



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

Mejoramiento de la eficiencia energética de la C.H. Callahuanca –
Huarochiri - Lima

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Inoñan Fernandez Franklin Eddy (orcid.org/0000-0002-8084-0610)

ASESOR:

Mg. Salazar Mendoza, Anibal Jesús (orcid.org/0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO – PERÚ

2022

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado:

A Dios: *Por haberme dado el don de la vida y la salud para poder lograr mis metas y objetivos, con su bondad infinita y su amor.*

A mis Padres: *Por darme su amor infinito, por su apoyo incondicional, por sus consejos, valores y la motivación constante para llegar a ser alguien en la sociedad.*

A mi asesor: *Por su gran tiempo, apoyo y enseñanzas dadas en cada momento de esta etapa para lograr así que pueda llegar a lo propuesto.*

Agradecimiento

Agradezco a Dios por ser mi guía incondicional, por iluminarme, por permitirme seguir luchando por mi sueño. También agradezco a mis padres por el apoyo moral, por sus buenos consejos, a mis hermanos por estar conmigo en las buenas y malas y a todos mis amigos que siempre están conmigo.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de figuras.....	v
Índice de tablas.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de Investigación.....	14
3.2. Variables, Operacionalización.....	14
3.3. Población, muestra y muestreo.....	15
3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	15
3.5. Procedimientos.....	16
3.6. Método de análisis de datos.....	17
3.7. Principios Básicos de Bioética.....	17
IV. RESULTADOS.....	18
V. DISCUSIÓN.....	130
VI. CONCLUSIONES.....	134
VII. RECOMENDACIONES.....	135
REFERENCIAS.....	136
ANEXOS.....	140

Índice de figura

<i>Figura 1.</i> Ubicación de hidroeléctrica de Callahuanca.	6
<i>Figura 2.</i> Diagrama de eventos para el desarrollo del proyecto	17
<i>Figura 3.</i> Central Hidroeléctrica Callahuanca Vista Frontal.....	18
<i>Figura 4.</i> Unidad de Generación N° 1.....	20
<i>Figura 5.</i> Unidad de Generación N° 2.....	22
<i>Figura 6.</i> Unidad de Generación N° 3.....	24
<i>Figura 7.</i> Unidad de Generación N° 4.....	26
<i>Figura 8.</i> Transformadores de Potencia	29
<i>Figura 9.</i> Transformadores de Potencia.	29
<i>Figura 10.</i> Salida de Callahuanca a Moyopampa.....	31
<i>Figura 11.</i> Triángulo de Euler Entrada	40
<i>Figura 12.</i> Triángulo de Euler Salida	42
<i>Figura 13.</i> Triángulo de Euler Entrada	43
<i>Figura 14.</i> Triángulo de Euler Salida	44
<i>Figura 15.</i> Tendencia del grado de reacción de las turbinas Pelton.....	122
<i>Figura 16.</i> Eficiencia Hidráulica Unidad de generación 1.	128
<i>Figura 17.</i> Eficiencia Hidráulica Unidad de generación 2.	128
<i>Figura 18.</i> Eficiencia Hidráulica Unidad de generación 3.	129
<i>Figura 19.</i> Eficiencia Hidráulica Unidad de generación 4.	129

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Técnica de recolección de datos.</i>	15
Tabla 2. <i>Resumen de Características Técnicas.</i>	27
Tabla 3. <i>Datos de Transformadores de Potencia.</i>	28
Tabla 4. <i>Características del Transformador 220/60 Kv.</i>	30
Tabla 5. <i>Potencia Efectiva (resultados)</i>	33
Tabla 6. <i>Medición de caudal, Potencia generada y eficiencia hidráulica 1</i>	50
Tabla 7. <i>Medición de caudal, Potencia generada y eficiencia hidráulica 2</i>	57
Tabla 8. <i>Medición de caudal, Potencia generada y eficiencia hidráulica 3</i>	63
Tabla 9. <i>Medición de caudal, Potencia generada y eficiencia hidráulica 4</i>	70
Tabla 10. <i>Especificaciones Técnicas de Espumas Elastoméricas.</i>	79
Tabla 11. <i>Consumo de Agua de Refrigeración</i>	82
Tabla 12. <i>Variables utilizadas para los cálculos</i>	94
Tabla 13. <i>Datos Técnicos de la Espuma Elastomérica</i>	97
Tabla 14. <i>Costos - Aislamiento de Tuberías del Sistema de Agua de Refrigeración</i>	99
Tabla 15. <i>Síntesis de la Inversión Total</i>	106
Tabla 16. <i>Flujo de Rentabilidad</i>	106
Tabla 17. <i>Síntesis del Ahorro Económico Total</i>	110
Tabla 18. <i>Parámetros Económicos</i>	111
Tabla 19. <i>Grado de Reacción en Unidades de Central Hidroeléctrica.</i>	112
Tabla 20. <i>Grado de Reacción en Unidades de Central Hidroeléctrica.</i>	114
Tabla 21. <i>Grado de Reacción en Unidades de Central Hidroeléctrica.</i>	117
Tabla 22. <i>Grado de Reacción en Unidades de Central Hidroeléctrica.</i>	119
Tabla 23. <i>Eficiencia hidráulica después de la mejora</i>	123

Resumen

La actual situación energética Nacional y Mundial , con los grandes problemas sin resolver como son el agotamiento del Petróleo y la acumulación de Carbono en la atmosfera , nos determinan , que las Naciones incluido el Perú , tengamos que apostar por las energías renovables convencionales y no convencionales , por lo que las antiguas centrales Hidroeléctricas como Callahuanca tengan que ser optimizadas , para que de acuerdo al procedimiento de llamar a la central eléctrica con menor costo marginal , puedan ser llamadas con mayor frecuencia y durante periodos más largos y de esta manera poder aumentar sus ingresos por venta de energía y poder sumarlos a los ingresos por Potencia que recibe de una manera fija y controlada.

Por lo que medidas como aumentar la eficiencia mecánica de los rodets , y en especial de los alabes de los rodets , con mejorar en su geometría y variabilidad de forma y de ángulos , mejorar la geometría del difusor y de esta manera poder aumentar la altura neta utilizable , mejorar los circuitos eléctricos , tableros de control y mando incluidos , nos permite también mejorar poco a poco la eficiencia y volver nuevamente competitivas estas antiguas centrales hidroeléctricas , que abastecen de potencia y energía eléctrica a Lima , desde hace muchos años. Con la eficiencia y variabilidad mejoradas y aumentadas , estas centrales podrán justificar con sus resultados , la viabilidad de las modificaciones a efectuarse , viabilidad técnica , ambiental y sobre todo de naturaleza económica y financiera , las cuales a través de la evaluación de sus tradicionales indicadores de gestión financiera , como son el TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor actual Neto) , los cuales pueden ser evaluados a precios privados o sociales y con la utilización de flujos de caja Financieros o Económico , que nos determinen VAN positivos y TIR mayores a la tasa del costo promedio de capital , con los ajustes por riesgo país u riesgo negocio de acuerdo a los indicadores de las agencias mundiales de calificación de riesgos.

Palabras clave: Centrales hidroeléctricas, eficiencia energética, mejora de variabilidad, rentabilidad, viabilidad.

Abstract

The current national and world energy situation, with the big unsolved problems such as the depletion of oil and the accumulation of carbon in the atmosphere, determine us, that the nations including Peru, we have to bet on conventional and non-conventional renewable energy. Therefore, the old hydroelectric plants such as Callahuanca have to be optimized, so that according to the procedure of calling the power plant with less marginal cost, they can be called more frequently and for longer periods and in this way be able to increase their income from the sale of energy and being able to add it to the income from Power that it receives in a fixed and controlled manner.

So measures such as increasing the mechanical efficiency of the impellers, and especially of the impeller blades, with improving their geometry and variability of shape and angles, improving the geometry of the diffuser and thus being able to increase the net height usable, improving electrical circuits, including control and command boards, also allows us to gradually improve efficiency and make these old hydroelectric plants, which have supplied power and electrical energy to Lima, competitive for many years.

With the improved and increased efficiency and variability, these plants will be able to justify with their results, the viability of the modifications to be made, technical, environmental and above all economic and financial viability, which through the evaluation of their traditional management indicators financial, such as the IRR (Internal Rate of Return) and NPV (Net Present Value), which can be evaluated at private or social prices and with the use of Financial or Economic cash flows, which determine positive NPV and higher IRR at the average cost of capital rate, with adjustments for country risk or business risk according to the indicators of the global risk rating agencies.

Keywords: Hydroelectric power plants, energy efficiency, variability improvement, profitability, viability.

I. INTRODUCCIÓN.

IDEA (2006), realizó un estudio donde menciona que la población a nivel mundial está cada vez más, tomando conciencia respecto al impacto negativo que se genera en la producción de energía para el medio ambiente y que se requiere tomar acciones para reducir la contaminación para el proceso de generación de energía eléctrica. En tal sentido las conjeturas del daño ambiental que se ha generado se debe a que la comunidad científica mundial ha establecido un consenso de la presencia del cambio climático, el clima del planeta ha incrementado de 0.4 °C a 0.8 °C significativamente en el siglo XX, además se alude que el deshielo del ártico a generado una disminución del hielo en esa zona lo que a generado un aumento en la intensidad y frecuencia de catástrofes naturales como sequías, huracanes, lluvias torrenciales, etc. Según lo ratificó IDEA (2017).

La concientización del daño climático que se ha generado, establecida por hechos ya contundentes, han permitido que las naciones de todo el planeta se unan para acordar compromisos políticos o un modelo que comprometan y responsabilicen al cuidado del medio ambiente, entre estos compromisos están: En el año 1992 fue firmada en la ciudad de río de Janeiro, la Cumbre de las Naciones Unidas, que dió origen al “Programa 21” que era un plan de acción, posteriormente el firmado en la Cumbre de Johannesburgo en el 2002; después la Convención Marco del Cambio Climático de las Naciones Unidas fue puesta en funcionamiento durante el denominado “Protocolo de Kyoto”, durante el año 1997 y que se reafirmó en 2005 (Febrero); otros compromisos en el año 2000, fueron la “Declaración del Milenio” establecida y el “Plan de Acción de la Conferencia de Bonn sobre Energías Renovables” determinado a mediado del 2004 (Junio).

Es en ese año que logran consolidarse como una perspectiva de esperanza las energías renovables, al poder generar energías limpias sostenibles minimizando contundentemente la dependencia energética sobre países extranjeros generando una autonomía en cuanto a generación basado en los recursos del país (IDAE, 2016).

La unión europea también comprometida a la mejora del cambio climático tiene como finalidad principal la producción de energía eléctrica producida a partir de las energías renovables dirigido a la diversificación y seguridad para suministrar energía protegiendo el medio ambiente y teniendo en cuenta la cohesión social y económica. Según Saravia (2017), la Comisión de las Comunidades Europeas acontecida en el año de 1997 direccionó su marco legislativo de energías renovables según el “Libro blanco para una estrategia común y un plan de acción para las energías renovables”. En este libro se establece que la potencia instalada en Europa a incrementado a 4.500 MW en generación de mini centrales hidroeléctricas para el 2020, lo que establece que la generación de energía al año aumentaría de los 37TWh a los 55 TWh. “La crisis del efecto invernadero, que constituye el principal problema ambiental de la Tierra en la actualidad, por la acumulación de Carbono en sus formas de CO, CO₂, CH₄, C_xH_yO_z, desde un nivel de 320 ppm en el año 1958, fecha en la cual se realizó la primera Medición (Curvas de Keeling), hasta los 416.18 ppm alcanzados el año 2020 –Mes de Abril, nos da el primer indicio de la urgente necesidad de disminuir las emisiones las emisiones de carbono a la atmosfera (éstas emisiones se deben básicamente a los procesos de combustión de fósiles (petróleo y sus derivados, GLP, GN, Carbón de Piedra – Antracítico, Bituminoso y Lignítico, Carbón Vegetal, Bosta, Yareta, Residuos de la Agroindustria etc.), tanto la obtención de electricidad, Calor Industrial, Comercial y Residencial y básicamente para mover los MCI (Motores de Combustión Interna) de los automóviles, camionetas, camiones, trenes, barcos y aviones, a pesar que en sucesivas conferencias medio ambientales mundiales, tales como Rio 1992, Kioto 1997, Copenhague 2012, Paris 2019” (PalaciosCA, 2018).

Seguidamente el Concejo y el Parlamento Europeo promulgó la Directiva 2001/77/CE, en este documento se proponen los objetivos indicativos, admitidos por el Plan de Energías Renovables 2005-2010” para los países miembros, para España estos objetivos encajan con los propuestos. Para el 2010, la Directiva estableció como propósito generar con recursos renovables el 12% de energía eléctrica, para este propósito prometen como medidas a seguir el tener fines nacionales ponderables en la utilización de generación de energías limpias para el consumo de energía eléctrica, tener un esquema de promoción en generación

eléctrica verde, tener métodos burocráticos para permisos simplificados y autorización para la distribución y transmisión para la energía generada por energías renovables.

La Unión europea también cuenta con Sistemas de Apoyo con la cual pretenden promociones la generación de energías renovables, uno de estos sistemas son los “Certificados Verdes”, la devolución de impuestos, los apoyos en inversión para esta generación y el soporte accesible a los precios. El sistema “Renewable Energy Feed in Tariffs” (REFIT) que es un sistema de prueba a precios de generación de las energías renovables que aún se mantiene en la Unión Europea da facultades a aquellos que generen energía renovable a poder vender toda la lo que produce a la red interconectada y con esto recibir una retribución mayor a la que cuesta el kWh de energía eléctrica en el mercado, en cuanto a España esta retribución a precio de mercado tiene un aumento por la suma de una prima por tipo de energía renovable producida (Grinblatt, 2013).

Con este argumento se la formula el problema: ¿Cómo mejorar la Eficiencia Energética de las instalaciones de la C.H. Callahuanca - Huarochirí - Lima? y la Hipótesis: Mediante la eficiencia energética se mejorará la productividad en las instalaciones de la Central Hidroeléctrica Callahuanca Lima - Perú.

La justificación técnica radica en mejorar la eficiencia de equipamientos eléctricos de la C.H. Callahuanca y los tableros, planteando metodologías en aras de optimizar las operaciones y los mantenimientos. El objetivo técnico es promover o incentivar a la reflexión sobre la existencia del problema, confrontando la teoría y contrastando resultados.

Luego de esta argumentación se logró trazar el objetivo general y los objetivos específicos.

El objetivo general fue mejorar la eficiencia energética para aumentar la productividad en las instalaciones de la C.H. Callahuanca Lima - Perú.

Los objetivos específicos fueron: Primero fue diagnosticar la situación energética de la Central Hidroeléctrica Callahuanca, segundo fue plantear mejoras potenciales para Mejorar la Eficiencia Energética, y el tercer objetivo fue determinar la nueva rentabilidad de la Central Hidroeléctrica Callahuanca.

II. MARCO TEÓRICO.

Se realizó una investigación por el IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), la cual concluyó que, en los últimos años, la generación de las energías renovables, la promoción del ahorro, el desarrollo de la infraestructura energética, la eficiencia energética, la fomentación y liberación de la transparencia de los mercados eléctricos es la respuesta a los retos específicos en cuanto al ámbito del contexto energético en España. Con respecto a las energías renovables trae para España grandes beneficios relacionados a sus costos que tienen una tendencia a bajar con el tiempo de la mano con el progreso de esta tecnología (Evangelist, 2017).

Sánchez (2012) menciona que en España se tiene un consolidación en cuanto al sistema de generación por hidroeléctricas y el sector es maduro en esta área tecnológicamente. Ya que existen varios factores entre los cuales se encuentra la larga histórica tradición del desarrollo en el aprovechamiento hidro hidráulico y la existencia del recurso hídrico disponible en todo el país.

Aunque el generar energía por conversión de energía hidráulica en España tiene un índice de crecimiento alto, en la aportación de energía para el sistema interconectado ha tenido una disminución en los últimos años, pero la generación por pequeñas centrales hidráulicas, aunque de manera muy pequeña sigue en aumento. Ahora bien, en cuanto a lo que concierne a construcción de represas, España tiene una tradición larga y ancestral. Para el año 2000, fue estimado que existirían un total de 147 represas con capacidades de embalse de 55 000 Hm³ del cual aproximado al 40% de esta capacidad corresponde a los embalses hidroeléctricos, siendo la proporción más alta en toda Europa y del planeta; aunque este porcentaje ha disminuido debido al aumento por décadas anteriores de otras fuentes de energía (COES - SINAC, 2016).

En Colombia se tiene un porcentaje del 67% de generación hidroeléctrica que se caracteriza por el un aporte alto en la matriz energética de este país, las pequeñas centrales hidroeléctricas tienen un aporte pequeño dentro de este porcentaje, pero el aprovechamiento de caídas y pequeños caudales ha estado en aumento de manera significativa en estos años logrando una tendencia hacia el crecimiento mayor del aporte por pequeñas centrales hidroeléctricas y

generando costos atractivos para el inversionista debido a los beneficios económicos y el potencial que dispone el país (Trujillo, 2017).

En el contexto nacional, según lo que menciona Delta Volt (2019), el Perú es una país que tiene una generación típica en energía hidroeléctrica como la represa de Gallito Ciego, ubicado en el departamento de Lambayeque, o como la colosal Central Hidroeléctrica de Mantaro, la cual es una proeza de ingeniería que tiene una facultad mayor a un 1 GW y proporciona un aproximado del 15% de energía eléctrica producida al SEIN, además de tener con una tasa alta de generación por energías renovables (Delta, 2018).

Pero lamentablemente la generación por energías limpias se quedó en el olvido por más de 10 años debido a que se desato la euforia, cuando fue descubierto unos yacimientos de gas en Camisea, zona del bajo Urubamba, fue así que estos hidrocarburos ocuparon una postura dominante a partir del año 2004, en Chilca ubicada a 65 km parte sur de Lima, se concentraron nuevos generadores de gas aumentando así el uso de los hidrocarburos para la generar electricidad. Pero con fortuna la actitud cambio y se gestionó las inversiones y reparaciones necesarias para poder mantener la generación hidroeléctrica como una fuente importante para la generación de electricidad (HernandezC, 2018).

Ahora bien con respecto a la contribución que realizan las plantas de gas en la actualidad se tiene una capacidad de generación excesiva, por ejemplo la potencia instalada para el SEIN en el año 2017 fue de 14.43 GVA y 11.96 GW de potencia efectiva lo cual se instala muy por encima de la demanda de ese año que fue de 6.76 GW, en el periodo del 2016 al 2017 esta demanda aumentó solo en un 1.38% que estaba por debajo de lo que planificó el COES (2018), abreviatura del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, que en su informe de operaciones anuales del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional del 2017, congruente a esto las metas actuales no se basan en generar mayor producción de energía sino en tomar en cuenta aspectos como distribuidor electricidad en las áreas alejadas del país donde no se cuenta con cobertura, tener una mejora en el suministro de energía como la reducción de pérdidas, evitar los cortes de suministros en las zonas rurales o periféricas y estabilizar la energía en la red y por último mejorar la interconexión de la red que se comparte con varios países fronterizos.

El Perú mantenía el liderazgo en la generación de energías renovables en la primera década de este siglo, considerando como muestra de estudio a Latinoamérica, con el avanzar del tiempo en 10 años los países vecinos aumentaron su producción en este tipo de generación generando remuneradas conexiones a la red de energía eléctrica pública o exigiendo medidas de eficiencia energética en edificaciones nuevas. Además la causa de un aumento en el uso de energías renovables se debe al alto precio de la generación tradicional y a las políticas del país (ZevallosCA, 2016).

En el Perú las energías alternativas tienen rentabilidad largo plazo debido a que los precios reducidos por el gas de Camisea son muy favorables y las centrales hidroeléctricas establecen costos de generación relativamente bajos.

La C.H. Callahuanca se ubica en la provincia de Huarochirí del Distrito de Callahuanca en el Departamento de Lima, en la localidad de Barba blanca, en el margen izquierdo del río Santa Eulalia a 52.5 km al este a una altitud de 1395.8 msnm.



Figura 1. Ubicación de hidroeléctrica de Callahuanca.

Fuente: ENEL GENERACIÓN PERÚ S.A.A.

Según Ticona (2018) en su investigación “Pequeña Central Hidroeléctrica Mando Alto - Quillabamba Cuzco” cuyo objetivo fue lograr una visión globalizada en la descripción de un proyecto de generación hidroeléctrica, basándose en un pequeño beneficio en Colombia, determina que el logro de la Licencia Ambiental

otorga la factibilidad social y ambiental de la central hidroeléctrica vista como un proyecto de ejecución para lo que se requiere que se realicen estudios de alto nivel en ingeniería.

Según Marcelino (2018)., en su investigación, tuvo como finalidad el diseño de una Pico Central Hidroeléctrica para producir energía eléctrica, en una zona limitada a la Quebrada Fucha de la población de Usme en la ciudad de Bogotá, concluyeron que al analizar el sistema hidroenergético de la pico central hidroeléctrica, se tuvo que el desarenador con cámara de carga, el canal de derivación y de conducción son los sistemas de mayor importancia en la central debido a que logra permitir el transporte de agua hacia la turbina de manera controlada y segura.

Romero (2019) en su trabajo, tuvo como finalidad desarrollar los estudio de Sostenibilidad para la repotenciar la mini central hidroeléctrica de El Amarillo, localizada en el Cantón Portovelo, además concluye que el reaprovechando las aguas del río Amarillo, resultaría técnicamente viable y rentable.

Para Cenergía (2020), El 16 de marzo del 2017, las lluvias del fenómeno del niño que provocaron el destemple provisional de la central hidroeléctrica de Callahuanca por los “Huaicos” debido a estas lluvias, que se ubica en el departamento de Lima, provincia de Huarochirí y es propietario Enel Generación Perú S.A.A.

Los fracasos económicos en el cuidado ambiental que se presentarán de no llevarse a realizar los mantenimientos correctivos pertinentes en el sistema de agua de refrigeración (SAR) que presenta dificultad en el aislamiento de las tuberías encontrándose con frecuencia presencia de agua en el exterior por la humedad. En la actualidad se pueden apreciar problemas serios en algunas zonas de la central, en las bandejas, por la cual se distribuyen los cables presentan sobrecarga mecánica en la gran mayoría de las bandejas y en otras se ve bandejas sin la capacidad correcta o sobredimensionadas lo que implica la posibilidad de que se generen daños serios en las instalaciones eléctricas. Además en la casa de máquinas, en la unidad 04, los sistemas de puestas a tierra y pararrayos se exponen a varios peligros probando daños materiales y de funcionamiento deficiente (Arbulu, 2017).

Martínez (2018), en su investigación, cuyo objetivo fue el analizar, identificar, plantear y evaluar en la Central Hidroeléctrica Yanango todas las instalaciones eléctricas, con el objetivo de disminuir los gastos y consumos de electricidad, en esta investigación llegó a la conclusión que las mejoras identificadas dentro de la central para poder disminuir los costos de las operaciones y mejorar el ahorro energético, se referencia a mejorar los sistemas de iluminación, reemplazando los fluorescentes que se tienen de 36 W y 40 W por otros tubos fluorescentes de mejor tecnología como la LED de 18 W y considerar un control operativo por cada lámpara.

Alarcón (2017) en su investigación, resolvió el problema del aumento de la demanda energética y contribuyó con el incremento del potencial energético útil del SEIN (Sistema Interconectado Nacional). Para finalizar, expuso como conclusión que el estudio de la oferta y demanda de energía eléctrica y potencia muestra una realidad de la necesidad de generación por medio de energías renovables al año 2014, la demanda de energía proyectada a un escenario alto para el año 2030 llegaría a un valor de 458 440,09 GWh mientras que la potencia llegaría a 64 582,08 MW lo que evidencia según el autor que se requiere de la generación renovable para amortiguar el requerimiento.

Para Lenes (2019), en su investigación planteo el objetivo de elaborar un proyecto a nivel de factibilidad para insertar una pico central hidroeléctrica al sistema eléctrico la red de media tensión perteneciente al alimentador Santa María 2 en un voltaje de 22.9 kV, estableciendo estrategias de comercio para la electricidad generada debido al bajo costo del kWh generado por esta central, este concluyo que la pico central hidroeléctrica Manda Alta – Quillabamba resulta ser viable por presentar una evaluación económica positiva a nivel privado con un resultado del análisis en social 38,220.33 US\$ mientras que en precios sociales se obtuvo también una evaluación positiva con 732,579.57 US\$ ambos para un periodo de evaluación de 20 años.

La empresa Andritz Hydro S.A. (2019), en su expediente realizado en la CH de Huinco, logró planificar en los servicios auxiliares de la central hidroeléctrica Huinco la eficiencia energética en el sistema de iluminación, que el análisis de datos estadísticos sobre la facturación y consumo de electricidad en la central

generados por la concesionaria de la zona Luz del Sur, muestra que no existe una diferencia significativa de la demanda leída y la máxima demanda facturada.

Albújar et al. (2019), plantearon como objetivo desarrollar investigaciones técnicas a nivel de análisis preliminar sobre un proyecto de generación hidroeléctrica, con la finalidad de poder incentivar la financiación en energías limpias en la subasta del RER, al final concluyó que al desarrollar las investigaciones en estudios en campos hidrológicos, ambientales y geotécnicas que son los estudios básicos, además del trámite administrativo que se sigue, son los factores base que permiten otorgar la factibilidad al proyecto que se presente.

Asenjo (2019), en su investigación cuyo objetivo fue el diseño de una turbina hidro cinética sumergible para generar energía eléctrica para el caserío de Pampa Bernilla, teniendo en cuenta la normatividad en vigencia, concluye que el diseño de la central abastece en una proyección de 20 años para la demanda de 6.27kW que pertenecen a 01 carga especial y 15 abonados domésticos, la investigación se plantea para rediseñar la mini Central, considerando el aumento de la potencia instalada que tiene en la actualidad, que respete las normas vigentes y cumpla con los requisitos del diseño mecánico y eléctrico, con el fin de poder brindar el servicio considerando los caseríos aledaños que en su totalidad suman 7. El presupuesto que conllevaría el repotenciar la central es de una total de S/. 235 169,27, teniendo un costo por kWh de S/. 0,08988474 los indicadores económicos evaluados a 20 años arrojaron 27% para el TIR y S/. 283 052.63 para el VAN lo cual determinar al diseño como factible.

Cajo (2018) en su investigación planteó como objetivo en puntualizar el impacto del reasentamiento organizado del PEOT (Proyecto Especial Olmos Tinajones) y en la población del Centro Poblado La Algodonera. En esta investigación se concluye que, aunque el proceso que conlleva el reasentamiento genera una dificultad amplia de adaptabilidad debido a los grandes impactos que esto conlleva este reasentamiento a permitido gracias al proceso integro aumentando el ingreso del 23.77%. para el proceso de reasentación se generó un incremento del 6% del costo total estimado en S/. 300,411.69.

Vela (2019) en su investigación planteó el objetivo de realizar un estudio de viabilidad económica donde concluye que, si fuera posible escoger un mejor para generación eólica en la Central considerando la venta de energía o el reemplazo de esta generación por un generador de combustible, la primera opción es la que presenta factibilidad técnica y económica considerando la inversión de US\$. 311,254.82 Dólares.

Temática referida al Tema en Desarrollo

Eficiencia Energética.

Para (PetroniG, 2019), hace referencia que la eficiencia energética minimiza el consumo de energía requerida para redimir la demanda no obstante se afectará su calidad; implicando sustituir un dispositivo diferente, con menor de electricidad. Dando a entender que ahora el consumo de energía sería menor, debido a que la cantidad de energía a utilizar igual servicio sería mínima.

Otro criterio a rescatar es cuando un bombillo de 100 Watt. genera igual cantidad de luz que un bombillo ahorrador o fluorescente de 20 Watt., no obstante, el bombillo tiene consumo de 5 veces más que el bombillo ahorrador o fluorescente en lo que respecta a energía, concluyendo que el resultado es el mismo para estos casos, pero el costo 5 veces menor, como si se eligiera el bombillo de 20 Watt.

Se evaluará el grado de eficiencia energética en las diferentes áreas de la C.H. Callahuanca, con la finalidad de crear un plan de eficiencia energética para minimizar progresivamente el gasto energético tendríamos que relacionar a la eficiencia energética y las medidas de ahorro.

Queda concluido que se deben prevenir procesos no adecuados, tecnologías ineficaces y conductas inadecuadas. No tratando de minimizar la calidad de vida, todo lo contrario, la finalidad es mantenerla, inclusive en que aumentarla. Resumiendo, que la idea es que se consuma con una conciencia y responsabilidad de manera moderada

Planificación para la Eficiencia Energética.

Para lograr una eficiente medida energética, tengamos en cuenta ciertos criterios:

Medidas sin Inversión.

Según:

- Asociado con los modos operativos, seguimiento y control.
- Mantenimiento de los equipos de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes.
- Modulando la máxima demanda en horas fuera de punta.
- Ajuste de controladores.
- Una cultura de eficiencia energética; desconectando equipos que no están en producción o no se necesita.
- Medidas con Baja o Media Inversión.
- Regularmente tienen un retorno menor a un año.
- Corrección del factor de potencia
- Aplicando un mantenimiento preventivo en los equipos.
- Uso de variadores de velocidad.
- Reemplazando equipos de alta eficiencia.
- Adquiriendo instrumentos que permitan un monitoreo de los consumos energéticos.» (PuntriananoJ, 2017)
- Capacitación del personal.
- Medidas con Alta Inversión.
- Implica un cambio de tecnología y/o procesos, con tiempos largos de retorno de capital.
- Innovando nuevos procesos que reemplacen a otros, cambio de tecnología.
- Aplicando reingeniería en algunos procesos.
- Aplicando técnicas avanzadas de mantenimiento.
- Reemplazando máquinas y sistemas eficientes.
- Instalando sistemas de control, monitoreo y supervisión de energéticos.
- Apoyo de expertos en eficiencia energética a través de consultoría.

Estudio de Rentabilidad. Para (SanchezJ, 2017), Rentabilidad es un término que significa que todo acto económico en donde tienen que ver con los medios tanto materiales como humanos y financieros para obtener los resultados que se han proyectado, por consiguiente, en sentido general la rentabilidad se mide a través del rendimiento generado en un período de tiempo por los capitales utilizados. Esto supone el contraste entre la renta generada y los medios utilizados para obtenerla, para definir elecciones entre alternativas y su eficiencia».

Medidas de la Rentabilidad. Para (GrinblattS, 2018), la rentabilidad es la facultad que posee una empresa para crear un bien o ganancia económica a través de un gasto o inversión ejecutada. Es calculada a través de un indicador de rentabilidad que incluye justificaciones financieras sobre ingresos e inversión; se derivan los activos y el capital.

Métodos de Evaluación de Inversiones.

Flujo Neto de Caja.

Comprendemos que es la adición de todos los cobros excepto todos los pagos realizados durante la vida útil del proyecto de inversión.

Si encontramos un flujo de caja neto positivo entendemos que los ingresos han sido mayores que los gastos que se hayan tenido que hacer frente; y por el contrario, si el flujo de caja es negativo significa que se ha gastado más de lo que se ha ingresado.

Valor Actual Neto (VAN).

Para (Buenos Negocios , 2018), demuestra en el hecho de que el valor del capital permuta con el pasar del tiempo.

El VAN informa que en términos de "capital actual de hoy" el costo general de un proyecto que se extiende por varios meses o años, logre combinar flujos positivos (ingresos) y negativos (costos). Se expresa como un valor en dinero (\$10.000, -\$350, USD1 millón, etc.). El VAN se evalúa según la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1 + t)^t} - I$$

En Anexo 01 podemos ver su interpretación.

