las velocidades absolutas en la direccion tangencial

del rodete

$\alpha_1; \alpha_2$ Angulos de las velocidades absolutas de entrada y salida del rodete

$\beta_1; \beta_2$ Angulos de las velocidades relativas de entrada y salida del rodete

2.3.3. Velocidad especifica

Según Silva (2007) menciona que, en el diseño de las turbinas hidráulicas se requiere la solución de una serie de problemas los cuales todos no pueden afrontarse matemática mente, en tal sentido se utilizan modelos

experimentales. A los que se les conoce como números específicos y se puede expresar entre prototipo y semejanza.

$$n_s = \frac{n\sqrt{CV}}{H_n^{5/4}} \quad \text{en el sistema métrico} \quad (\text{ecuación 11})$$

$$N_s = \frac{n\sqrt{hp}}{H_n^{5/4}} \quad \text{en el sistema ingles} \quad (\text{ecuación 12})$$

La relación entre los ambos es: $\frac{n_s}{N_s} = 4.44 \quad (13)$

DONDE:

n_s Numero específico de revoluciones de potencia (sistema métrico)rpm

n = Velocidad de rotacion de la turbina, rpm

H_n Salto neto, m

CV Potencia al eje de la turbina en caballos vapor (ICV = 736 Watt)

N_s Numero específico de revoluciones (sistema ingles)rpm

hp Potencia al eje de la turbina en horse power (1 hp = 745.702 watt)

Silva (2007), fórmulas para calcular la entrada y salida del rodete a través del triángulo de velocidades.

CALCULO A LA ENTRADA

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} \quad (14)$$

$$C_{m1} = \frac{Q}{2\pi r_1 b_1} \quad (16)$$

$$C_1 = \frac{C_{m1}}{\text{sen } \alpha_1} \quad (18)$$

$$C_{u1} = C_1 \cos \alpha_1 \quad (20)$$

CALCULO A LA SALIDA

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \quad (15)$$

$$C_{m2} = \frac{Q}{2\pi r_2 b_2} \quad (17)$$

$$C_2 = \frac{C_{m2}}{\text{sen } \alpha_2} \quad (19)$$

$$C_{u2} = C_2 \cos \alpha_2 \quad (21)$$

Donde:

D_1, D_2 : Diámetros de ingreso y salida del rodete, expresado en metros (m)

n : Número de revoluciones por minuto, expresado en (rpm)

Q : Caudal, expresado en (m^3/s)

r_1, r_2 : Radios de ingreso y salida del rodete, expresado en metros (m)

b_1, b_2 : Distancia entre corona y banda al ingreso y salida del rodete, expresado en metros (m).

2.3.4. Pérdidas

Según García (2019), las “**Pérdidas hidráulicas**: Tienen lugar desde la entrada de la turbina (e) hasta el distribuidor o el inyector; entre el distribuidor y el rodete y en el tubo de desagüe” (p.30).

“Las **Pérdidas volumétricas**: Se dividen en pérdidas interiores Q_i y en pérdidas exteriores Q_e . El caudal Q_i sigue por el juego entre la carcasa y el rodete en dirección del caudal principal pues $p_1 > p_2$; este caudal no cede su energía al rodete, sino que se pierde en el exterior del rodete. El caudal útil o turbinado que cede su energía al rodete es: $Q_t = Q - Q_e - Q_i$ $Q -$ es el caudal suministrado a la turbina”. (García ,2019, p 30).

Según García (2019), hace referencia que las **Pérdidas mecánicas**, se deben a la fricción entre elementos mecánicos tales como:

- Rozamiento entre los prensaestopas y el eje de la turbina
- Rozamiento del eje con los cojinetes.

2.3.5. Potencias:

Según García (2019) menciona que “**la Potencia Teórica o hidráulica**, es la potencia que posee el líquido inmediatamente antes de ser utilizada por la turbina” (p.31).

$$P = \gamma Q H_n g \quad (19)$$

Según García (2019) menciona que la **Potencia Útil (Pa)** o Potencia al freno, es la potencia mecánica que entrega la turbina en el eje del generador:

M – momento mecánico, se mide con un torquímetro.

n - velocidad angular del rodete, se mide con un cuentarrevoluciones.

$$P_a = M\omega = \frac{\pi}{30} nM \quad (22)$$

Según García (2019), la “**Potencia Interna (Pi)** o Potencia suministrada por la turbina descontando la potencia para vencer los rozamientos mecánicos” (p 31).

$$P_i = P_a + \text{Pérdidas de potencia mecánica}$$

o también $P_i = P - \text{Perdidas de potencia hidráulica y volumétrica}$

$$P_i = \gamma Q_1 H_u = \rho Q_1 (U_1 C_{1u} - U_2 C_{2u}) = \gamma Q H \eta_\psi \eta_h \quad (23)$$

2.3.6. Rendimiento hidráulico, volumétrico y mecánico

Según Silva (2007), **el rendimiento Hidráulico**, toma en cuenta las pérdidas de carga debido al frotamiento de movimientos turbulentos del agua en la turbina entre el distribuidor y rodete, el cual depende de u_1, C_{u1}, u_2, C_{u2} definido por los triángulos de velocidades, el rendimiento hidráulico se define con la siguiente formula:

$$\eta_{hid} = \frac{C_1 \cos \alpha_1 - C_2 u_2 \cos \alpha_2}{g H_n} = \frac{u_1 C_{u1} - u_2 C_{u2}}{g H_n} \quad (24)$$

$$\eta_{hid \max} = \frac{C_1 u_1 \cos \alpha_1}{g H_n} = \frac{u_1 C_{u1} - u_2 C_{u2}}{g H_n} \quad (25)$$

Según Silva (2007), para calcular el **rendimiento Volumétrico**, se tiene en cuenta las fugas del caudal entre el distribuidor y el rodete, generalmente por los sellos:

$$\eta_{vol} = \frac{Q_{rodete}}{Q_{distribuidor}} = \frac{Q_r}{Q} = \frac{Q - q}{Q} > 0.95 \quad (26)$$

Según Silva (2007), menciona que, **el rendimiento Mecánico**: Son las pérdidas que se dan por rozamiento mecánico entre la rueda con el líquido y los cojinetes por ventilación y arrastre:

$$\eta_{mec} = \frac{N}{N_e} = \frac{N_e - N_{roz\ mec}}{N_e} \quad (27)$$

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de la Investigación

3.1.1. Tipo de la investigación

El tipo de investigación es aplicada. Donde Rodríguez (2010) manifiesta que “la investigación aplicada, está orientada hacia un fin práctico. Con ella se pretende aplicar la ciencia para mejorar y ampliar el dominio del hombre sobre la realidad, con el fin de resolver los problemas importantes de la humanidad” (p.37).

3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación es no experimental: Es una investigación transversal – descriptivo.

3.2. Variables y operacionalización

3.2.1. Variable independiente (cuantitativa):

- Medición de los parámetros de operación de la turbina Francis

3.2.2. Variable dependiente:

- Determinar la potencia mecánica de la turbina Francis

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Está constituido por la Turbina Francis en la MINI CENTRAL HIDROELECTRICA HUARANDOZA, ya que es la única que tiene la empresa.

3.3.2. Muestra

Se considera muestra a los parámetros de operación de la Turbina Francis de la MINI CENTRAL HIDROELECTRICA HUARANDOZA.

3.3.3. Muestreo

Se utilizó el tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Se realizará el análisis del desempeño de la turbina Francis mediante las siguientes técnicas aplicadas:

Tabla 1. Técnicas de recolección datos

TÉCNICA	USO	INSTRUMENTO
Revisión documentaria	Se tomará en cuenta opiniones de especialistas, tesis, artículos y revistas científicas para aclarar dudas o inconvenientes durante el desarrollo de mi tesis de investigación.	Evaluación Documentaria.
Observación.	La observación es uno de los principales factores que nos permite observar y medir los parámetros de operación de la turbina Francis, para determinar su eficiencia.	Guía de observación.

Elaboración propia

3.4.1. Validez y Confiabilidad

Validez: Esta dada por ficha de garantía del equipo utilizado en las mediciones.

Confiabilidad: Este proyecto de investigación, tendrá resultados consistentes y coherentes, obteniendo la eficiencia máxima de la turbina Francis.

3.5. Procedimiento

Datos y características de la central hidroeléctrica Huarandoza

- Ubicación: Huarandoza
- Potencia Instalada: 275 KW
- Tipo de Turbina: Francis de eje Horizontal
- Caudal: 0.5583 m³ /s
- Altura neta: 32 m
- Tensión de Generación: 380 V

TURBINA

- Altura neta: 32 m
- Caudal: 0.5583 m³ / s.
- Potencia instalada: 275 kW
- Velocidad nominal: 1200 r.p.m.

RODETE

- Fabricante: Gz ingenieros
- Cantidad: 01 Unid.
- Diámetro interno: 30 cm
- Diámetro externo: 37 cm

GENERADOR

- Fabricante: Gz ingenieros
- Potencia Nominal: 217 kW
- Cos ϕ : 0.8
- Tensión nominal: 380 V
- Velocidad nominal: 1200 RPM

- Frecuencia: 60 Hz

3.5.1. Diagnóstico de la situación actual de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

a. Elementos auxiliares tanto a la turbina (sistema de control hidráulico), como al generador eléctrico (tablero de distribución).

- Para este sistema, se hicieron mediciones en el sitio por un técnico especializado.
- Para tal efecto se tomaron datos de placa del alternador CGZ Ingenieros.
- luego se tomaron medidas del amperaje generado en hora punta; es decir, a las 11:00 am. Se inspecciono el estado operativo del banco de capacitores de 9 y 13.5 kvar. Otros datos de interés para evaluar la máxima potencia generada por el turbogenerador, fueron tomados del libro de registro.

b. Medición del caudal de alimentación para el funcionamiento de la turbina Francis en Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

- Para calcular el caudal se hicieron varias mediciones con el medidor de flujo ultrasónico.
- luego se tomó las mediciones de flujo que conllevó a ubicar el mejor punto a lo largo del penstock o tubo de alimentación de agua a la turbina. El tubo es de material PVC y fue necesario determinar el espesor para ajustar y configurar la captura de datos al medidor de flujo.



Figura 6. Mediciones de caudal-equipo Ultrasonic flowmeter

c. Medición de la altura del salto de caída de agua para el funcionamiento de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

Para la realización de este tipo de análisis se utilizó equipos, herramientas y materiales el cual se detalla a continuación por actividades desarrolladas:

➤ **levantamiento Topográfico.**

- ✓ Estación Total Topcon OS-105 (Precisión Angular de 5")
- ✓ 01 porta prismas
- ✓ 01 prismas
- ✓ 01 wincha metálica 5 m

➤ **Planos:**

En la elaboración de los planos se utilizó el programa AUTOCAD CIVIL 3D, una herramienta que nos sirvió para generar las curvas de nivel y para realizar los dos planos presentados en este informe. Los cuales son:

- ✓ Plano topográfico escala 1/500

✓ Plano de perfiles longitudinales escala H= 1/1000; V= 1/200



Figura 7. Medición de altura con el equipo subestación total (cámara de carga y centro de turbina)

3.5.2. Determinación de la potencia hidráulica y útil de la Turbina Francis de la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

- La potencia hidráulica se calculó según fórmula (densidad por caudal por altura neta y por la gravedad).
- La potencia útil se determinó realizando la medición en el sistema de gobernación, en el cual se tiene incorporado el sistema de control y mando de generación y distribución de energía a las localidades.

3.5.3. Determinar el rendimiento hidráulica, volumétrica y mecánica de la turbina Francis de la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza

- Se determinó utilizando las ecuaciones de Euler y Bernoulli, como también aplicando los triángulos de velocidades.