Tasa Interna de Retorno (TIR). Es vinculado con el VAN, porque utiliza una fórmula parecida, donde queda establecida la tasa de descuento que precisa que el VAN de un proyecto sea igual a cero. Es expresado como un porcentaje (por ejemplo: TIR = 14 %). Conceptualizando, se puede entender como la máxima tasa de interés a la que es recomendable endeudarse para financiar el proyecto, sin que se generen pérdidas que den origen al fracaso del mismo.

Relación Costo – Beneficio:

Procedimiento para calcular y comparar directamente los costos y beneficios. Se calcula la relación (B/C), primeramente, se aplica al hallar la sumatoria de los beneficios descontados, que son contabilizados al presente, para dividirse con sumatoria de los costos también descontados. La ecuación la podemos ver:

Donde:

VPNB: Valor Presente Netos de los Beneficios.

VPNC: Valor Presente Netos de los Costos.

Para resultados de evaluación, ver en Anexo 02.

Procedimiento de Ensayo de Potencia Efectiva.

Se realizaron mediciones y cálculos de la potencia efectiva

Parámetros Eléctricos

- Potencia activa (MW).
- Factor de potencia.

Parámetros Hidráulicos y Mecánicos.

- Caudal turbinado (m³/s).
- Nivel del agua en la cámara de carga.
- Velocidad de rotación (rpm).
- Parámetros Térmicos.

Control Documentario.

Procedimientos (HSE), estándares, PETS y formatos.

Normativa de seguridad y salud en el trabajo y medio ambiente.

Fue realizado según la matriz de requisitos legales.

III. METODOLOGÍA.

3.1. Tipo y diseño de Investigación.

Tipo de investigación. De acuerdo con Guffante et al. (2016), es Aplicativa; utilizando fundamentos teóricos en física, matemática, aprendidos en la en la etapa de formación universitaria, refiere que dicha investigación “Es aquella que se realiza sobre una temática no muy conocida o no muy estudiada, su resultado nos manifiesta una visión cercana del problema”.

Diseño de la investigación. Es no experimental, en referencia a Guffante et al. (2016), da a entender que la investigación científica no solamente involucra la recopilación de documentos, imaginación, ensayo error, ideación y/o experiencias; sino que, integra una serie de etapas lógicas y sistémicas que incorpora a todos estos procesos y muchos otros más, adicionalmente es un proceso de búsqueda metódica, que da origen a nuevos conocimientos con diferentes niveles de complejidad.

3.2. Variables, Operacionalización.

Definición conceptual:

Abordar una planificación en un determinado tiempo usando eficiencia energética en las instalaciones de la C.H. Callahuanca.

Satisfacer los requerimientos de la C.H. Callahuanca desde el punto de vista de la productividad económica y el cuidado del medio ambiente.

Ver Matriz de Operacionalización de las variables, según en Anexo 03.

Definición operacional.

Será realizado un estudio sobre la actual situación que está la C. H. Callahuanca con respecto al consumo de energía eléctrica y serán identificadas cuantas y cuáles lograrían ser las mejoras potenciales para promover mayores ingresos económicos.

Analizar el uso y operatividad de las distintas áreas en la C.H. Callahuanca para asegurar su optimización y la reducción de sus costos operativos.

Variante independiente: Mejoramiento de Instalaciones.

Variable dependiente: Eficiencia Energética, Rentabilidad.

3.3. Población, muestra y muestreo.

Población y muestra: Constituidas por Componentes de la CH Callahuanca.

Muestreo: Muestreo no probabilístico.

3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Técnicas de recolección de datos.

Tabla 1. *Técnica de recolección de datos.*

TÉCNICAS	USO	INSTRUMENTOS
Observación	Determinar las cualidades relevantes del Sistema Interconectado Nacional, como de los Principales Grupos Generadores desde un enfoque de su Variabilidad. Evaluación del diseño de la variabilidad de la Máquina.	Ficha de parámetros de los Grupos Generadores, en lo que respecta su variabilidad Ficha de control de diseño de las variaciones de variabilidad
Análisis Documentario	Búsqueda de información técnica y relevante de los documentos estandarizados para el diseño de los cambios de variabilidad a implementar	Fichas de revisión documentaria con los cuales se ha determinado el marco conceptual o estado del arte

Fuente: Elaboración propia

a.) Observación:

Muestra la situación actual que está la Central Hidroeléctrica Callahuanca.

b.) Análisis Documentario:

Se usó para recopilar información de distintas bibliografías respecto a eficiencia energética: artículos científicos, revistas, libros, tesis, páginas web, etc. El uso de esta técnica nos permitió elegir diferentes investigaciones sobre la necesidad de

mejorar la variabilidad que toda máquina generadora de electricidad debe tener, para flexibilizar su acoplamiento a otros grupos electrógenos, variabilidad de Potencia, Voltaje y Frecuencia.

c.) Instrumentos de recolección de datos:

a) Guía de observación.

Para obtener información sobre eficiencia energética fueron utilizadas diversas fuentes bibliográficas, como se indica a continuación: artículos, papers, tesis, revistas y libros científicos, páginas web, etc. La utilización de este método permitirá definir las principales investigaciones realizadas sobre la necesidad de una mejora notoria de la variabilidad que toda máquina generadora de electricidad debe tener, para flexibilizar su acoplamiento a otros grupos electrógenos, variabilidad de Potencia, Voltaje y Frecuencia, para lograr óptimas comunicaciones en redes inteligentes para generación distribuida, con el fin de aumentar el uso eficiente de potencia y energía de los consumidores, más en las meditaciones rurales, con la categoría de utilización productiva de la electricidad.

b) Ficha de registro.

Este instrumento nos permitió buscar y seleccionar criterios de diseño de la variabilidad en internet y en reconocidas páginas web y buscadores entre ellos están: Scopus, Scielo, Elsevier, Google Académico, etc., libros, monografías, papers, revistas físicas o virtuales, tesis.

Validez y confiabilidad:

La presente fue ratificada por especialistas dentro de la rama de Ingeniería Mecánica Eléctrica, teniendo en cuenta metodologías de Delphi – encuestas de aplicación de datos, que serán validados los instrumentos de recolección de datos secundarios. La confiabilidad fue brindada por expertos que validaron los instrumentos, para modificación según requerimientos se dará prioridad a sus opiniones.

Esta investigación tiene la confiabilidad obtenida de los resultados.

3.5. Procedimientos



Figura 2. Diagrama de eventos para el desarrollo del proyecto
Fuente: Elaboración propia

3.6. Método de análisis de datos.

Determina si hay un vínculo entre las dos variables, también mediante la estadística descriptiva aplicada a las variables de estudio, tabulando datos y al evaluar factores comunes, que valdrán como parámetros de entrada para el diseño de las modificaciones en los Grupos generadores de electricidad, también a partir de los resultados muestrales encontrados, y de acuerdo a los parámetros de la estadística inferencial son herramientas y técnicas utilizadas para realizar inferencias y generalizaciones sobre una población o universo a partir de los resultados de muestras. Los dos métodos mencionados, el test de Chi Cuadrado y la prueba t de Student, son dos de las técnicas más comunes y útiles en estadística inferencial, para verificar si la distribución de frecuencia de probabilidad atribuida es la correcta, dentro de los niveles de confianza (90%, 95% y 98%), aceptable dentro márgenes de error permitidos.

3.7. Principios Básicos de Bioética.

Se respetó el derecho a la propiedad intelectual, la credibilidad de datos brindados por la empresa y la legitimidad de los resultados, el diseño de las variaciones en las máquinas planteadas, así como ayudar en sustituir los combustibles fósiles para cambiar a una nueva matriz energética de la mencionada central. Cabe señalar que los resultados son veraces y transparentes.

IV. RESULTADOS.

4.1. Diagnosticar estado energético actual de la Central Hidroeléctrica Callahuanca

Según las visitas, realizadas a la Central Hidroeléctrica de Callahuanca, Distrito de Callahuanca, Provincia de Huarochirí, podemos elaborar el presente diagnóstico Situacional de la Central en esta tesis de investigación, debemos de detallar, que se ha realizado recientemente una repotenciación culminada el mes de marzo del año 2019, se detallan aspectos actuales de la Central:

CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CALLAHUANCA

Empresa Propietaria: ENEL GENERACION PERU S.A.A.

Código COES de la Central: 261

Número de Unidades de Generación: 4 Turbinas Pelton.

Tipo: Hidráulica.

Potencia Efectiva de la Central: 84, 375 MW.

Consumo de Servicios Auxiliares: 0,355 MW.

Rendimiento: 3.416 MW/m³/s.

Potencia Garantizada: 84,375 MW.



Figura 3. Central Hidroeléctrica Callahuanca Vista Frontal.

Fuente: ENEL GENERACIÓN PERÚ S.A.A.

UNIDAD DE GENERACIÓN Nº 1

Código del Grupo: CALL1

Fecha de reingreso en operación Comercial: 30 de marzo del 2019.

Turbina Tipo: Pelton (Rodete Simple, 1 Inyector automático)

Serie de Fabricación de la Maquina: 88540

Potencia Efectiva: 16,760 MW

Potencia Instalada: 17,000 MW

Potencia Mínima: 8,000 MW

Velocidad de Rotación: 514.29 RPM (Siete Pares de Polos)

Rampa de Toma de Carga: 8 MW/Minuto

Rampa de Rechazo de Carga: 8 MW/Minuto

Tiempo desde el Arranque a la Sincronización: 10 Minutos

Tiempo de arranque en Negro (Black Start): ND

Tiempo desde la sincronización hasta la Parada: 26 Minutos

Tiempo Mínimo de Operación: 1.5 Horas

Caudal Mínimo Turbinable: 2.28 m^3/s

Caudal Máximo Turbinable: 4.95 m^3/s

Rendimiento a Condiciones de Potencia Efectiva: 3,463 Mw / m^3/s .

Concentración de Sólidos en suspensión Máximo para operar: 4 g/l

Concentración de Sólidos en suspensión Mínimo para operar: 0 g/l

Consumo de servicios auxiliares: 0,335 Mw

Capacitiva al 50 % de la potencia efectiva: 3 MVAR

Capacitiva al 100 % de la potencia efectiva: 3 MVAR

Tensión de Generación Nominal: 10 KV

Tensión de Generación Mínima 9.50 KV

Tensión de Generación Máxima 11 KV

Tensión Mínima de excitación VDC 65.0 Voltios

Tensión Máxima de excitación VDC 72.0 Voltios

Tensión Servicios Auxiliares Mínima 9.5 Voltios

Tensión Servicios Auxiliares Máxima 10.5 Voltios

Factor de Potencia 0.85

Arranque en negro (Black Start) NO

Reactancia transitoria de eje directo 0,24

Reactancia sub- transitoria de eje directo	0.22
Reactancia de armadura de secuencia negativa	NA
Reactancia de armadura de secuencia cero	0.078
Cte. Tiempo transitorio de eje directo de cortocircuito	1.320
Cte. Tiempo subtransitoria eje en cuadrante a circuito abierto	0.12
Cte. de Tiempo subtransitoria de eje directo a circuito abierto	0,043
Constante de inercia del conjunto maquina eléctrica, excitatriz y turbina	1.95
Reactancia sincrónica de eje en cuadratura	0.57
Cte. de tiempo transitoria de eje directo a circuito abierto	5.87
Reactancia subtransitoria de eje cuadratura	0.200
Cte. tiempo subtransitoria de eje directo en cortocircuito	0.038
Reactancia sincrónica de eje directo	1.03
Modo de control en carga Frecuencia	SI
La Banda de variación de Frecuencia (Banda Muerta)	0.05 Hertz
Estatismo Valor Actual	5
Estatismo Valor en Sistemas Aislados	NA
Estatismo Rango de Variación	0 – 10.



Figura 4. Unidad de Generación N° 1.

Fuente: ENEL GENERACIÓN PERÚ S.A.A.

UNIDAD DE GENERACIÓN N° 2

Código del Grupo: CALL2

Fecha de reingreso en operación Comercial: 30 de Marzo del 2019

TURBINA

Tipo: Pelton (Rodete Simple, 1 Inyector automático)

Serie de Fabricación de la Maquina: 88560

Potencia Efectiva: 16,545 MW

Potencia Instalada: 17,000 MW

Potencia Mínima: 8,000 MW

Velocidad de Rotación: 514.30 RPM (Siete Pares de Polos)

Rampa de Toma de Carga: 8 MW/Minuto

Rampa de Rechazo de Carga: 8 MW/Minuto

Tiempo desde el Arranque a la Sincronización: 10 Minutos

Tiempo de arranque en Negro (Black Start); ND

Tiempo desde la sincronización hasta la Parada: 24 Minutos

Tiempo Mínimo de Operación. 1.5 Horas

Caudal Mínimo Turbinable: 2.28 m^3/s

Caudal Máximo Turbinable: 4.96 m^3/s

Rendimiento a Condiciones de Potencia Efectiva: 3,342 Mw / m^3/s

Concentración de Sólidos en suspensión Máximo para operar: 4 g/l

Concentración de Sólidos en suspensión Mínimo para operar: 0 g/l

Consumo de servicios auxiliares: 0,335 Mw

Capacitiva al 50 % de la potencia efectiva: 3 MVAR

Capacitiva al 100 % de la potencia efectiva: 3 MVAR

Tensión de Generación Nominal . 10 KV

Tensión de Generación Mínima 9.50 KV

Tensión de Generación Máxima 11 KV

Tensión mínima de excitación VDC 65.0 Voltios

Tensión Máxima de excitación VDC 72.0 Voltios

Tensión Servicios Auxiliares Mínima 9.5 Voltios

Tensión Servicios Auxiliares Máxima 10.5 Voltios

Factor de Potencia 0.85

Arranque en negro (Black Start) NO

Reactancia transitoria de eje directo 0,24

Reactancia sub- transitoria de eje directo 0.22

Reactancia de armadura de secuencia negativa	NA
Reactancia de armadura de secuencia cero	0.078
Cte. Tiempo transitorio de eje directo de cortocircuito	1.320
Cte. Tiempo subtransitoria eje en cuadrante a circuito abierto	0.12
Cte. de Tiempo subtransitoria de eje directo a circuito abierto	0,043
Constante de inercia del conjunto maquina eléctrica, excitatriz y turbina	1.95
Reactancia sincrónica de eje en cuadratura	0.57
Cte. de tiempo transitoria de eje directo a circuito abierto	5.87
Reactancia subtransitoria de eje cuadratura	0.200
Cte. tiempo subtransitoria de eje directo en cortocircuito	0.038
Reactancia sincrónica de eje directo	1.03
Modo de control en carga frecuencia	SI
La Banda de variación de Frecuencia (Banda Muerta)	0.05 Hertz
Estatismo Valor Actual	5
Estatismo Valor en Sistemas Aislados	NA
Estatismo Rango de Variación	0 – 10



Figura 5. Unidad de Generación N° 2.

Fuente: ENEL GENERACIÓN PERÚ S.A.A.

UNIDAD DE GENERACION N° 3

Código del Grupo: CALL3

Fecha de reingreso en operación Comercial: 30 de marzo del 2019

TURBINA

Tipo: Pelton (Rodete Simple, 1 Inyector automático)

Serie de Fabricación de la Máquina: 88343

Potencia Efectiva: 16,587 MW

Potencia Instalada: 17,000 MW

Potencia Mínima: 8,000 MW

Velocidad de Rotación: 514.30 RPM (Siete Pares de Polos)

Rampa de Toma de Carga: 8 MW/Minuto

Rampa de Rechazo de Carga: 8 MW/Minuto

Tiempo desde el Arranque a la Sincronización: 10 Minutos

Tiempo de arranque en Negro (Black Start) ; ND

Tiempo desde la sincronización hasta la Parada: 25 Minutos

Tiempo Mínimo de Operación. 1.5 Horas

Caudal Mínimo Turbinable: 2.28 m^3/s

Caudal Máximo Turbinable: 4.96 m^3/s

Rendimiento a Condiciones de Potencia Efectiva: 3,392 Mw / m^3/s

Concentración de Sólidos en suspensión Máximo para operar: 4 g/l

Concentración de Sólidos en suspensión Mínimo para operar: 0 g/l

Consumo de servicios auxiliares: 0,335 Mw

Capacitiva al 50 % de la potencia efectiva: 3 MVAR

Capacitiva al 100 % de la potencia efectiva: 3 MVAR

Tensión de Generación Nominal: 10 KV

Tensión de Generación mínima 9.50 KV

Tensión de Generación Máxima 11 KV

Tensión mínima de excitación VDC 65.0 Voltios

Tensión Máxima de excitación VDC 72.0 Voltios

Tensión Servicios Auxiliares mínima 9.5 Voltios

Tensión Servicios Auxiliares Máxima 10.5 Voltios

Factor de Potencia 0.85

Arranque en negro (Black Start) NO

Reactancia transitoria de eje directo 0,24

Reactancia sub- transitoria de eje directo 0.22

Reactancia de armadura de secuencia negativa NA

Reactancia de armadura de secuencia cero	0.078
Cte. Tiempo transitorio de eje directo de cortocircuito	1.320
Cte. Tiempo subtransitoria eje en cuadrante a circuito abierto	0.12
Cte. de Tiempo subtransitoria de eje directo a circuito abierto	0,043
Constante de inercia del conjunto maquina eléctrica, excitatriz y turbina	1.95
Reactancia sincrónica de eje en cuadratura	0.57
Cte. de tiempo transitoria de eje directo a circuito abierto	5.87
Reactancia subtransitoria de eje cuadratura	0.200
Cte. tiempo subtransitoria de eje directo en cortocircuito	0.038
Reactancia sincrónica de eje directo	1.03
Modo de control en carga frecuencia	SI
La Banda de variación de Frecuencia (Banda Muerta)	0.05 Hertz
Estatismo Valor Actual	5
Estatismo Valor en Sistemas Aislados	NA
Estatismo Rango de Variación	0 – 10



Figura 6. Unidad de Generación Nº 3.

Fuente: ENEL GENERACIÓN PERÚ S.A.A.

UNIDAD DE GENERACION Nº 4

Código del Grupo: CALL4

Fecha de reingreso en operación Comercial: 30 de marzo del 2019

TURBINA

Tipo: Pelton (Rodete Simple, 1 Inyector automático)

Serie de Fabricación de la Máquina: 6043
 Potencia Efectiva: 34,483 MW
 Potencia Instalada: 35,200 MW
 Potencia Mínima: 15,000 MW
 Velocidad de Rotación: 450.00 RPM (Ocho Pares de Polos)
 Rampa de Toma de Carga: 8 MW/Minuto
 Rampa de Rechazo de Carga: 8 MW/Minuto
 Tiempo desde el Arranque a la Sincronización: 10 Minutos
 Tiempo de arranque en Negro (Black Start); ND
 Tiempo desde la sincronización hasta la Parada: 25 Minutos
 Tiempo mínimo de Operación. 1.5 Horas
 Caudal mínimo Turbinable: 4.22 m³/s
 Caudal Máximo Turbinable: 9.52 m³/s
 Rendimiento a Condiciones de Potencia Efectiva: 3,441 Mw /m³/s
 Concentración de Sólidos en suspensión Máximo para operar: 4 g/l
 Concentración de Sólidos en suspensión Mínimo para operar: 0 g/l
 Consumo de servicios auxiliares: 0,335 Mw
 Capacitiva al 50 % de la potencia efectiva: 17 MVAR
 Capacitiva al 100 % de la potencia efectiva: 17 MVAR
 Tensión de Generación Nominal 8,070 KV
 Tensión de Generación Mínima 8,920 KV
 Tensión de Generación Máxima 11 KV
 Tensión Mínima de excitación VDC 80.0 Voltios
 Tensión Máxima de excitación VDC 170.0 Voltios
 Tensión Servicios Auxiliares Mínima 9.5 Voltios
 Tensión Servicios Auxiliares Máxima 10.5 Voltios
 Factor de Potencia 0.70
 Arranque en negro (Black Start) NO
 Reactancia transitoria de eje directo 0,31
 Reactancia sub- transitoria de eje directo 0.29
 Reactancia de armadura de secuencia negativa 0,305
 Reactancia de armadura de secuencia cero 0.134
 Cte. Tiempo transitorio de eje directo de cortocircuito 1.680

Cte. Tiempo subtransitoria eje en cuadrante a circuito abierto	0.12
Cte. de Tiempo subtransitoria de eje directo a circuito abierto	0,137
Constante de inercia del conjunto maquina eléctrica, excitatriz y turbina	0.72
Reactancia sincrónica de eje en cuadratura	5.83
Cte. de tiempo transitoria de eje directo a circuito abierto	0.32
Reactancia subtransitoria de eje cuadratura	0.054
Cte. tiempo subtransitoria de eje directo en cortocircuito	1.070
Reactancia sincrónica de eje directo	1.03
Modo de control en carga frecuencia	SI
La Banda de variación de Frecuencia (Banda Muerta)	0.05 Hertz
Estatismo Valor Actual	5
Estatismo Valor en Sistemas Aislados	NA
Estatismo Rango de Variación	0 – 10



Figura 7. Unidad de Generación N° 4.

Fuente: ENEL GENERACIÓN PERÚ S.A.A.

Podemos pasar a describir a detalle otras características principales y esenciales de la Central Hidroeléctrica de Callahuanca.

En cuanto a los generadores de Energía Eléctrica, estos se resumen a:

Tabla 2. Resumen de Características Técnicas.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Fabricante	Volth Siemens Hydro	Volth Siemens Hydro	Volth Siemens Hydro	Brown Bóveri
Tipo	Síncrono de Polos Salientes	Síncrono de Polos Salientes	Síncrono de Polos Salientes	W 300/16
Modelo	1DH 5544 – 3DF07 - Z	1DH 5544 – 3DF07 - Z	1DH 5544 – 3DF07 - Z	
Nº de Serie	SP04 000725 01	SP04 000725 02	SP04 000725 03	
Potencia en Servicio	20 MVA	20 MVA	20 MVA	44 MVA
Tensión	10 Kv	10 Kv	10 Kv	8 Kv
Corriente	1155 A	1155 A	1155 A	3180 A
Factor de potencia	0.85	0.85	0.85	0.7
Clase aislamiento	F	F	F	
Velocidad nominal	514.3 rpm	514.3 rpm	514.3 rpm	450 rpm
Velocidad de fuga	940 rpm	940 rpm	940 rpm	830 rpm
Bornes externos				6
Conexión estator				Estrella
Tipo de enfriamiento	Aire	Aire	Aire	Aire
Nº ranuras estator				216
Nº polos	14	14	14	14

Fuente: EDEGEL S.A.A

Donde podemos apreciar, la fabricación europea, el tipo de sincronismo utilizado, los niveles de tensión y amperaje, la velocidad nominal y la velocidad de embalamiento, tipo de enfriamiento y número de polos del estator

En cuanto a los datos técnicos de los transformadores de Potencia, elementos esenciales para poder transmitir la energía eléctrica generada desde la Central

Hidroeléctrica de Callahuanca al Sistema Nacional Interconectado, administrado por el COES:

Tabla 3. Datos de Transformadores de Potencia.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Fabricante	Brown Bóveri	Brown Bóveri	Brown Bóveri	Brown Bóveri
Tipo	Trifásico TD2AW	Trifásico TD2AW	Trifásico TD2AW	Monofásico
Nº de Serie	740027	740028	740029	
Conexión	YNd5	YNd5	YNd5	YNd5
Potencia en Servicio Continuo	20 MVA	20 MVA	20 MVA	14.7 MVA
Alta Tensión	67500 +/- 2x3 375 V	67500 +/- 2x3 375 V	67500 +/- 2x3 375 V	(69642 – 67480 - 65320)/ 1.73 V
Baja Tensión	1000 V	1000 V	1000 V	8000 V
Aislamiento int./ Ext. BIL	AT 350/450 kV BT 110/125 kV	AT 350/450 kV BT 110/125 kV	AT 350/450 kV BT 110/125 kV	
Corriente Alta Media baja	144 A 1525 A	144 A 1525 A	144 A 1525 A	1840 365-378-390
Peso Total	34500 kg	34500 kg	34500 kg	
Peso Aceite	7800 kg	7800 kg	7800 kg	
Enfriamiento	OFWF	OFWF	OFWF	Aceite

Fuente: EDEGEL S.A.A



Figura 8. Transformadores de Potencia

Fuente: EDEGEL S.A.A



Figura 9. Transformadores de Potencia.

Fuente: EDEGEL S.A.A

En cuanto a los trabajos secundarios de la Central, estos sirven para la operación de todos los sistemas de operación, mantenimiento, seguridad, administrativo y ambiental en algunos casos hasta para acciones de responsabilidad social como el caso de la Central Hidroeléctrica de Carhuaquero y el Distrito de Chongoyape

Estos Servicios auxiliares constan de:

TRAFO de 60 / 10 kV, Potencia de 1600 KVA, Tipo Terkaw, marca Brown Bóveri, Frecuencia 60 Hz, Sistema trifásico TC.C. 5.6%.

Para más detalles anotamos:

- Tensión Primario 63 000 ± 9 x 983 V / Secundario 10 000 V
- Corriente Primario 12,86...17,03 A / Secundario 92,5 A
- Regulador de Tensión Marca Brown Bóveri Tipo RC1/1

En las instalaciones de baja tensión tenemos:

- Transformador de Primario 10 / Secundario 0,22kV.
 - Tipo Tka.
 - Marca Brown Bóveri
 - Sistema Trifásico
 - Potencia Aparente 400 kVA.
 - Conexión Estrella / Delta
 - Agrupación de Conexión Yd5 TC.C. 4.2%
 - Voltaje Primario 10 125...9 625 V / Secundario 236 V
 - Corriente Primario 23.1 / Secundario 980 A.

Las Características del Transformador de Potencia será:

- Marca Ital Trafo (Italia)
- Enfriamiento Ventilación forzada
- Sobre elevación del cobre 65°C
- Sobre elevación del aceite 60°C
- Peso Neto 50 Ton
- T.C.C. 11,872%, 75°C, r=3,2 (Condiciones de Corto Circuito).

Tabla 4. Características del Transformador 220/60 Kv.

	Potencia	V. nominal	I. nominal
Devanado AT	28.33 MVA	$\frac{200 \pm 2 \times 10 \text{ kV}}{1.73}$	245 A
Devanado BT	28.33 MVA	$\frac{6446 \text{ kV}}{1.73}$	786 A
Devanado Compensador	5.433 MVA	10 kV	940 A

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Salida de Callahuanca a Moyopampa.

Fuente: Elaboración propia

Por disposiciones de la Ley de Concesiones Eléctricas DL N° 25884 y su reglamento DS N° 009–93. EM, los generadores de electricidad reciben remuneración por la energía Generada y por la Potencia Garantizada, la medición de la energía generada y entregada es fácil de medir, pero la medición de la Potencia Garantizada o también conocida como Potencia Firme, es bastante más complicada, necesitando complejos mecanismos de protocolo de medición, que pasamos a describir:

Información General de las Pruebas realizadas (Ensayos):

Para calcular la potencia efectiva de la C.H. Callahuanca, fue utilizada la siguiente información de los ensayos:

Acta de las Pruebas realizadas (Ensayos): Firmada por los representantes de la Consultora, COES, Empresa Información técnica proporcionada por Enel S.A.A.

Datos tomados en campo. (Partes Pertinentes de la Central Hidroeléctrica)

Procedimiento N° 18 del COES SINAC (Determinar la Potencia Efectiva de las Centrales Hidroeléctricas)

Norma IEC 41 (Referencia a supletoria ante falta de norma nacional).

Para analizar y calcular la altura bruta y la Variabilidad de la altura bruta de la central, nos inclinamos por el cálculo realizado por Chávarry (2019) ver anexo 04 y 05.

Análisis y cálculo de la potencia efectiva.

La potencia efectiva, se analizó y calculó siguiendo el procedimiento PR-18 del COES SINAC.

Validación de la potencia activa

El promedio de las mediciones (valor promedio) de la potencia efectiva no pueden exceder del $\pm 1.5 \%$ en las fluctuaciones del promedio neto de las mediciones.

En el cálculo de la potencia efectiva de la central (variabilidad), los valores son mínimos según PR – 18.

Se muestra el resultado para las 04 potencias de las mediciones realizadas, en la siguiente formula:

$$Pe_j = \frac{\sum_1^n Pb_i}{n}$$

Se deduce:

Pe : Potencia Efectiva generada de cada unidad.

P_b : Potencia cada 15 min.

n: # de valores

Al aplicar la fórmula, obtenemos:

$$Pe_1 = 0.16524 \text{ GW}$$

$$Pe_2 = 0.16406 \text{ GW}$$

$$Pe_3 = 0.16407 \text{ GW}$$

$$Pe_4 = 0.34828 \text{ GW}$$

Después aplicamos:

$$PE = \sum_j^k Pe_j$$

Del cual sabemos que:

PE: Potencia Efectiva de la C.H. Callahuanca.

$$PE = Pe_1 + Pe_2 + Pe_3 + Pe_3 + Pe_4$$

$$PE = 16.524 + 16.406 + 16.407 + 34.828 = 84.165 \text{ GW}$$

Tabla 5. Potencia Efectiva (resultados)

Hora	C.H. CALLAHUANCA							
	Grupo 01		Grupo 02		Grupo 03		Grupo 04	
	Potencia (MW)	Variabilidad (%)	Potencia (MW)	Variabilidad (%)	Potencia (MW)	Variabilidad (%)	Potencia (MW)	Variabilidad (%)
13:00	16.52	0.001%	16.42	0.105%	16.41	0.047%	34.86	0.081%
13:15	16.56	0.244%	16.44	0.203%	16.44	0.230%	34.86	0.082%
13:30	16.56	0.207%	16.44	0.202%	16.44	0.222%	34.86	0.084%
13:45	16.55	0.173%	16.44	0.182%	16.43	0.166%	34.90	0.211%
14:00	16.55	0.177%	16.44	0.190%	16.44	0.173%	34.90	0.219%
14:15	16.55	0.155 %	16.43	0.172%	16.43	0.149%	34.89	0.191%
14:30	16.55	0.133 %	16.43	0.142%	16.43	0.128%	34.87	0.159%
14:45	16.54	0.098 %	16.42	0.114%	16.42	0.111%	34.87	0.123%
15:00	16.53	0.056 %	16.42	0.071%	16.42	0.064%	34.86	0.091%
15:15	16.53	0.026%	16.41	0.025%	16.41	0.016%	34.84	0.042%
15:30	16.52	-0.021 %	16.41	-0.003%	16.40	0.012%	34.83	0.016%
15:45	16.51	-0.059 %	16.39	-0.065%	16.40	0.050%	34.81	0.043%
16:00	16.51	-0.089 %	16.39	-0.081%	16.39	0.071%	34.80	0.089%
16:15	16.51	-0.106 %	16.39	-0.125%	16.39	0.096%	34.78	0.126%
16:30	16.50	-0.123%	16.38	-0.129%	16.39	0.121%	34.81	0.041%
16:45	16.50	-0.164%	16.38	-0.175%	16.38	0.157%	34.77	0.178%
17:00	16.50	-0.165 %	16.38	-0.179%	16.38	0.177%	34.76	0.188%
17:15	16.50	-0.159 %	16.37	-0.195%	16.37	0.197%	34.76	0.188%
17:30	16.49	-0.184 %	16.37	-0.208%	16.37	0.201%	34.76	0.193%
17:45	16.49	-0.199%	16.37	-0.245%	16.37	0.224%	34.74	0.253%
Promedio	16.524		16.406		16.407		34.828	

Fuente: Enel, Elaboración propia.

Cálculo de la altura Neta (Hn).

Considerada como la diferencia de la energía de la masa de entrada y con respecto a la salida de una turbina. Esta energía es deducida entre las presiones estáticas y cinéticas respecto a entrada y salida.

Para establecer las energías, se calcula respectivamente entre las áreas y el caudal que se va a calcular. Ver Anexo 05.

Determinación de los parámetros de funcionamiento de la Central Hidroeléctrica.

Para la determinación de los parámetros de operación de la Central Hidroeléctrica, se analizó:

- a) Velocidad específica.
- b) Eficiencia Hidráulica.
- c) Velocidad de ingreso del fluido en turbina.
- d) Diámetro de las turbinas.
- e) Diámetro de tubería de presión.

a) Velocidad Específica.

La determinación de la velocidad específica, permitió verificar el tipo de turbina que utiliza la Central Hidroeléctrica, con los valores de caudal y altura que tiene cada unidad de generación. Su rango de aplicación lo definen los números específicos de revoluciones Nq y Ns , los cuales se obtienen con las fórmulas:

$$Nq = n * \frac{Q^{0.5}}{H^{0.75}}$$

$$Ns = n * \frac{P^{0.5}}{H^{1.25}}$$

Para turbina 1.

Caudal: 4.5 m³/s

Altura: 415m

RPM: 514

Potencia: 16.76 MW

Reemplazando valores se tiene:

$$Nq = 514 * \frac{4.5^{0.5}}{415^{0.75}}$$

$$Nq = 514 * \frac{2.12}{91.94}$$

$$Nq = 11.85$$

Para turbina 2.

Caudal: 4.5 m³/s

Altura: 415m

RPM: 514

Potencia: 16.55 MW

Reemplazando valores se tiene:

$$Nq = 514 * \frac{4.5^{0.5}}{415^{0.75}}$$

$$Nq = 514 * \frac{2.12}{91.94}$$

$$Nq = 11.85$$

Para turbina 3.

Caudal: 4.5 m³/s

Altura: 415m

RPM: 514

Potencia: 16.59 MW

Reemplazando valores se tiene:

$$Nq = 514 * \frac{4.5^{0.5}}{415^{0.75}}$$

$$Nq = 514 * \frac{2.12}{91.94}$$

$$Nq = 11.85$$

Para turbina 4.

Caudal: 9.44 m³/s

Altura: 423.3 m

RPM: 450

Potencia: 34.8 MW

Reemplazando valores se tiene:

$$Nq = 514 * \frac{9.44^{0.5}}{423^{0.75}}$$

$$Nq = 514 * \frac{3.072}{93.27}$$

$$Nq = 16.92$$

Se concluye que las 4 turbinas tienen un número específico que oscilan entre 11.85 y 16.92, los cuales están comprendidas para turbinas Pelton, lo cual se verifica que si cumplen con éste parámetro de diseño.

b) Eficiencia Hidráulica.

La eficiencia hidráulica, relaciona la energía en la salida de la turbina hidráulica, entre la energía total que posee el agua. Teniendo en cuenta ello, y con un valor de eficiencia del generador eléctrico que oscila en 90%, se

determinó el valor de la eficiencia hidráulica de cada una de las unidades de generación.

Unidad de generación 1.

$$e = \frac{0.9.Pe}{\rho.g.Q.H}$$

Dónde:

Pe: Potencia efectiva de Unidad de generación

Q: Caudal en m³/s

H: Altura Neta.

$$e = \frac{0.9 * 16.76 * 10^6}{1000 * 9.81 * 4.5 * 415}$$

$$e = 0.823$$

Unidad de generación 2.

$$e = \frac{0.9.Pe}{\rho.g.Q.H}$$

Dónde:

Pe: Potencia efectiva de Unidad de generación

Q: Caudal en m³/s

H: Altura Neta.

$$e = \frac{0.9 * 16.56 * 10^6}{1000 * 9.81 * 4.5 * 415}$$

$$e = 0.813$$

Unidad de generación 3.

$$e = \frac{0.9.Pe}{\rho.g.Q.H}$$

Dónde:

Pe: Potencia efectiva de Unidad de generación

Q: Caudal en m³/s

H: Altura Neta.

$$e = \frac{0.9 * 16.59 * 10^6}{1000 * 9.81 * 4.5 * 415}$$

$$e = 0.815$$

Unidad de generación 4.

$$e = \frac{0.9.Pe}{\rho.g.Q.H}$$

Dónde:

Pe: Potencia efectiva de Unidad de generación

Q: Caudal en m³/s

H: Altura Neta.

$$e = \frac{0.9 * 34.48 * 10^6}{1000 * 9.81 * 9.44 * 423.3}$$

$$e = 0.791$$

En resumen, se tiene que las eficiencias de las unidades de generación en la central hidroeléctrica fueron:

Eficiencia Unidad de generación hidráulica 1: 82.3%

Eficiencia Unidad de generación hidráulica 2: 81.3%

Eficiencia Unidad de generación hidráulica 3: 81.5%

Eficiencia Unidad de generación hidráulica 4: 79.1%

c) Velocidad de ingreso de fluido en turbina.

La velocidad de ingreso del fluido en la turbina se determinó a partir de balance de energía entre el punto en donde el agua se almacena en la

cámara de carga y el punto de contacto del fluido con los álabes de la turbina Pelton.

La energía que contiene el fluido en la cámara de carga está dada por:

$$\frac{P1}{\gamma} + H1 + \frac{V1^2}{2g}$$

En el cual la presión es la presión de la atmósfera, es decir desde el punto de vista manométrico es de 0; la velocidad del fluido en la cámara de carga, tiene un valor muy pequeño, debido al área de la cámara de carga, por lo tanto, el tercer término de la ecuación de la energía es de 0.

De manera análoga, se hizo el análisis de la energía que tiene el fluido al entrar en contacto con el álabe de la turbina Pelton.

$$\frac{P2}{\gamma} + H2 + \frac{V2^2}{2g}$$

En el cual la presión es la presión de la atmósfera, debido a que el fluido al entrar en contacto con el álabe, está expuesto al medio ambiente, mediante la forma de chorro, es decir desde el punto de vista manométrico es de 0; y si se toma como referencia el nivel de la turbina, la altura es cero; por lo tanto, la energía que tiene el fluido es la energía de velocidad.

Al igualar la energía del fluido en el punto 1 y punto 2, la ecuación que determino la velocidad de ingreso del fluido a la turbina:

$$V2 = 0.98\sqrt{2 \cdot g \cdot H1}$$

Reemplazando valores, para cada una de las unidades de generación hidráulica, se tiene:

Velocidad de ingreso de agua en turbina 1:

$$V = 0.98\sqrt{2 * 9.81 * 415}$$

$$V = 88.43\text{m/s}$$

Velocidad de ingreso de agua en turbina 2:

$$V = 0.98\sqrt{2 * 9.81 * 415}$$

$$V = 88.43\text{m/s}$$

Velocidad de ingreso de agua en turbina 3:

$$V = 0.98\sqrt{2 * 9.81 * 415}$$

$$V = 88.43\text{m/s}$$

Velocidad de ingreso de agua en turbina 4:

$$V = 0.98\sqrt{2 * 9.81 * 423.3}$$

$$V = 89.3\text{m/s}$$

d) Diámetro de las turbinas.

Unidad de Generación 1

Potencia: 16.76 MW

Caudal: 4.5 m³/s

RPM = 514

H = 415 m (Altura Neta)

Triángulo de Euler Entrada

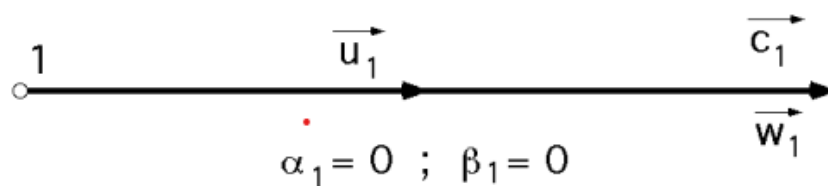


Figura 11. Triángulo de Euler Entrada

Fuente: Elaboración propia

$$\varphi_1 = 0.98 ; \alpha_1 = 0 ; \beta_2 = 15^\circ ; w_2 = 0.70 w_1 ; u_1 = 0.45 c_1$$

$$C1 = \text{Velocidad de ingreso del fluido} = k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H u}$$

Hu: Altura útil.

La altura útil se obtiene a partir de la eficiencia hidráulica y la altura neta

$$Hu = e.Hn = 0.823 * 415$$

$$Hu = 341.54 \text{ m}$$

$$C1 = 0.98 * \sqrt{2 * 9.81 * 341.54} = 80.18 \text{ m/s}$$

U1 = Velocidad Tangencial = Velocidad Angular x Radio. = 0.45 * 80.18 = 36.08 m/s

$$C1 = U1 + W1$$

$$W1 = 80.18 - 36.08 = 44.09 \text{ m/s}$$

$$U = \frac{2.\pi.RPM}{60} * R$$

$$U = 36.08 \text{ m/s}$$

$$Rpm = 514$$

Se obtuvo el radio del rodete:

$$R = 0.6706 \text{ m}$$

Diámetro del rodete = 1.341 m

Triángulo de Euler Salida

Permite determinar la velocidad de salida del agua de la turbina, se realizó el análisis de acuerdo a la relación de la ecuación de Euler.

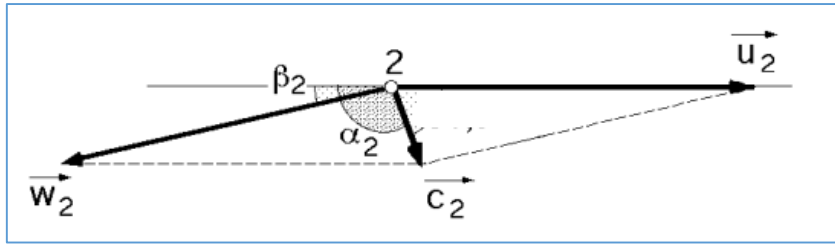


Figura 12. Triángulo de Euler Salida

Fuente: Elaboración propia

$$W_2 = 0.7 W_1 = 0.7 \cdot 44.09 = 30.86 \text{ m/s}$$

$$U_2 = U_1 = 36.08 \text{ m/s}$$

$$c_2 = \sqrt{u_2^2 + w_2^2 + 2u_2w_2\cos\beta_2}$$

$$C_2 = \sqrt{36.08^2 + 30.86^2 - 2 \cdot 30.86 \cdot 36.08 \cdot \cos(15)}$$

$$C_2 = \sqrt{2254 - 2150}$$

$$C_2 = 10.19 \text{ m/s}$$

De manera análoga, se obtienen los valores para la unidad de generación 2 y 3; sin embargo, para la unidad de generación 4, al tener otros valores de caudal y altura, se obtienen valores diferentes, con respecto a la unidad de generación 1, 2 y 3.

Unidad de Generación 4

Potencia: 34.48 MW

Caudal: 9.44 m³/s

RPM = 450

H = 423.3 m (Altura Neta)

Triángulo de Euler Entrada

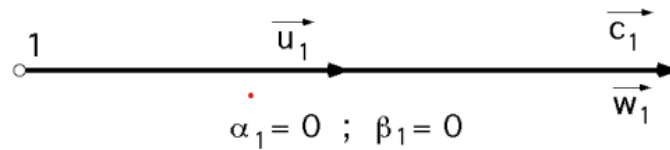


Figura 13. Triángulo de Euler Entrada

Fuente: Elaboración propia

$$\varphi_1 = 0.98 ; \alpha_1 = 0 ; \beta_2 = 15^\circ ; w_2 = 0.70 w_1 ; u_1 = 0.45 c_1$$

$$C_1 = \text{Velocidad de ingreso del fluido} = k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_u}$$

Hu: Altura útil.

La altura útil se obtiene a partir de la eficiencia hidráulica y la altura neta

$$H_u = e \cdot H_n = 0.791 \cdot 423.3$$

$$H_u = 334.8 \text{ m}$$

$$C_1 = 0.98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 334.8} = 79.39 \text{ m/s}$$

$$U_1 = \text{Velocidad Tangencial} = \text{Velocidad Angular} \times \text{Radio} = 0.45 \cdot 79.39 = 35.72 \text{ m/s}$$

$$C_1 = U_1 + W_1$$

$$W_1 = 79.39 - 35.72 = 43.66 \text{ m/s}$$

$$U = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{RPM}}{60} \cdot R$$

$$U = 35.72 \text{ m/s}$$

$$\text{Rpm} = 450$$

Se obtuvo el radio del rodete:

$$R = 0.758 \text{ m}$$

Diámetro del rodete = 1.51m

Triángulo de Euler Salida

Permite determinar la velocidad de la salida del agua de la turbina, se realizó el análisis de acuerdo a la relación de la ecuación de Euler

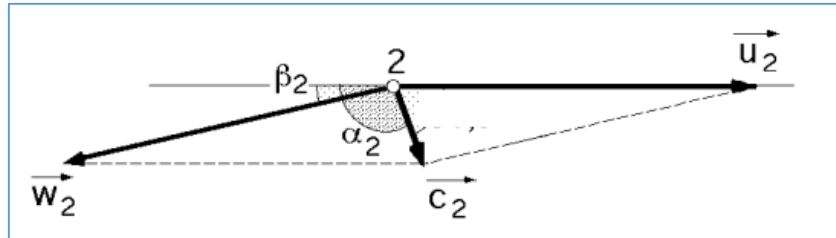


Figura 14. Triángulo de Euler Salida

Fuente: Elaboración propia

$$W_2 = 0.7 W_1 = 0.7 * 43.66 = 30.56 \text{ m/s}$$

$$U_2 = U_1 = 35.72 \text{ m/s}$$

$$c_2 = \sqrt{u_2^2 + w_2^2 + 2u_2w_2\cos\beta_2}$$

$$C_2 = \sqrt{35.72^2 + 30.56^2 - 2 * 30.56 * 35.72 * \cos(15)}$$

$$C_2 = \sqrt{2209 - 2108}$$

$$C_2 = 10.04 \text{ m/s}$$

e) Diámetro de tubería de presión.

Para determinar la presión en la tubería, se analiza mediante la ecuación de Bernoulli, entre el punto 1 que es la interfaz del agua en la cámara de carga con la atmósfera, y el punto 2 que es ingreso de la tubería en la turbina Michel Banki, considerando que la presión atmosférica es de 10332.275 kg/m², el peso específico del agua de 1000 Kg/m³, la altura neta es de 334.8m/s, las pérdidas

de energía por fricción es de 4.59 m, la velocidad del fluido de 79.39 m/s, se tiene:

$$P2 = \gamma \left(\frac{P1}{\gamma} + h - \frac{V2^2}{2g} - hf \right)$$

$$P2 = 1000 \left(\frac{10332.275}{1000} + 334.8 - \frac{79.39^2}{19.6} - 4.59 \right)$$

$$P2 = 1000 \left(\frac{10332.275}{1000} + 334.8 - \frac{79.39^2}{19.6} - 4.59 \right)$$

$$P2 = 24132 \text{ kg/m}^2$$

$$P2 = 24.13 \text{ PSI}$$

Pérdida por efecto de Golpe de Ariete

Se determina a partir de la expresión:

$$\Delta H = \frac{L \cdot V}{g \cdot T}$$

Dónde:

□H: Sobrepresión debida al golpe de ariete (mca)

L: Longitud de la tubería 500m m

V: Velocidad de régimen del agua 79.39m/s

T: Tiempo de parada o de cierre. Para éste caso es cierre lento, se considera T = 10s.

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s²

Reemplazando, se tiene:

$$\Delta H = \frac{500 * 79.39}{9.81 * 10}$$

$$\Delta H = 5.50m$$

Tensiones en Tuberías.

Tensiones Tangencial Ejercida por el Golpe de Ariete

$$\delta_{ta} = \frac{P_s * D}{2e}$$

Donde:

P_s : Presión debido a la columna de agua y la sobrepresión del golpe de ariete (Kg/cm²).

e : Espesor de la tubería (0.0087m) .

D : Diámetro interno de la tubería (0.337 m).

La presión debido a la columna de agua y la sobrepresión del golpe de ariete, se determina con la expresión:

$$P_s = \rho \cdot g \cdot h_3 + P_{atm}$$

Dónde h_3 , es la altura de la columna de agua en la tubería 32.46 m y la altura por el golpe de ariete 5.40m, es decir $h_3 = 32.36 + 5.50 = 37.86\text{m}$

Reemplazando, se tiene:

$$P_s = 1000 * 9.81 * 37.86 + 101325 \text{ Pa}$$

$$P_s = 472731.6 \text{ Pa}$$

$$P_s = 4.82 \text{ kg/cm}^2$$

Luego, reemplazando valores, se obtiene la tensión tangencial ejercida por el golpe de ariete:

$$\delta_a = \frac{4.82 * 0.337}{2 * 0.0087}$$

$$\delta_a = 93.35 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión Longitudinal por Variación de Temperatura

La tensión que se ejerce en la tubería por el efecto del cambio de temperatura, se determina a partir de la expresión:

$$\delta t = E * \alpha * \Delta T$$

Dónde:

δt : Tensión Longitudinal por Variación de Temperatura

E : Módulo de Elasticidad del material. (Kgf/cm²)

α : Coeficiente de dilatación térmica del material (1/°C)

Δt : Variación de la temperatura (°C)

Las juntas de dilatación se pueden encargar de absorber este esfuerzo, las cuales estarían instaladas en cada tramo de tubería por lo que la tensión longitudinal por variación de temperatura sería cero

Tensión Longitudinal por Presión Hidrostática

La tensión que se ejerce en la tubería por el efecto de la presión hidrostática, se determina a partir de la expresión:

$$\delta p = \frac{0.25 * P_s * D^2}{e(e + D)}$$

Ps: Presión debido a la columna de agua y la sobrepresión del golpe de ariete (Kg/cm²).

e: Espesor de la tubería (0.0087m) .

D: Diámetro interno de la tubería (0.337 m).

Reemplazando, se tiene:

$$\delta p = \frac{0.25 * 4.82 * 0.337^2}{0.0087(0.0087 + 0.337)} = 45.50 \text{ Kg/cm}^2$$

Tensión por Flexión entre Apoyos

Para determinar el esfuerzo por flexión debido al momento flector en los tramos de tuberías, se emplea las siguientes expresiones:

$$\delta_f = \frac{Mf_{max}}{W}$$

$$Mf_{max} = F \left(\frac{Ls^2}{8} \right) \sin \theta$$

Dónde:

δ_f = Esfuerzo de tensión por flexión, en Kg/cm².

F: Peso del agua y de la tubería (Kg/m)

Ls: Distancia entre apoyos (m).

θ : Angulo entre la tubería y la vertical.

Mf: Momento flector, en Kg-m

El momento flector máximo tendrá un valor diferente en cada tramo de la tubería de presión, debido que el ángulo θ varía para cada caso. El peso del agua y la tubería es igual a:

$$F = \gamma_1 * \pi * \frac{De^2 - D^2}{4} + \gamma * \pi \frac{D^2}{4}$$

$$F = \gamma_1 * \pi * e * (D + e) + \gamma * \pi \frac{D^2}{4}$$

Donde γ_t : Peso específico de la tubería (Kgf/m³).

Para el PVC $\gamma_t = 1430$ Kg/m³

γ : Peso específico del agua (1000 Kg/m³).

De: Diámetro exterior de la tubería: 355 mm

Por tanto, el peso del agua y la tubería es:

$$F = 1430 * 3.14 * 0.0087 * (0.355 + 0.0087) + 1000 * 3.14 * \frac{0.355^2}{4}$$

$$F = 14.20 + 98.92 = 113.12 \text{ Kg/m}$$

Luego, para determinar la longitud entre apoyos, se utiliza la expresión:

$$L_s = 182.61 \sqrt[3]{\frac{(D + 2e)^4 - D^4}{F}}$$

Reemplazando, se tiene:

$$L_s = 182.61 \sqrt[3]{\frac{(0.355 + 2 * 0.0087)^4 - 0.355^4}{113.12}}$$

$$L_s = 5.82\text{m}$$

Es decir que los apoyos para la tubería de presión, son anclajes con concreto ciclópeo, cada 5.82m.

Con el valor de la distancias entre los apoyos, se determina el momento flector que se ejerce en cada tramo de la tubería de presión.

El angulo de inclinación de la tubería de presión es de 18.36°

Reemplazando, se tiene:

$$M_f = 113.12 \left(\frac{5.82^2}{8} \right) * \text{Sen}18.36$$

$$M_f = 150.86 \text{ Kg - m}$$

El momento de resistencia W es igual:

$$W = \frac{I}{Y}$$

Dónde:

I: Momento de Inercia de la sección de la tubería.

Y: Distancia desde el punto a de apoyo hasta el eje neutro.

El momento de inercia para la sección de la tubería está dado por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\pi}{64} (De^4 - D^4)$$

$$\gamma = \frac{De}{2}$$

$$W = \frac{\frac{\pi}{64} (De^4 - D^4)}{\frac{De}{2}}$$

Reemplazando valores de las dimensiones del diámetro exterior e interior de la tubería seleccionada, se tiene:

$$W = \frac{\frac{\pi}{64} (0.355^4 - 0.337^4)}{\frac{0.355}{2}}$$

El momento de resistencia es igual a :

$$W = 0.000213 \text{ m}^3$$

Con ello, se determina el esfuerzo de tensión por flexión:

$$\delta f = 70.826 \text{ kg/m}^2$$

Se tiene el registro de la medición de caudales y de la potencia de generación de cada unidad, durante el periodo de 24 horas, para 5 días distintos de registro de medición, el en cual se determinó el valor de la eficiencia hidráulica de funcionamiento de cada unidad de generación.

Tabla 6. *Medición de caudal, Potencia generada y eficiencia hidráulica 1*

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
Unidad de Generación 1 Potencia Efectiva: 16,760 MW Altura Neta:415m Tensión de Generación Nominal: 10 KV Caudal Nominal: 4.5 m3/s	1	1	2.1	7.01	0.773
		2	1.78	5.94	0.765
		3	1.98	6.61	0.770
		4	2.11	7.04	0.773
		5	1.87	6.24	0.767
		6	1.87	6.24	0.767
		7	2.14	7.14	0.774
		8	2.47	8.25	0.780
		9	2.74	9.15	0.784

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		10	2.65	8.85	0.783
		11	2.54	8.48	0.781
		12	2.54	8.48	0.781
		13	2.12	7.08	0.774
		14	2.14	7.14	0.774
		15	2.11	7.04	0.773
		16	2.45	8.18	0.780
		17	2.54	8.48	0.781
		18	2.56	8.55	0.782
		19	2.61	8.71	0.782
		20	2.51	8.38	0.781
		21	2.62	8.75	0.782
		22	2.54	8.48	0.781
		23	2.47	8.25	0.780
		24	2.21	7.38	0.776
	2	1	1.9	6.34	0.768
		2	1.58	5.27	0.758
		3	1.78	5.94	0.765
		4	1.91	6.38	0.769
		5	1.67	5.58	0.761
		6	1.67	5.58	0.761
		7	1.94	6.48	0.769
		8	2.27	7.58	0.777
		9	2.54	8.48	0.781
		10	2.45	8.18	0.780
		11	2.34	7.81	0.778
		12	2.34	7.81	0.778
		13	1.92	6.41	0.769
		14	1.94	6.48	0.769
		15	1.91	6.38	0.769
		16	2.25	7.51	0.776
		17	2.34	7.81	0.778
		18	2.36	7.88	0.778
		19	2.41	8.05	0.779
		20	2.31	7.71	0.777
		21	2.42	8.08	0.779
		22	2.34	7.81	0.778
		23	2.27	7.58	0.777

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		24	2.01	6.71	0.771
	3	1	2.05	6.84	0.772
		2	1.73	5.78	0.763
		3	1.93	6.44	0.769
		4	2.06	6.88	0.772
		5	1.82	6.08	0.766
		6	1.82	6.08	0.766
		7	2.09	6.98	0.773
		8	2.42	8.08	0.779
		9	2.69	8.98	0.783
		10	2.6	8.68	0.782
		11	2.49	8.31	0.781
		12	2.49	8.31	0.781
		13	2.07	6.91	0.773
		14	2.09	6.98	0.773
		15	2.06	6.88	0.772
		16	2.4	8.01	0.779
		17	2.49	8.31	0.781
		18	2.51	8.38	0.781
		19	2.56	8.55	0.782
		20	2.46	8.21	0.780
		21	2.57	8.58	0.782
		22	2.49	8.31	0.781
		23	2.42	8.08	0.779
		24	2.16	7.21	0.775
	4	1	2.26	7.54	0.777
		2	1.94	6.48	0.769
		3	2.14	7.14	0.774
		4	2.27	7.58	0.777
		5	2.03	6.78	0.772
		6	2.03	6.78	0.772
		7	2.3	7.68	0.777
		8	2.63	8.78	0.783
		9	2.9	9.68	0.786
		10	2.81	9.38	0.785
		11	2.7	9.01	0.784
		12	2.7	9.01	0.784

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica	
		13	2.28	7.61	0.777	
		14	2.3	7.68	0.777	
		15	2.27	7.58	0.777	
		16	2.61	8.71	0.782	
		17	2.7	9.01	0.784	
		18	2.72	9.08	0.784	
		19	2.77	9.25	0.785	
		20	2.67	8.91	0.783	
		21	2.78	9.28	0.785	
		22	2.7	9.01	0.784	
		23	2.63	8.78	0.783	
		24	2.37	7.91	0.779	
	5		1	2.05	6.84	0.772
			2	1.73	5.78	0.763
			3	1.93	6.44	0.769
			4	2.06	6.88	0.772
			5	1.82	6.08	0.766
			6	1.82	6.08	0.766
			7	2.09	6.98	0.773
			8	2.42	8.08	0.779
			9	2.69	8.98	0.783
			10	2.6	8.68	0.782
			11	2.49	8.31	0.781
			12	2.49	8.31	0.781
			13	2.07	6.91	0.773
6		1	2.1	7.62	0.809	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		2	1.78	6.55	0.808
		3	1.98	7.22	0.809
		4	2.11	7.65	0.810
		5	1.87	6.85	0.808
		6	1.87	6.85	0.808
		7	2.14	7.75	0.810
		8	2.47	8.86	0.811
		9	2.74	9.76	0.812
		10	2.65	9.46	0.812
		11	2.54	9.09	0.811
		12	2.54	9.09	0.811
		13	2.12	7.69	0.810
		14	2.14	7.75	0.810
		15	2.11	7.65	0.810
		16	2.45	8.79	0.811
		17	2.54	9.09	0.811
		18	2.56	9.16	0.811
		19	2.61	9.32	0.812
		20	2.51	8.99	0.811
		21	2.62	9.36	0.812
		22	2.54	9.09	0.811
		23	2.47	8.86	0.811
		24	2.21	7.99	0.810
	7	1	1.9	6.95	0.808
		2	1.58	5.88	0.806
		3	1.78	6.55	0.808
		4	1.91	6.99	0.808
		5	1.67	6.19	0.807
		6	1.67	6.19	0.807
		7	1.94	7.09	0.809
		8	2.27	8.19	0.810
		9	2.54	9.09	0.811
		10	2.45	8.79	0.811
		11	2.34	8.42	0.811
		12	2.34	8.42	0.811
		13	1.92	7.02	0.808
		14	1.94	7.09	0.809
		15	1.91	6.99	0.808

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		16	2.25	8.12	0.810
		17	2.34	8.42	0.811
		18	2.36	8.49	0.811
		19	2.41	8.66	0.811
		20	2.31	8.32	0.810
		21	2.42	8.69	0.811
		22	2.34	8.42	0.811
		23	2.27	8.19	0.810
		24	2.01	7.32	0.809
	8	1	2.05	7.45	0.809
		2	1.73	6.39	0.807
		3	1.93	7.05	0.809
		4	2.06	7.49	0.809
		5	1.82	6.69	0.808
		6	1.82	6.69	0.808
		7	2.09	7.59	0.809
		8	2.42	8.69	0.811
		9	2.69	9.59	0.812
		10	2.6	9.29	0.811
		11	2.49	8.92	0.811
		12	2.49	8.92	0.811
		13	2.07	7.52	0.809
		14	2.09	7.59	0.809
		15	2.06	7.49	0.809
		16	2.4	8.62	0.811
		17	2.49	8.92	0.811
		18	2.51	8.99	0.811
		19	2.56	9.16	0.811
		20	2.46	8.82	0.811
		21	2.57	9.19	0.811
		22	2.49	8.92	0.811
		23	2.42	8.69	0.811
24		2.16	7.82	0.810	
9	1	2.26	8.15	0.810	
	2	1.94	7.09	0.809	
	3	2.14	7.75	0.810	
	4	2.27	8.19	0.810	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		5	2.03	7.39	0.809
		6	2.03	7.39	0.809
		7	2.3	8.29	0.810
		8	2.63	9.39	0.812
		9	2.9	10.29	0.812
		10	2.81	9.99	0.812
		11	2.7	9.62	0.812
		12	2.7	9.62	0.812
		13	2.28	8.22	0.810
		14	2.3	8.29	0.810
		15	2.27	8.19	0.810
		16	2.61	9.32	0.812
		17	2.7	9.62	0.812
		18	2.72	9.69	0.812
		19	2.77	9.86	0.812
		20	2.67	9.52	0.812
		21	2.78	9.89	0.812
		22	2.7	9.62	0.812
		23	2.63	9.39	0.812
		24	2.37	8.52	0.811
	10	1	2.05	7.45	0.809
		2	1.73	6.39	0.807
		3	1.93	7.05	0.809
		4	2.06	7.49	0.809
		5	1.82	6.69	0.808
		6	1.82	6.69	0.808
		7	2.09	7.59	0.809
		8	2.42	8.69	0.811
		9	2.69	9.59	0.812
		10	2.6	9.29	0.811
		11	2.49	8.92	0.811
		12	2.49	8.92	0.811
		13	2.07	7.52	0.809
		14	2.09	7.59	0.809
		15	2.06	7.49	0.809
		16	2.4	8.62	0.811
		17	2.49	8.92	0.801
		18	2.51	8.99	0.801

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		19	2.56	9.16	0.802
		20	2.46	8.82	0.801
		21	2.57	9.19	0.802
		22	2.49	8.92	0.801
		23	2.42	8.69	0.801
		24	2.16	7.82	0.798

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Medición de caudal, Potencia generada y eficiencia hidráulica 2.