3.5.4. Determinar la eficiencia de la Turbina Francis de la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

- Se determinó mediante fórmula y tomando los datos medidos en los controles de operación de la turbina Francis.

3.6. Métodos de Análisis de Datos

Los datos se analizarán utilizando métodos de medición y sus respectivos cálculos de los parámetros de operación de la turbina Francis.

3.7. Aspectos Éticos

La información recolectada para la ejecución del presente estudio, será utilizada con toda la veracidad del caso y sin alterar los datos durante el desarrollo del proyecto de investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. Diagnóstico de la situación actual de la turbina Francis y generador eléctrico en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

4.1.1. Condiciones Físicas de la turbina Francis y Generador eléctrico

La turbina Francis, de tipo Horizontal, su potencia según placa es de 275 kW, presenta un estado físico externo con ligero desgaste de material de su superficie externa; sin embargo, internamente se observa desgaste, producto de la erosión entre el líquido circulante y su superficie.

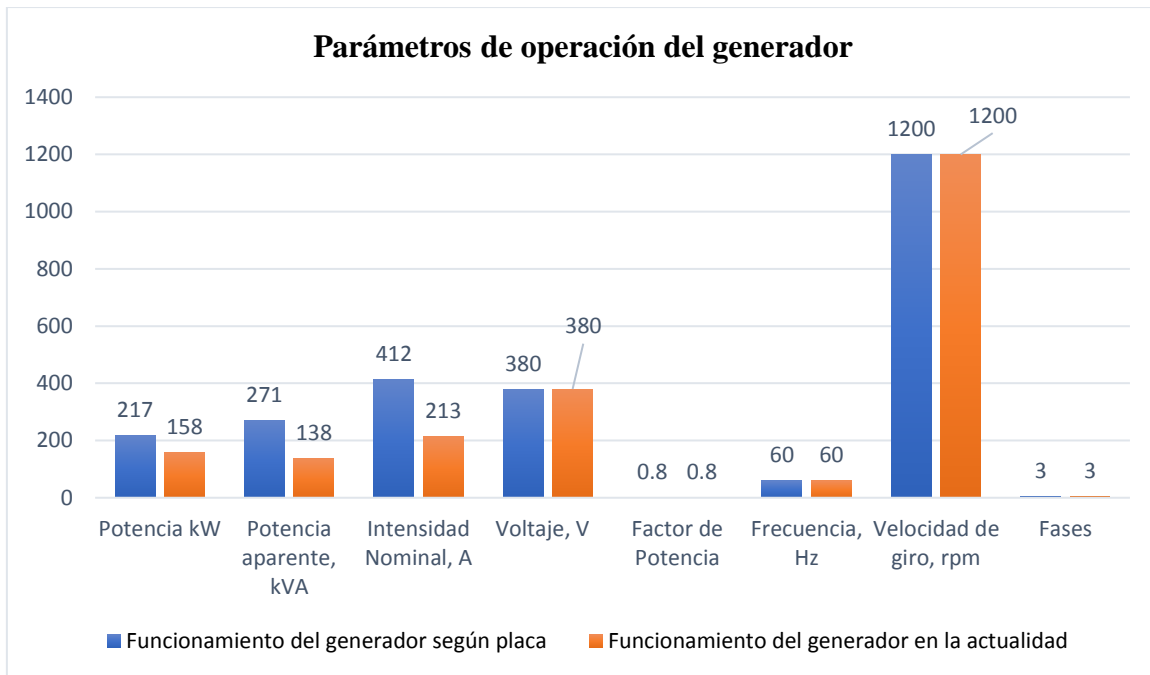
El runner o impulsor también presenta desgaste también por erosión. Efectos de desgaste de su superficie tiene influencia en una reducción de la eficiencia hidráulica, y consecuentemente en pérdida de generación de potencia mecánica.

El generador eléctrico de potencia eléctrica de diseño de 217 kW y de placa de alternador sin escobillas opera a los parámetros de operación siguiente:

Tabla 2. *Parámetros de operación de Generador GCZ Ingenieros M/0568*

Parámetros del generador	Funcionamiento según placa	Funcionamiento en la actualidad
Potencia Kw	217	158
Intensidad Nominal, A	412	213
Voltaje, V	380	380
Factor de Potencia	0.8	0.8
Frecuencia, Hz	60	60
Velocidad de giro, rpm	1200	1200
Fases	3	3

Según tabla 2. Especifica que los parámetros de operación del generador según placa son de 217 kW con respecto al funcionamiento en la actualidad que es de 158 kW con un restante de 54 kW, con ello la caída de amperios y tensión.



Gráfica 1. Parámetros de operación del generador

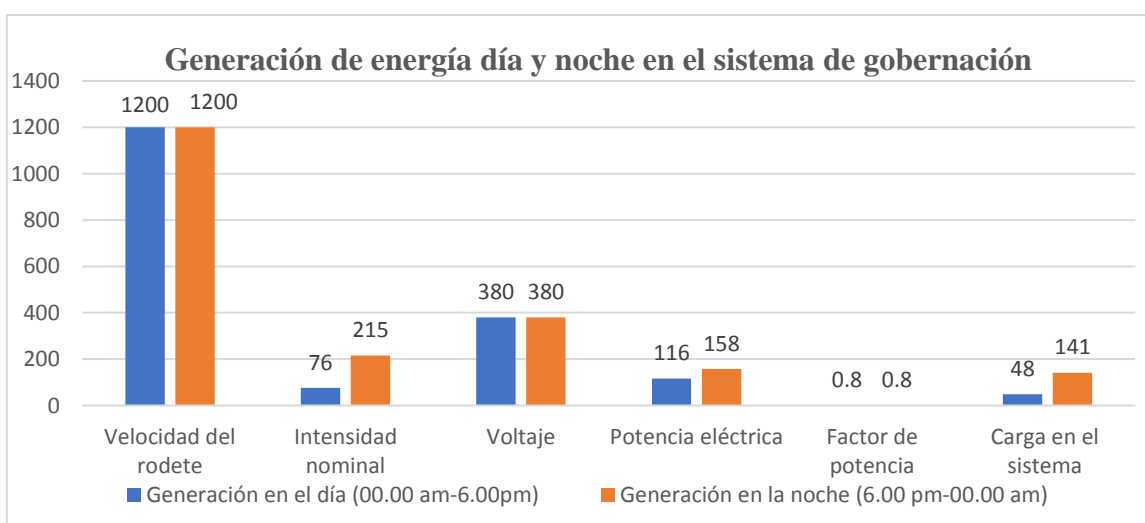
En la gráfica 1. Se visualiza la variación de los parámetros de operación entre generación de placa y generación actual.

Según los datos recopilados se muestra en la gráfica que, con respecto al funcionamiento del generador en la actualidad, tiene una caída de los parámetros de operación tanto en Potencia generada, Potencia Aparente y Intensidad Nominal.

Tabla 3. Generación de energía día y noche (hora punta) en el sistema de gobernación

Parámetros en el sistema de gobernación	Generación en el día (6:00 am-18.00 pm)	Generación en la noche (18.00 pm-6:00 am)
Velocidad del rodete	1200 RPM	1200 RPM
Intensidad nominal	76 A	215 A
Voltaje	380 V	380 V
Potencia eléctrica	116 KW	158 kW
Factor de potencia	0,80	0,80
Carga en el sistema	48 kW	141 kW

En la tabla 3. Se especifica que en hora punta se genera 215 A y voltaje de 380 V, el cual con un factor de potencia de 0.80, la potencia eléctrica desarrollada alcanza 158 kW. Para corregir la corriente reactiva generada, la planta de fuerza tiene dos bancos de capacitores que están trabajando a sobrecarga y uno de ellos esta averiado. Esto causa reducción de la eficiencia eléctrica. Operativamente el generador viene trabajando de modo normal, pero a relativa baja eficiencia por el problema en su banco de capacitores.



Gráfica 2. Generación de energía día y noche en el sistema de gobernación

En la gráfica 2. Se visualiza que el comportamiento de la velocidad del rodete y el voltaje es constante, con respecto a la intensidad nominal de ambos turnos es variable, además se observa que la potencia eléctrica en el día de de 116 kW y de noche es (158 kW) ya que se regula manualmente para poder tener reserva en la noche.

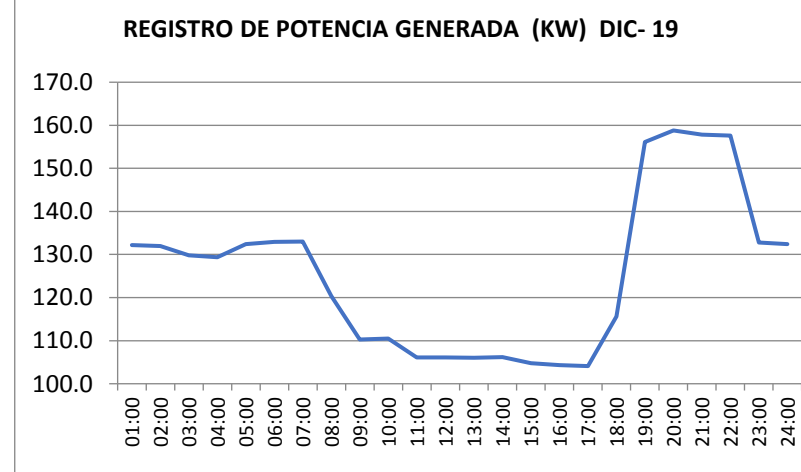
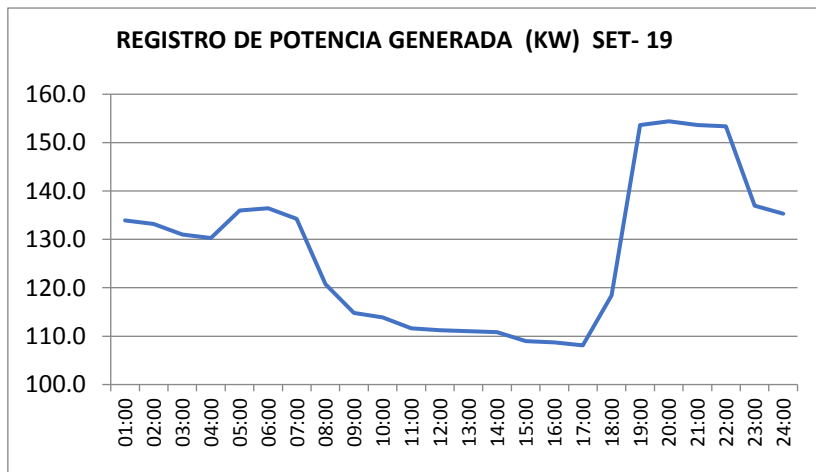
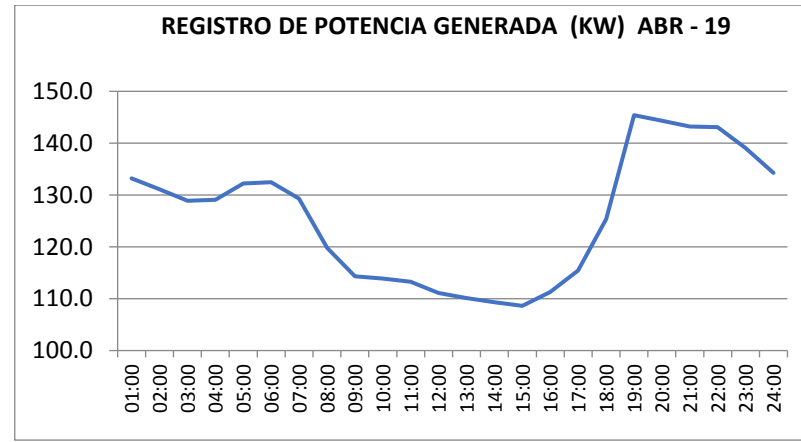
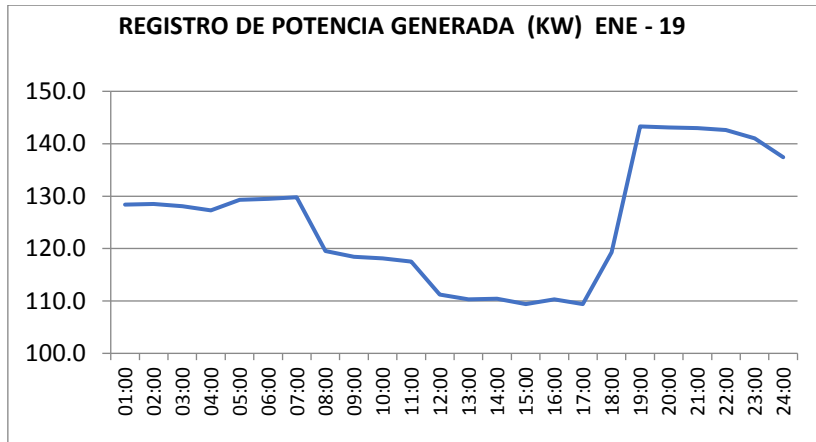
4.1.2. Registros Históricos de Generación Eléctrica.