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
Unidad de Generación 2 Potencia Efectiva: 16,760 MW Altura Neta: 415m Tensión de Generación Nominal: 10 KV Caudal Nominal: 4.5 m3/s	1	1	2.24	7.48	0.776
		2	1.92	6.41	0.769
		3	2.12	7.08	0.774
		4	2.25	7.51	0.776
		5	2.01	6.71	0.771
		6	2.01	6.71	0.771
		7	2.28	7.61	0.777
		8	2.61	8.71	0.782
		9	2.88	9.61	0.786
		10	2.79	9.31	0.785
		11	2.68	8.95	0.783
		12	2.68	8.95	0.783
		13	2.26	7.54	0.777
		14	2.28	7.61	0.777
		15	2.25	7.51	0.776
		16	2.59	8.65	0.782
		17	2.68	8.95	0.783
		18	2.7	9.01	0.784
		19	2.75	9.18	0.784
		20	2.65	8.85	0.783
		21	2.76	9.21	0.784
		22	2.68	8.95	0.783
		23	2.61	8.71	0.782
		24	2.35	7.85	0.778

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
	2	1	2.04	6.81	0.772
		2	1.72	5.74	0.763
		3	1.92	6.41	0.769
		4	2.05	6.84	0.772
		5	1.81	6.04	0.766
		6	1.81	6.04	0.766
		7	2.08	6.94	0.773
		8	2.41	8.05	0.779
		9	2.68	8.95	0.783
		10	2.59	8.65	0.782
		11	2.48	8.28	0.780
		12	2.48	8.28	0.780
		13	2.06	6.88	0.772
		14	2.08	6.94	0.773
		15	2.05	6.84	0.772
		16	2.39	7.98	0.779
		17	2.48	8.28	0.780
		18	2.5	8.35	0.781
		19	2.55	8.51	0.781
		20	2.45	8.18	0.780
		21	2.56	8.55	0.782
		22	2.48	8.28	0.780
		23	2.41	8.05	0.779
		24	2.15	7.18	0.774
	3	1	3.04	10.15	0.788
		2	2.72	9.08	0.784
		3	2.92	9.75	0.786
		4	3.05	10.18	0.788
		5	2.81	9.38	0.785
		6	2.81	9.38	0.785
		7	3.08	10.28	0.788
		8	3.41	11.38	0.791
		9	3.68	12.29	0.793
		10	3.59	11.98	0.793
		11	3.48	11.62	0.792
		12	3.48	11.62	0.792
		13	3.06	10.22	0.788
		14	3.08	10.28	0.788

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		15	3.05	10.18	0.788
		16	3.39	11.32	0.791
		17	3.48	11.62	0.792
		18	3.5	11.68	0.792
		19	3.55	11.85	0.792
		20	3.45	11.52	0.792
		21	3.56	11.88	0.792
		22	3.48	11.62	0.792
		23	3.41	11.38	0.791
		24	3.15	10.52	0.789
	4	1	2.4	8.01	0.779
		2	2.08	6.94	0.773
		3	2.28	7.61	0.777
		4	2.41	8.05	0.779
		5	2.17	7.24	0.775
		6	2.17	7.24	0.775
		7	2.44	8.15	0.780
		8	2.77	9.25	0.785
		9	3.04	10.15	0.788
		10	2.95	9.85	0.787
		11	2.84	9.48	0.785
		12	2.84	9.48	0.785
		13	2.42	8.08	0.779
		14	2.44	8.15	0.780
		15	2.41	8.05	0.779
		16	2.75	9.18	0.784
		17	2.84	9.48	0.785
		18	2.86	9.55	0.786
		19	2.91	9.71	0.786
		20	2.81	9.38	0.785
21		2.92	9.75	0.786	
22		2.84	9.48	0.785	
23		2.77	9.25	0.785	
24		2.51	8.38	0.781	
5	1	2.19	7.31	0.775	
	2	1.87	6.24	0.767	
	3	2.07	6.91	0.773	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		4	2.2	7.34	0.775
		5	1.96	6.54	0.770
		6	1.96	6.54	0.770
		7	2.23	7.44	0.776
		8	2.56	8.55	0.782
		9	2.83	9.45	0.785
		10	2.74	9.15	0.784
		11	2.63	8.78	0.783
		12	2.63	8.78	0.783
		13	2.21	7.38	0.776
		14	2.23	7.44	0.776
		15	2.2	7.34	0.775
		16	2.54	8.48	0.781
		17	2.63	8.78	0.783
		18	2.65	8.85	0.783
		19	2.7	9.01	0.784
		20	2.6	8.68	0.782
		21	2.71	9.05	0.784
		22	2.63	8.78	0.783
		23	2.56	8.55	0.782
		24	2.3	7.68	0.777
	6	1	2.69	8.98	0.783
	6	2	2.37	7.91	0.779
	6	3	2.57	8.58	0.782
	6	4	2.7	9.01	0.784
	6	5	2.46	8.21	0.780
	6	6	2.46	8.21	0.780
	6	7	2.73	9.11	0.784
	6	8	3.06	10.22	0.788
	6	9	3.33	11.12	0.790
	6	10	3.24	10.82	0.790
	6	11	3.13	10.45	0.789
	6	12	3.13	10.45	0.789
	6	13	2.71	9.05	0.784
	6	14	2.73	9.11	0.784
	6	15	2.7	9.01	0.784
	6	16	3.04	10.15	0.788
	6	17	3.13	10.45	0.789

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		18	3.15	10.52	0.789
		19	3.2	10.68	0.789
		20	3.1	10.35	0.788
		21	3.21	10.72	0.789
		22	3.13	10.45	0.789
		23	3.06	10.22	0.788
		24	2.8	9.35	0.785
	7	1	2.49	8.31	0.781
		2	2.17	7.24	0.775
		3	2.37	7.91	0.779
		4	2.5	8.35	0.781
		5	2.26	7.54	0.777
		6	2.26	7.54	0.777
		7	2.53	8.45	0.781
		8	2.86	9.55	0.786
		9	3.13	10.45	0.789
		10	3.04	10.15	0.788
		11	2.93	9.78	0.786
		12	2.93	9.78	0.786
		13	2.51	8.38	0.781
		14	2.53	8.45	0.781
		15	2.5	8.35	0.781
		16	2.84	9.48	0.785
		17	2.93	9.78	0.786
		18	2.95	9.85	0.787
		19	3	10.02	0.787
		20	2.9	9.68	0.786
		21	3.01	10.05	0.787
		22	2.93	9.78	0.786
		23	2.86	9.55	0.786
24	2.6	8.68	0.782		
8	1	3.49	11.65	0.792	
	2	3.17	10.58	0.789	
	3	3.37	11.25	0.791	
	4	3.5	11.68	0.792	
	5	3.26	10.88	0.790	
	6	3.26	10.88	0.790	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		7	3.53	11.78	0.792
		8	3.86	12.89	0.795
		9	4.13	13.79	0.796
		10	4.04	13.49	0.796
		11	3.93	13.12	0.795
		12	3.93	13.12	0.795
		13	3.51	11.72	0.792
		14	3.53	11.78	0.792
		15	3.5	11.68	0.792
		16	3.84	12.82	0.794
		17	3.93	13.12	0.795
		18	3.95	13.19	0.795
		19	4	13.35	0.795
		20	3.9	13.02	0.795
		21	4.01	13.39	0.795
		22	3.93	13.12	0.795
		23	3.86	12.89	0.795
		24	3.6	12.02	0.793
	9	1	2.85	9.51	0.786
		2	2.53	8.45	0.781
		3	2.73	9.11	0.784
		4	2.86	9.55	0.786
		5	2.62	8.75	0.782
		6	2.62	8.75	0.782
		7	2.89	9.65	0.786
		8	3.22	10.75	0.789
		9	3.49	11.65	0.792
		10	3.4	11.35	0.791
		11	3.29	10.98	0.790
		12	3.29	10.98	0.790
		13	2.87	9.58	0.786
		14	2.89	9.65	0.786
		15	2.86	9.55	0.786
		16	3.2	10.68	0.789
		17	3.29	10.98	0.790
		18	3.31	11.05	0.790
		19	3.36	11.22	0.791
		20	3.26	10.88	0.790

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m ³ /s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		21	3.37	11.25	0.791
		22	3.29	10.98	0.790
		23	3.22	10.75	0.789
		24	2.96	9.88	0.787
	10	1	2.64	8.81	0.783
		2	2.32	7.74	0.778
		3	2.52	8.41	0.781
		4	2.65	8.85	0.783
		5	2.41	8.05	0.779
		6	2.41	8.05	0.779
		7	2.68	8.95	0.783
		8	3.01	10.05	0.787
		9	3.28	10.95	0.790
		10	3.19	10.65	0.789
		11	3.08	10.28	0.788
		12	3.08	10.28	0.788
		13	2.66	8.88	0.783
		14	2.68	8.95	0.783
		15	2.65	8.85	0.783
		16	2.99	9.98	0.787
		17	3.08	10.28	0.788
		18	3.1	10.35	0.788
		19	3.15	10.52	0.789
		20	3.05	10.18	0.788
		21	3.16	10.55	0.789
		22	3.08	10.28	0.788
		23	3.01	10.05	0.787
		24	2.75	9.18	0.784

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. *Medición de caudal, Potencia generada y eficiencia hidráulica 3*

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m ³ /s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
Unidad de Generación 3	1	1	2.1	7.28	0.776
		2	1.78	6.21	0.768

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica	
Potencia Efectiva: 16,760 MW Altura Neta:415m Tensión de Generación Nominal: 10 KV Caudal Nominal: 4.5 m3/s		3	1.98	6.88	0.773	
		4	2.11	7.31	0.776	
		5	1.87	6.51	0.770	
		6	1.87	6.51	0.770	
		7	2.14	7.41	0.776	
		8	2.47	8.52	0.782	
		9	2.74	9.42	0.786	
		10	2.65	9.12	0.785	
		11	2.54	8.75	0.783	
		12	2.54	8.75	0.783	
		13	2.12	7.35	0.776	
		14	2.14	7.41	0.776	
		15	2.11	7.31	0.776	
		16	2.45	8.45	0.782	
		17	2.54	8.75	0.783	
		18	2.56	8.82	0.784	
		19	2.61	8.98	0.784	
		20	2.51	8.65	0.783	
		21	2.62	9.02	0.784	
		22	2.54	8.75	0.783	
		23	2.47	8.52	0.782	
		24	2.21	7.65	0.778	
		2	1	1.9	6.61	0.771
		2	2	1.58	5.54	0.761
	2	3	1.78	6.21	0.768	
	2	4	1.91	6.65	0.771	
	2	5	1.67	5.85	0.764	
	2	6	1.67	5.85	0.764	
	2	7	1.94	6.75	0.772	
	2	8	2.27	7.85	0.779	
	2	9	2.54	8.75	0.783	
	2	10	2.45	8.45	0.782	
2	11	2.34	8.08	0.780		
2	12	2.34	8.08	0.780		
2	13	1.92	6.68	0.771		
2	14	1.94	6.75	0.772		
2	15	1.91	6.65	0.771		
2	16	2.25	7.78	0.779		

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		17	2.34	8.08	0.780
		18	2.36	8.15	0.780
		19	2.41	8.32	0.781
		20	2.31	7.98	0.780
		21	2.42	8.35	0.781
		22	2.34	8.08	0.780
		23	2.27	7.85	0.779
		24	2.01	6.98	0.774
	3	1	2.05	7.11	0.774
		2	1.73	6.05	0.766
		3	1.93	6.71	0.772
		4	2.06	7.15	0.775
		5	1.82	6.35	0.769
		6	1.82	6.35	0.769
		7	2.09	7.25	0.775
		8	2.42	8.35	0.781
		9	2.69	9.25	0.785
		10	2.6	8.95	0.784
		11	2.49	8.58	0.783
		12	2.49	8.58	0.783
		13	2.07	7.18	0.775
		14	2.09	7.25	0.775
		15	2.06	7.15	0.775
		16	2.4	8.28	0.781
		17	2.49	8.58	0.783
		18	2.51	8.65	0.783
		19	2.56	8.82	0.784
		20	2.46	8.48	0.782
		21	2.57	8.85	0.784
		22	2.49	8.58	0.783
		23	2.42	8.35	0.781
		24	2.16	7.48	0.777
4	1	2.26	7.81	0.779	
	2	1.94	6.75	0.772	
	3	2.14	7.41	0.776	
	4	2.27	7.85	0.779	
	5	2.03	7.05	0.774	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		6	2.03	7.05	0.774
		7	2.3	7.95	0.779
		8	2.63	9.05	0.785
		9	2.9	9.95	0.788
		10	2.81	9.65	0.787
		11	2.7	9.28	0.785
		12	2.7	9.28	0.785
		13	2.28	7.88	0.779
		14	2.3	7.95	0.779
		15	2.27	7.85	0.779
		16	2.61	8.98	0.784
		17	2.7	9.28	0.785
		18	2.72	9.35	0.786
		19	2.77	9.52	0.786
		20	2.67	9.18	0.785
		21	2.78	9.55	0.786
		22	2.7	9.28	0.785
		23	2.63	9.05	0.785
		24	2.37	8.18	0.781
	5	1	2.05	7.12	0.758
		2	1.73	6.06	0.746
		3	1.93	6.72	0.754
		4	2.06	7.16	0.758
		5	1.82	6.36	0.750
		6	1.82	6.36	0.750
		7	2.09	7.26	0.759
		8	2.42	8.36	0.767
		9	2.69	9.26	0.773
		10	2.6	8.96	0.771
		11	2.49	8.59	0.769
		12	2.49	8.59	0.769
		13	2.07	7.19	0.758
		14	2.09	7.26	0.759
		15	2.06	7.16	0.758
		16	2.4	8.29	0.767
		17	2.49	8.59	0.769
		18	2.51	8.66	0.769
		19	2.56	8.83	0.770

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		20	2.46	8.49	0.768
		21	2.57	8.86	0.770
		22	2.49	8.59	0.769
		23	2.42	8.36	0.767
		24	2.16	7.49	0.761
	6	1	2.1	7.90	0.831
		2	1.78	6.83	0.832
		3	1.98	7.50	0.831
		4	2.11	7.93	0.830
		5	1.87	7.13	0.832
		6	1.87	7.13	0.832
		7	2.14	8.03	0.830
		8	2.47	9.14	0.829
		9	2.74	10.04	0.828
		10	2.65	9.74	0.828
		11	2.54	9.37	0.829
		12	2.54	9.37	0.829
		13	2.12	7.97	0.830
		14	2.14	8.03	0.830
		15	2.11	7.93	0.830
		16	2.45	9.07	0.829
		17	2.54	9.37	0.829
		18	2.56	9.44	0.829
		19	2.61	9.60	0.828
		20	2.51	9.27	0.829
		21	2.62	9.64	0.828
		22	2.54	9.37	0.829
		23	2.47	9.14	0.829
		24	2.21	8.27	0.830
	7	1	1.9	7.23	0.832
		2	1.58	6.16	0.834
		3	1.78	6.83	0.832
4		1.91	7.27	0.832	
5		1.67	6.47	0.833	
6		1.67	6.47	0.833	
7		1.94	7.37	0.831	
8		2.27	8.47	0.830	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		9	2.54	9.37	0.829
		10	2.45	9.07	0.829
		11	2.34	8.70	0.829
		12	2.34	8.70	0.829
		13	1.92	7.30	0.832
		14	1.94	7.37	0.831
		15	1.91	7.27	0.832
		16	2.25	8.40	0.830
		17	2.34	8.70	0.829
		18	2.36	8.77	0.829
		19	2.41	8.94	0.829
		20	2.31	8.60	0.830
		21	2.42	8.97	0.829
		22	2.34	8.70	0.829
		23	2.27	8.47	0.830
		24	2.01	7.60	0.831
	8	1	2.05	7.73	0.801
		2	1.73	6.67	0.797
		3	1.93	7.33	0.800
		4	2.06	7.77	0.801
		5	1.82	6.97	0.798
		6	1.82	6.97	0.798
		7	2.09	7.87	0.801
		8	2.42	8.97	0.804
		9	2.69	9.87	0.805
		10	2.6	9.57	0.805
		11	2.49	9.20	0.804
		12	2.49	9.20	0.804
		13	2.07	7.80	0.801
		14	2.09	7.87	0.801
		15	2.06	7.77	0.801
		16	2.4	8.90	0.804
		17	2.49	9.20	0.804
		18	2.51	9.27	0.804
		19	2.56	9.44	0.805
		20	2.46	9.10	0.804
		21	2.57	9.47	0.805
		22	2.49	9.20	0.804

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		23	2.42	8.97	0.804
		24	2.16	8.10	0.802
	9	1	2.26	8.43	0.803
		2	1.94	7.37	0.800
		3	2.14	8.03	0.802
		4	2.27	8.47	0.803
		5	2.03	7.67	0.801
		6	2.03	7.67	0.801
		7	2.3	8.57	0.803
		8	2.63	9.67	0.805
		9	2.9	10.57	0.806
		10	2.81	10.27	0.806
		11	2.7	9.90	0.805
		12	2.7	9.90	0.805
		13	2.28	8.50	0.803
		14	2.3	8.57	0.803
		15	2.27	8.47	0.803
		16	2.61	9.60	0.805
		17	2.7	9.90	0.805
		18	2.72	9.97	0.806
		19	2.77	10.14	0.806
		20	2.67	9.80	0.805
		21	2.78	10.17	0.806
		22	2.7	9.90	0.805
		23	2.63	9.67	0.805
		24	2.37	8.80	0.803
	10	1	2.05	7.73	0.801
		2	1.73	6.67	0.797
		3	1.93	7.33	0.800
		4	2.06	7.77	0.801
		5	1.82	6.97	0.798
		6	1.82	6.97	0.798
7		2.09	7.87	0.801	
8		2.42	8.97	0.804	
9		2.69	9.87	0.805	
10		2.6	9.57	0.805	
11		2.49	9.20	0.804	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		12	2.49	9.20	0.804
		13	2.07	7.80	0.801
		14	2.09	7.87	0.801
		15	2.06	7.77	0.801
		16	2.4	8.90	0.804
		17	2.49	9.20	0.804
		18	2.51	9.27	0.804
		19	2.56	9.44	0.805
		20	2.46	9.10	0.804
		21	2.57	9.47	0.805
		22	2.49	9.20	0.804
		23	2.42	8.97	0.804
		24	2.16	8.10	0.802

Tabla 9. Medición de caudal, Potencia generada y eficiencia hidráulica 4

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
Unidad de Generación 4 Potencia Efectiva: 34.4 MW Altura Neta: 423.3m Tensión de Generación Nominal: 10 KV Caudal Nominal: 9.44 m3/s	1	1	5.88	20.20	0.801
		2	4.98	17.13	0.793
		3	5.54	19.05	0.798
		4	5.91	20.30	0.801
		5	5.24	17.99	0.796
		6	5.24	17.99	0.796
		7	5.99	20.59	0.802
		8	6.92	23.76	0.807
		9	7.67	26.36	0.811
		10	7.42	25.50	0.810
		11	7.11	24.44	0.808
		12	7.11	24.44	0.808
		13	5.94	20.40	0.801
		14	5.99	20.59	0.802
		15	5.91	20.30	0.801
		16	6.86	23.57	0.807
		17	7.11	24.44	0.808
		18	7.17	24.63	0.809

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		19	7.31	25.11	0.809
		20	7.03	24.15	0.808
		21	7.34	25.21	0.810
		22	7.11	24.44	0.808
		23	6.92	23.76	0.807
		24	6.19	21.26	0.803
	2	1	5.32	18.28	0.796
		2	4.42	15.20	0.787
		3	4.98	17.13	0.793
		4	5.35	18.38	0.797
		5	4.68	16.07	0.790
		6	4.68	16.07	0.790
		7	5.43	18.66	0.797
		8	6.36	21.84	0.804
		9	7.11	24.44	0.808
		10	6.86	23.57	0.807
		11	6.55	22.51	0.805
		12	6.55	22.51	0.805
		13	5.38	18.47	0.797
		14	5.43	18.66	0.797
		15	5.35	18.38	0.797
		16	6.30	21.65	0.804
		17	6.55	22.51	0.805
		18	6.61	22.71	0.806
		19	6.75	23.19	0.807
		20	6.47	22.22	0.805
		21	6.78	23.28	0.807
		22	6.55	22.51	0.805
		23	6.36	21.84	0.804
		24	5.63	19.34	0.799
3	1	5.74	19.72	0.800	
	2	4.84	16.64	0.792	
	3	5.40	18.57	0.797	
	4	5.77	19.82	0.800	
	5	5.10	17.51	0.794	
	6	5.10	17.51	0.794	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		7	5.85	20.11	0.801
		8	6.78	23.28	0.807
		9	7.53	25.88	0.810
		10	7.28	25.01	0.809
		11	6.97	23.96	0.808
		12	6.97	23.96	0.808
		13	5.80	19.92	0.800
		14	5.85	20.11	0.801
		15	5.77	19.82	0.800
		16	6.72	23.09	0.806
		17	6.97	23.96	0.808
		18	7.03	24.15	0.808
		19	7.17	24.63	0.809
		20	6.89	23.67	0.807
		21	7.20	24.73	0.809
		22	6.97	23.96	0.808
		23	6.78	23.28	0.807
		24	6.05	20.78	0.802
	4	1	6.33	21.74	0.804
		2	5.43	18.66	0.797
		3	5.99	20.59	0.802
		4	6.36	21.84	0.804
		5	5.68	19.53	0.799
		6	5.68	19.53	0.799
		7	6.44	22.13	0.805
		8	7.36	25.30	0.810
		9	8.12	27.90	0.813
		10	7.87	27.03	0.812
		11	7.56	25.98	0.811
		12	7.56	25.98	0.811
		13	6.38	21.94	0.804
		14	6.44	22.13	0.805
		15	6.36	21.84	0.804
		16	7.31	25.11	0.809
		17	7.56	25.98	0.811
		18	7.62	26.17	0.811

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		19	7.76	26.65	0.811
		20	7.48	25.69	0.810
		21	7.78	26.75	0.811
		22	7.56	25.98	0.811
		23	7.36	25.30	0.810
		24	6.64	22.80	0.806
	5	1	5.74	19.72	0.794
		2	4.84	16.64	0.784
		3	5.40	18.57	0.790
		4	5.77	19.82	0.794
		5	5.10	17.51	0.787
		6	5.10	17.51	0.787
		7	5.85	20.11	0.794
		8	6.78	23.28	0.801
		9	7.53	25.88	0.806
		10	7.28	25.01	0.804
		11	6.97	23.96	0.802
		12	6.97	23.96	0.802
		13	5.80	19.92	0.794
		14	5.85	20.11	0.794
		15	5.77	19.82	0.794
		16	6.72	23.09	0.801
		17	6.97	23.96	0.802
		18	7.03	24.15	0.803
		19	7.17	24.63	0.804
		20	6.89	23.67	0.802
		21	7.20	24.73	0.804
		22	6.97	23.96	0.802
		23	6.78	23.28	0.801
		24	6.05	20.78	0.796
6	1	5.88	20.20	0.795	
	2	4.98	17.13	0.786	
	3	5.54	19.05	0.792	
	4	5.91	20.30	0.795	
	5	5.24	17.99	0.789	
	6	5.24	17.99	0.789	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		7	5.99	20.59	0.796
		8	6.92	23.76	0.802
		9	7.67	26.36	0.806
		10	7.42	25.50	0.805
		11	7.11	24.44	0.803
		12	7.11	24.44	0.803
		13	5.94	20.40	0.795
		14	5.99	20.59	0.796
		15	5.91	20.30	0.795
		16	6.86	23.57	0.802
		17	7.11	24.44	0.803
		18	7.17	24.63	0.804
		19	7.31	25.11	0.804
		20	7.03	24.15	0.803
		21	7.34	25.21	0.804
		22	7.11	24.44	0.803
		23	6.92	23.76	0.802
		24	6.19	21.26	0.797
	7	1	5.32	18.28	0.790
		2	4.42	15.20	0.778
		3	4.98	17.13	0.786
		4	5.35	18.38	0.790
		5	4.68	16.07	0.782
		6	4.68	16.07	0.782
		7	5.43	18.66	0.791
		8	6.36	21.84	0.798
		9	7.11	24.44	0.803
		10	6.86	23.57	0.802
		11	6.55	22.51	0.800
		12	6.55	22.51	0.800
		13	5.38	18.47	0.790
		14	5.43	18.66	0.791
		15	5.35	18.38	0.790
		16	6.30	21.65	0.798
		17	6.55	22.51	0.800
		18	6.61	22.71	0.800

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		19	6.75	23.19	0.801
		20	6.47	22.22	0.799
		21	6.78	23.28	0.801
		22	6.55	22.51	0.800
		23	6.36	21.84	0.798
		24	5.63	19.34	0.792
	8	1	5.74	19.72	0.783
		2	4.84	16.64	0.771
		3	5.40	18.57	0.779
		4	5.77	19.82	0.783
		5	5.10	17.51	0.775
		6	5.10	17.51	0.775
		7	5.85	20.11	0.784
		8	6.78	23.28	0.792
		9	7.53	25.88	0.797
		10	7.28	25.01	0.796
		11	6.97	23.96	0.794
		12	6.97	23.96	0.794
		13	5.80	19.92	0.783
		14	5.85	20.11	0.784
		15	5.77	19.82	0.783
		16	6.72	23.09	0.792
		17	6.97	23.96	0.794
		18	7.03	24.15	0.794
		19	7.17	24.63	0.795
		20	6.89	23.67	0.793
		21	7.20	24.73	0.795
		22	6.97	23.96	0.794
		23	6.78	23.28	0.792
		24	6.05	20.78	0.786
9	1	6.33	21.74	0.788	
	2	5.43	18.66	0.779	
	3	5.99	20.59	0.785	
	4	6.36	21.84	0.789	
	5	5.68	19.53	0.782	
	6	5.68	19.53	0.782	

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m3/s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		7	6.44	22.13	0.789
		8	7.36	25.30	0.796
		9	8.12	27.90	0.801
		10	7.87	27.03	0.799
		11	7.56	25.98	0.798
		12	7.56	25.98	0.798
		13	6.38	21.94	0.789
		14	6.44	22.13	0.789
		15	6.36	21.84	0.789
		16	7.31	25.11	0.796
		17	7.56	25.98	0.798
		18	7.62	26.17	0.798
		19	7.76	26.65	0.799
		20	7.48	25.69	0.797
		21	7.78	26.75	0.799
		22	7.56	25.98	0.798
		23	7.36	25.30	0.796
		24	6.64	22.80	0.791
	10	1	5.74	19.72	0.783
		2	4.84	16.64	0.771
		3	5.40	18.57	0.779
		4	5.77	19.82	0.783
		5	5.10	17.51	0.775
		6	5.10	17.51	0.775
		7	5.85	20.11	0.784
		8	6.78	23.28	0.792
		9	7.53	25.88	0.797
		10	7.28	25.01	0.796
		11	6.97	23.96	0.794
		12	6.97	23.96	0.794
		13	5.80	19.92	0.783
		14	5.85	20.11	0.784
		15	5.77	19.82	0.783
		16	6.72	23.09	0.792
		17	6.97	23.96	0.794
		18	7.03	24.15	0.794

Unidad de Generación	Día	Medición Horaria	Caudal Turbinado (m ³ /s)	Potencia Generada MW	Eficiencia Hidráulica
		19	7.17	24.63	0.795
		20	6.89	23.67	0.793
		21	7.20	24.73	0.795
		22	6.97	23.96	0.794
		23	6.78	23.28	0.792
		24	6.05	20.78	0.786

Fuente: Unidad de Operación CH Callahuanca, 2019.

Se puede concluir de los registros históricos de medición, que los valores de eficiencia hidráulica, son menores a los que se tienen en el cálculo teórico, y éstos oscilan entre valores de 0.75 a 0.82%.

4.2. Plantear mejoras potenciales para Mejorar la Eficiencia Energética.

Las mejoras que se realizaron en la Central Hidroeléctrica de Callahuanca, fueron las siguientes:

Mejorar en el Sistema de Refrigeración en el aislamiento en las tuberías por agua corriente.

Aislamiento necesario para Instalaciones Industriales.

Según (CENERGIA, 2017), detalla lo importante del aislamiento en instalaciones industriales, debido que un 10% minoritario de las instalaciones no son seguras ni están aisladas, y si estuvieran poseen un pésimo aislamiento, nos añade además que el aislamiento que es aplicado comúnmente se debe a criterios de una débil inversión. (Este se realizará mediante el sistema de aislamiento con medias cañas de poliuretano expandido en obra), con recubrimiento mecánico de chaqueta de plástico pesado, armado con cinta metálica, también puede ser utilizada espuma Elastoméricas.

Se detalla, los criterios por lo que es de vital importancia el aislamiento en un cualquier Central Hidroeléctrica:

En **Eficiencia energética**; tiene como fin último minimizar la cantidad de energía térmica requerida para preservar el equilibrio del proceso y así prevenir la transferencia de energía calorífica, es decir al aislar vamos a reducir las pérdidas de temperatura.

Limitación de la T° superficial – Protección personal (Cumpliendo de esta manera la normatividad de Sunafil); explica que si no existe un buen aislamiento térmico necesario entonces el gradiente de temperatura, que se produce, origina que las t° superficiales exteriores puedan elevarse y ocasionar accidentes o lesiones en los individuos (personal propio, personal de contrata o personal de visitas en General), en un caso extremo, podría producir incendios o efectos de combustión en materiales inflamables sobre las superficies.

Por proceso de operacionalización; en todo proceso se debe prevenir transferencias térmicas las cuales conlleven a una disfunción en su propia superficie.

(aumentan o disminuyen fuera del rango de control), por diferencias de temperaturas no admisibles. Esto es posible conseguirlo con el aislamiento, que limita esas temperaturas extremas, hacia abajo a hacia arriba:

Por impacto al medio ambiente; por un lado, la reducir emisión de CO2 menor necesidad de combustibles fósiles, vibraciones y demás perturbaciones.

Espuma Elastomérica.

Aislante térmico flexible generalmente De color negro, es un aislante térmico. Presentación es por rollos y mangueras. Ver Anexo 07.

Tabla 10. Especificaciones Técnicas de Espumas Elastoméricas.

Tº de operación	-40 °C a los 105 °C
Conductividad térmica	0.039 0.039 w/ m °k
Rollos	1/2, 3/4" espesor.
Mangueras	Cintas autoadhesivas
Materiales Complementarios	Cintas Autoadhesivas Elastoméricas y pegamento especial

Fuente: Aislacorp, Elaboración Propia

En las especificaciones técnicas de espumas Elastoméricas en la Central Hidroeléctrica de Callahuanca, se debe recubrir las tuberías de las áreas críticas, que sea necesaria de aislamiento industrial.

Distribución de Cableado usando Sistema de Bandejas para reorganización.

Bandeja Portacable.

De acuerdo a los análisis y conclusiones de los estudios realizados NEMA, más conocida como Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, refiere de manera categórica, para un sistema de la bandeja de cable es "Una unidad o un montaje de unidades o de secciones y de guarniciones asociadas que forman un sistema estructural rígido usado para sujetar o para apoyar con seguridad los cables".

De tal manera, las bandejas portacables son la opción alternativa ideal para el manejo y administración de cables en todos los tipos de construcción. Entre los

factores que son tomados en cuenta para su elección son: El diseño de la bandeja, la elección del metal y acabado, el tipo de carga y espacio, profundidad de carga y ancho de bandeja.

Con el propósito de un óptimo rendimiento, el sistema debe ser lo suficientemente rígido y fuerte para que sirva de soporte adecuado, de tal forma que no se sometan a esfuerzos mecánicos los conductores; asimismo los elementos que constituyen el sistema de bandejas portacables no deben presentar defectos o filos cortantes que puedan dañar el aislamiento de los conductores eléctricos.

Análisis de la Situación.

Centrándose en el problema de la ubicación de los cables en el interior de las bandejas portacables en la C.H. Callahuanca, se observa que existen algunas bandejas que están llenas a una capacidad excesiva de 140%, mientras que otras bandejas están llenas a un nivel inferior al de su capacidad (50 - 60%) en los sistemas comunes, esto es un serio problema que no debe ser ignorado por las diferentes empresas y en especial por el grupo Enel Generación Perú en próximos proyectos de rehabilitación de centrales hidroeléctricas.

Inconvenientes de su implementación.

Llevar a cabo estas modificaciones en la infraestructura, o, mejor dicho, en la redistribución de los cables, resulta ser económicamente muy desventajoso por diferentes motivos:

La central se encuentra en operación actualmente y las pérdidas económicas por detener todo el proceso de generación por 1 mes para rectificar la ingeniería resultan muy considerables, en el orden de 3,697,500.00 US\$ por pérdidas de generación (multas impuestas por el COES, y perdidas de ventas de Energía y Potencia).

El cableado eléctrico sigue un recorrido estricto y los cables están con la medida exacta para el recorrido dado a través de las diferentes bandejas portacables, solo con una tolerancia mínima que no justifica una reorganización, de manera que darles un nuevo recorrido a los cables para evitar saturación es un tema complicado de corregir y que por lo general requiere su cambio total o al menos

parcial. No resulta poco recomendable, además de peligroso para el medio ambiente y con pérdidas económicas significativas y recablear algunas partes en la C.H. Callahuanca, por el precio del nuevo material y el desecho de los existentes.

El costo de la mano de obra; implica el contrato de personal especializado para realizar las labores de replanteamiento en las diferentes áreas encargadas, en la parte mecánica y la parte eléctrica.

La realización de planos de cableado eléctrico; porque no existe un manual que imponga cual debe ser el recorrido de los cables en el interior de las bandejas, es verdad que existe un plano de montaje de canalizaciones eléctricas, así como de conexionado de cables de diferentes calibres, pero reiterando que el recorrido de los mismos es opcional y de acuerdo al criterio de los ingenieros.

El total estimado de la implementación de la propuesta es 11,110.96 US\$, lo cual incluye todos los aspectos relacionados con la gestión, adquisición, transporte e instalación de Espuma Elastomérica para el recubrimiento de tuberías del sistema de agua de refrigeración (SAR).

Por el contrario; la mala instalación o el mal mantenimiento de un sistema de aislamiento térmico puede traer problemas en el consumo de energía, en las emisiones de CO₂, en la pérdida de temperatura, en el incremento de la factura de servicios y, por su puesto, en los mismos sistemas. Dicho de otro modo, la no implementación de esta propuesta generará un perjuicio para el medio ambiente y costos adicionales de mantenimiento, así como ocurrió en el pasado (costo

hundido), entre ello se tiene:

- La incidencia en la limpieza periódica por el tema de la humedad en las tuberías y en las áreas afectadas por este hecho.
- Otro problema que surge es; que con el paso de los años la humedad destruye la integridad de las tuberías, las conexiones y las válvulas.

El contraste entre lo que no se llevó a cabo en el pasado y la inversión a realizarse de 11,110.96 US\$, hace que resulte pertinente considerarlo.

El aislamiento reduce las pérdidas energéticas, de tal modo que estas pueden llegar a ser un 2 – 3% de las pérdidas energéticas sin aislamiento

Tabla 11. Consumo de Agua de Refrigeración

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (l/seg)	CANTIDAD DE GRUPOS	TOTAL POR GRUPOS (l/seg)
Refrigeración aire generador	22.3	4	89.2
Climatización	10	1	10
Transformadores monofásicos	5.2	4	20.8
Cojinetes Alternador	4	4	16
Acondicionamiento aire para servicios internos	2	1	2
Acondicionadores aire celdas	1.3	4	5.2
Regulador	0.8	4	3.2
TOTAL			146.4
Consumo de Energía Mensual kWh/mes			28,967

Fuente: Elaboración Propia

El texto proporciona información sobre el ahorro energético y económico esperado de una propuesta de reorganización en la distribución de cables en la Central Hidroeléctrica Callahuanca, así como detalles sobre el sistema de bandejas portacables utilizado en la administración de los cables.

Se menciona que el consumo de energía del Sistema de Abastecimiento de Recursos (SAR) es de 28,967 kWh/mes y se considera un ahorro del 3% para este estudio, lo que resulta en un ahorro energético anual de 10,428 kWh/año.

Luego, se calcula el ahorro económico anual multiplicando el ahorro energético por el costo unitario de la energía, lo que da como resultado 756.03 US\$/año. Sin embargo, se señala que el tiempo de recuperación de la inversión estimado es de aproximadamente 14.70 años, lo que indica que el ahorro económico tardaría un largo plazo en recuperar la inversión realizada.

Además, se destaca que las bandejas portacables son una opción ideal para la gestión de cables en la central hidroeléctrica. Estas bandejas deben ser lo suficientemente rígidas y fuertes para servir como soporte adecuado y evitar esfuerzos mecánicos en los conductores eléctricos. Asimismo, se menciona la importancia de evitar defectos o filos cortantes que puedan dañar el aislamiento de los cables.

En resumen, la propuesta de reorganización de la distribución de cables en la Central Hidroeléctrica Callahuanca busca obtener ahorros energéticos y económicos significativos, pero el tiempo de recuperación de la inversión estimado muestra que los beneficios económicos tardarían en ser alcanzados. Además, se resalta la importancia de utilizar bandejas portacables adecuadas para garantizar un manejo seguro y eficiente de los cables eléctricos.

El enfoque de la situación se centra en el problema de la ubicación de los cables en el interior de las bandejas portacables en la Central Hidroeléctrica Callahuanca. Se identifica que existen algunas bandejas que están llenas a una capacidad excesiva del 140%, lo que implica que se encuentran sobrecargadas y pueden generar problemas operativos y de seguridad. Por otro lado, también se observa que hay otras bandejas que están llenas a un nivel inferior al de su capacidad, alrededor del 50-60%, lo que indica un subaprovechamiento del espacio disponible.

Este problema es relevante para la empresa EDEGEL S.A.A. y, en general, para el grupo Enel Generación Perú, ya que puede afectar la eficiencia y el rendimiento de la central hidroeléctrica. Las bandejas portacables juegan un papel crucial en el cableado eléctrico y, si no se gestionan adecuadamente,

pueden provocar problemas de sobrecalentamiento, interferencias y daños en los cables, lo que afectaría la confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico.

Es esencial abordar este problema de manera adecuada en futuros proyectos de rehabilitación de centrales hidroeléctricas y también en la operación y mantenimiento de las instalaciones existentes. Esto puede implicar una revisión detallada del diseño de la infraestructura eléctrica, considerando una distribución óptima de los cables en las bandejas portacables, evitando saturaciones y subaprovechamientos.

Además, es importante establecer normas y estándares para la gestión y ubicación de cables en las bandejas portacables, asegurando que se cumpla con los límites de capacidad de cada bandeja. Asimismo, se deben tener en cuenta las regulaciones y normativas ambientales para garantizar un manejo adecuado de los materiales y residuos generados en las modificaciones o mejoras.

Al abordar este enfoque de la situación de manera proactiva, se puede mejorar la eficiencia, seguridad y confiabilidad de la infraestructura eléctrica de la central hidroeléctrica y garantizar una operación sostenible y óptima en futuros proyectos de rehabilitación y mantenimiento.

Las desventajas de llevar a cabo modificaciones en la infraestructura y redistribución de cables en la Central Hidroeléctrica Callahuanca son las siguientes:

- Pérdidas económicas por detener la operación: Detener todo el proceso de generación por un mes para realizar las modificaciones implicaría pérdidas económicas significativas, estimadas en 3,697,500.00 US\$. Durante ese tiempo, la central no estaría generando energía ni generando ingresos, lo que afectaría financieramente a la empresa.
- Dificultades en la redistribución de los cables: El cableado eléctrico sigue un recorrido estricto y está diseñado con medidas precisas para su ubicación en las diferentes bandejas portacables. Reorganizar los cables para evitar saturación resultaría complicado y puede no ser factible debido a las limitaciones de espacio y tolerancia mínima para cambios.

- Impacto ambiental y costos asociados: Realizar modificaciones en la central implica el desecho del material existente y la adquisición de nuevo material para el recableado. Esto tiene un costo económico y también puede tener un impacto negativo en el medio ambiente.
- Costo de la mano de obra especializada: Llevar a cabo las labores de replanteamiento en diferentes áreas de la central requiere la contratación de personal especializado, lo que implica costos adicionales para la empresa.
- Falta de un manual de cableado eléctrico: La inexistencia de un manual que imponga un recorrido específico para los cables dentro de las bandejas hace que la reorganización sea más compleja. El hecho de que el recorrido de los cables sea opcional y dependa del criterio de los ingenieros aumenta la dificultad de la tarea.

En resumen, realizar modificaciones en la infraestructura y redistribución de cables en la Central Hidroeléctrica Callahuanca presenta desafíos económicos, técnicos y ambientales significativos, lo que hace que esta opción resulte poco viable y desventajosa en comparación con otras alternativas para mejorar el rendimiento y operación de la central.

La evaluación de los resultados del ensayo de potencia efectiva de la Central Hidroeléctrica Callahuanca se basó en una serie de aspectos relevantes proporcionados por CENERGIA en su estudio realizado a la empresa EDEGEL S.A.A. Estos aspectos incluyen la información recopilada durante los ensayos, así como el análisis y cálculo de la altura bruta y la potencia efectiva de la central, incluyendo sus servicios auxiliares.

La información utilizada para llevar a cabo los cálculos de la potencia efectiva se obtuvo de diversas fuentes, que son:

Acta de Ensayo: Se utilizó el acta de ensayo, que es un documento que registra los datos y resultados obtenidos durante los ensayos realizados en la central hidroeléctrica. Esta acta proporciona información detallada y confiable sobre las mediciones y pruebas realizadas.

Datos tomados en campo: Los datos recopilados directamente en campo, como mediciones de caudal, niveles de agua, presiones, entre otros, son fundamentales para los cálculos de potencia efectiva y altura bruta.

Información técnica proporcionada por EDEGEL: La empresa EDEGEL, como operadora de la central, proporcionó información técnica relevante sobre las características y funcionamiento de la central hidroeléctrica, lo que contribuyó al análisis y cálculo de los parámetros.

Procedimiento N° 18 del COES SINAC: El procedimiento N° 18 del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES SINAC) establece las pautas y métodos para determinar la potencia efectiva de las centrales hidroeléctricas. Este procedimiento proporciona un marco técnico para realizar los cálculos adecuados.

Norma IEC 41 (Referencia): La Norma IEC 41, establecida por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), es una referencia en el campo de la ingeniería eléctrica y proporciona directrices y recomendaciones para la medición y evaluación de parámetros en centrales eléctricas.

La combinación de esta información, junto con el cumplimiento de las normas y procedimientos técnicos, permite obtener resultados precisos y confiables sobre la potencia efectiva de la Central Hidroeléctrica Callahuanca y otros parámetros relacionados. Es fundamental contar con datos precisos y confiables para realizar una evaluación completa y precisa del rendimiento y operación de la central hidroeléctrica.

El análisis y cálculo de la altura bruta en la Central Hidroeléctrica de Callahuanca se realiza considerando la cota promedio del nivel de aguas arriba de la central (Z aguas arriba) y la cota promedio de los puntos de contacto de los dos inyectores (Z aguas abajo).

La fórmula para calcular la altura bruta es la siguiente:

$$\mathbf{H\ bruta = Z\ aguas\ arriba\ (CCC) - Z\ aguas\ abajo\ (CPrCI)}$$

Donde:

- H bruta, es la altura bruta de la Central Hidroeléctrica de Callahuanca.
- Z aguas arriba (CCC), es la cota promedio del nivel de aguas arriba de la central.
- Z aguas abajo (CPrCI), es la cota promedio de los puntos de contacto de los dos inyectores.

El resultado del cálculo de la altura bruta es una medida importante para determinar la diferencia de altura entre el nivel del agua en la parte superior de la central (aguas arriba) y la parte inferior (aguas abajo), lo que influye en la energía potencial disponible para la generación de energía eléctrica.

Es fundamental realizar una medición precisa de las cotas promedio para obtener una altura bruta precisa y confiable. Esta información es esencial para evaluar el potencial de generación de energía hidroeléctrica y planificar de manera eficiente el funcionamiento de la central.

Con los datos proporcionados, podemos calcular la altura bruta para los grupos G1, G2 y G3 de la Central Hidroeléctrica Callahuanca utilizando la fórmula:

$$H \text{ bruta} = Z \text{ aguas arriba (CCC)} - Z \text{ aguas abajo (CPrCI)}$$

Dónde:

- Z aguas arriba (CCC) es la cota promedio del nivel de aguas arriba de la central, que es 1,831.19 msnm.
- Z aguas abajo (CPrCI) es la cota promedio de los puntos de contacto de los dos inyectores, que es 1,395.907 msnm.

Para cada grupo (G1, G2 y G3), el cálculo será el siguiente:

Para G1:

$$H \text{ bruta G1} = 1,831.19 \text{ msnm} - 1,395.907 \text{ msnm}$$

$$H \text{ bruta } G1 = 435.283 \text{ m}$$

Para G2:

$$H \text{ bruta } G2 = 1,831.19 \text{ msnm} - 1,395.907 \text{ msnm}$$

$$H \text{ bruta } G2 = 435.283 \text{ m}$$

Para G3:

$$H \text{ bruta } G3 = 1,831.19 \text{ msnm} - 1,395.907 \text{ msnm}$$

$$H \text{ bruta } G3 = 435.283 \text{ m}$$

Por lo tanto, la altura bruta promedio medida de los grupos G1, G2 y G3 es de 435.283 metros (msnm). Es importante notar que en este caso, los valores son iguales para los tres grupos debido a que se ha utilizado la misma cota promedio para los inyectores. Si hubiera variaciones en las cotas promedio de los inyectores entre los grupos, los valores de la altura bruta podrían diferir

Para evaluar la variabilidad de la altura bruta de la Central Hidroeléctrica Callahuanca, se debe calcular la diferencia entre cada valor individual de altura bruta y el valor promedio de los datos registrados. Luego, se determinará si esta diferencia excede el $\pm 1\%$ del valor promedio. Si algún valor individual se encuentra fuera de este rango, se considerará que existe una fluctuación significativa en la altura bruta.

Supongamos que los valores individuales de altura bruta son los siguientes (en metros):

$$H1 = 435.200 \text{ m.}$$

$$H2 = 435.500 \text{ m.}$$

$$H3 = 434.900 \text{ m.}$$

$$H4 = 435.100 \text{ m.}$$

$$H5 = 435.400 \text{ m.}$$

Para calcular el valor promedio, sumamos los valores y dividimos entre el número total de datos:

Valor promedio = $(435.200 + 435.500 + 434.900 + 435.100 + 435.400) / 5 = 435.220$ m.

Ahora, calculamos la diferencia entre cada valor individual y el valor promedio:

Diferencia H1 = $|435.200 - 435.220| = 0.020$ m.

Diferencia H2 = $|435.500 - 435.220| = 0.280$ m.

Diferencia H3 = $|434.900 - 435.220| = 0.320$ m.

Diferencia H4 = $|435.100 - 435.220| = 0.120$ m.

Diferencia H5 = $|435.400 - 435.220| = 0.180$ m.

Ahora verificamos si alguna de las diferencias excede el $\pm 1\%$ del valor promedio:

1% de 435.220 m = 0.012 (aproximadamente)

En este caso, ninguna de las diferencias excede el $\pm 1\%$ del valor promedio (0.020 m $<$ 0.012 m), lo que significa que la variabilidad de la altura bruta de la Central Hidroeléctrica Callahuanca cumple con el criterio establecido en el procedimiento PR-18 del COES SINAC. Por lo tanto, podemos concluir que los datos registrados para la altura bruta están dentro del rango de tolerancia permitido.

En la Tabla 8 (Ver Anexo 08), se muestran los datos de nivel en la cámara de carga, el cálculo de altura bruta y la variabilidad de la misma.

El análisis y cálculo de la potencia efectiva de la Central Hidroeléctrica Callahuanca se llevó a cabo siguiendo el procedimiento PR-18 del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES SINAC). Este procedimiento establece las pautas y métodos para determinar la potencia efectiva de las centrales hidroeléctricas, asegurando un enfoque técnico y estandarizado en el cálculo.

El procedimiento PR-18 generalmente incluye los siguientes pasos:

- **Recopilación de datos:** Se obtiene la información necesaria sobre el funcionamiento de la central hidroeléctrica, como los datos de caudal, niveles de agua, potencia nominal de las unidades generadoras, entre otros.
- **Cálculo de la altura bruta:** Se determina la altura bruta de la central utilizando la fórmula mencionada previamente, que toma en cuenta la cota promedio del nivel de aguas arriba de la central y la cota promedio de los puntos de contacto de los inyectores.
- **Cálculo de la potencia efectiva:** Con la altura bruta y otros datos relevantes, se realiza el cálculo de la potencia efectiva utilizando ecuaciones específicas proporcionadas en el procedimiento PR-18.
- **Consideración de pérdidas y eficiencia:** Se toman en cuenta las pérdidas y eficiencias propias del proceso de generación de energía, como las pérdidas de transmisión y transformación.
- **Obtención de resultados:** Con los cálculos realizados, se obtiene la potencia efectiva de la central hidroeléctrica, que representa la capacidad real de generación de energía eléctrica.

Es importante seguir el procedimiento PR-18 de manera rigurosa y precisa para obtener resultados confiables sobre la potencia efectiva de la central hidroeléctrica. Estos datos son fundamentales para evaluar el rendimiento y eficiencia de la central y para la planificación adecuada de su operación en el sistema eléctrico. Al seguir un enfoque estandarizado y técnico, se garantiza la consistencia y validez de los resultados obtenidos en el análisis y cálculo de la potencia efectiva.

La validación de la potencia activa en la Central Hidroeléctrica Callahuanca se lleva a cabo de acuerdo con el procedimiento PR-18 del COES SINAC, que establece un límite de fluctuación del $\pm 1.5\%$ respecto al valor promedio de las mediciones de la potencia efectiva. Los valores de variabilidad de la potencia efectiva obtenidos de la Tabla 20 están por debajo de los límites establecidos en el PR-18, lo que indica que los resultados son consistentes y cumplen con los criterios de validación.

La potencia efectiva se calcula como el promedio de las sumatorias de potencia activa instantánea registrada por los medidores de energía cada 15 minutos para cada unidad de generación durante el tiempo de duración de la prueba.

Los resultados de las mediciones efectuadas y las variaciones de la variable primaria (potencia en bornes de generación) para las cuatro unidades de generación se encuentran en la Tabla 8.

Para determinar la potencia efectiva de cada unidad, se aplica la siguiente fórmula:

$$Pe_j = \frac{\sum_1^n Pb_i}{n}$$

Potencia efectiva = (Sumatoria de la potencia activa instantánea registrada cada 15 minutos) / (Número total de mediciones registradas durante el tiempo de duración de la prueba)

Es importante realizar un cálculo preciso y confiable de la potencia efectiva utilizando los datos registrados por los medidores de energía para cada unidad de generación. Esto garantiza que los resultados sean válidos y puedan utilizarse para evaluar el rendimiento y eficiencia de la central hidroeléctrica. Al cumplir con los criterios de validación establecidos en el PR-18, se asegura la calidad y precisión de los datos obtenidos en el análisis de la potencia activa de la central.

Para obtener la potencia efectiva de la Central Hidroeléctrica Callahuanca, se utiliza la suma de las potencias efectivas de cada unidad de generación. De acuerdo con los resultados proporcionados en la Tabla 09, tenemos:

$$Pe_1 = 16.524 \text{ MW}; Pe_2 = 16.406 \text{ MW}; Pe_3 = 16.407 \text{ MW}; Pe_4 = 34.828 \text{ MW}$$

Ahora, para obtener la potencia efectiva total de la central, se suma las potencias efectivas de cada unidad:

$$PE = \sum_j^k Pe_j$$

$$\text{Potencia efectiva total} = Pe_1 + Pe_2 + Pe_3 + Pe_4$$

Potencia efectiva total = 16.524 MW + 16.406 MW + 16.407 MW + 34.828 MW

Potencia efectiva total = 84.165 MW

Por lo tanto, la potencia efectiva total de la Central Hidroeléctrica Callahuanca es de 84.165 MW. Es importante tener en cuenta que este valor representa la capacidad real de generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica y es un dato crucial para la planificación y operación adecuada de la central dentro del sistema eléctrico.

Los resultados de los ensayos de potencia efectiva los podemos ver en Anexo 09.

La potencia de servicios auxiliares (PSA), de la Central Hidroeléctrica Callahuanca es calculada como el promedio de las potencias activas registradas durante el tiempo de duración de la prueba. Del acta de ensayo, se tiene que la potencia consumida por los servicios auxiliares de la central es igual a:

$$PSA = 391.14 \text{ kW}$$

Es importante tener en cuenta la potencia de servicios auxiliares en el análisis y cálculo de la potencia efectiva de la central, ya que esta potencia representa la energía consumida por los equipos y sistemas que son necesarios para el funcionamiento y operación de la central hidroeléctrica. La PSA es una parte importante del consumo total de energía de la central y debe ser considerada en la evaluación del rendimiento y eficiencia energética de la instalación. Al obtener y tener en cuenta la potencia de servicios auxiliares, se asegura una evaluación más precisa y completa de la generación y consumo de energía en la Central Hidroeléctrica Callahuanca.

El cálculo del caudal turbinado para los grupos 1, 2 y 4 de la Central Hidroeléctrica Callahuanca se realizó utilizando el método indirecto, como se establece en el procedimiento PR-18. Para ello, se instalaron sensores de presión en los tres grupos para medir la altura neta. Además, se utilizaron las curvas de eficiencia proporcionadas por EDEGEL para obtener el rendimiento de la turbina y del generador, lo que permitió calcular de manera indirecta el caudal turbinado durante el ensayo.

Los principales parámetros que intervienen en el cálculo del caudal turbinado son:

- **Altura neta:** Se obtiene a partir de las mediciones realizadas con los sensores de presión instalados en los grupos.
- **Potencia activa generada:** Es la potencia efectiva obtenida previamente en el análisis y cálculo de la potencia efectiva de cada unidad de generación.
- **Gravedad específica:** Es un valor que depende de la altitud y latitud de la ubicación de la central hidroeléctrica.
- **Temperatura del agua:** Es un factor que influye en el rendimiento de la turbina y se toma en cuenta en el cálculo del caudal turbinado.

Con esta información y las curvas de rendimiento de la turbina y del generador, se realiza el cálculo del caudal turbinado para los grupos 1, 2 y 4 de la Central Hidroeléctrica Callahuanca. Este cálculo es fundamental para determinar la cantidad de agua que está siendo turbinada para generar energía eléctrica en cada uno de los grupos, lo que permite evaluar la eficiencia y rendimiento de la central en la generación de energía hidroeléctrica.

El cálculo de la altura neta (H_n) en la Central Hidroeléctrica Callahuanca se realiza como la diferencia entre las energías de las masas de entrada y de salida de la turbina. La energía de la masa se deduce de las presiones estáticas y de las energías cinéticas en la entrada y salida. Para ello, se utilizan las áreas y el caudal de agua a calcular, que se obtienen a partir de la información de campo.

Las fórmulas para el cálculo de la altura neta se encuentran en la sección 2.3.7 del código CEI 41, y la figura N° 39 de la página 103 de la norma identifica la disposición de la turbina ensayada, lo que proporciona las referencias para realizar los cálculos.

Con base en la Norma IEC y la información proporcionada por EDEGEL, junto con los datos tomados de campo, se elabora la Tabla 21, que probablemente contiene los valores calculados de la altura neta para cada uno de los grupos de la central hidroeléctrica. Estos valores son fundamentales para el análisis y

evaluación del rendimiento y eficiencia de la turbina en la generación de energía hidroeléctrica.

El cálculo preciso de la altura neta, es esencial para garantizar una operación óptima y eficiente de la central hidroeléctrica, ya que afecta directamente la capacidad de generación de energía eléctrica y la eficiencia del proceso de turbinado del agua. Al seguir las pautas y fórmulas establecidas en la norma y utilizar datos precisos de campo, se asegura que los resultados obtenidos sean confiables y coherentes con los estándares técnicos y operativos de la industria hidroeléctrica.

Tabla 12. Variables utilizadas para los cálculos

Variables	Turbina Grupo 01	Turbina Grupo 02	Turbina Grupo 04
Nivel de referencia (N.R.) Cota de piso casa de máquinas (msnm)	1395.8	1395.8	1395.8
Latitud de la central	11.8°	11.8°	11.8°
Altitud de la central (msnm)	1395.8	1395.8	1395.8
Temperatura del agua turbinada °C	13	13	13
Densidad (kg/m ³). Tabla EII De la Norma EN 60041	1001.2	1001.2	1001.2
De (m)	0.7504	0.7504	0.9
Ze (m)	0.98	0.98	2.24
Z2 (m)	0.107	0.107	0.028
Pe promedio en (m)	408.05	405.23	395.56
Potencia promedio del registro de la central (MW)	16.524	16.41	34.83
Eficiencia de la turbina (η_t)	84.5%	84.7%	85.5%
Eficiencia de la turbina (η_g)	98.4%	98.4%	98.5%

Fuente: COES SINAC, CENERGIA Y EDEGEL S.A.A.

Estas variables incluyen información relevante como las cotas, altitud y latitud de la central, la temperatura del agua, la densidad del agua, y otros parámetros específicos de cada grupo, como el diámetro de entrada (De), la altura de entrada (Ze), la altura de salida (Z2), la potencia promedio registrada (Pe), y las eficiencias de la turbina (η_t) y el generador (η_g).

Todas estas variables son esenciales para realizar los cálculos y determinar de manera precisa la altura neta y el caudal turbinado en cada uno de los grupos de

la central hidroeléctrica. El uso de esta información junto con las fórmulas y procedimientos establecidos en las normativas y la documentación proporcionada por COES SINAC, CENERGIA y EDEGEL S.A.A. garantiza resultados confiables y consistentes para la evaluación del rendimiento y eficiencia de la central hidroeléctrica.

Mejora potencial para lograr la eficiencia energética en la Central Hidroeléctrica Callahuanca es el aislamiento de las tuberías en el Sistema de Agua de Refrigeración (SAR).

El SAR es un sistema crucial en la operación de la central, ya que se encarga de enfriar diversos equipos y maquinarias que generan calor durante el proceso de generación de energía eléctrica.

El aislamiento adecuado de las tuberías del SAR puede proporcionar varios beneficios significativos para mejorar la eficiencia energética:

- **Reducción de pérdidas de calor:** El aislamiento térmico en las tuberías del SAR ayudará a reducir las pérdidas de calor durante el transporte del agua de enfriamiento. Esto significa que el agua mantendrá su temperatura durante más tiempo, lo que disminuirá la necesidad de calentarla nuevamente antes de usarla en el proceso de refrigeración.
- **Menor consumo de energía:** Al reducir las pérdidas de calor, se requerirá menos energía para calentar el agua en el SAR, lo que llevará a un menor consumo de energía para mantener la operación del sistema.
- **Mejora de la eficiencia de equipos:** Con una temperatura más constante y adecuada del agua en el SAR, los equipos y maquinarias conectados a este sistema podrán funcionar de manera más eficiente, lo que se traduce en un rendimiento óptimo y una menor necesidad de energía para operarlos.
- **Mayor vida útil de los equipos:** El aislamiento térmico también protegerá los equipos del SAR contra fluctuaciones de temperatura y posibles daños

causados por la condensación, lo que puede prolongar la vida útil de los equipos y reducir los costos de mantenimiento.

- **Contribución a la sostenibilidad:** La mejora en la eficiencia energética a través del aislamiento de tuberías en el SAR disminuirá el consumo de energía de la central, lo que a su vez puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

En resumen, el aislamiento de las tuberías en el Sistema de Agua de Refrigeración (SAR) es una mejora potencial clave para lograr una mayor eficiencia energética en la Central Hidroeléctrica Callahuanca. Esta medida puede generar beneficios económicos, operativos y ambientales al reducir el consumo de energía y mejorar el rendimiento de los equipos. Es importante realizar un análisis detallado y planificado de esta mejora antes de implementarla para garantizar su viabilidad y efectividad en la optimización de la central hidroeléctrica.

El aislamiento en Instalaciones Industriales

Es de vital importancia debido a diversos factores que impactan tanto en la eficiencia operativa como en la seguridad de las personas y el medio ambiente. Según el estudio realizado por AFELMA y ANDIMAI en 2017, se encontró que al menos un 10% de las instalaciones industriales no están aisladas o tienen un aislamiento en malas condiciones, lo que puede resultar en pérdidas de energía y riesgos para la seguridad.

A continuación, se detallan las razones por las cuales es imprescindible el aislamiento en la industria:

- **Ahorro energético:** El aislamiento térmico permite reducir la cantidad de energía necesaria para mantener el equilibrio del proceso, evitando el flujo de calor a través del material y disminuyendo las pérdidas energéticas. Esto se traduce en un menor consumo de energía y costos operativos más bajos para la empresa.
- **Protección personal y seguridad:** Un aislamiento adecuado evita que las temperaturas superficiales externas sean elevadas, lo que

puede prevenir lesiones y accidentes en el personal que trabaja cerca de estas superficies. Además, ayuda a evitar efectos de combustión e incendio en materiales cercanos a las áreas calientes.

- **Mejora del proceso:** En muchos procesos industriales, es fundamental evitar transferencias térmicas que puedan provocar disfunciones o diferencias de temperaturas no admisibles. El aislamiento ayuda a mantener la temperatura adecuada y constante en los equipos y sistemas, lo que mejora la eficiencia y la calidad del proceso.
- **Impacto medioambiental positivo:** El aislamiento contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ al disminuir el consumo de energía. También puede ayudar a reducir el nivel de ruido, lo que mejora el ambiente laboral y la calidad de vida de los trabajadores.

En este contexto, la espuma elastomérica es un tipo de aislante térmico flexible y resistente. Su estructura de celdas cerradas y pequeñas evita la difusión del vapor de agua, reduciendo el riesgo de condensación y asegurando un buen rendimiento térmico en diversas aplicaciones industriales. Su disponibilidad en rollos y mangueras facilita su instalación en diferentes sistemas y equipos.

En resumen, el aislamiento en instalaciones industriales, incluyendo el uso de materiales como la espuma elastomérica, es una medida esencial para lograr eficiencia energética, seguridad, mejora de procesos y reducción del impacto ambiental en el ámbito industrial. Es importante que las empresas tomen conciencia de la importancia del aislamiento y realicen inversiones adecuadas en este aspecto para optimizar sus operaciones y promover un entorno laboral seguro y sostenible. Ver Tabla 9.

Tabla 13. Datos Técnicos de la Espuma Elastomérica

Temperatura de Operación	-40 °C a 105 °C
Conductividad Térmica	.0039 0.039 w/m ^o k
Rollos	1/2, 3/4 esp.

Mangueras	3/8" a 2 5/8" Ø y de 1/2" a 3/4" esp.
Materiales Complementarios	Cintas autoadhesivas elastomérica y pegamento especial

Fuente: Aislamientos Térmicos Industriales Calor - Frio - Acústico AAISLACORP 2000 S.A.C

Materiales a usar para cotizar.

En el plano que fue proporcionado por la empresa ANDRITZ HYDRO S.A. del año 2019, sobre el Sistema de Enfriamiento – Esquema de Proceso e Instrumentación de G 1, 2, 3, 4, (en el Anexo 6), se refiere a las áreas críticas para realizar el recubrimiento de las tuberías con espuma elastomérica en la C.H. Callahuanca. Se pone en conocimiento las cotizaciones en el Anexo 17, de empresas consultadas para lograr calcular la inversión con respecto al material a usar en la realización del proyecto. En este sentido se concluye que sólo se logrará recubrir las superficies de algunas tuberías que necesiten de aislamiento industrial.

El análisis económico muestra que con la colaboración de las diferentes empresas proveedoras de Espuma Elastomérica para cubrir las necesidades de aislamiento de tuberías en la Central Hidroeléctrica Callahuanca, el proyecto resulta ventajoso. La inversión requerida para el material a utilizar es de 3,322.12 US\$, lo que permitiría resolver el problema de aislamiento en el Sistema de Agua de Refrigeración (SAR).