Los registros horarios de la generación eléctrica de la Mini Central Hidroeléctrica, contempla registros de máxima demanda, hora de máxima potencia generada, energía generada, tensión de generación. En la tabla 5 se muestra los registros de potencia generada en Kw, del día en el cual ocurrió la máxima demanda dentro de cada uno de los doce meses de año.

Tabla 4. Registros de Potencia Generada (KW) Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

Hora / Mes	REGISTRO DE POTENCIA GENERADA EN KW AÑO 2019											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
01:00	128.4	131.8	128.9	133.2	132.1	135.6	127.4	129.6	133.9	129.3	129.8	132.2
02:00	128.5	131.3	129.4	131.1	133.2	134.4	127.3	129.3	133.2	130.3	130.1	132.0
03:00	128.1	130.0	128.5	128.9	129.4	132.2	127.1	128.6	131.0	129.0	130.1	129.8
04:00	127.3	128.3	127.8	129.1	130.1	131.2	125.4	126.9	130.3	128.4	129.8	129.4
05:00	129.3	133.3	130.3	132.2	133.3	139.5	129.9	131.6	136.0	131.2	130.8	132.4
06:00	129.5	133.1	130.4	132.5	132.2	139.9	129.8	131.5	136.4	131.2	131.4	132.9
07:00	129.8	133.1	128.4	129.3	126.5	135.5	119.7	126.4	134.3	131.4	126.4	133.0
08:00	119.5	119.3	118.9	119.8	123.3	121.1	118.4	118.9	120.8	118.3	119.4	120.4
09:00	118.4	118.1	116.4	114.3	113.5	119.3	118.4	118.3	114.8	114.4	114.4	110.3
10:00	118.1	117.4	115.4	113.9	113.2	117.3	118.1	117.8	113.9	113.4	114.3	110.5
11:00	117.5	117.3	114.9	113.3	113.1	117.1	113.4	115.4	111.6	112.3	109.8	106.1
12:00	111.2	113.8	110.2	111.1	112.1	116.3	113.1	113.4	111.2	109.1	109.6	106.1
13:00	110.3	112.3	109.2	110.1	111.9	116.1	113.1	112.7	111.1	108.2	109.6	106.0
14:00	110.4	112.1	109.4	109.3	109.4	115.4	112.2	112.2	110.8	108.3	109.2	106.2
15:00	109.4	111.0	108.3	108.6	109.3	113.2	111.3	111.2	109.0	107.1	108.1	104.8
16:00	110.3	110.9	108.8	111.3	108.5	113.1	110.3	110.6	108.7	107.3	107.3	104.3
17:00	109.4	110.8	113.4	115.4	109.3	112.1	119.4	115.1	108.1	106.8	111.8	104.1
18:00	119.3	120.3	121.3	125.4	121.4	121.3	132.2	126.3	118.5	117.5	123.9	115.6
19:00	143.3	147.3	152.1	145.4	143.3	151.2	146.6	143.2	153.7	149.7	151.4	156.1
20:00	143.1	145.6	151.2	144.3	143.3	150.0	146.4	143.2	154.4	151.0	152.6	158.8
21:00	143.0	146.3	150.3	143.2	142.3	149.5	145.6	143.1	153.7	150.4	151.7	157.8
22:00	142.6	144.5	147.3	143.1	142.1	149.1	143.2	142.3	153.4	150.1	150.4	157.6
23:00	141.0	141.1	141.2	139.1	140.1	141.1	141.2	139.3	137.0	136.9	137.0	132.8
24:00	137.4	138.3	133.2	134.3	136.2	138.2	137.4	135.8	135.3	133.2	134.9	132.4

Fuente: Administración MCH Huarandoza, 2020



Gráfica 3. Diagramas de cargas de la Mini Central Hidroeléctrica, 2019

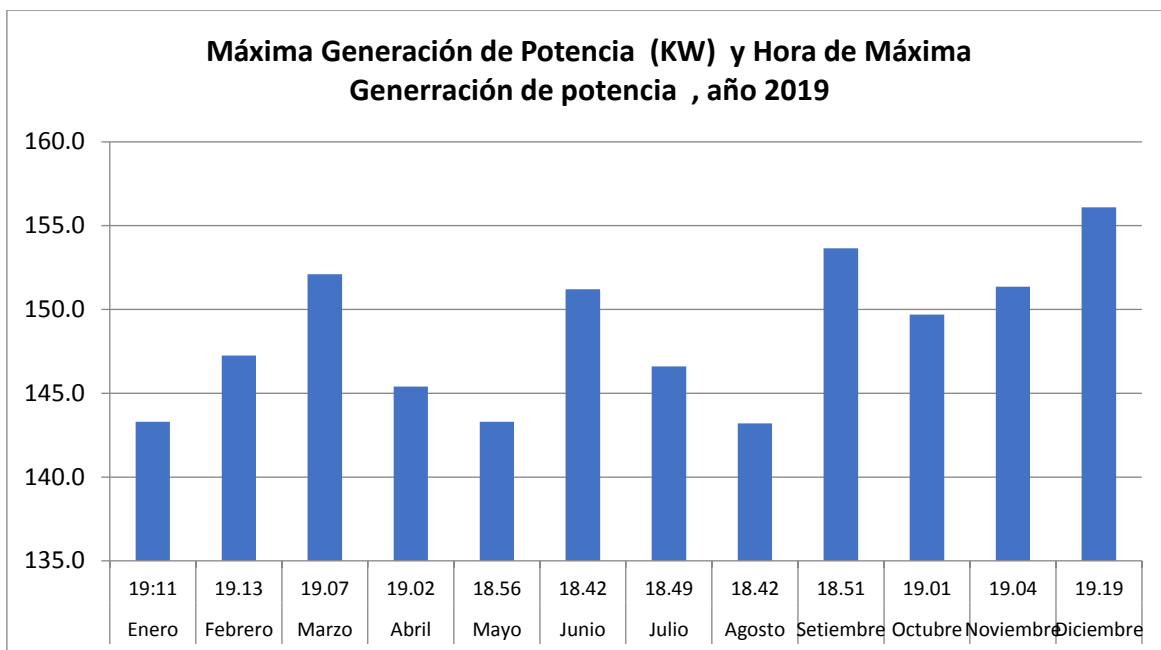
En la gráfica 3, en los diagramas de carga mensual de la Mini central hidroeléctrica Huarandoza, se observó que existen periodos de mayor generación de potencia eléctrica durante las 24 horas del día. Entre las 00.00 horas y las 05.00 horas, se observó un valor de potencia generada que oscila entre los 125 a 133 KW, a partir de las 05.00 horas hasta las 07.00 horas, se incrementa la potencia, debido a que los pobladores de la zona, se preparan para iniciar sus labores diarias; entre las 08.00 y las 17.00 horas constituyen las horas de menor consumo de energía, es en dónde ocurre el menor valor de potencia generada, y entre las 18.00 y 23.00 horas, es el periodo de mayor potencia generada, en éstas horas ocurre la máxima demanda de energía eléctrica.

En la tabla 5, se muestra la hora en el cuál ocurrió la máxima potencia generada en la minicentral.

Tabla 5. Hora de Máxima Potencia Generada.

Mes	Hora de Máxima Potencia Generada (KW) año 2019					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Hora	19:11	19.13	19.07	19.02	18.56	18.42
Potencia (Kw)	143.3	147.3	152.1	145.4	143.3	151.2
Mes						
	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora	19:11	19.13	19.07	19.02	18.56	18.42
Potencia (Kw)	146.6	143.2	153.7	149.7	151.4	156.1

Fuente: Administración MCH Huarandoza, 2020



Gráfica 4. Máxima Generación de Potencia (KW) y Hora de Máxima Generación de Potencia, año 2019

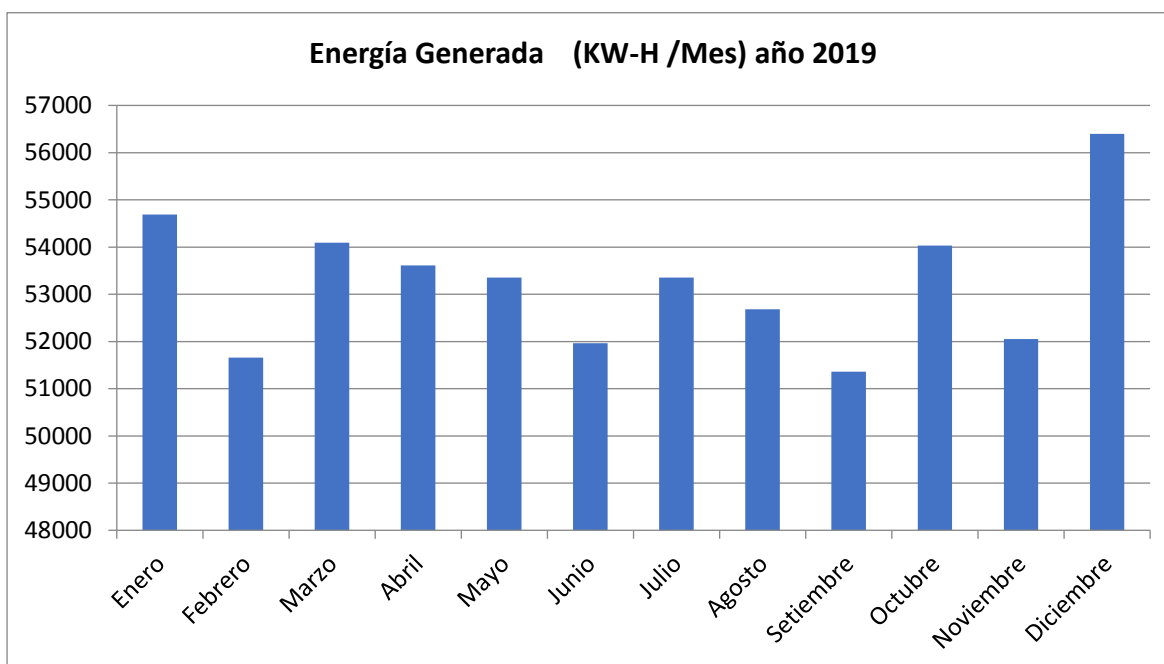
De los valores de la gráfica 4, se puede observar que el máximo valor de la potencia generada ocurrió en el mes de diciembre a las 19.19 horas, y fue de 156 kw, así como también los valores de la máxima generación de potencia en cada uno de los meses del año. La hora del valor de la máxima generación está relacionada al valor de la máxima demanda de energía de los usuarios del servicio, y en los meses de Enero a Abril y de Octubre a Diciembre, se dio pasado las 19.00 horas, debido a que en éstos meses, el nivel de iluminación natural termina a esa hora, en cambio entre los meses de Mayo a Setiembre, la hora de mayor generación ocurrió antes de las 19.00 horas, en éstos meses el nivel de iluminación natural termina antes de las 19.00 horas.

Así mismo, se accedió a los registros de energía consumida mensual en KW-h, en cada uno de los meses, en la Tabla 6, se muestra los valores de energía Generada en la Minicentral Hidroeléctrica.

Tabla 6. Energía Generada Mensual

Energía Generada (KW-H /Mes) año 2019					
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
54690	51660	54095	53610	53351	51960
Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
53351	52680	51360	54033	52050	56400

Fuente: Administración MCH Huarandoza, 2020.



Gráfica 5. Energía Generada (KW-H/mes), MCH Huarandoza.

Los valores de energía generada (KW-H/Mes) en la Minicentral Hidroeléctrica, son variables en cada uno de los meses del año, en el mes de febrero se tuvo la menos cantidad de energía generada con 51660 KW-h, mientras que en el mes de diciembre el valor de la energía generada fue de 56400 KW-h. Estos valores son relevantes, debido a que están ligados directamente a la venta de energía eléctrica a los usuarios finales, quienes tienen solo facturación residencial.

Con los valores históricos de energía generada (KW-h/mes), máxima potencia generada al mes (KW), y las horas de funcionamiento de la Minicentral Hidroeléctrica, se determinó la evolución del factor de carga de la Mini central, mediante la expresión:

$$FC = 100 * \frac{Eg}{Pg * H}$$

Dónde:

FC: Factor de Carga de la Minicentral, en %

Eg: Energía Generada mensual, el KW-h/Mes

Pg: Máxima Potencia Generada en el mes, en KW.

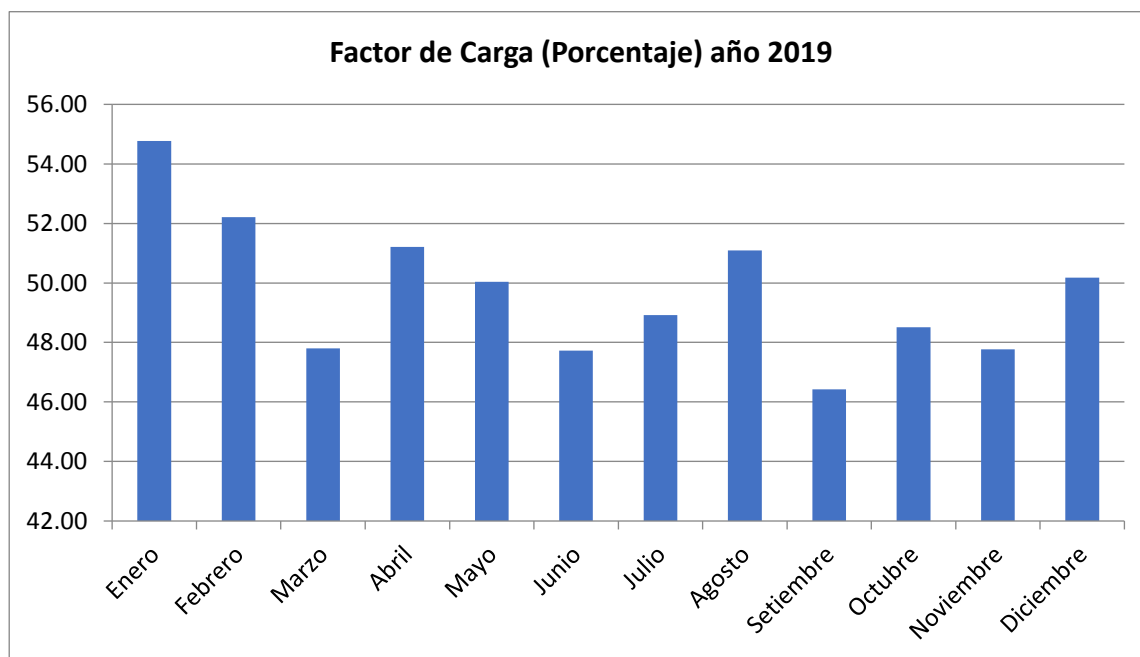
H: Número de Horas del mes.

En la tabla 7, se muestra el valor del factor de carga mensual de la Mini central Hidroeléctrica, en el cual se evidenció que tiene un valor que oscila entre el 46.43 y 54.77%.

Tabla 7.Factor de Carga Mensual. Minicentral Hidroeléctrica Huarandoza

Factor de Carga (Porcentaje) año 2019						
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Horas al Mes	720	672	744	720	744	720
Energía Consumida (KW-H/Mes)	56513	51660	54095	53610	53351	51960
Factor de Carga (%)	54.77	52.21	47.80	51.21	50.04	47.73
Mes	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Horas al Mes	744	744	720	744	720	744
Energía Consumida (KW-H/Mes)	53351	54436	51360	54033	52050	58280
Factor de Carga (%)	48.91	51.09	46.43	48.51	47.76	50.18

Fuente: Administración MCH Huarandoza, 2020



Gráfica 6. Evolución del Factor de Carga Mensual. MCH Huarandoza

Los valores del factor de carga mensual de la Mini central hidroeléctrica, permitió determinar la relación entre la máxima potencia generada y la energía generada en un mes; este indicador muestra que en promedio la mini central está operando en valores alrededor del 50%, es decir que existe una cantidad de energía que se puede generar con la máxima potencia generada, en un 50%

4.2. Medición de los parámetros de operación de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

4.2.1. Medición del caudal de alimentación de la turbina Francis

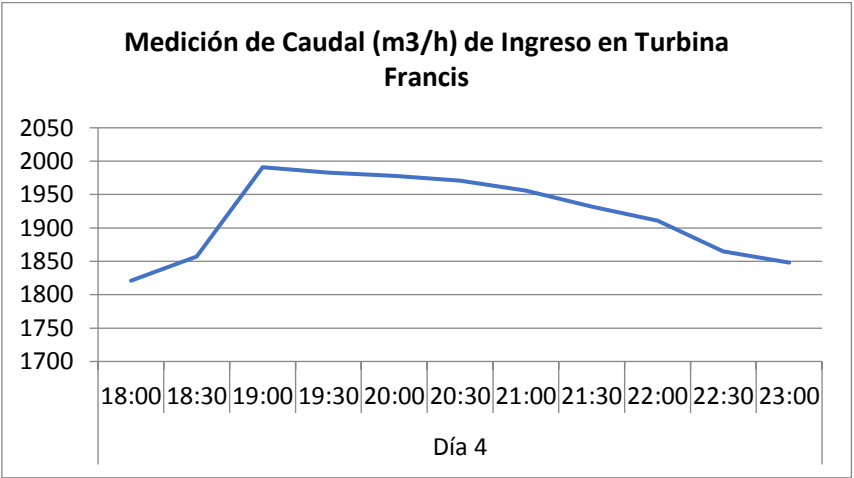
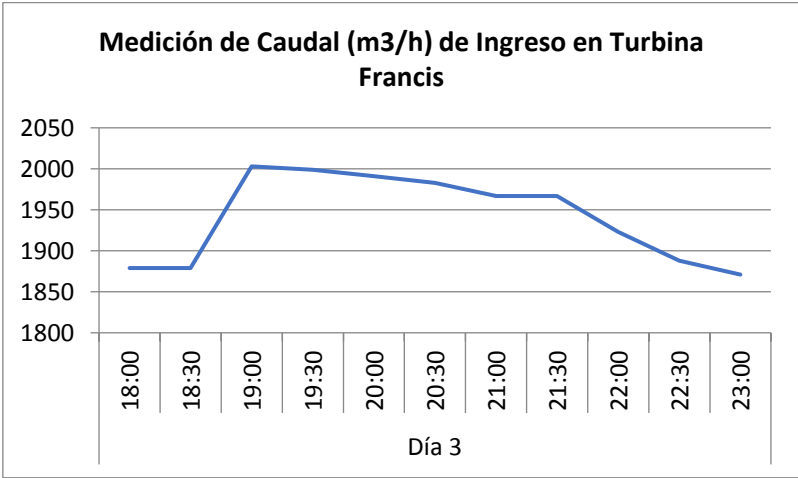
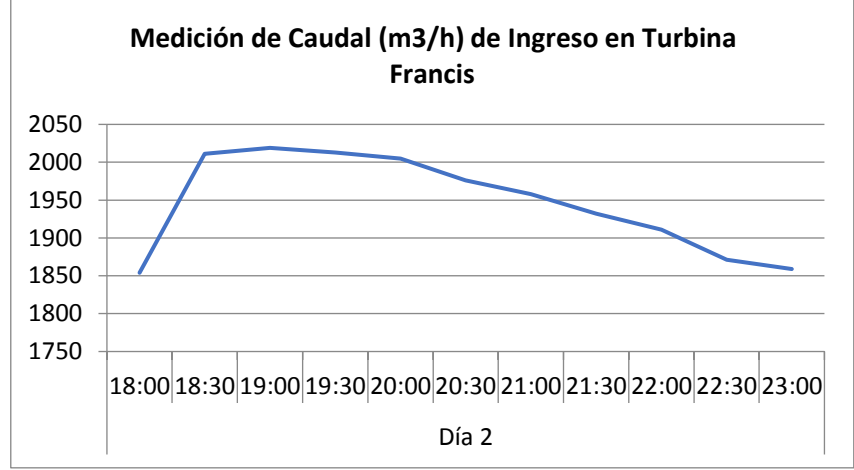
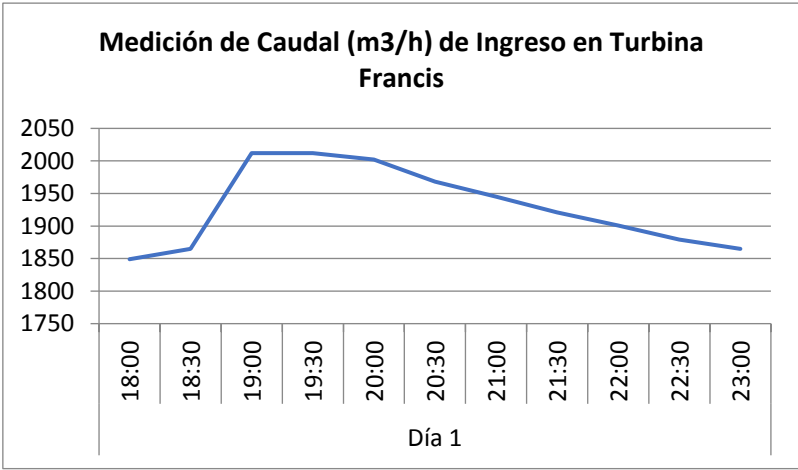
Para la medición de los caudales de alimentación de la turbina Francis, se instaló un medidor de caudal, denominado Flujómetro Ultrasonido a través del Pestock, el medidor de flujo capta las ondas acústicas que genera el flujo de partículas másicas. El lugar donde se pudo registrar satisfactoriamente el caudal fue cerca de brida de entrada a la turbina Francis.

Según el registro de la potencia eléctrica en el generador de la minicentral hidroeléctrica, entre las 18.00 y las 23.00 horas, que es el periodo en donde ocurrió los mayores valores de potencia eléctrica, por lo cual se realizó las mediciones de los caudales de agua que ingresa a la turbina Francis, con valores instantáneos de caudal, en el intervalo de cada 30 minutos; en la tabla 8, se tienen los valores de las mediciones efectuadas de caudal en 4 diferentes días. Las mediciones se realizaron un día de cada semana del mes de diciembre, que fue el mes de mayor potencia generada en la Minicentral Hidroeléctrica.