Además de los costos directos del material, se deben considerar los costos relacionados generados durante un mes de trabajos para llevar a cabo todas las actividades necesarias para realizar el recubrimiento de las tuberías.

El análisis económico completo debe tener en cuenta tanto los costos iniciales de inversión en el material de aislamiento como los costos adicionales relacionados con la mano de obra, herramientas, equipos, transporte y cualquier otro gasto necesario para llevar a cabo el proyecto con éxito.

Es importante tener en cuenta que cualquier análisis económico debe ser realizado de manera integral, tomando en consideración todos los aspectos

relevantes para tomar decisiones informadas y garantizar que la inversión sea rentable y cumpla con los objetivos del proyecto. Además, es recomendable realizar proyecciones a largo plazo para evaluar los beneficios y costos durante la vida útil del sistema de aislamiento implementado.

Tabla 14. Costos - Aislamiento de Tuberías del Sistema de Agua de Refrigeración

ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	COSTO US\$/mes
Supervisión y mano de obra calificada	1 Supervisor	2,264.71
	1 Operador Mecánico - Eléctrico	1,564.71
	2 Ayudantes	1,729.42
SUB TOTAL 1		5,558.84
Transporte; desde Lima a Callahuanca	Combustible para 58.5 km por tramo, estimándose un total de 6 tramos (entre ida y retorno) se obtiene un recorrido total de 351 km	50.00
	Alquiler de Toyota Hilux 2.4 D Pick up, por 1 día/mes. Anexo 20.	100.00
	Remuneración del conductor por 1 día/mes.	80.00
SUB TOTAL 2		230.00
Alquiler de herramientas y otros suministros	Herramientas Manuales y Eléctricas	1,000.00
Equipos de Protección Personal	Adquisición de uniformes, zapatos dieléctricos, lentes, audífonos, etc.	500.00
Fondo de contingencias	Gastos diversos	500.00
SUB TOTAL 3		2,000.00
Espuma Elastomérica	Material cotizado para cubrir las necesidades del aislamiento de tuberías	3,322.12
TOTAL		11,110.96

Fuente: Elaboración Propia

Basado en la información proporcionada, se puede concluir lo siguiente:

- Reorganización en la distribución de cables: La propuesta de reorganización en la distribución de cables por el sistema de bandejas no resulta rentable ni viable debido a la complejidad y el costo asociado con la reforma global de la ubicación de los cables. Además, la aprobación de la empresa responsable de la rehabilitación eléctrica (Andritz México) sería necesaria para cualquier modificación, lo que podría generar demoras y complicaciones adicionales.
- Instalación de una caseta de protección para las celdas de TP's y pararrayos: La exposición de las celdas de TP's y pararrayos a eventos probabilísticos representa un riesgo significativo. Por lo tanto, es recomendable tomar medidas urgentes para evitar cualquier posibilidad de explosión o daño a los componentes. La instalación de una caseta de protección podría ser una acción correctiva necesaria y adecuada para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento de las celdas.
- En resumen, se debe priorizar la seguridad y el funcionamiento eficiente de los equipos en la Central Hidroeléctrica Callahuanca. Las propuestas que implican un alto costo y complejidad pueden no ser viables en función de los recursos disponibles y la aprobación necesaria. Sin embargo, las medidas preventivas y correctivas para evitar riesgos potenciales deben ser consideradas y llevadas a cabo para garantizar la operación segura y confiable de la central.

Revestimiento de Superficies.

Por la importancia del revestimiento de las superficies. Se dispuso a instalación de una caseta para la protección en su superficie, con la finalidad que sea conservada la integridad de las celdas de TP's y Pararrayos y así prevenir impases en su funcionalidad y en las instalaciones que puedan depender de dichas celdas. Ver Anexo 10.

El programa de mantenimiento diseñado para la Central Hidroeléctrica Callahuanca tiene como objetivo realizar acciones oportunas y planificadas que beneficien las instalaciones y mejoren la confiabilidad del sistema eléctrico. El

enfoque principal es el mantenimiento preventivo, que busca evitar fallas y reducir los gastos operativos al mantener en óptimas condiciones las máquinas, equipos e instalaciones eléctricas en conjunto. La idea es evitar el mantenimiento correctivo, que generalmente implica mayores costos y tiempos de inactividad.

El mantenimiento preventivo se basa en la realización de inspecciones periódicas, mantenimientos regulares, pruebas y ajustes para asegurar que todos los equipos estén funcionando correctamente y que se realicen las acciones correctas antes de que surjan problemas. Esto permite prevenir el deterioro progresivo de los componentes y evita situaciones de emergencia.

Mediante el mantenimiento programado y preventivo, la central hidroeléctrica puede mantenerse operativa de manera más confiable y eficiente, lo que a su vez garantiza un flujo continuo y seguro de energía. Además, se reducen los costos asociados con el mantenimiento correctivo, las reparaciones no planificadas y las pérdidas de producción debido a paradas no programadas.

En resumen, el programa de mantenimiento diseñado para la C.H. Callahuanca es una estrategia integral para preservar la integridad y el rendimiento del sistema eléctrico, brindando beneficios tanto en términos de confiabilidad como de eficiencia operativa.

Las acciones propuestas para ejecutar un programa de mantenimiento preventivo y garantizar el buen funcionamiento del sistema eléctrico en la Central Hidroeléctrica Callahuanca son las siguientes:

1. Inspección periódica de corriente y tensión: Realizar inspecciones regulares para controlar los niveles de corriente y tensión de las cargas y alimentadores de mayor consumo de energía. Mantener un registro de las incidencias encontradas en cada equipo para detectar posibles daños y prevenir problemas futuros.
2. Prueba y limpieza de contactos: Realizar pruebas periódicas de los contactos de interruptores termomagnéticos y limpiarlos para evitar problemas de tierra, polvo, residuos y falsos contactos que puedan afectar el funcionamiento de los equipos.

3. Verificación de fusibles y puesta a tierra: Verificar periódicamente el estado de los fusibles, así como las conexiones a tierra y el nivel de aislamiento de los cables y conductores eléctricos. Tomar todas las medidas de seguridad necesarias y utilizar equipos de protección personal.
4. Etiquetado y limpieza de tableros: Asegurar que todos los tableros y sub-tableros estén correctamente etiquetados y limpios para facilitar la identificación y el acceso rápido a los componentes.
5. Mantenimiento de la iluminación: Garantizar la integridad y el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes de iluminación, como lámparas, luminarias y conexiones.
6. Control de tapas de canaletas: Verificar que las tapas de las canaletas estén correctamente posicionadas para evitar la entrada de agentes externos y el contacto con los diferentes cables en casa de máquinas.

Estas acciones, realizadas de manera coordinada y frecuente, contribuirán a mantener en óptimas condiciones las instalaciones eléctricas, prevenir fallas y asegurar un flujo confiable y seguro de energía en la Central Hidroeléctrica Callahuanca. Además, la difusión de una cultura de mantenimiento preventivo y buenas prácticas entre el personal permanente será fundamental para garantizar la efectividad y continuidad de estas acciones.

La promoción del mantenimiento preventivo y el uso racional y eficiente de la energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica Callahuanca requiere la implementación de acciones simples pero significativas. Para lograr una responsabilidad colectiva y cumplir los objetivos establecidos, se sugiere invertir en las siguientes actividades:

- Diseñar presentaciones para los empleados y trabajadores de la central: Se pueden desarrollar presentaciones educativas que destaquen la importancia del mantenimiento preventivo y del uso responsable de la energía eléctrica. Estas presentaciones pueden incluir ejemplos prácticos, estadísticas y consejos para fomentar una cultura de cuidado y responsabilidad en el manejo de los equipos y sistemas eléctricos.

- Impartir talleres sobre la gestión energética de la central: Organizar talleres especializados sobre la gestión de la energía eléctrica en la central, donde se aborden temas como la optimización del consumo, identificación de ineficiencias y buenas prácticas en el uso de la energía. Estos talleres pueden ser dirigidos por expertos en eficiencia energética y pueden incluir ejercicios prácticos y discusiones participativas.
- Campañas de divulgación sobre el uso racional de la energía: Lanzar campañas de divulgación que involucren a todos los miembros de la central. Estas campañas pueden incluir carteles, folletos, videos y mensajes en lugares visibles, destacando consejos para ahorrar energía y promover el mantenimiento preventivo. También se pueden realizar actividades de concientización y premiaciones para reconocer a aquellos empleados que implementen prácticas sostenibles y eficientes.

La inversión en estas actividades educativas y de divulgación es crucial para generar una cultura de cuidado y eficiencia energética en la central. Al capacitar al personal y sensibilizarlos sobre la importancia del mantenimiento preventivo y el uso responsable de la energía, se podrán obtener beneficios significativos como la reducción de costos operativos, la prolongación de la vida útil de los equipos y la contribución al cuidado del medio ambiente. Además, una mayor conciencia y responsabilidad colectiva asegurará que estas prácticas se mantengan a largo plazo y se conviertan en parte integral de la operación de la central.

El análisis económico realizado muestra que la inversión inicial de 2,800.00 US\$ para implementar acciones de promoción del mantenimiento preventivo y uso eficiente de la energía en la Central Hidroeléctrica Callahuanca es altamente rentable. Se estima que estas acciones pueden generar un ahorro energético del 2.5%, lo que equivale a un ahorro de 42,577 kWh/año. En términos económicos, esto representa un ahorro de 3,086.83 US\$ por año en los costos de consumo de energía eléctrica.

El cálculo del tiempo de recuperación, que es el tiempo necesario para que la inversión inicial se recupere con los ahorros generados, es de 0.9 años. Esto significa que en menos de un año, los beneficios económicos obtenidos a través del ahorro energético superarían la inversión inicial realizada. Después de ese período, los ahorros seguirían acumulándose año tras año, proporcionando un retorno significativo de la inversión.

Llevar a cabo un mantenimiento preventivo y promover el uso eficiente de la energía siempre será más rentable que el mantenimiento correctivo, ya que permite evitar costosos problemas y fallas no planificadas. Además, el enfoque en la eficiencia energética contribuye a reducir los costos operativos y promueve una operación más sostenible y responsable con el medio ambiente.

En conclusión, implementar acciones de promoción del mantenimiento preventivo y eficiencia energética en la Central Hidroeléctrica Callahuanca es una estrategia altamente rentable, que generará ahorros significativos y beneficios a corto plazo, con una rápida recuperación de la inversión inicial. Estas acciones también contribuirán a mejorar la confiabilidad y la sostenibilidad del sistema eléctrico en la central

El diagnóstico de rentabilidad realizado para las iniciativas en la Central Hidroeléctrica Callahuanca se basa en el análisis energético de las instalaciones, con el objetivo de demostrar la factibilidad económica para optimizar y reducir los costos mensuales. Se tomó como referencia los precios de energía eléctrica proporcionados por OSINERGMIN para el período de mayo 2019 a abril 2020, aplicados al suministro desde las Barras de Referencia de Generación con un nivel de tensión de 220 kV en la central.

El enfoque de determinar la rentabilidad está orientado hacia el sustento económico de las propuestas de inversión. Algunos parámetros y condiciones que se consideran para evaluar la rentabilidad de las iniciativas son:

- Inversión inicial: Se evalúa el costo total de la inversión requerida para implementar las propuestas, incluyendo la adquisición de materiales, equipos y cualquier gasto necesario para la ejecución del proyecto.
- Ahorro energético: Se calcula el ahorro de energía que se espera obtener mediante la implementación de las iniciativas. Esto puede incluir el uso eficiente de la energía, mantenimiento preventivo, mejoras en equipos, entre otros.
- Costos operativos: Se consideran los costos operativos asociados con el mantenimiento y funcionamiento de los equipos e instalaciones, tanto antes como después de la implementación de las propuestas.
- Tiempo de recuperación: Se analiza el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los ahorros obtenidos. Un tiempo de recuperación más corto indica una mayor rentabilidad.
- Beneficios adicionales: Se toman en cuenta otros beneficios no directamente relacionados con el ahorro de energía, como la prolongación de la vida útil de los equipos, la mejora en la confiabilidad del sistema y la contribución a la sostenibilidad ambiental.

Al evaluar estas variables, se determina si las iniciativas propuestas son rentables económicamente. Aquellas que presenten un tiempo de recuperación adecuado y un beneficio económico positivo serán consideradas viables y recomendadas para su implementación.

Es importante destacar que el análisis energético y el diagnóstico de rentabilidad deben basarse en datos y cifras precisas y actualizadas, además de considerar cualquier variable relevante que pueda afectar el resultado. Un enfoque integral y detallado asegura una evaluación precisa y fundamentada de la rentabilidad de las propuestas.

4.3. Resultados de la Evaluación de Inversión.

Inversión Inicial.

Tabla 15. Síntesis de la Inversión Total

DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN (US\$)
Aislamiento de Tuberías en el Sistema de Agua de Refrigeración (SAR)	11,110.96
Instalación de una Caseta de Protección para las Celdas de TP's y Pararrayos	1,443.00
Mantenimiento Preventivo en Instalaciones Eléctricas	2,800.00
TOTAL	15,353.96

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta las fórmulas del flujo neto de caja, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio/costo y el Pay Back (Años), se determina la rentabilidad económica, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16. Flujo de Rentabilidad

Nº	INVERSIÓN INICIAL (US\$)	EGRESOS (US\$)	INGRESOS (US\$)	FLUJO NETO EFECTIVO PROYECTADO (US\$)
0	15 353.96			-15 353.96
1		2 500.00	13 893.54	11 393.54
2		2 500.00	13 893.54	11 393.54
3		2 500.00	13 893.54	11 393.54
4		2 500.00	13 893.54	11 393.54
5		2 500.00	13 893.54	11 393.54
6		2 500.00	13 893.54	11 393.54
7		2 500.00	13 893.54	11 393.54
8		2 500.00	13 893.54	11 393.54
9		2 500.00	13 893.54	11 393.54
10		2 500.00	13 893.54	11 393.54
VAN (US\$)				
	54 654.41	TIR		73.91 %
PAY BACK (AÑOS)				
	1.35	B/C		2.78 %

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la rentabilidad económica de las iniciativas en la Central Hidroeléctrica Callahuanca, utilizaremos las fórmulas del flujo neto de caja, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio/costo y el Pay Back (Años). A continuación, calcularé cada uno de estos indicadores:

1. Flujo Neto de Caja:

El flujo neto de caja es la diferencia entre los ingresos y los egresos de cada año. Para el año 0, hay una inversión inicial de 15,353.96 US\$ sin ingresos, lo que resulta en un flujo neto de -15,353.96 US\$. A partir del año 1, los ingresos son de 13,893.54 US\$ y los egresos son de 2,500.00 US\$, lo que da como resultado un flujo neto de 11,393.54 US\$ en cada año.

2. Valor Actual Neto (VAN):

El VAN es la suma de los flujos netos de caja descontados a una tasa de descuento apropiada. En este caso, la tasa de descuento no se proporciona, así que asumiremos una tasa de descuento del 10% anual para los cálculos.

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{Fn}{(1+k)^n} = 0$$

$$\begin{aligned} VAN &= -15,353.96 / (1 + 0.10)^0 + 11,393.54 / (1 + 0.10)^1 + 11,393.54 / \\ &(1 + 0.10)^2 + \dots + 11,393.54 / (1 + 0.10)^{10} \\ VAN &= 54,654.41 \text{ US\$} \end{aligned}$$

3. Tasa Interna de Retorno (TIR):

La TIR es la tasa de descuento que iguala el VAN a cero. Para calcularla, utilizaremos la tasa de descuento asumida del 10%.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t} - I_0$$

$$CF_1 \neq CF_2 \neq CF_3 \neq \dots \neq CF_j \neq \dots \neq CF_n$$

$$VAN = -D_0 + \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{FC_j}{(1+k)^j} + \dots + \frac{FC_n}{(1+k)^n} > 0$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo Neto de Caja}}{(1 + TIR)^t} = 0$$

$$54,654.41 = -15,353.96 / (1 + TIR)^0 + 11,393.54 / (1 + TIR)^1 + \dots + 11,393.54 / (1 + TIR)^{10}.$$

Utilizando métodos numéricos o una hoja de cálculo, podemos determinar que la TIR es aproximadamente del 73.91%.

4. Relación Beneficio/Costo (B/C):

La relación B/C es la relación entre los ingresos totales y los egresos totales.

$$B/C = (\sum \text{Ingresos}) / (\sum \text{Egresos})$$

$$B/C = (13,893.54 * 10) / (2,500.00 * 10)$$

$$B/C = 2.78$$

5. Pay Back (Años):

El Pay Back es el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.

$$\text{Pay Back} = \text{Inversión Inicial} / \text{Flujo Neto de Caja Anual.}$$

$$\text{Pay Back} = 15,353.96 / 11,393.54$$

$$\text{Pay Back} = 1.35 \text{ años.}$$

Conclusiones:

- El Valor Actual Neto (VAN) de la inversión es de 54,654.41 US\$, lo que indica que es una inversión rentable, ya que el VAN es positivo.
- La Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 73.91%, lo que indica que el proyecto también es rentable, ya que la TIR es mayor que la tasa de descuento asumida.

- La Relación Beneficio/Costo (B/C) es de 2.78, lo que indica que los ingresos superan en 2.78 veces a los egresos, lo que es positivo.
- El Pay Back es de 1.35 años, lo que significa que se recuperará la inversión inicial en aproximadamente 1.35 años.

En resumen, el análisis de rentabilidad muestra que las iniciativas en la Central Hidroeléctrica Callahuanca son altamente rentables, con un VAN positivo, una alta TIR, una relación beneficio/costo favorable y un corto período de recuperación de la inversión. Esto respalda la viabilidad económica de las propuestas y sugiere que su implementación traerá beneficios financieros significativos a la central.

Ahorro Energético y Económico Anual.

- Ahorro Económico por Aislamiento de Tuberías en el Sistema de Agua de Refrigeración (SAR):
Ahorro Energético Anual = 10,428 kWh
Ahorro Económico Anual = 756.03 US\$.

- Ahorro Económico por Instalación de Caseta de Protección para las Celdas de TP's y Pararrayos:
Ahorro Energético Anual = 138,630 kWh
Ahorro Económico Anual = 10,050.68 US\$

- Ahorro Económico por Mantenimiento Preventivo en Instalaciones Eléctricas:
Ahorro Energético Anual = 42,577 kWh.
Ahorro Económico Anual = 3,086.83 US\$

Ahora sumaremos los ahorros económicos anuales de las tres iniciativas para obtener el ahorro económico total anual:

Ahorro Económico Total Anual = Ahorro Económico Aislamiento + Ahorro Económico Caseta + Ahorro Económico Mantenimiento.

Ahorro Económico Total Anual = 756.03 US\$ + 10,050.68 US\$ + 3,086.83 US\$.

Ahorro Económico Total Anual = 13,893.54.

El ahorro económico total anual considerando las mejoras en el aislamiento de tuberías, la instalación de caseta de protección y el mantenimiento preventivo en instalaciones eléctricas es de 13,893.54 US\$. Esto representa el beneficio financiero anual que se obtendría al implementar estas iniciativas en la Central Hidroeléctrica Callahuanca.

Tabla 17. Síntesis del Ahorro Económico Total

DESCRIPCIÓN	AHORRO ECONÓMICO (US\$/AÑO)
Aislamiento de Tuberías en el Sistema de Agua de Refrigeración (SAR)	756.03
Instalación de una Caseta de Protección para las Celdas de TP's y Pararrayos	10,050.68
Mantenimiento Preventivo en Instalaciones Eléctricas	3,086.83
TOTAL	13,893.54

Fuente: Elaboración Propia

Mantenimiento de la Implementación.

Con la incorporación de los gastos fijos anuales de 2,500.00 US\$, los flujos netos de efectivo proyectados se han ajustado para reflejar este egreso adicional en cada año. Los resultados del análisis económico siguen siendo positivos, con un Valor Actual Neto (VAN) de 54,654.41 US\$, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 73.91%, un Pay Back de 1.35 años y una Relación Beneficio/Costo (B/C) de 2.78.

Esto indica que, a pesar de los gastos fijos anuales para el mantenimiento y conservación de las implementaciones, el proyecto sigue siendo altamente rentable y beneficioso financieramente para la Central Hidroeléctrica

Callahuanca. Las iniciativas propuestas generarán un ahorro económico significativo a lo largo del tiempo y contribuirán a optimizar y reducir los costos operativos de la central.

Parámetros Económicos.

Los parámetros a considerar en el análisis de rentabilidad económica son:

Tabla 18. Parámetros Económicos

DATOS	VALORES
Número de Períodos	10
Tipo de Período	Anual
Tasa de Descuento	10%

Fuente: Elaboración Propia

Determinación de la mejora de la Eficiencia de cada Unidad, después de la aplicación de las propuestas en la Central Hidroeléctrica.

Se hizo la cuantificación de la mejora de eficiencia de cada unidad de la Central Hidroeléctrica; el análisis se hizo teniendo en cuenta que la potencia hidráulica de cada unidad está en función a la velocidad de ingreso del fluido, la velocidad de giro de la turbina y las pérdidas de energía en el transporte del fluido que circula por la tubería de presión y por los diferentes accesorios de control y regulación del caudal.

Para ello, se hizo la medición de las velocidades del fluido al ingreso y salida de la turbina y con ello se determinó el grado de reacción de cada unidad, utilizando la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{P1 - P2}{p} = 1 - \frac{C_1^2 - C_2^2}{2gH_{t\infty}}$$

Dónde

σ = Grado de Reacción.

C1: Velocidad de ingreso, en m/s

C2: Velocidad de salida, en m/s.

H: Altura neta.

Tabla 19. *Grado de Reacción en Unidades de Central Hidroeléctrica.*

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
Unidad 1: Altura Neta: 415 m	1	80.12	10.19	0.224
	2	80.13	10.31	0.225
	3	80.13	10.43	0.225
	4	80.14	10.55	0.225
	5	80.14	10.67	0.225
	6	80.15	10.56	0.225
	7	80.15	10.45	0.224
	8	80.16	10.34	0.224
	9	80.32	10.23	0.221
	10	80.48	10.33	0.218
	11	80.64	10.44	0.215
	12	80.80	10.54	0.212
	13	80.96	10.65	0.209
	14	80.96	10.32	0.208
	15	80.96	10.00	0.207
	16	80.95	10.02	0.207
	17	80.95	10.05	0.208
	18	80.95	10.07	0.208
	19	80.95	10.10	0.208
	20	80.95	10.12	0.208
	21	80.94	10.15	0.208
	22	80.94	10.17	0.208
	23	80.94	10.12	0.208
	24	80.94	10.07	0.208
	25	80.94	10.02	0.208
	26	80.93	9.97	0.208
	27	80.93	9.92	0.208
	28	80.93	9.87	0.208
	29	80.93	9.91	0.208
	30	80.93	9.95	0.208
	31	80.92	9.99	0.208
	32	80.52	10.03	0.216
	33	80.12	10.07	0.224
	34	79.72	10.11	0.232

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
	35	79.72	10.15	0.232
	36	79.73	10.19	0.232
	37	79.73	10.23	0.232
	38	79.73	10.27	0.232
	39	79.73	10.31	0.232
	40	79.74	10.36	0.232
	41	79.74	10.40	0.232
	42	79.74	10.44	0.232
	43	79.91	10.48	0.229
	44	80.08	10.52	0.226
	45	80.24	10.56	0.223
	46	80.41	10.61	0.220
	47	80.58	10.65	0.216
	48	80.75	10.69	0.213
	49	80.92	10.74	0.210
	50	81.09	10.73	0.207
	51	81.26	10.73	0.203
	52	81.26	10.72	0.203
	53	81.26	10.72	0.203
	54	81.25	10.72	0.203
	55	81.25	10.71	0.203
	56	81.25	10.71	0.203
	57	81.25	10.70	0.203
	58	81.24	10.70	0.203
	59	81.24	10.70	0.203
	60	81.24	10.69	0.203
	61	81.24	10.69	0.204
	62	81.07	10.68	0.207
	63	80.91	10.68	0.210
	64	80.75	10.68	0.213
	65	80.59	10.67	0.216
	66	80.43	10.67	0.220
	67	80.27	10.66	0.223
	68	80.11	10.66	0.226
	69	79.95	10.66	0.229
	70	79.95	10.65	0.229
	71	79.95	10.65	0.229
	72	79.95	10.64	0.229
	73	79.96	10.64	0.229
	74	79.96	10.64	0.229
	75	79.96	10.63	0.229

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
	76	79.96	10.59	0.228
	77	79.96	10.54	0.228
	78	79.97	10.50	0.228
	79	79.97	10.45	0.228
	80	79.97	10.41	0.228
	81	79.97	10.36	0.228
	82	79.98	10.32	0.228
	83	79.98	10.27	0.227
	84	79.98	10.23	0.227
	85	79.98	10.18	0.227
	86	79.98	10.14	0.227
	87	79.99	10.09	0.227
	88	79.99	10.11	0.227
	89	79.99	10.13	0.227
	90	79.99	10.15	0.227
	91	79.99	10.17	0.227
	92	80.00	10.19	0.227
	93	80.02	10.21	0.226
	94	80.04	10.23	0.226
	95	80.06	10.25	0.226
	96	80.08	10.27	0.225
	97	80.11	10.29	0.225
	98	80.13	10.32	0.225
	99	80.15	10.34	0.224
	100	80.17	10.36	0.224

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. *Grado de Reacción en Unidades de Central Hidroeléctrica.*

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
Unidad 2: Altura Neta: 415 m	1	80.12	10.31	0.225
	2	80.15	10.43	0.224
	3	80.18	10.55	0.224
	4	80.21	10.67	0.224
	5	80.24	10.79	0.224
	6	80.27	10.68	0.223
	7	80.30	10.57	0.222
	8	80.33	10.46	0.221
	9	80.36	10.35	0.220
	10	80.39	10.45	0.220

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
	11	80.59	10.56	0.216
	12	80.80	10.66	0.212
	13	81.01	10.77	0.208
	14	81.21	10.44	0.203
	15	81.20	10.12	0.203
	16	81.19	10.14	0.203
	17	81.18	10.17	0.203
	18	81.17	10.19	0.204
	19	81.15	10.22	0.204
	20	81.14	10.24	0.204
	21	81.13	10.27	0.205
	22	81.12	10.29	0.205
	23	81.11	10.24	0.205
	24	81.08	10.19	0.205
	25	81.06	10.14	0.206
	26	81.04	10.09	0.206
	27	81.02	10.04	0.206
	28	81.00	9.99	0.206
	29	80.98	10.03	0.207
	30	80.96	10.07	0.207
	31	80.94	10.11	0.208
	32	80.92	10.15	0.209
	33	80.90	10.19	0.209
	34	80.87	10.23	0.210
	35	80.85	10.22	0.210
	36	80.83	10.21	0.210
	37	80.81	10.20	0.211
	38	80.79	10.18	0.211
	39	80.93	10.17	0.208
	40	80.93	10.16	0.208
	41	80.93	10.15	0.208
	42	80.93	10.14	0.208
	43	80.94	10.12	0.208
	44	79.27	10.11	0.241
	45	79.29	10.10	0.240
	46	79.31	10.09	0.240
	47	79.33	10.08	0.239
	48	79.36	10.06	0.239
	49	79.38	10.05	0.239
	50	79.40	10.08	0.238
	51	79.42	10.10	0.238

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
	52	79.44	10.12	0.238
	53	79.46	10.15	0.237
	54	79.48	10.17	0.237
	55	79.50	10.20	0.237
	56	79.52	10.22	0.236
	57	79.54	10.24	0.236
	58	79.57	10.27	0.235
	59	79.59	10.29	0.235
	60	79.61	10.32	0.235
	61	79.63	10.34	0.234
	62	79.65	10.36	0.234
	63	79.67	10.39	0.234
	64	79.69	10.41	0.233
	65	79.71	10.44	0.233
	66	79.73	10.46	0.233
	67	79.75	10.48	0.232
	68	79.78	10.51	0.232
	69	79.80	10.53	0.232
	70	79.82	10.56	0.231
	71	79.84	10.58	0.231
	72	79.86	10.60	0.231
	73	79.88	10.63	0.230
	74	79.90	10.65	0.230
	75	79.92	10.68	0.230
	76	79.94	10.70	0.229
	77	79.96	10.72	0.229
	78	79.99	10.75	0.228
	79	80.01	10.77	0.228
	80	80.03	10.80	0.228
	81	80.05	10.82	0.227
	82	80.07	10.84	0.227
	83	80.09	10.87	0.227
	84	80.11	10.89	0.226
	85	80.13	10.92	0.226
	86	80.15	10.94	0.226
	87	80.17	10.96	0.225
	88	80.20	10.94	0.225
	89	80.22	10.92	0.224
	90	80.24	10.89	0.224
	91	80.26	10.87	0.223
	92	80.28	10.85	0.223

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
	93	80.30	10.83	0.222
	94	80.32	10.80	0.222
	95	80.34	10.78	0.222
	96	80.36	10.76	0.221
	97	80.38	10.74	0.221
	98	80.41	10.71	0.220
	99	80.43	10.69	0.220
	100	80.45	10.67	0.219

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. *Grado de Reacción en Unidades de Central Hidroeléctrica.*

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
Unidad 3: Altura Neta: 415 m	1	80.14	10.10	0.224
	2	80.17	10.22	0.223
	3	80.20	10.33	0.223
	4	80.23	10.45	0.223
	5	80.26	10.57	0.223
	6	80.29	10.46	0.222
	7	80.32	10.35	0.221
	8	80.35	10.24	0.220
	9	80.38	10.14	0.219
	10	80.41	10.24	0.219
	11	80.62	10.34	0.215
	12	80.82	10.44	0.211
	13	81.03	10.54	0.207
	14	81.23	10.22	0.202
	15	81.22	9.91	0.202
	16	81.21	9.93	0.202
	17	81.20	9.96	0.202
	18	81.19	9.98	0.203
	19	81.17	10.01	0.203
	20	81.16	10.03	0.203
	21	81.15	10.06	0.204
	22	81.14	10.08	0.204
	23	81.13	10.03	0.204
	24	81.11	9.98	0.204

25	81.08	9.93	0.205
26	81.06	9.88	0.205
27	81.04	9.83	0.205
28	81.02	9.79	0.206
29	81.00	9.82	0.206
30	80.98	9.86	0.207
31	80.96	9.90	0.207
32	80.94	9.94	0.208
33	80.92	9.98	0.208
34	80.90	10.02	0.209
35	80.87	10.01	0.209
36	80.85	10.00	0.209
37	80.83	9.99	0.210
38	80.81	9.97	0.210
39	80.95	9.96	0.207
40	80.95	9.95	0.207
41	80.95	9.94	0.207
42	80.96	9.93	0.207
43	80.96	9.91	0.207
44	79.29	9.90	0.240
45	79.31	9.89	0.239
46	79.33	9.88	0.239
47	79.36	9.87	0.239
48	79.38	9.86	0.238
49	79.40	9.84	0.238
50	79.42	9.87	0.237
51	79.44	9.89	0.237
52	79.46	9.91	0.237
53	79.48	9.94	0.236
54	79.50	9.96	0.236
55	79.52	9.99	0.236
56	79.54	10.01	0.235
57	79.57	10.03	0.235
58	79.65	10.06	0.233
59	79.67	10.08	0.233
60	79.69	10.10	0.233
61	79.72	10.13	0.232
62	79.74	10.15	0.232
63	79.76	10.17	0.231
64	79.78	10.20	0.231
65	79.80	10.22	0.231
66	79.82	10.24	0.230
67	79.84	10.27	0.230

68	79.86	10.29	0.230
69	79.88	10.31	0.229
70	79.90	10.34	0.229
71	79.93	10.36	0.229
72	79.95	10.39	0.228
73	80.75	10.41	0.212
74	80.77	10.43	0.212
75	80.79	10.46	0.212
76	80.81	10.48	0.211
77	80.84	10.50	0.211
78	80.86	10.53	0.211
79	80.88	10.55	0.210
80	80.90	10.57	0.210
81	80.92	10.60	0.210
82	80.94	10.62	0.209
83	80.96	10.64	0.209
84	80.98	10.67	0.209
85	81.00	10.69	0.208
86	81.02	10.71	0.208
87	79.30	10.74	0.242
88	79.32	10.72	0.241
89	79.35	10.69	0.241
90	79.37	10.67	0.240
91	79.39	10.65	0.240
92	80.49	10.63	0.218
93	80.51	10.60	0.218
94	80.53	10.58	0.217
95	80.55	10.56	0.217
96	80.57	10.54	0.216
97	80.59	10.51	0.216
98	80.62	10.49	0.215
99	80.64	10.47	0.215
100	80.66	10.45	0.214

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. *Grado de Reacción en Unidades de Central Hidroeléctrica.*

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
Unidad 4: Altura Neta: 423.3 m	1	78.13	10.29	0.263
	2	78.11	10.42	0.264
	3	78.09	10.54	0.265
	4	78.07	10.66	0.265

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
	5	78.30	10.78	0.261
	6	78.54	10.67	0.256
	7	78.77	10.56	0.252
	8	79.01	10.45	0.247
	9	79.25	10.34	0.242
	10	79.49	10.44	0.237
	11	79.72	10.55	0.233
	12	79.96	10.65	0.229
	13	80.20	10.75	0.224
	14	80.44	10.43	0.219
	15	80.69	10.11	0.213
	16	80.93	10.13	0.208
	17	81.17	10.16	0.203
	18	81.41	10.18	0.199
	19	81.17	10.21	0.204
	20	80.93	10.23	0.209
	21	80.69	10.26	0.213
	22	80.44	10.28	0.218
	23	80.20	10.23	0.223
	24	79.96	10.18	0.227
	25	80.00	10.13	0.227
	26	80.03	10.08	0.226
	27	80.06	10.03	0.225
	28	80.09	9.98	0.224
	29	80.12	10.02	0.224
	30	80.16	10.06	0.223
	31	80.19	10.10	0.223
	32	80.22	10.14	0.222
	33	80.25	10.18	0.222
	34	80.28	10.22	0.221
	35	80.32	10.21	0.221
	36	80.35	10.20	0.220
	37	80.38	10.19	0.219
	38	80.41	10.17	0.219
	39	80.44	10.16	0.218
	40	80.48	10.15	0.217
	41	80.51	10.14	0.217
	42	80.54	10.13	0.216
	43	80.57	10.11	0.215
	44	80.60	10.10	0.215
	45	80.64	10.09	0.214

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
	46	80.67	10.08	0.213
	47	80.70	10.07	0.213
	48	80.73	10.05	0.212
	49	80.76	10.04	0.211
	50	80.80	10.07	0.211
	51	80.83	10.09	0.210
	52	80.86	10.11	0.210
	53	80.89	10.14	0.209
	54	80.92	10.16	0.208
	55	80.96	10.19	0.208
	56	80.99	10.21	0.207
	57	81.02	10.23	0.207
	58	81.05	10.26	0.206
	59	81.08	10.28	0.206
	60	81.12	10.30	0.205
	61	81.15	9.93	0.203
	62	81.18	9.95	0.203
	63	81.21	9.97	0.202
	64	81.24	10.00	0.202
	65	81.28	10.02	0.201
	66	81.31	10.04	0.200
	67	81.34	10.07	0.200
	68	81.37	10.09	0.199
	69	81.40	10.11	0.199
	70	81.44	10.14	0.198
	71	81.47	10.16	0.198
	72	81.30	10.18	0.201
	73	81.13	10.20	0.204
	74	80.96	10.23	0.208
	75	80.79	10.25	0.211
	76	80.62	10.27	0.215
	77	80.45	10.30	0.218
	78	80.28	10.32	0.222
	79	80.11	10.34	0.225
	80	80.14	10.37	0.224
	81	80.16	10.39	0.224
	82	80.19	10.41	0.224
	83	80.21	10.43	0.223
	84	80.23	10.46	0.223
	85	80.25	10.48	0.223
	86	80.27	10.50	0.222

Turbina	Medición	Velocidad de Ingreso (m/s)	Velocidad de salida m/s	Grado de reacción
	87	80.29	10.53	0.222
	88	80.31	10.51	0.221
	89	80.33	10.48	0.221
	90	80.35	10.46	0.220
	91	80.37	10.44	0.220
	92	80.40	10.42	0.220
	93	80.42	10.40	0.219
	94	80.44	10.37	0.219
	95	80.46	10.35	0.218
	96	80.48	10.33	0.218
	97	80.50	10.31	0.217
	98	80.52	10.29	0.217
	99	80.54	10.27	0.216
	100	80.56	10.24	0.216

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la Figura 15, la tendencia del grado de reacción de cada una de las unidades de la Central Hidroeléctrica:

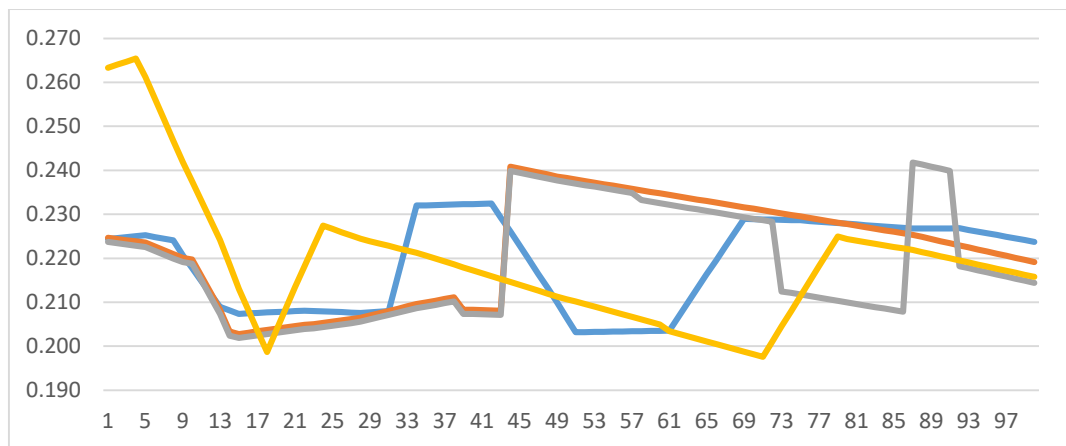


Figura 15. Tendencia del grado de reacción de las turbinas Pelton

Fuente: Elaboración propia.

Se hizo el cálculo de la eficiencia hidráulica que tiene cada turbina hidráulica, en función a las mediciones de las velocidades de fluido, la potencia de generación.

Tabla 23. *Eficiencia hidráulica después de la mejora*

Medición	Mejora de la eficiencia hidráulica %			
	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4
1	82.300	81.300	81.500	79.100
2	82.330	81.323	81.523	79.123
3	82.360	81.346	81.546	79.146
4	82.390	81.369	81.569	79.169
5	82.420	81.392	81.592	79.192
6	82.450	81.415	81.615	79.215
7	82.480	81.438	81.638	79.238
8	82.510	81.461	81.661	79.261
9	82.540	81.484	81.684	79.284
10	82.570	81.507	81.707	79.307
11	82.600	81.530	81.730	79.330
12	82.630	81.553	81.753	79.353
13	82.660	81.576	81.776	79.376
14	82.690	81.599	81.799	79.399
15	82.720	81.622	81.822	79.422
16	82.750	81.645	81.845	79.445
17	82.780	81.668	81.868	79.468
18	82.810	81.691	81.891	79.491
19	82.840	81.714	81.914	79.514
20	82.870	81.737	81.937	79.537
21	82.900	81.760	81.960	79.560
22	82.930	81.783	81.983	79.583
23	82.960	81.806	82.006	79.560
24	82.990	81.829	82.029	79.537
25	83.020	81.852	82.052	79.514
26	82.990	81.875	82.075	79.491
27	82.960	81.898	82.098	79.468
28	82.930	81.921	82.121	79.445
29	82.900	81.944	82.144	79.422
30	82.870	81.967	82.167	79.399
31	82.840	81.990	82.190	79.376
32	82.810	82.013	82.213	79.353
33	82.780	81.992	82.192	79.273
34	82.750	81.971	82.171	79.193
35	82.720	81.950	82.120	79.113
36	82.690	81.929	82.099	79.111
37	82.660	81.908	82.078	79.031
38	82.630	81.887	82.057	79.268
39	82.600	81.866	82.036	79.506
40	82.570	81.845	82.015	79.744

Medición	Mejora de la eficiencia hidráulica %			
	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4
41	82.540	81.824	81.994	79.984
42	82.510	81.803	81.973	80.224
43	82.480	81.782	81.952	80.464
44	82.450	81.761	81.931	80.706
45	82.420	81.740	81.910	80.948
46	82.390	81.759	81.929	81.191
47	82.360	81.778	82.110	81.188
48	82.330	81.796	82.129	81.185
49	82.300	81.815	82.148	81.182
50	82.465	81.834	82.167	81.179
51	82.630	81.853	82.186	81.176
52	82.795	81.872	82.204	81.173
53	82.960	81.853	82.186	81.170
54	83.126	81.834	82.167	79.578
55	83.293	81.815	82.148	79.581
56	83.263	81.796	82.129	79.584
57	83.233	81.778	82.110	79.587
58	83.203	81.759	82.091	79.590
59	83.173	81.740	82.072	79.593
60	83.143	81.721	82.053	79.596
61	83.113	81.702	82.120	79.599
62	83.083	81.684	82.101	79.602
63	83.053	81.665	82.082	79.605
64	83.023	81.646	82.063	79.788
65	82.993	81.627	82.044	79.972
66	82.963	81.609	82.026	80.156
67	82.933	81.590	82.007	79.153
68	82.903	81.571	81.988	78.151
69	82.873	81.552	81.969	78.149
70	82.843	81.533	81.950	77.147
71	82.813	81.515	81.931	77.324
72	82.783	81.496	81.913	77.502
73	82.753	81.477	81.894	77.680
74	82.723	81.459	81.875	77.859
75	82.693	81.440	81.856	78.038
76	82.663	81.421	81.837	78.217
77	82.633	81.402	81.818	78.397
78	82.603	81.384	81.800	78.578
79	82.573	81.365	81.781	78.758
80	82.543	81.346	81.762	78.940
81	82.513	81.327	81.743	79.121

Medición	Mejora de la eficiencia hidráulica %			
	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4
82	82.483	81.309	81.724	79.303
83	82.453	81.290	81.706	79.485
84	82.423	81.271	81.687	79.668
85	82.393	81.253	81.668	79.852
86	82.363	81.234	81.649	80.035
87	82.333	81.215	81.630	80.219
88	82.303	81.197	81.612	80.404
89	82.273	81.178	81.593	80.589
90	82.243	81.159	81.574	80.774
91	82.213	81.141	81.555	80.960
92	82.183	81.122	81.537	80.958
93	82.153	81.103	81.518	80.955
94	82.123	81.085	81.499	80.953
95	82.093	81.066	81.480	80.951
96	82.063	81.047	81.462	80.948
97	82.033	81.029	81.443	80.946
98	82.003	81.010	81.424	80.944
99	81.973	80.992	81.405	80.941
100	81.943	80.973	81.387	80.939
101	81.913	80.954	81.368	80.937
102	81.883	80.936	81.349	80.935
103	81.853	80.917	81.331	80.932
104	81.823	80.898	81.312	80.930
105	81.793	80.880	81.293	80.921
106	81.763	80.861	81.275	80.913
107	81.733	80.843	81.256	80.904
108	81.703	80.824	81.237	80.895
109	81.673	80.805	81.218	80.886
110	81.643	80.787	81.200	80.878
111	81.613	80.768	81.181	80.869
112	81.583	80.750	81.162	80.860
113	81.553	80.768	81.181	80.852
114	81.797	80.787	81.200	80.843
115	82.043	80.805	81.218	80.834
116	82.289	80.824	81.237	80.813
117	82.536	80.843	81.256	80.792
118	82.783	80.861	81.275	80.771
119	83.032	80.880	81.293	80.750
120	83.281	80.898	81.312	80.729
121	83.530	80.917	81.331	80.708
122	83.781	80.920	81.334	80.687

Medición	Mejora de la eficiencia hidráulica %			
	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4
123	84.032	80.923	81.337	80.666
124	84.285	80.926	81.340	80.852
125	84.537	80.929	81.343	81.038
126	83.517	80.932	81.346	81.224
127	82.497	80.935	81.349	81.411
128	81.477	80.938	81.352	81.598
129	80.457	80.941	81.355	81.786
130	80.459	80.944	81.358	81.974
131	80.461	80.947	81.361	82.163
132	80.463	80.950	81.364	82.351
133	80.465	80.953	81.367	82.541
134	80.467	80.956	81.370	82.731
135	80.469	80.959	81.373	82.728
136	80.471	80.962	81.376	82.726
137	80.473	80.965	81.379	82.724
138	80.475	80.998	81.412	82.722
139	80.477	81.031	81.445	82.719
140	80.479	81.064	81.478	82.717
141	80.481	81.097	81.511	82.715
142	80.483	81.130	81.544	82.712
143	80.485	81.163	81.577	82.710
144	80.487	81.196	81.610	82.708
145	80.489	81.229	81.643	82.705
146	80.491	81.262	81.676	82.703
147	80.493	81.295	81.709	82.701
148	80.495	81.328	81.742	82.699
149	80.497	81.361	81.775	82.696
150	80.499	81.394	81.808	82.694
151	80.586	81.427	81.841	82.692
152	80.673	81.460	81.874	82.689
153	80.760	81.493	81.907	82.687
154	80.847	81.526	81.940	82.685
155	80.934	81.559	81.973	82.682
156	81.021	81.592	82.006	82.680
157	81.108	81.625	82.039	82.678
158	81.195	81.658	82.072	82.676
159	81.282	81.691	82.105	81.673
160	81.369	81.724	82.138	80.671
161	81.456	81.757	82.171	79.669
162	81.543	81.790	82.204	78.666
163	81.630	81.823	82.237	78.847

Medición	Mejora de la eficiencia hidráulica %			
	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4
164	81.717	81.856	82.270	79.029
165	81.804	81.889	82.303	79.210
166	81.891	81.922	82.336	79.393
167	81.978	81.955	82.369	79.575
168	82.065	81.988	82.402	79.758
169	82.152	82.021	82.435	79.942
170	82.239	82.054	82.468	80.126
171	82.326	82.087	82.501	80.310
172	82.413	82.120	82.534	80.495
173	82.500	82.153	82.567	80.680
174	82.587	82.186	82.600	80.865
175	82.674	82.219	82.633	81.051
176	82.761	82.252	82.666	81.238
177	82.848	82.285	82.699	81.424
178	82.935	82.318	82.732	81.612
179	83.022	82.351	82.765	81.799
180	83.109	82.384	82.798	81.988
181	83.196	82.417	82.831	82.176
182	83.109	82.450	82.864	82.365
183	83.022	82.483	82.897	82.363
184	82.935	82.516	82.930	82.361
185	82.848	82.549	82.963	82.358
186	82.761	82.582	82.996	82.356
187	82.674	82.615	83.029	82.354
188	82.587	82.648	83.062	82.351
189	82.500	82.681	83.095	82.349
190	82.413	81.210	83.128	82.347
191	82.326	81.243	83.161	82.344
192	82.239	81.276	81.230	82.342
193	82.152	81.309	81.263	82.340
194	82.065	81.342	81.296	82.338
195	81.978	81.375	81.329	82.335
196	81.998	81.408	81.362	82.333
197	82.018	81.441	81.395	82.331
198	82.038	81.474	81.428	82.328
199	82.058	81.507	81.461	82.326
200	82.078	81.540	81.494	82.324

Fuente: Elaboración propia.

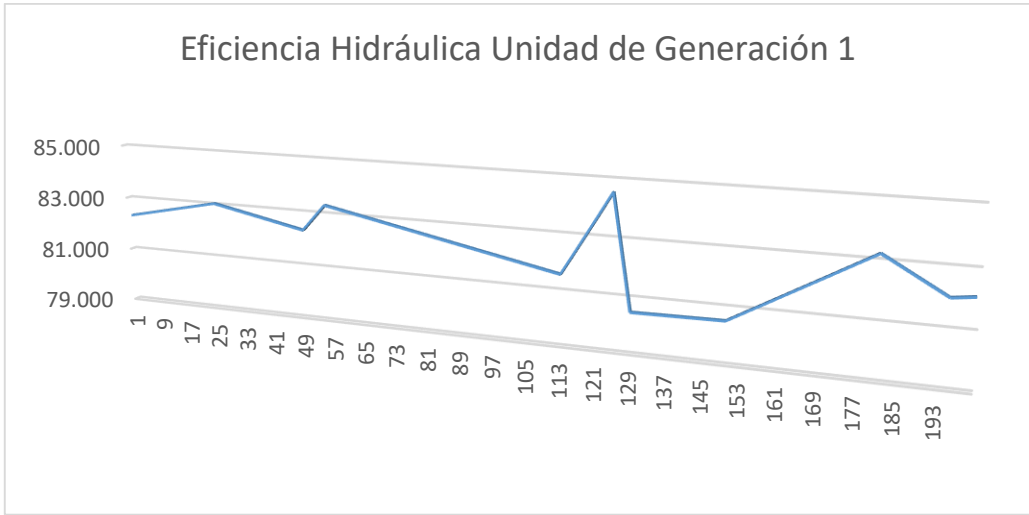


Figura 16. Eficiencia Hidráulica Unidad de generación 1.

Fuente: Elaboración propia.

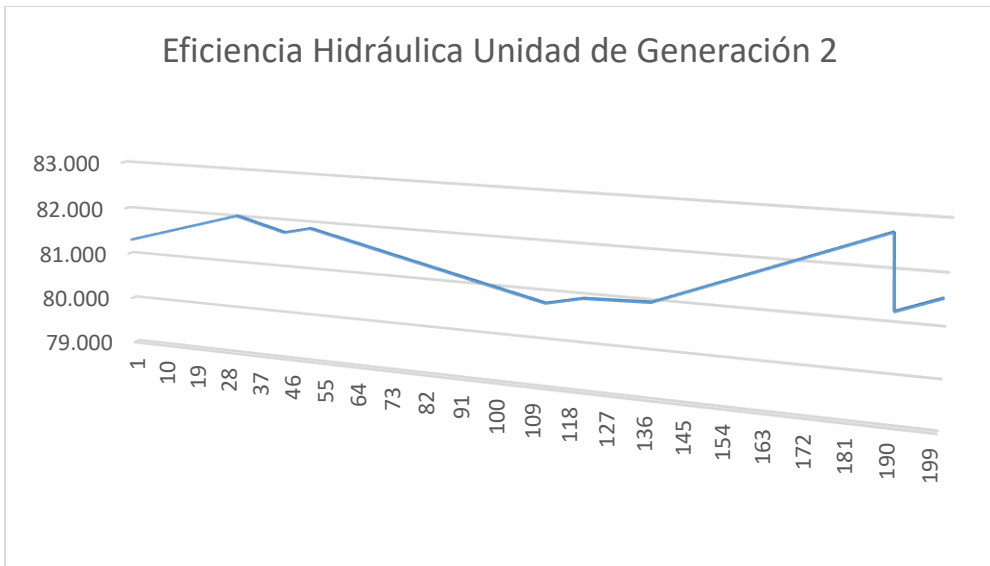


Figura 17. Eficiencia Hidráulica Unidad de generación 2.

Fuente: Elaboración propia.

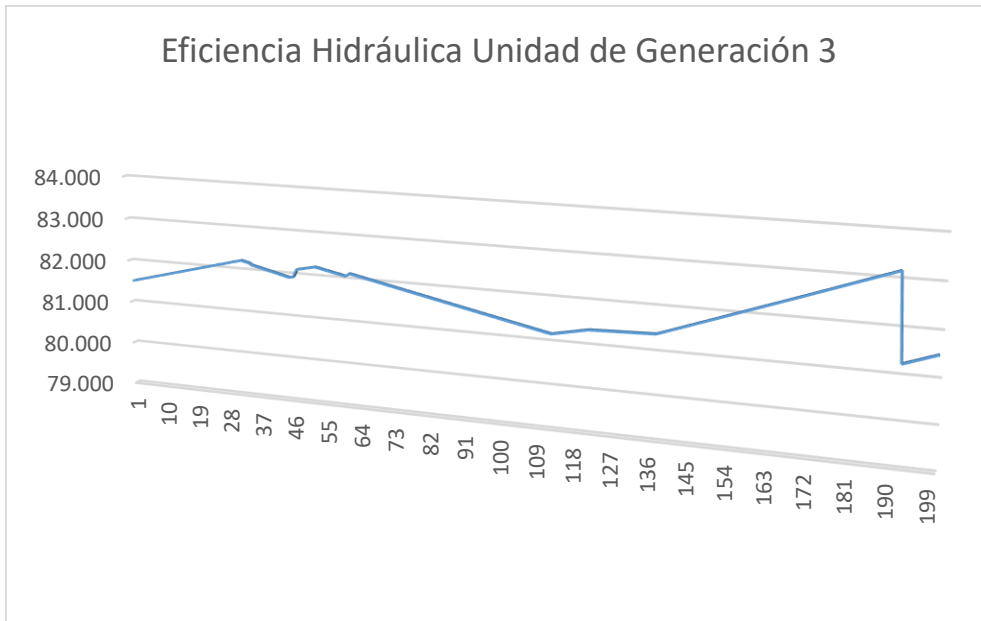


Figura 18. Eficiencia Hidráulica Unidad de generación 3.

Fuente: Elaboración propia.

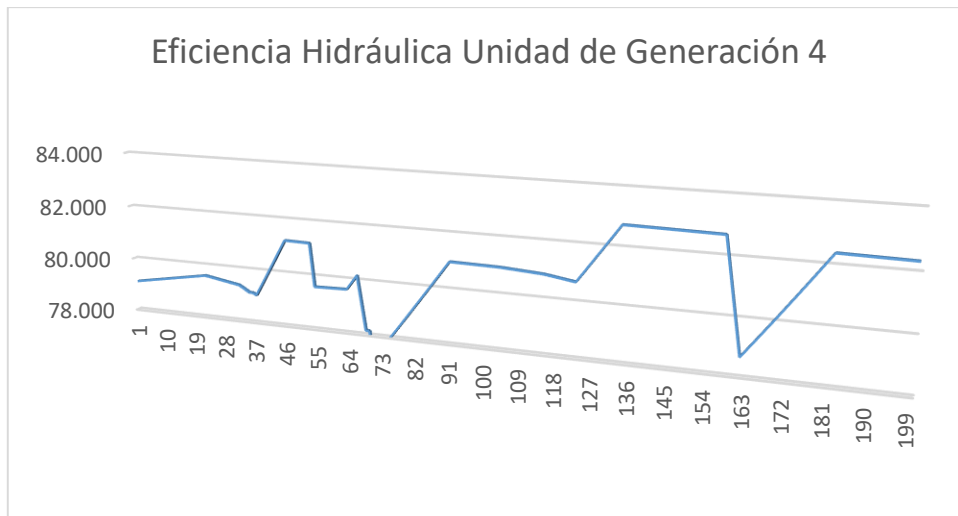


Figura 19. Eficiencia Hidráulica Unidad de generación 4.

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

- La repotenciación de las antiguas centrales hidroeléctricas del Sistema interconectado que abastece de electricidad a la Ciudad de Lima y la actual situación energética Nacional y Mundial, con los grandes problemas sin resolver como son el agotamiento del Petróleo y la acumulación de Carbono en la atmósfera, no determinan, que las Naciones incluido el Perú, tengamos que apostar por las energías renovables convencionales y no convencionales, por lo que las antiguas centrales Hidroeléctricas como Callahuanca tengan que ser optimizadas, para que de acuerdo al procedimiento de llamar a la central eléctrica con menor costo marginal, puedan ser llamadas con mayor frecuencia y durante periodos más largos y de esta manera poder aumentar sus entradas económicas por la venta de fluido eléctrico y poder sumarlos a los ingresos por Potencia que recibe de una manera fija y controlada. Por lo que medidas como, mejorar los circuitos eléctricos, tableros de control y mando incluidos, nos permite también mejorar poco a poco la eficiencia y volver nuevamente competitivas estas antiguas centrales hidroeléctricas, que abastecen de potencia y energía eléctrica a Lima, desde hace muchos años.
- El análisis realizado arrojó los siguientes resultados financieros:
 - Flujo neto efectivo anual: Se obtuvo un flujo neto efectivo anual de 11,393.54 US\$ por año. Esta cifra representa la diferencia entre los ingresos y los egresos anuales generados por el proyecto o inversión.
 - Inversión total: La inversión total requerida para llevar a cabo el proyecto es de 15,353.96 US\$. Esta cantidad incluye todos los costos y gastos necesarios para la implementación del proyecto.
 - Valor Actual Neto (VAN): El VAN obtenido es de 54,654.41 US\$. El VAN es una medida que indica la rentabilidad del proyecto y representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de caja futuros y la inversión inicial. Un VAN positivo indica que el proyecto es rentable.
 - Tasa Interna de Retorno (TIR): La TIR calculada es del 73.91%. La TIR es una tasa de descuento que iguala el VAN a cero, es decir, es la tasa de

rendimiento que el proyecto debe alcanzar para ser considerado como una inversión atractiva.

Relación Beneficio Costo (B/C): La relación beneficio costo es de 2.78. Esta relación compara los beneficios obtenidos del proyecto con los costos incurridos. Un valor superior a 1 indica que los beneficios superan a los costos, lo que sugiere que el proyecto es favorable desde el punto de vista financiero.

Tiempo de Recuperación de la Inversión: El tiempo de recuperación de la inversión es de 1.35 años. Representa el período de tiempo necesario para recuperar la inversión inicial con los flujos de caja generados por el proyecto. Estos resultados proporcionan una evaluación financiera del proyecto y permiten tomar decisiones informadas sobre su viabilidad y rentabilidad. Un VAN positivo, una TIR atractiva, una relación beneficio costo mayor a 1 y un tiempo de recuperación de la inversión razonable son indicadores favorables que sugieren que el proyecto es viable desde el punto de vista financiero. Sin embargo, es importante considerar otros aspectos no financieros para una evaluación completa del proyecto.

- Para Chávarry (2019), la tesis se dirigió a una C.H específica, debido a la gran demanda y escasez de energía eléctrica de esta comunidad y se basó en los cálculos correspondientes como es mencionado en el progreso de los objetivos.
- En una visión macro la energía hidroeléctrica tiene una limitada proyección a futuro, debido a que, en países con tecnología desarrollada, la pluralidad de los afluentes más relevantes, tienen ya centrales hidroeléctricas generadoras, entre tanto, otros países subdesarrollados o que están en vías de desarrollo se enfrentan a obstáculos de diferentes índoles como ambiental, social o financiero.
- La posibilidad de la generación hidroeléctrica a una escala más pequeña con mini o micro centrales, presentan una gran alternativa para el crecimiento de proyectos en este tipo de generación ya que existen corrientes de agua con caudales que son aprovechables considerando las tecnologías que actualmente se encuentran.

- La justificación teórica tiene como propósito de estudio, un efecto positivo que permitirá ofrecer una mejor calidad de producto y servicio (Es decir menos perturbaciones armónicas, sobre frecuencias, sobre tensiones y menor frecuencia de fallas y menor duración de las fallas, sobre todo en el medio rural y dentro de un estado de introducción de la generación distribuida dentro de redes inteligentes), al menor costo posible (Marginal, Medio libre y Regulado), con las debidas condiciones de protección y seguridad.
- Tiene justificación ambiental porque tiene como objetivo autodisciplinar en lo que concierne a minimizar las emisiones de impacto ambiental, resultando esta la esencia causante del efecto invernadero global.
- Su justificación económica tiene como propósito el beneficio económico, como instrumento de desarrollo sostenible, realizando la utilización competente de los recursos y mejorar la apariencia de las instalaciones, generalmente en la correcta marcha del sistema y lograr ganancias.
- Su justificación es social porque tiene como propósito una estrategia para utilizar eficientemente la energía eléctrica, con la misión de ser un modelo a seguir por parte de otras empresas o industrias, y lograr tener un sistema más eficiente y una productividad optima logrando destacar ante los demás.
- La energía generada por medio de corrientes de agua se denomina hidroeléctrica, y es un tipo de las energías limpias más útil, los flujos de energía recibida por el sol es miles de veces superior en comparación de la energía comercial consumida, todas las energías provienen del sol la hídrica también, aunque de manera indirecta, siendo así tiene consigo las características de ser autóctona, inagotable y limpia como lo son las demás energías renovables. Se estima que anualmente se produce aproximadamente un 19% de la energía a nivel mundial por energía hidroeléctrica, lo que equivale a un 2.6 TWh con una potencia instalada en promedio de 700 GW (AstocazaH, 2019).
- La International Energy Agency (IEA), determinó que, al aumentar la proyección del uso excesivo de petróleo a nivel mundial, irán bajando las reservas. En otras palabras, la utilización del combustible fósil para generar

energía eléctrica ha creado una dependencia de los países consumidores por importaciones de esta materia prima, lo que ha vuelto vulnerable y crítica su planificación energética a nivel mundial del sector petrolero, creando así tensiones en el mercado eléctrico debido al alza de los precios del gas y el crudo.

- En el contexto nacional, según lo que menciona Delta Volt (2019), el Perú es un país que tiene una generación típica en energía hidroeléctrica como la represa de Gallito Ciego, ubicado en el departamento de Lambayeque, o como la colosal Central Hidroeléctrica de Mantaro, la cual es una proeza de ingeniería que tiene una facultad mayor a un 1 GW y proporciona un aproximado del 15% de energía eléctrica producida al SEIN, además de tener con una tasa alta de generación por energías renovables (Delta, 2018).
- Ahora bien con respecto a la contribución que realizan las plantas de gas en la actualidad se tiene una capacidad de generación excesiva, por ejemplo la potencia instalada para el SEIN en el año 2017 fue de 14.43 GVA y 11.96 GW de potencia efectiva lo cual se instala muy por encima de la demanda de ese año que fue de 6.76 GW, en el periodo del 2016 al 2017 esta demanda aumentó solo en un 1.38% que estaba por debajo de lo que planificó el COES (2018)., abreviatura del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, que en su informe de operaciones anuales del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional del 2017, congruente a esto las metas actuales no se basan en generar mayor producción de energía sino en tomar en cuenta aspectos como distribuidor electricidad en las áreas alejadas del país donde no se cuenta con cobertura, tener una mejora en el suministro de energía como la reducción de pérdidas, evitar los cortes de suministros en las zonas rurales o periféricas y estabilizar la energía en la red y por último mejorar la interconexión de la red que se comparte con varios países fronterizos.