Tabla 8. Valores de caudales registrados por flujómetro ultrasónico a través del Penstock

Día	Hora	Caudal (m3/h)	Día	Hora	Caudal (m3/h)	Día	Hora	Caudal (m3/h)	Día	Hora	Caudal (m3/h)
Día 1	18:00	1849	Día 2	18:00	1854	Día 3	18:00	1879	Día 4	18:00	1821
	18:30	1865		18:30	2011		18:30	1879		18:30	1857
	19:00	2012		19:00	2019		19:00	2003		19:00	1991
	19:30	2012		19:30	2013		19:30	1999		19:30	1983
	20:00	2002		20:00	2005		20:00	1991		20:00	1978
	20:30	1968		20:30	1976		20:30	1983		20:30	1971
	21:00	1945		21:00	1958		21:00	1967		21:00	1956
	21:30	1921		21:30	1932		21:30	1967		21:30	1932
	22:00	1901		22:00	1911		22:00	1923		22:00	1911
	22:30	1879		22:30	1871		22:30	1888		22:30	1865
23:00	1865	23:00	1859	23:00	1871	23:00	1848				

Fuente: Mediciones realizadas.



Gráfica 7. Mediciones de Caudal de Ingreso a Turbina Francis, Mes de diciembre 2019

En la tabla 8, se muestra que el flujo de agua que entra a la turbina presenta fluctuaciones. Es probable que esto responda a la carga requerida por la turbina a las variaciones de demanda eléctrica, o la respuesta del sistema de control de flujo másico incorporado en la turbina. Se ha observado que el turbogenerador no presenta la volante de compensación de energía. Así mismo, se ha visto que el sistema de generación no presenta un controlador de flujo de respuesta inmediata como función de la carga eléctrica en demanda.

El flujo volumétrico o caudal de agua promedio que pasa por el penstock es de 1910 m³/h o su equivalente de 530.55 lt/s. El caudal mínimo (1850 m³/h) se obtuvo a las 2.30 pm y el caudal máximo (2010 m³/h) se obtuvo a las 7:00 pm, para efecto del análisis de la eficiencia se consideró su valor máximo.

4.2.2. Medición de la altura neta de la turbina Francis

Para determinar la altura neta del centro de la turbina y cámara de carga se realizó las medidas correspondientes con la estación total, tomando los puntos correspondientes para determinar los siguientes datos:

Tabla 9. *Medición de la altura neta*

LINEA DE TURBINA FRANCIS	
Altura neta	32 m
Pendiente	33.75%
Angulo de inclinación	69°C
Longitud de la tubería de admisión	65 m
Diámetro de la tubería	20 pulgadas

En la tabla 9. Se observa que la altura neta es de 32 m, con una pendiente de 33.75 %, 69 grados y una longitud de 65 m. Con estos datos se puede determinar que en gran parte influye a que la turbina Francis no desarrolle su máxima eficiencia con respecto a la información del proyecto donde indica que la altura neta es de 40 metros y que la turbina debe generar 217 kW.

También, indica que el que el penstock o tubería de conexión entre canal y brida de entrada de agua a la turbina es de 20 pulg. de diámetro, el material usado es de PVC. Este material tiene una rugosidad de 0.0015 mm.

4.3. Análisis de los parámetros de operación que influyen en la eficiencia de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

4.3.1. Cálculo de las pérdidas de carga en la tubería de admisión

➤ **Perdidas primarias en la tubería de admisión.**

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Dónde:

h_f = Pérdida de carga, en metros.

f = factor de fricción.

L = Longitud de la tubería, en metros

V = Velocidad del flujo, en $\frac{m}{s}$

D = Diámetro de la tubería, en metros

La velocidad del flujo se determinó mediante la expresión:

$$V = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2}$$

Dónde:

V : Velocidad del flujo, en m/s.

Q : Caudal en m³/s.

D : Diámetro de la tubería, en metros.

Tabla 10. Velocidad del Fluido en m/s al ingreso a la turbina Francis

Día	Hora	Velocidad (m/s)	Día	Hora	Velocidad (m/s)	Día	Hora	Velocidad (m/s)	Día	Hora	Velocidad (m/s)
Día 1	18:00	2.46	Día 2	18:00	2.47	Día 3	18:00	2.50	Día 4	18:00	2.43
	18:30	2.48		18:30	2.68		18:30	2.50		18:30	2.47
	19:00	2.68		19:00	2.69		19:00	2.67		19:00	2.65
	19:30	2.68		19:30	2.68		19:30	2.66		19:30	2.64
	20:00	2.67		20:00	2.67		20:00	2.65		20:00	2.63
	20:30	2.62		20:30	2.63		20:30	2.64		20:30	2.63
	21:00	2.59		21:00	2.61		21:00	2.62		21:00	2.61
	21:30	2.56		21:30	2.57		21:30	2.62		21:30	2.57
	22:00	2.53		22:00	2.55		22:00	2.56		22:00	2.55
	22:30	2.50		22:30	2.49		22:30	2.52		22:30	2.48
23:00	2.48	23:00	2.48	23:00	2.49	23:00	2.46				

Fuente: Mediciones Realizadas.

El valor del Factor de fricción de determinó a partir de la ecuación de coolebrok:

$$\frac{1}{f} = -2 \log\left(\frac{e}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}}\right)$$

Dónde:

e = Rugosidad relativa de la tubería.

d = Diámetro de la tubería.

Re = Número de Reynolds.

El valor del Número de Reynold, está dado por:

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

Dónde:

V : Velocidad del fluido, en m/s

ν : Viscosidad cinemática a 20°C: 1.007×10^{-6} m²/s

D : Diámetro. 0.508 m

e/D : el valor de rugosidad para tubería de PVC, tiene un valor de rugosidad 0.0015mm.

Pérdidas secundarias en la tubería de admisión

$$h_{rs} = c \frac{V_{perm}^2}{2g}$$

En donde:

h_{rs} : Pérdida de carga secundaria.

c : Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

V_{perm} : Velocidad permisible en la tubería de admisión.

Para el coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria con la válvula de mariposa completamente abierta ($X=0$), su valor es de 0.4

$$h_{rs} = (0.4) \frac{\left(V \frac{m}{s}\right)^2}{2(9.81m/s^2)}$$

Tabla 11. Pérdidas secundarias en tubería de presión de turbina Francis.

Fuente: Mediciones Realizadas.

Día	Hora	Pérdida secundaria (m)	Día	Hora	Pérdida secundaria (m)	Día	Hora	Pérdida secundaria (m)	Día	Hora	Pérdida secundaria (m)
Día 1	18:00	0.12	Día 2	18:00	0.12	Día 3	18:00	0.13	Día 4	18:00	0.12
	18:30	0.13		18:30	0.15		18:30	0.13		18:30	0.12
	19:00	0.15		19:00	0.15		19:00	0.15		19:00	0.14
	19:30	0.15		19:30	0.15		19:30	0.14		19:30	0.14
	20:00	0.15		20:00	0.15		20:00	0.14		20:00	0.14
	20:30	0.14		20:30	0.14		20:30	0.14		20:30	0.14
	21:00	0.14		21:00	0.14		21:00	0.14		21:00	0.14
	21:30	0.13		21:30	0.14		21:30	0.14		21:30	0.14
	22:00	0.13		22:00	0.13		22:00	0.13		22:00	0.13
	22:30	0.13		22:30	0.13		22:30	0.13		22:30	0.13
23:00	0.13	23:00	0.13	23:00	0.13	23:00	0.12				

➤ **Pérdidas totales de Presión en Tubería de Presión de Turbina Francis.**

Es la suma de las pérdidas primarias y secundarias. Utilizando los datos de las mediciones realizadas, se determinó el Número de Reynolds, los cuales se muestran en la tabla 12. Así mismo utilizando la calculadora científica FX-991SP X. se calculó el factor de fricción de la ecuación de coolebrok, y finalmente de la ecuación de Darcy, se calculó la pérdida de carga en la tubería, y se adicionó las pérdidas secundarias.

Tabla 12 Cálculo del Número de Reynolds, Factor de fricción y Pérdida de carga en tubería de presión de turbina Francis

Día	Hora	N° Reynolds	Factor de Fricción	Pérdida de carga (m)	Día	Hora	N° Reynolds	Factor de Fricción	Pérdida de carga (m)	Día	Hora	N° Reynolds	Factor de Fricción	Pérdida de carga (m)	Día	Hora	N° Reynolds	Factor de Fricción	Pérdida de carga (m)
Día 1	18:00	1242558	0.0113	0.57	Día 2	18:00	1245918	0.0112	0.57	Día 3	18:00	1262718	0.0112	0.59	Día 4	18:00	1223741	0.0113	0.55
	18:30	1253310	0.0113	0.58		18:30	1351424	0.0111	0.67		18:30	1262718	0.0112	0.59		18:30	1247934	0.0112	0.57
	19:00	1352096	0.0111	0.67		19:00	1356801	0.0111	0.67		19:00	1346048	0.0111	0.66		19:00	1337984	0.0111	0.65
	19:30	1352096	0.0111	0.67		19:30	1352768	0.0111	0.67		19:30	1343360	0.0111	0.66		19:30	1332608	0.0111	0.65
	20:00	1345376	0.0112	0.66		20:00	1347392	0.0111	0.66		20:00	1337984	0.0111	0.65		20:00	1329248	0.0111	0.64
	20:30	1322528	0.0112	0.64		20:30	1327904	0.0111	0.64		20:30	1332608	0.0111	0.65		20:30	1324544	0.0111	0.64
	21:00	1307071	0.0112	0.63		21:00	1315808	0.0112	0.64		21:00	1321856	0.0111	0.64		21:00	1314464	0.0111	0.63
	21:30	1290943	0.0112	0.61		21:30	1298335	0.0112	0.62		21:30	1321856	0.0111	0.64		21:30	1298335	0.0111	0.62
	22:00	1277503	0.0113	0.60		22:00	1284223	0.0112	0.61		22:00	1292287	0.0112	0.61		22:00	1284223	0.0112	0.61
22:30	1262718	0.0113	0.59	22:30	1257342	0.0112	0.58	22:30	1268766	0.0112	0.59	22:30	1253310	0.0112	0.58				
23:00	1253310	0.0113	0.58	23:00	1249278	0.0112	0.57	23:00	1257342	0.0112	0.58	23:00	1241886	0.0112	0.57				

Fuente: Mediciones Realizadas.

4.3.2. Cálculo de las Pérdidas manométricas por triángulos de velocidades

➤ **Velocidad específica**

$$n_s = \frac{n\sqrt{cv}}{H_n^{\frac{5}{4}}} = \frac{1200\sqrt{211.6}}{32^{1.25}} = 228.61m$$

$$\alpha_1 = 30$$

Entrada:

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{3.1416 (0.30) 1200}{60} = 18.849 \text{ m/s}$$

$$C_{m1} = \frac{Q}{2\pi r_1 b_1} = \frac{0.5583 \text{ m}^3/\text{s}}{2(3.1416)(0.15 \text{ m})(0.0665 \text{ m}^2)} = 8.89 \text{ m/s}$$

$$C_1 = \frac{C_{m1}}{\text{sen } \alpha_1} = \frac{8.89}{\text{sen } 30} = 17.79 \text{ m/s}$$

$$C_{1u} = C_1 * \cos \alpha_1 = 17.79 * 0.866 = 15.41 \text{ m/s}$$

Salida:

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{3.1416 (0.37) 1200}{60} = 23.25 \text{ m/s}$$

$$C_2 = \varphi_2 \sqrt{2gH_n} = 0.3 \sqrt{2(9.81)(32)} \rightarrow 7.58 \text{ m/s}$$

Altura de Euler

$$H_{efectiva} = \frac{u_1 C_{1u} - u_2 C_{u2}}{g} = \frac{18.85 (15.41)}{g} = \frac{290.48}{9.81} = 29.61m$$

Las perdidas hidráulicas entre la entrada y salida del rodete:

$$H_{e-s} = H_n - H_u$$

$$H_{e-s} = 32 - 29.61 = 2.39 \text{ m}$$

Las cuales se reparten en: $H_{e-s} = H_{e-1} + H_{1-2} + H_{2-s} = H_{1-2} + H_{1-2} + H_{1-2}$

La presión a la entrada del rodete se halla aplicando Bernoulli entre la entrada del rodete (1) y la salida del canal de desagüe (z):

$$\frac{c_1^2}{2g} + z_1 + \frac{p_1}{\gamma} - H_u = \frac{v_z^2}{2g} + z_z + H_{1-z}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} = -\frac{17.79^2}{2 * 9.81} - 1.60 + 29.61 + 1.60$$

$$\frac{p_1}{\gamma} = -\frac{316.48}{19.62} - 1.60 + 29.61 + 1.60$$

$$\frac{p_1}{\gamma} = -16.13 - 1.60 + 29.61 + 1.60$$

$$\frac{p_1}{\gamma} = 13.48 \text{ mca}$$

La presión a la salida del rodete se halla aplicando Bernoulli entre 1 y 2

$$\frac{c_1^2}{2g} + z_1 + \frac{p_1}{\gamma} - H_u = \frac{c_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + H_{1-2}$$

$$16,13 + 13.48 + 1.60 - 29.61 = 2.93 + \frac{p_2}{\gamma} + 2.60 + 1$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = -4.93 \text{ mca}$$

➤ **Perdidas en el rodete**

$$h_r = \frac{c_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 - \left[\frac{c_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + H_u \right]$$

$$h_r = 16.13 + 13.48 + 1.60 - [2.93 - 4.93 + 2.60 + 29.61]$$

$$h_r = 1 \text{ m}$$

➤ **Perdidas en el distribuidor**

$$h_d = H_n - \left[\frac{c_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \right]$$

$$h_d = 32 - [16.13 + 13.48 + 1.60]$$

$$h_d = 32 - [12,59 + 13.56 + 1,60] = 0.79 \text{ m}$$

➤ **Perdidas en el tubo de aspiración son:**

$$h_{asp} = H_{e-s} - H_r - H_d$$

$$h_{asp} = 2.39 - 1 - 0.79$$

$$h_{asp} = 0.6 \text{ m}$$

4.3.3. Cálculo del rendimiento manométrico

$$\eta_{hid} = \frac{H_{ef}}{H_n} = \frac{29.61}{32} = 0.925 \%$$

4.3.4. Rendimiento volumétrico

$$\eta_{vol} = \frac{Q_{util}}{Q_{total}} = \frac{0.5530}{0.5583} = 0.991\%$$

4.3.5. Rendimiento mecánico

$$\eta_{mec} = \frac{H_r}{H_{ef}} = \frac{29.11}{29.61} = 0.983 \%$$

4.3.6. Rendimiento total

$$\eta_{total} = \eta_{hid} \times \eta_{vol} \times \eta_{mec} = 0.925 \times 0.991 \times 0.983 = 0.901 \%$$

4.3.7. Cálculo de potencia absorbida y útil de la turbina Francis

➤ **Potencia absorbida o potencia hidráulica**

$$\begin{aligned} \text{Potencia absorbida} &= Q \times \rho \times H \times g \\ &= 0.5583 \frac{m^3}{s} (1000 \frac{kg}{m^3}) (32m) (9.81 \frac{m}{s}) \\ &= 175,261.536 \text{ watts} = 175.261 \text{ kW} \end{aligned}$$

➤ **Potencia útil**

$$\begin{aligned} \text{Potencia útil} &= Q \times \rho \times H \times g \times \eta_{man} \times \eta_v \times \eta_m \\ &= 0.5583 \frac{m^3}{s} (1000 \frac{kg}{m^3}) (32) (9.81 \frac{m}{s}) \times 0.901 \\ &= 158 \text{ kW} \end{aligned}$$

Potencia efectiva o útil en la central (PE)

Se calcula como el promedio de las sumatorias de potencia activa instantánea registrada en los tableros de registro de energía (cada semana) durante cinco semanas después de su respectivo mantenimiento.

Tabla 13. *Análisis de la Potencia efectiva y su variabilidad*

SEMANA	TOTAL (KW)	VARIABILIDAD (%)
1	158	1.0063
2	158	1.0063
3	158	1.0063
4	156	-0.993
5	155	-0.987
PROMEDIO	157	
MAXIMO	158	1.006
MINIMO	155	-0.987

En la tabla N°13. Se observa que la variación de la potencia, osciló entre un mínimo de 155 kW y un máximo de 158 kW, además la variabilidad de la potencia efectiva con respecto al promedio de lecturas durante la prueba fue de -0,987 % a + 1,006 %. De acuerdo al procedimiento PR-18 del COES y a la norma IEC 41, la variación de la potencia efectiva no debe de exceder del ± 1.5 % del valor promedio de las mediciones.

Los valores de variabilidad de la potencia efectiva de la central, obtenidos en la Tabla, son inferiores a los límites establecidos.

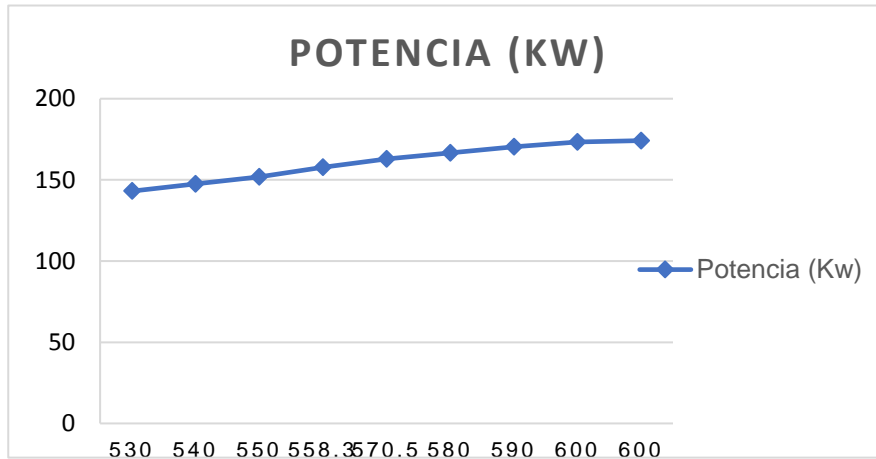
Tabla 14. *Potencia y rendimiento de la turbina Francis con respecto a su caudal y altura encontrado*

TURBINA FRANCIS SEGÚN RESULTADOS			
Caudal	Altura	Potencia	eficiencia
558.3	32	163,05	93.00 %
558.3	32	162,35	92,60 %
558.3	32	159,5	91 %
558.3	32	157,73	90 %
558.3	32	156.86	89.5 %
558.3	32	155,92	89 %

En la tabla 14. Se observa que según la medición del caudal, altura y eficiencia se obtiene una variación de potencia efectiva, ya que dichos parámetros influyen en el desempeño de la turbina, tomando como referencia el manual de fabricante de Turbina Francis su eficiencia máxima es de 93 % a plena carga sin embargo como consecuencia del desgaste de la turbina, actualmente se está generando 158 kW con un 90 % de eficiencia.

Tabla 15. *Potencia y rendimiento de la Turbina Francis según variación de caudales*

TURBINA FRANCIS SEGÚN VARIACIÓN DE CAUDAL			
Caudal lts/s	Altura Neta	Potencia Kw	Eficiencia
530	32	143.08	86.5 %
540	32	147.5	87 %
550	32	151.9	88 %
558.3	32	157,73	90 %
570.5	32	162.9	91%
580	32	166.6	91.5 %
590	32	170.4	92 %
600	32	173.28	92%
600	32	174.2	92.5%



Gráfica 8. Potencia según variación del caudal

En la tabla 15. Se especifica que si ingresa más caudal y la turbina trabaja a un mayor rendimiento se generaría más kW, en tal caso si hubiera desgaste de la turbina, su generación sería mucho menor, así como su rendimiento.

4.3.8. Justificar la interrelación de los parámetros de operación y su efecto en el desempeño de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

Tabla 16. Tabla de interrelación de los parámetros en la turbina Francis

TURBINA FRANCIS INSTALADA SEGUN ESTUDIO		TURBINA FRANCIS SEGÚN RESULTADOS	
Caudal	600 Lt/s	Caudal	558.3 Lt/s
Altura	40 m	Altura	32 m
Velocidad de giro	1200 rpm	Velocidad de giro	1200 rpm
Longitud del tubo de admisión	100 m	Longitud del tubo de admisión	65 m
Potencia de la turbina según placa	275 KW	Potencia útil	158 Kw
Eficiencia de la turbina según su capacidad instalada = 57.5 %			

En la tabla 16. Se compara los parámetros de operación encontrados según resultados y los parámetros de operación del diseño en la central hidroeléctrica

Huarandoza, determinando su respectiva influencia en el rendimiento de la turbina Francis.

4.3.9. Determinación de la eficiencia de la turbina de la Mini Central Hidroeléctrica según placa.

$$\textit{Eficiencia de la turbina} = \frac{\textit{Potencia util}}{\textit{potencia de turbina segun placa}} \times 100$$

$$\textit{Eficiencia de la turbina} = \frac{158}{275 \textit{ kw}} \times 100$$

$$\textit{Eficiencia de la turbina} = 0.5745 = 57.5 \%$$

La eficiencia de la turbina Francis se determinó aplicando la formula entre la potencia útil y la potencia teórica ya que se tiene los dos datos establecidos tanto la potencia útil es medida en el sistema de gobernación y es entregada a la red de distribución eléctrica, la potencia teórica se considera según los datos obtenidos en el proyecto de instalación en la minicentral Huarandoza.

4.4. Justificar la interrelación de la potencia generada actual con la que se podría generar de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

Tabla 17. Relación de potencia actual con la que se podría generar de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza.

	Energía eléctrica Actualidad	Energía eléctrica que se podría generar
Caudal	558.3 Lt/s	600 Lt/s
Potencia útil	158 kW	173.28 kW
Rendimiento	90 %	92%

En la tabla 17. Se observa que actualmente se está generado 158 kW con un rendimiento del 90% con un caudal de 558.3 Lt/s, pero si ingresa más caudal se podría generar 173.28 kW con un caudal de 600 Lt/s.

V. DISCUSIONES

En la presente investigación, se logró determinar como el valor de la eficiencia de la Turbina Francis de la Central Hidroeléctrica Huarandoza, varía en función a los parámetros de funcionamiento, es decir a aspectos del caudal que requiere la turbina para satisfacer las solicitudes de energía eléctrica del generador

En términos de la generación de energía eléctrica del generador, se evidenció que la potencia se encuentra entre un mínimo de 155 kW y un máximo de 158 kW, la incertidumbre de la potencia efectiva con respecto al promedio de lecturas durante la prueba fue de -0,987 % a + 1,006 %. La variabilidad de la potencia efectiva de la central y los valores máximos y mínimos, de acuerdo al procedimiento PR-18 del COES y a la norma IEC 41 las fluctuaciones de la potencia efectiva no deben de exceder del ± 1.5 % del valor promedio de las mediciones.

La operación de la turbina Francis a diferentes regímenes de carga, modifica los valores de eficiencia hidráulica, mecánica, volumétrica, y con ello la la eficiencia total de la turbina, determinándose que, para la generación de 158 kW, el valor de eficiencia fue del 90%, sin embargo, dicho valor comparado con el dato nominal del fabricante, en el cual a 93% de eficiencia de la turbina, debe generar 165.05 kW.

Los datos nominales de la turbina Francis, específica para ser instalados en un lugar con caída de 40 metros, longitud de tubería de 100m, y una potencia de generación de 275 kW; la minicentral no fue construida tal como se especificó, sin con una caída de 32 metros y una longitud de 65 metros de longitud, y se ha obtenido como registro máximo de máxima demanda 158kW.

El valor obtenido de eficiencia de 57.5%, es un valor que está por debajo de los estándares para turbinas Francis menores a 500 KW, en el cual el valor de la eficiencia oscila entre el 70 y el 85%. La eficiencia de la turbina Francis se determinó aplicando la formula entre la potencia útil y la potencia teórica ya que se tiene los dos datos establecidos tanto la potencia útil es medida en el sistema

de gobernación y es entregada a la red de distribución eléctrica, la potencia teórica se considera según los datos obtenidos en el proyecto de instalación en la minicentral Huarandoza.

Esta Minicentral Hidroeléctrica, comparada con el funcionamiento de centrales hidroeléctricas con varias turbinas, ofrece la desventaja en cuanto al tiempo de funcionamiento, pero también al factor de carga de generación. La Minicentral hidroeléctrica, tiene oscilaciones de carga diferenciada entre las horas punta y fuera de punta. En los diagramas de carga mensual de la Mini central hidroeléctrica Huarandoza, se observó que existen periodos de mayor generación de potencia eléctrica durante las 24 horas del día. Entre las 00.00 horas y las 05.00 horas, se observó un valor de potencia generada que oscila entre los 125 a 133 KW, a partir de las 05.00 horas hasta las 07.00 horas, se incrementa la potencia, debido a que los pobladores de la zona, se preparan para iniciar sus labores diarias; entre las 08.00 y las 17.00 horas constituyen las horas de menor consumo de energía, es en donde ocurre el menor valor de potencia generada, y entre las 18.00 y 23.00 horas, es el periodo de mayor potencia generada, en éstas horas ocurre la máxima demanda de energía eléctrica.

Los valores del factor de carga mensual de la Mini central hidroeléctrica, permitió determinar la relación entre la máxima potencia generada y la energía generada en un mes; este indicador muestra que en promedio la mini central está operando en valores alrededor del 50%, es decir que existe una cantidad de energía que se puede generar con la máxima potencia generada, en un 50%.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se establecieron las siguientes conclusiones:

- Se especifica que en hora punta (7.00 pm-10.00 pm) se genera 215 A y voltaje de 380 V, el cual con un factor de potencia de 0.80, la potencia eléctrica desarrollada alcanza 158 kW y su carga del sistema es de 141 kW quedando una reserva de 17 kW.
- El caudal promedio de la central Hidroeléctrica Huarandoza, es igual a 530.55 lt/s.
- La altura neta medida en la central fue de 32 metros.
- Se ha logrado determinar que con la altura de 32 y un caudal de 0.5583 solo se puede generar una potencia máxima de 163.05 kW con una eficiencia del 93 % dándonos así a conocer que la altura y caudal influyen en el rendimiento global de la turbina.
- Se determinó la eficiencia hidráulica (0.925), mecánica (0.983), volumétrica (0.991 %) y el rendimiento global (0.901 %), teniendo como objetivo de conocer las pérdidas de altura de salida y entrada del rodete, resultando este de 2.39 m.
- Por último, se determinó la eficiencia de la turbina Francis, según su potencia instalada (275 kW), teniendo como resultado 57.5 % de eficiencia que actualmente está operando, con una reserva del 35.5 % de potencia.

VII. RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar una investigación de pérdidas eléctricas en el sistema de gobernación y distribución de energía.
- Se recomienda considerar los resultados obtenidos de la presente investigación para efectos de mejoras o reparaciones en la turbina Francis.
- Finalmente se recomienda al comité administrativo, hacer una reingeniería de la turbina de la Turbina Francis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHONG, Humberto. Optimización de la medición de flujo bajo el principio de la presión diferencial y su importancia en la ingeniería de Control y Automatización industrial. Proyecto de investigación. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2017. 62 pp.

DOMINGO, Agustín. Apuntes de Mecánica de Fluidos. Madrid: Universidad politécnica de Madrid, 2011. 101 pp.

GARCÍA, Omar y GUILLÉN, Arturo. Simulación del campo de flujo a través del rotor en una turbina hidráulica axial tipo Kaplan usando técnicas de CFD. Tesis (Ingeniero Mecánico). Valencia: Universidad de Carabobo, 2016. 197 pp.

GARCÍA Pérez, Mario A. Turbomáquinas – Turbinas hidráulicas. Informe final. Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica. Callao: Universidad Nacional del Callao, 2011. 147 pp.

HERNÁNDEZ Mejía, Luis. Guía para la rehabilitación de pequeñas hidroeléctricas, aplicada a el Porvenir. Tesis (Ingeniero Electricista). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 210 pp.

MUÑOZ Espinoza, Felipe Orlando. Estudio de antecedentes científicos de optimización de Álabes de Turbinas Francis para el aumento del rendimiento. Tesis (Ingeniero Civil Mecánico). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2014. 56 pp.

PANTIGOZO, Wilmer y JAIMES, Jonathan R. Diseño y Construcción de un modelo de Turbina Francis a partir de un prototipo de 200 KW de potencia usando la teoría de turbina de la semejanza hidráulica. Tesis (Ingeniero Mecánico). Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2019. 372 pp.

PAITAN Monge, Orlando. Recuperación del potencial hidroenergético de la pequeña central hidroeléctrica San José-Yurinaki, para obtener un óptimo funcionamiento. Tesis (Ingeniero mecánico). Huancayo: Universidad Nacional de Centro del Perú, 2015. 146 pp.

RODRÍGUEZ, Walabonso. Guía de investigación científica. Primera edición. Lima: Universidad de Ciencias y Humanidades, 2011. 205 pp.

ISBN: 978-612-4109-04-1

SILVA Elías, Víctor A. Repotenciación de las turbinas Francis de la central Hidroeléctrica Cahua. Tesis (Título de ingeniero en energía). Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa, 2007. 137 pp.

Turbina Francis [Archivo del Blog]. Valencia: Yepes, Piqueras Víctor (16 de enero del 2017). [Fecha de consulta: 12 de diciembre del 2019]. Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/16/turbina-francis/>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Operacionalización de variable

Tabla 18. Operacionalización de variable

VARIABLES	DEFENICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALAS DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE: PARÁMETROS DE OPERACIÓN	Son todos los aspectos que se necesitan para el funcionamiento de una Turbina Francis	Se determina encontrando la velocidad, altura, velocidad de giro del rodete, potencia efectiva y pérdidas de energía en la Turbina Francis	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Asp. Mecánicos ➤ Asp. Eléctricos ➤ Asp. Hidráulicos 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Caudal ➤ Altura ➤ Velocidad de giro ➤ Tensión ➤ Potencia útil ➤ Frecuencia (Herts) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ m^3/s ➤ m/s ➤ m
DEPENDIENTE: DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LA TURBINA FRANCIS	Es el resultado del funcionamiento de la turbina Francis según su eficiencia	Su determinación es en porcentaje del rendimiento de la turbina	Eficiencia	Potencia mecánica	%

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

Tabla 19. *Guía de observación*

Métodos de medición	Instrumento	Resultado
Medición del caudal		
Medición de la altura neta		
Medición de velocidad de giro		
Medición de velocidad del caudal		
Medición de tensión en el generador		
Medición del diámetro de la tubería de admisión		
Medición del diámetro interno y externo del rodete		
Medición de longitud de la tubería de admisión		
Medición del ángulo de inclinación en la tubería de admisión.		

Aneo 3. Validez y confiabilidad de los instrumentos

Tabla 20. Ficha técnica del instrumento ultrasónica Flowmeter

Precisión	+/-1 % de la lectura
Reproducibilidad	0,2 %
Velocidad	+/- 32 m/s
Tamaño de Tubo	20 mm a 6000 mm
Unidades	Metro, pies, metro cubico, litro, pie cubico, galón
Tipos de Líquidos	Todos los líquidos virtualmente
Tiempo de Respuesta	0-999 s
Totalizador	7- Dígitos para caudal neto
Alimentación	3 baterías integradas

Fuente: Internet

Tabla 21. Ficha técnica del instrumento sub estación total TOPCON OS

Precisión	5 "
Resolución Mínima	1" / 5 "
IACS	Sistema de Calibración Autónomo de Angulo
Compensación	Compensador de Doble Eje
Rango de Medición 01 Prisma EDM	4000 m
Precisión Medición Prisma EDM	2 mm + 2 ppm
Rango Medición sin Prisma	500 m
Precisión Medición sin Prisma	3 mm 2 ppm (0.3 – 200 m)
Tiempo de Medición	Fino: 0.9 Segundos; Rápido: 0.7 Segundos; Tracking: 0.3 Segundos

Fuente: Internet

Autorización donde se ejecutó la investigación



“Año de la universalización de la salud”

CONSTANCIA

El Sr. ORFILES VILCHES HUAMAN, identificado con DN: 41207740, Presidente de la ASICION PRO ELECTRIFICACION RURAL HUARANDOZA, con RUC: 20604616663 con direccion en el C.P. Huarandoza, Distrito de Huarango, Provincia de San Ignacio, region Cajamarca.

Hace constar:

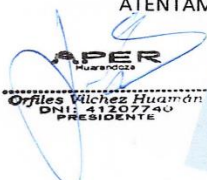
Que el Sr. Sebastian Nerio Carbajal Cruzado, identificado con DNI: 45250584, estudiantes de la Carrera INGENIERIA MECANICA ELECTRICA de la Universidad Cesar Vallejo, realizo el Informe de Tesis titulada:




“Análisis de los parámetros de operación para determinar la eficiencia de la turbina Francis en la Mini Central Hidroeléctrica Huarandoza”.

Por lo tanto se expide dicha constancia a solicitud del interesado para fines que estime conveniente.

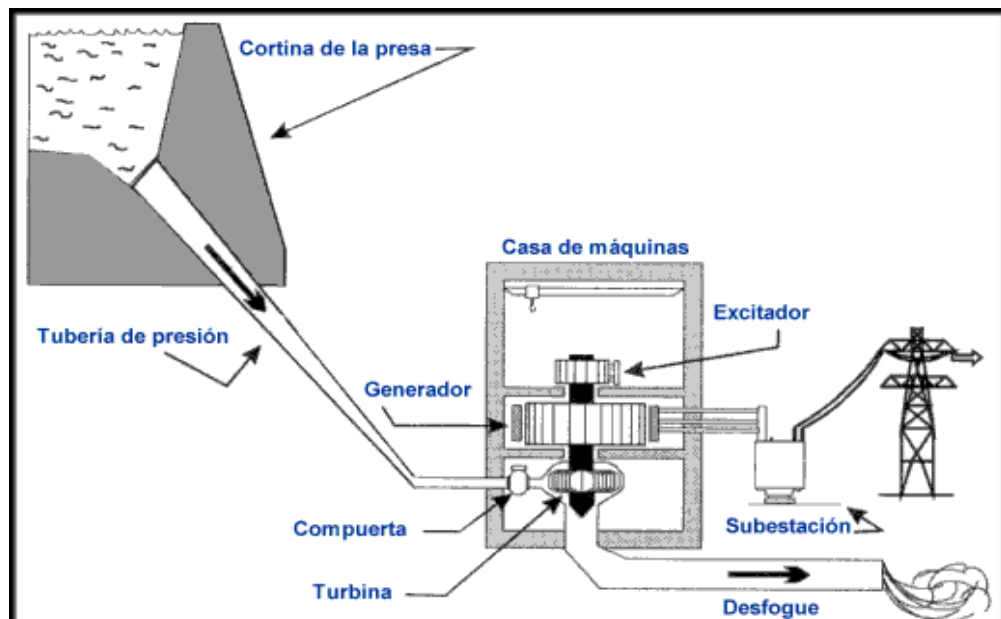
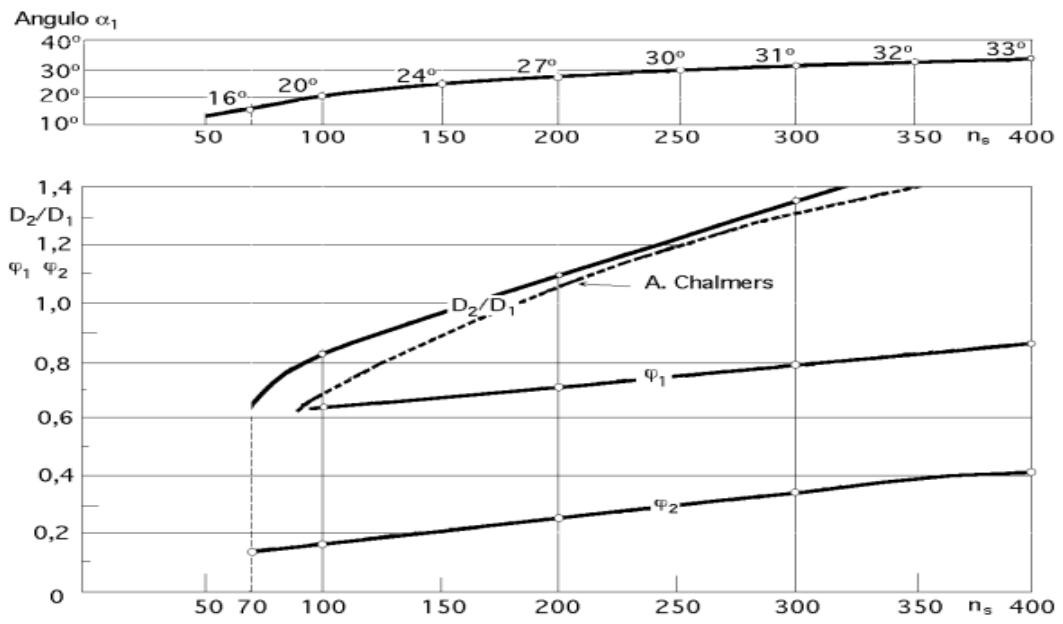
Huarandoza 10 Enero del 2020

ATENTAMENTE

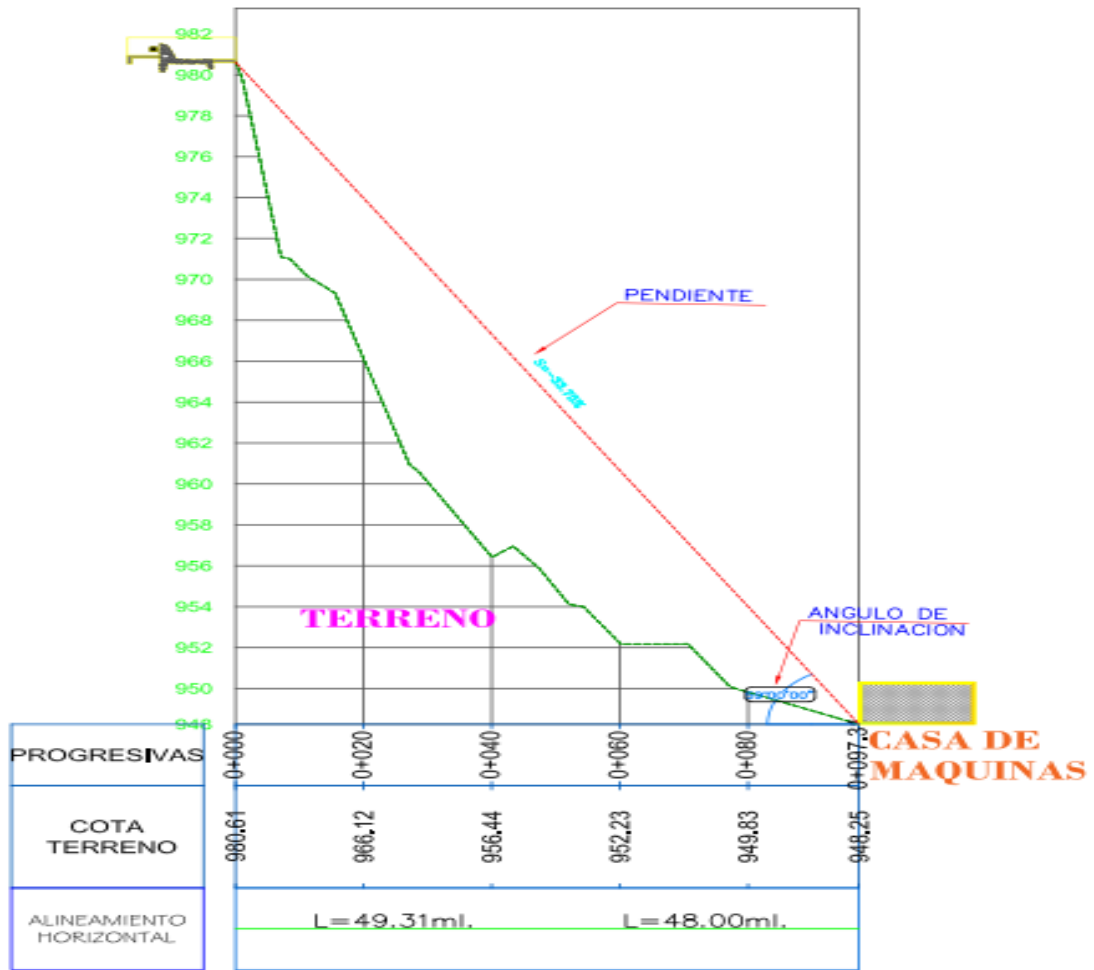

APER
Huarandoza
Orfiles Vilchez Huaman
DNI: 41207740
PRESIDENTE

Call. Huamantanga sn. Huarandoza 
electrificacionhuarandoza@gmail.com 
930720 389 - 993 113 887 

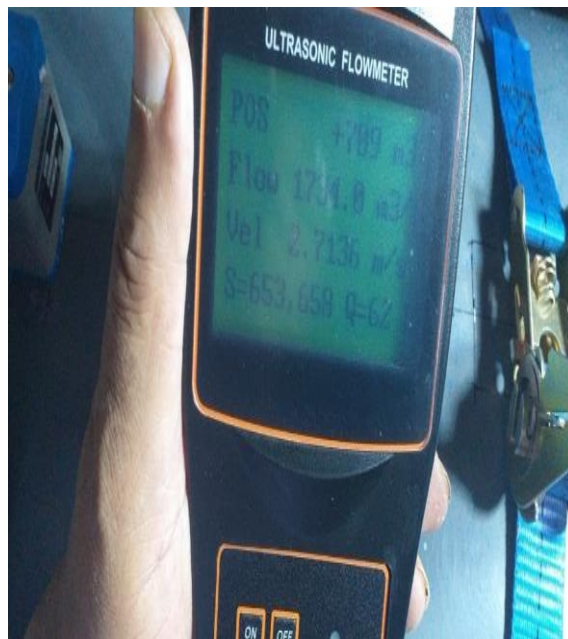
FIGURAS



PLANOS



Fotografías





DOCUMENTOS



CONVENIO ENTRE LA ENTIDAD SOLICITANTE Y SOCIO LOCAL (ART. 28 DECRETO 22/1998)

REUNIDOS

De una parte **D. MIKEL RUIZ MARTINEZ** (*Representante de la entidad solicitante, BULTZAPEN ONGD*), con DNI N° 1453316-S y con domicilio en Repelega, nº 1, Portugaleta, como (cargo que desempeña) **PRESIDENTE de la ONGD BULTZAPEN.**

De otra parte **DON BELISARIO CARRERO DELGADO** (*representante socio local, Comité Pro-Electrificación de Huarandoza-Perú*) con D.N.I. N° 27829305 y con domicilio en Huarandoza-Perú como (cargo que desempeña) **PRESIDENTE DEL COMITÉ PROELECTRIFICACIÓN DE HUARANDOZA.**

EXPONEN

1. - Con fecha 27 de febrero de 1998 se publicó en el Boletín Oficial del País Vasco el Decreto 22/1998, de 17 de febrero, por el que se regulan y convocan ayudas a proyectos con cargo al Fondo para la Cooperación y Ayuda al Desarrollo correspondiente al año 1998
2. -El presente Convenio se firma en virtud de lo señalado un el Artículo 28 del decreto 22/1998, del 17 de febrero, con objeto de determinar el proyecto presentado por el Comité Pro-Electrificación de Huarandoza que, de conformidad con lo establecido en la Resolución de adjudicación será financiado por el FOCAD en la convocatoria de 1998

CLAUSULAS

Cláusula primera.- Las partes confirman que tienen conocimiento del contenido del Decreto que regula las ayudas con cargo al FOCAD, Decreto 22/1998 y expresan su compromiso en el cumplimiento de las obligaciones de él derivadas, a las cuales se ajusta el proyecto presentado en todos sus términos.

Cláusula segunda.- Con cargo al FOCAD se cofinancia con un importe total de 293708'75 euros, el proyecto denominado Construcción de Mini-Central Hidroeléctrica de 275 kVtt presentado por el Comité Pro-Electrificación de Huarandoza con N° de referencia 137/98 de acuerdo a lo establecido en la Resolución de concesión de 24 de diciembre de 1998, del Secretario de la Presidencia.

Cláusula tercera.- Esta subvención se abona conforme a los siguientes importes de acuerdo al artículo 27 del Decreto 22/1998

- 1º pago: 70114'29 euros.
- 2º pago: 146854'37 euros.
- 3º pago: 76740'09 euros



Cláusula cuarta.- Las partes acuerdan que todos los bienes muebles e inmuebles adquiridos con la contribución del FOCAD pasarán a ser propiedad de la población a la que va dirigida la subvención ó del Socio local que presta los servicios incluidos en el proyecto (*todas las instalaciones y obras civiles realizadas para el transporte del agua, incluida tubería de fuerza, la caseta de maquinas y todo su contenido como son la propia maquinaria, la turbina, el generador y todos los equipos eléctricos y electrónicos de control de la maquinaria generadora, todos los equipos de transformación y transporte de la corriente eléctrica, toda la red de distribución de la corriente eléctrica de Baja Tensión en el centro poblado de Huarandoza*), garantizando la continuidad del uso para el que se conceden las ayudas.

Cláusula quinta.- Para la resolución de los conflictos que puedan surgir entre ambas partes o entre ellas y el Gobierno Vasco en relación con la ejecución del Proyecto, las partes acuerdan someterse a las leyes y los tribunales del Perú.

Cláusula sexta.- El socio local se compromete a finalizar el proyecto para Diciembre de 2002, según la prórroga establecida. Las partes acuerdan que en caso de que no se cumplan los objetivos en el tiempo establecido el Socio Local asume **TODA RESPONSABILIDAD** frente al Gobierno Vasco.

Así lo dicen, otorgan y firman un señal de conformidad con cuanto antecede,



Fdo.: (Representante Entidad solicitante)
D. Mikel Ruiz Martínez

Fdo: (Representante Socio Local)
D. Belisario Carrero Delgado.