VI. CONCLUSIONES

Luego de hacer un análisis respecto al estado energético de la Central Hidroeléctrica de Callahuanca, fueron resaltadas algunas situaciones importantes:

- La central hidroeléctrica cuenta con una configuración de turbinas Pelton, las cuales tienen un eje horizontal en sus 4 unidades de generación. Estas turbinas son conocidas por su eficiencia en altas caídas de agua, lo que las hace adecuadas para aprovechar la energía de la corriente de agua en la central.
- Potencia de los servicios auxiliares: La potencia de los servicios auxiliares de la central hidroeléctrica es de 391.14 kW. Estos servicios auxiliares son componentes adicionales que permiten el funcionamiento eficiente de la central, como bombas, ventiladores o sistemas de control.
- Caudal turbinado: El caudal turbinado en la Central Hidroeléctrica de Callahuanca es igual a 25.29 m³/s. Este caudal representa la cantidad de agua que es conducida hacia las turbinas para generar energía eléctrica.
- Potencia efectiva: La potencia efectiva de la central hidroeléctrica es de 84.165 MW. Esta cifra representa la capacidad real de generación de energía eléctrica de la central.
- Generación anual media: La generación anual media de la Central Hidroeléctrica de Callahuanca es de 612 GWh (Gigavatios hora). Esta cantidad indica la energía eléctrica que se produce en promedio durante un año.
- Altura bruta promedio: La altura bruta promedio medida de los grupos 01, 02 y 03 es de 435.3 m, mientras que en el grupo 04 es de 435.1 m. Esta altura bruta representa la diferencia de altura entre el nivel del agua en la parte superior y la parte inferior de la central hidroeléctrica, lo que influye en la cantidad de energía que se puede obtener.
- Estos datos proporcionan una visión general del estado y capacidad de la Central Hidroeléctrica de Callahuanca, lo que es relevante para evaluar su rendimiento y potencial en la generación de energía eléctrica.

VII. RECOMENDACIONES.

- Es recomendable ser congruentes ante los casos y hechos suscitados en la central de Callahuanca, que señalan una predisposición de peligro en instalaciones que requieren de una exhaustiva supervisión, con el objetivo de no caer en pérdidas económicas debido a la deficiencia del personal especializado encargado por la falta de conocimiento.
- No dejar conectados aquellos dispositivos que no están siendo usados, con el propósito de ir incentivando a través de campañas concientizadoras de sensibilización para que el personal pueda adoptar estas buenas costumbres energéticas y cuidando nuestro medio ambiente.
- Analizar y reconocer las deficiencias futuras, con la finalidad de anticipar próximas averías, aventajándonos a las posibles fallas imprevistas, para estar preparados, y dar soluciones inmediatas a las averías en los equipos, ya que, si algo fallará en el transcurso de la producción del fluido eléctrico, se podrían ver afectados otros componentes.
- En esta tesis, fueron planteadas y determinadas varias mejoras que beneficiarían potencialmente a la Central de Callahuanca, priorizando el ahorro energético, después de analizar diagnósticos de rentabilidad a través de diferentes mecanismos sobre evaluación de inversiones, se llegó a la conclusión que este proyecto es viable. Con la eficiencia y variabilidad mejoradas y aumentadas, estas centrales podrán justificar con sus resultados, la viabilidad de las modificaciones a efectuarse, viabilidad técnica, ambiental y sobre todo de naturaleza económica y financiera, las cuales a través de la evaluación de sus tradicionales indicadores de gestión financiera, como son el VAN y el TIR, que pueden ser evaluados a precios privados o sociales y con la utilización de flujos de caja Financieros o Económico, que nos determinen VAN positivos y TIR mayores a la tasa del costo promedio de capital, con los ajustes por riesgo país u riesgo negocio de acuerdo a los indicadores de las agencias mundiales de calificación de riesgos.

REFERENCIAS

- AlarconNA. (2017). *Eficiencia Energetica en Instalaciones Electricas como Factor de Rentabilidad en Centrales Hidroelectricas - Caso CH Huinco* . Callao: UNC.
- ANDRITZ HYDRO S,A,. (2019). *Dossier de Seguridad y Salud en el Trabajo- Ingenieria , Suministro , Montaje , Pruebas y Puesta en Servicio de la CH hUINCO*. Lima: UNI.
- AsenjoEL. (2019). *Repotenciacion de la Minicentral Hidroelectrica La Playa ubicado en el Distrito de Incahuasi Provincia de Ferreñafe , Lambayeque* . Chiclayo: UNPRG.
- Asociacion Nacional de Fabricantes Electricos. (2019). *Seguridad e Higiene en el Trabajo en la Industria Electrica* . Mexico: MIR.
- AstocazaH. (2019). *Estudio de Desarrollo de un Proyecto de Generacion Hidroelectrica* . Lima: PUCP.
- BastidasR. (2018). Optimizacion del Cambio de Matriz Energetica. *Energia*, 45.
- Budynas, R., Nisbett, J., & Ríos Sánchez, M. Á. (2008). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (Octava ed.). D.F., Mexico: McGraw-Hill.
- Buenos Negocios . (2018). *Rentabilidad variable en el Tiempo en la Industria Electrica* . Buenos Aires: Reverte.
- CajoFL. (2018). *Reasentamiento Planificado del Proyecto Especial Olmos Tinajones y su Impacto Socioeconomico en el Centro Poblado La Algodonera* . Chicayo: UNPRG.
- CamacD. (2012). *Analisis de la Proyeccion de la Generacion y la Trasmision del Sistema Electrico Peruano*. Lima: Carelec.
- Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de

Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. *Revista Politécnica*.

- CENERGIA. (2020). *Servicio de Medicion y Calculo de la Potencia efectiva de la CH de Callahuanca*. LIMA: COES.
- COES - SINAC. (2016). *Operacion optima del Sistema Interconectado Nacional*. Lima: COES.
- CorleoneB. (2017). *Eficiencia Energetica ,vector de la Nueva Canasta Energetica Peruana*. Lima: LIMUSA.
- FriasA. (2017). *Modelamiento del Mercado Electrico Peruano , una vision prospectiva*. Lima: ESAN.
- GarciaA. (2017). *Informe Final del Estudio Numes , analisis holisitico*. Lima: UNI.
- GomezV. (2018). *Overview , Features and Functionalites of the smart Grid*. New York: Mac Graw Hill.
- GomezV. (2018). *Overview , Features and Functionalites of the smart Grid*. New York: Mac Graw Hill.
- GrinblattM. (2013). *Mercados Financieros y Estrategia Empresarail*. Madrid: MacGraw Hill.
- HernandezC. (2018). *Energias Renovables y Eficiencia Energetica*. Barcelona : Limusa.
- HormazabalJ. (2016). *Promocion de las RER en el Hemisferio Sur .* Buenos Aires: Elsevier.
- HortaL. (2018). *Indicadores de Politicas Publicas en Materia de Eficiencia Energetica en America Latina y el Caribe .* Chile: Cepal.
- IDAE. (2016). *Manuales de Energias Renovables .* Santiago: Limusa.
- KreuserF. (2017). *Eficiencia Energetica y Movilidad en America Latina*. Buenos Aires: LIMUSA.

- MakenziG. (2018). *Gestion exitosa por Resultados Tangibles*. Mexico: Limusa.
- MarcelinoM. (2018). *Generacion y Sustentacion de Rentabilidad de la Industria Textil en Colombia*. Bogota: Reverte.
- MartinezA. (2018). *Estudio de la Eficiencia Energetica en la Central Hidroelectrica Yamango* . CALLAO: UNC.
- MartinezV. (2017). *Planificacion Energetica*. Lima: UNMSM.
- MatusM. (2019). *Concepto de Flexibilidad en el Sistema Electrico Nacional*. Santiago: FCFM - UCH.
- MorenoF. (2017). *Promocion de las Energias Renovables no convencionales , una necesidad Estrategica* . Lima: ESAN.
- PalaciosCA. (2018). *Procesos en el Desarrollo de Proyectos de Generacion Hidroelectrica Basados en Pequeños Aprovechamientos* . Medellin: CARGO.
- PattonW. (2018). *Optimization of distributed generation, through the variability of operations*. Miami: Ucla.
- PetroniG. (2019). *Eficiencia Energetica durante el Perido de Transicion* . Mexico: UNAM.
- RomeroB. (2019). *Estudio de Prefactibilidad para la repotenciacion de la Pequeña Central Hidroelectrica El Amarillo* . Cuenca: ECU.
- s.a, A. S. (2010). *Estudio de Mercado de Motores Eléctricos en Chile* . chile: AETS Sudamerica s.a.
- SalazarE. (2019). *Estudio de Viabilidad Economica de una Minicentral Eolica de 94.5 KW de Potencia Nominal en la Presa Cirato CH Carhuaquero Lambayeque* . Lima: UNI.
- SanchezJP. (2012). *Analisis de Rentabilidad de la Empresa* . Madrid: Limusa.

- SchumpeterJ. (2017). *Discussion about Congestion in Transmission Networks in Latin America* . New York: Mac Graw Hill.
- Sotelo, A. F. (2016). *OPTIMIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO UNCP* . Huancayo – Perú .
- TamayoR. (2016). *Concentracion del Mercado Electrico Peruano , Mitos y Realidades*. Lima: UNI.
- TiconaE. (2018). *Proyecto de la Pequeña Central Hidroelectrica Mandor Alto - Quillabmba Cuzco*. Arequipa: UNSA.
- TrujilloAM. (2017). *Diseño de una Pico Central Hidroelectrica en la Localidad de USME*. bOGOTA: Reverte.
- VelaL. (2019). *Diseño redundante de la Reubicacion de Pobladores por inundaciones*. Lima: UNI.
- ZevallosCA. (2016). *Diseño de una Central Hidroelectrica de Sheque* . Lima: UNI.

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de Operacionalización de variables.

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>Mejoramiento de las Instalaciones</p>	<p>Abordar una planificación en un tiempo determinado utilizando eficiencia energética en las instalaciones de la C.H. Callahuanca.</p>	<p>Se hará un análisis de la situación actual en que se encuentra la C. H. Callahuanca en relación al consumo de energía eléctrica y se identificará cuáles son las mejoras potenciales para generar mayores ingresos económicos.</p>	<p>Estudio de la Energía energética.</p> <p>Instalaciones eléctricas</p>	<p>Rango de Variación</p> <p>Rapidez de Variación</p> <p>Capacidad de Potencia .</p>	<p>Rango</p> <p>Razón</p> <p>Valor</p>
<p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <p>Eficiencia Energética</p> <p>Rentabilidad.</p>	<p>Satisfacer las demandas de la C.H. Callahuanca desde el punto de vista de la rentabilidad económica y el cuidado del medio ambiente.</p>	<p>Analizar el uso y operación de las diferentes áreas en la C.H. Callahuanca para garantizar su optimización y la reducción de sus costos operativos.</p>	<p>Inversión</p> <p>Rentabilidad</p> <p>Ahorro económico y Energético</p>	<p>VAN</p> <p>TIR</p>	<p>Valor</p>

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 02. Interpretación del VAN y TIR.

VAN

Si $VAN < 0$, el proyecto no es rentable, ya que la inversión que se ha realizado es mayor que los ingresos que se obtendría por la venta.

Si $VAN = 0$, el proyecto se considera rentable, porque ya está incorporado la ganancia de la TD. El BNA es igual a la inversión realizada.

Si $VAN > 0$, el proyecto es rentable, y además generará unos beneficios adicionales por su venta.»

TIR

Si en el resultado se obtiene que:

« $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno obtenido es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

$TIR = k$, se presenta una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En este contexto, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.

Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que se le pide a la inversión

Anexo 03. Relación Costo Beneficio

Procedimiento para calcular y comparar directamente los costos y beneficios. Se calcula la relación (B/C), primeramente, se aplica al hallar la sumatoria de los beneficios descontados, que son contabilizados al presente, para dividirse con la sumatoria de los costos también descontados. La ecuación la podemos ver:

Donde:

VPNB: Valor Presente Neto de los Beneficios.

VPNC: Valor Presente Neto de los Costos.

Si en el resultado de la evaluación:

$B/C > 1$, indica que los beneficios superan los costos, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

$B/C = 1$, aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costos.

$B/C < 1$, muestra que los costos son mayores que los beneficios, por lo tanto, no se debe considerar el proyecto.

Plazo de Recuperación, Plazo de Reembolso, o Playback estático.» (GasteloE, 2018).

Esta dado por el número de años que la empresa tarda en recuperar la inversión. Este método destaca aquellos proyectos cuyos beneficios permiten recuperar más rápidamente la inversión, en otras palabras; cuanto más corto sea el período de recuperación de la inversión, más óptimo será el proyecto (Zona Económica, 2006).

$$PLAYBACK = \frac{INVERSIÓN}{AHORROS OBTENIDOS}$$

En síntesis, se trata de un criterio de liquidez, correspondiente al tiempo que una inversión tarda en recuperar el desembolso inicial y se trata de un método estático, ya que considera que una unidad monetaria tiene el mismo valor en cualquier tiempo.

Anexo 04. Cálculo de la Altura Bruta.

ALTURA BRUTA

En la C.H.de Callahuanca, para analizar y calcular la altura bruta, se logró calcular en relación del nivel de aguas arriba de la cota promedio de la central y para la cota promedio a través de la ecuación descrita, de los puntos de contacto de los dos inyectores:

$$H \text{ bruta} = Z \text{ aguas arriba (CCC)} - Z \text{ aguas abajo (CP}_{rCI})$$

Tenemos:

H_{bruta} : Altura Bruta

Z_{CCC} : Cota de la cámara de carga (msnm).

Z_{cP_rCI} : Cota promedio punto contacto de los dos inyectores (msnm)

Entonces, para la Central Hidroeléctrica Callahuanca, tomando los valores promedio registrados se tiene los datos siguientes:

$$Z_{CCC} = 1,831.19 \text{ msnm (Promedio cota de nivel cámara de carga)}$$

Para los grupos G1, G2 y G3, se tiene la cota promedio de los inyectores: $Z_{PCI} = 1,395.907 \text{ msnm}$

Para el grupo G4, se tiene la cota promedio de los inyectores: $Z_{PCI} = 1,396.08 \text{ msnm}$

Reemplazando, estos datos en la ecuación de la altura Bruta, se tiene una altura bruta promedio igual a:

$$H \text{ bruta G1_G2_G3} = 435.3 \text{ m}$$

$$H \text{ bruta G4} = 435.1 \text{ m.}$$

Anexo 05. Variabilidad de la altura bruta de la central

De acuerdo al procedimiento PR-18 del COES SINAC, las fluctuaciones de la altura bruta no deben de exceder del $\pm 1\%$ respecto al valor promedio de los datos registrados.

Los valores de variabilidad de la altura bruta de la C.H. Callahuanca, obtenidos en la Tabla Figura N° 6, son inferiores al 1% establecido en el PR-18.

En la Figura N° 6, se muestran los datos de nivel en la cámara de carga, el cálculo de altura bruta y la variabilidad de la misma.

Tabla de Altura Bruta y Variabilidad

Hora	Variación de nivel con respecto a la Cota de Rebose Cámara carga (m)	Cota nivel de agua en la cámara carga (msnm)	Altura Bruta CH Callahuanca			
			Grupo 1,2 y 3		Grupo 4	
			Altura Bruta (HB) (m)	Variabilidad Altura Bruta (%)	Altura Bruta (HB) (m)	Variabilidad Altura Bruta (%)
13:00	-0.13	1831.87	436.0	0.157	435.8	0.157
13:15	-0.21	1831.79	435.9	0.139	435.7	0.139
13:30	-0.26	1831.74	435.8	0.127	435.7	0.127
13:45	-0.32	1831.68	435.8	0.113	435.6	0.113
14:00	-0.37	1831.63	435.7	0.102	435.6	0.102
14:15	-0.43	1831.57	435.7	0.088	435.5	0.088
14:30	-0.51	1831.49	435.6	0.070	435.4	0.070
14:45	-0.60	1831.40	435.5	0.049	435.3	0.049
15:00	-0.71	1831.29	435.4	0.024	435.2	0.024
15:15	-0.82	1831.18	435.3	-0.001	435.1	-0.001
15:30	-0.92	1831.08	435.2	-0.024	435.0	-0.024
15:45	-1.01	1830.99	435.1	-0.045	434.9	-0.045
16:00	-1.09	1830.91	435.0	-0.064	434.8	-0.064
16:15	-1.17	1830.83	435.9	-0.082	434.8	-0.082
16:30	-1.20	1830.80	435.9	-0.089	434.7	-0.089

16:45	-1.25	1830.75	434.8	0.100	434.7	-0.100
17:00	-1.27	1830.	434.8	0.105	434.7	-0.105
17:15	-1.30	1830.	434.8	0.112	434.6	-0.112
17:30	-1.33	1830.	434.8	0.119	434.6	-0.119
17:45	-1.37	1830.63	434.7	-0.128	434.6	-0.128
Promedio		1831.19	435.3		435.1	
Máximo		1831.87	436.0	0.157	435.8	0.157
Mínimo		1830.63	434.7	-0.128	434.6	-0.128

Fuente: COES, ENEL SAA.

Anexo 6.- Mangueras de Elastómero.

Tabla de Mangueras de Elastómetro

ITEM	PRODUCTO/SERVICIO	CANT.	P. UNIT.	P. BRUTO	SUB TOTAL	IGV	TOTAL
1	MANGUERA ESPUMA ELASTOMÉRICA 1 3/8" Ø X 3/4" DE 2.00 m	50,00	10.59	529.50	529.50	95.31	624.81
2	MANGUERA ESPUMA ELASTOMÉRICA 1 3/8" Ø X 3/4" DE 2.00 m	38,00	13.73	521.74	521.74	93.91	615.65
3	MANGUERA ESPUMA ELASTOMÉRICA 1 3/8" Ø X 3/4" DE 2.00 m	18,00	26.78	482.04	482.04	86.77	568.81
4	MANGUERA ESPUMA ELASTOMÉRICA 1 3/8" Ø X 3/4" DE 2.00 m	45,00	34.49	1,552.05	1,552.05	279.4	1,831.42

Fuente: Aislacorp, Elaboración Propia

Para el caso específico de suministradores de lana mineral de roca, lana de vidrio importada, fibra cerámica, recubrimientos metálicos, cintas Elastoméricas, poliuretano, foil de aluminio y otros, que se obtienen en la siguiente presentación:

Presentación: Manguera Elastomérica: 1.80 m. de largo

Plancha Toplón: 8 m de largo x 1.20 m (9.60 m²) Espesor: 3/4"

Tabla de Mangueras Toplón

CANT	UND	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT. SIN IGV	SUB-TOTAL
56.00	Und	Manguera Elastomérica TOPLON 1" x 3/4 esp. X 1.80m de largo	4.20	235.20
42.00	Und	Manguera Elastomérica TOPLON 1 1/2" x 3/4 esp. X 1.80m de largo	5.60	235.20
2.00	Rollos	Plancha Elastomérica TOPLON 3/4 esp (Para tub de 3"Ø)	148.80	297.60
5.00	Rollos	Plancha Elastomérica TOPLON 3/4 esp (Para tub de 4"Ø)	148.80	744.00
2.00	Rollos	Plancha Elastomérica TOPLON 3/4 esp (Para tub de 6"Ø)	148.80	297.60

Fuente: Aislacorp, Elaboración Propia.

Mangueras de Espuma Elastomérica

ITEM	PRODUCTO/SERVICIO	CANT.	P. UNIT.	P. BRUTO	SUB TOTAL	IGV	TOTAL
1	MANGUERA ESPUMA ELASTOMÉRICA 1 3/8" Ø X 3/4" DE 2.00 m	50,00	10.59	529.50	529.50	95.31	624.81
2	MANGUERA ESPUMA ELASTOMÉRICA 1 3/8" Ø X 3/4" DE 2.00 m	38,00	13.73	521.74	521.74	93.91	615.65
3	MANGUERA ESPUMA ELASTOMÉRICA 1 3/8" Ø X 3/4" DE 2.00 m	18,00	26.78	482.04	482.04	86.77	568.81
4	MANGUERA ESPUMA ELASTOMÉRICA 1 3/8" Ø X 3/4" DE 2.00 m	45,00	34.49	1,552.05	1,552.05	279.4	1,831.42

Monto Venta:	3,085.00
Total Descuento:	0.00
Sub Total:	3,085.00
IGV:	555.36
Total Soles:	3,640.69
Total US\$:	1,080.32

Fuente: Aislamientos Térmicos y Acústicos AISLA PERU S.A.C

Aislamientos térmicos industriales Calor - Frío - Acústico AAISLACORP suministradores de lana mineral de roca LANAROKA, lana de vidrio importada, fibra cerámica, recubrimientos metálicos, cintas Elastoméricas, poliuretano, foil de aluminio y otros.

Presentación : Manguera Elastomérica: 1.80 m. de largo

Plancha Toplon: 8 m de largo x 1.20 m (9.60 m²) Esp: 3/4"

Manguera Elastomérica Toplon

CANT	UND	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT. SIN IGV	SUB- TOTAL
56.00	Und	Manguera Elastomérica TOPLON 1" x 3/4 esp. X 1.80m de largo	4.20	235.20
42.00	Und	Manguera Elastomérica TOPLON 1 1/2" x 3/4 esp. X 1.80m de largo	5.60	235.20
2.00	Rollos	Plancha Elastomérica TOPLON 3/4 esp (Para tub de 3"Ø)	148.80	297.60
5.00	Rollos	Plancha Elastomérica TOPLON 3/4 esp (Para tub de 4"Ø)	148.80	744.00
2.00	Rollos	Plancha Elastomérica TOPLON 3/4 esp (Para tub de 6"Ø)	148.80	297.60
				1,809.60
				180.96
DSCTO.ESPECIAL				1,628.64
SUB TOTAL				293.16
IGV 18%				1,921.80

Fuente: Aislamientos Térmicos Industriales Calor - Frio – Acústico
AAISLACORP 2000 S.A.C

A continuación, se evalúa el presupuesto para el rollo de Espuma Elastomérica Bellsafe de la empresa: Radiadores y Servicios Industriales del Perú S.A.C. - REINSAC.

Rollo de Espuma Elastomérica

IT	DESCRIPCION	CANT (UND)	UNIT.
1	ROLLO DE ESPUMA ELASTOMÉRICA BELLSAFE. DE 1.00 M X 10.00M X 3/4"ESP	1.0	US\$ 320.00

Fuente: REINSAC

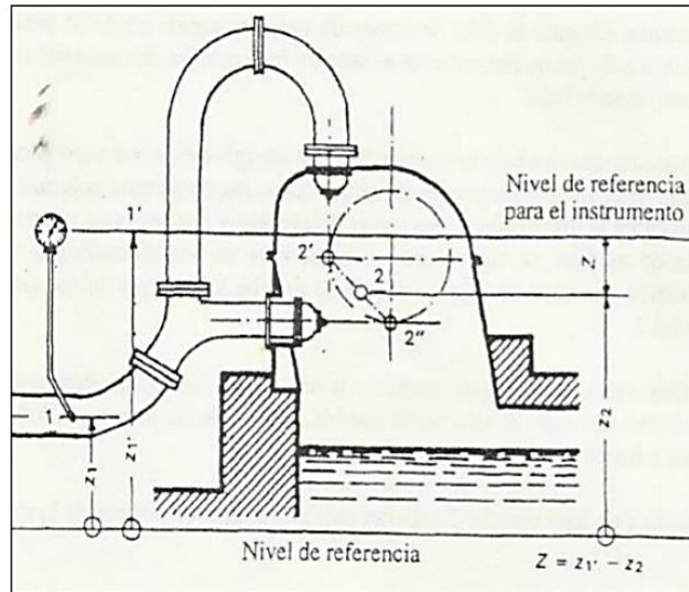
Anexo 07. Tabla de Costos de Aislamiento de Tuberías de sistema de Refrigeración

De la Norma IEC y la información suministrada por EDEGEL y los datos tomados de campo, se elabora la Tabla.

Variables	Turbina Grupo 1	Turbina Grupo 2	Turbina Grupo 3
Nivel de referencia (N.R.) Cota del piso de máquinas (msnm)	1395.8	1395.8	1395.8
Latitud de la central	11.8°	11.8°	11.8°
Altitud de la central (msnm)	1395.8	1395.8	1395.8
T° del agua turbinada °C	13	13	13
Densidad (kg/m ³). Tabla E11 de la Norma EN 60041	1001.2	1001.2	1001.2
De (m)	0.7504	0.7504	0.9
Ze (m)	0.98	98.4	2.24
Z2 (m)	0.107	0.107	0.28
Pe promedio en (m)	408.05	405.23	395.56
Potencia promedio del registro de la central (MW)	16.524	16.41	34.83
Eficiencia de la turbina (η_t)	84.5 %	84.7 %	85.5 %
Eficiencia generador (η_g)	98.4 %	98.4 %	98.5 %

Fuente: COES, ENEL SAA, Elaboración propia

En la siguiente disposición, cuyo diagrama pasamos a describir:



Disposición de la Turbina Pelton

Fuente: COES, ENEL SAA.

Anexo 08. Cálculo de la Altura Bruta y Variabilidad

HORA	Variación de nivel respecto a la cota de rebose Cámara Carga (m)	Cota nivel de agua en la Cámara Carga (msnm)	Altura Bruta CH Callahuanca			
			Grupo 01,02,03		Grupo 04	
			Altura Bruta (HB) (m)	Variabilidad Altura Bruta (%)	Altura Bruta (HB) (m)	Variabilidad Altura Bruta (%)
13:00	-0.13	1831.87	436.0	0.157	435.8	0.157
13:15	-0.21	1831.79	435.9	0.139	435.7	0.139
13:30	-0.26	1831.74	435.8	0.127	435.7	0.127
13:45	-0.32	1831.68	435.8	0.113	435.6	0.113
14:00	-0.37	1831.63	435.7	0.102	435.6	0.102
14:15	-0.43	1831.57	435.7	0.088	435.5	0.088
14:30	-0.51	1831.49	435.6	0.070	435.4	0.070
14:45	-0.60	1831.40	435.5	0.049	435.3	0.049
15:00	-0.71	1831.29	435.4	0.024	435.2	0.024
15:15	-0.82	1831.18	435.3	-0.001	435.1	-0.001
15:30	-0.92	1831.08	435.2	-0.024	435.0	-0.024
15:45	-1.01	1830.99	435.1	-0.045	434.9	-0.045
16:00	-1.09	1830.91	435.0	-0.064	434.8	-0.064
16:15	-1.17	1830.83	434.9	-0.082	434.8	-0.082
16:30	-1.20	1830.80	434.9	-0.089	434.7	-0.089
16:45	-1.25	1830.75	434.8	-0.100	434.7	-0.100
17:00	-1.27	1830.73	434.8	-0.105	434.7	-0.105
17:15	-1.30	1830.70	434.8	-0.112	434.6	-0.112
17:30	-1.33	1830.67	434.8	-0.119	434.6	-0.119
17:45	-1.37	1830.63	434.7	-0.128	434.6	-0.128
Promedio		1831.19	435.3		435.1	
Máximo		1831.87	436.0	0.157	435.8	0.157
Mínimo		1830.63	434.7	-0.128	434.6	-0.128

Fuente: COES SINAC, CENERGIA Y EDEGEL S.A.A.

Anexo 09. Resultados de los Ensayos de Potencia Efectiva

Hora	CH CALLAHUANCA							
	Grupo 01		Grupo 02		Grupo 03		Grupo 04	
	Potencia (MW)	Variabilidad (%)	Potencia (MW)	Variabilidad (%)	Potencia (MW)	Variabilidad (%)	Potencia (MW)	Variabilidad (%)
13:00	16.52	0.001%	16.42	0.105%	16.41	0.047%	34.86	0.081%
13:15	16.56	0.244%	16.44	0.203%	16.44	0.230%	34.86	0.082%
13:30	16.56	0.207%	16.44	0.202%	16.44	0.222%	34.86	0.084%
13:45	16.55	0.173%	16.44	0.182%	16.43	0.166%	34.90	0.211%
14:00	16.55	0.177%	16.44	0.190%	16.44	0.173%	34.90	0.219%
14:15	16.55	0.155%	16.43	0.172%	16.43	0.149%	34.89	0.191%
14:30	16.55	0.133%	16.43	0.142%	16.43	0.128%	34.88	0.159%
14:45	16.54	0.098%	16.42	0.114%	16.42	0.111%	34.87	0.123%
15:00	16.53	0.056%	16.42	0.071%	16.42	0.064%	34.86	0.091%
15:15	16.53	0.026%	16.41	0.025%	16.41	0.016%	34.84	0.042%
15:30	16.52	-0.021%	16.41	-0.003%	16.40	-0.012%	34.83	0.016%
15:45	16.51	-0.059%	16.39	-0.065%	16.40	-0.050%	34.81	-0.043%
16:00	16.51	-0.089%	16.39	-0.81%	16.39	-0.071%	34.80	-0.089%
16:15	16.51	-0.106%	16.39	-0.125%	16.39	-0.096%	34.78	-0.126%
16:30	16.50	-0.123%	16.38	-0.129%	16.39	-0.121%	34.81	-0.041%
16:45	16.50	-0.164%	16.38	-0.175%	16.38	-0.157%	34.77	-0.178%
17:00	16.50	-0.165%	16.38	-0.179%	16.38	-0.177%	34.76	-0.188%
17:15	16.50	-0.159%	16.37	-0.195%	16.37	-0.197%	34.76	-0.188%
17:30	16.49	-0.184%	16.37	-0.208%	16.37	-0.201%	34.76	-0.193%
17:45	16.49	-0.199%	16.37	-0.245%	16.37	-0.224%	34.74	-0.253%
Promedio	16.524		16.406		16.407		34.828	

Fuente: COES SINAC, CENERGIA Y EDEGEL S.A.A.

Anexo 10. Costo de Caseta de Protección

Análisis Económico. Se debe tomar en cuenta todos los aspectos relacionados con los costos de esta implementación tomando en cuenta que su realización implica labores por 1 día, que a continuación se detalla:

Tabla de Costo de Caseta de Protección

ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	COSTO U\$\$/ día
Fabricación	Caseta d Producción	590.00
SUB TOTAL 01		590.00
Supervisión y mano de obra calificada	01 Supervisor	120.00
	02 Ayudantes Electricistas	80.00
SUB TOTAL 02		200.00
Transporte desde el Callao hasta Callahuanca	Combustible calculado para 70 km. aproximadamente, estimando 02 tramos (Con regreso de camioneta alquilada), recorrido total de 140 km. aprox.	35.00
	Alquiler de Camioneta Toyota Hilux Pick up	150.00
	Pago a conductor	60.00
SUB TOTAL 03		210.00
Alquiler de herramientas y otros suministros	Herramientas, Manuales y Eléctricas	400.00
Fondos de contingencias	Gastos diversos	200.00
SUB TOTAL 04		600.00
TOTAL		1600.00

Fuente: Aislacorp, Elaboración Propia.

El total estimado de la implementación de la propuesta es 1443.00 US\$, lo cual incluye todos los aspectos relacionados con la gestión, adquisición, transporte e instalación de la caseta de protección para el tablero de TP's y pararrayos.

Se presenta como una suma accesible, tomando en cuenta que es una medida de prevención para evitar imprevistos que podrían desencadenarse y potenciales riesgos para las instalaciones y para los operadores. La medida preventiva presentada requiere de una inversión de 1443.00 US\$.

La generación anual estimada de la unidad 4, donde están ubicadas las celdas de TP's y Pararrayos es de 253 GWh, considerando la implementación para ahorrar el tener que asumir pérdidas de generación estimadas en 1 día cada 5 años, para resolver averías o por simple mantenimiento, según el índice de probabilidad de incidencia de un evento destructivo que requiera acciones correctivas, se obtiene:

$$A_{\text{Energético}} = 253 \text{ GWh/año} / 365 \text{ días/año} * 1 \text{ día/5 años}$$

$$A_{\text{Energético}} = \mathbf{138,630 \text{ kWh/año}}$$

Por lo tanto, el ahorro en términos económicos sería:

$$A_{\text{Económico}} = \mathbf{138,630 \text{ kWh/año} * 0.0725 \text{ US\$/kWh}}$$

$$A_{\text{Económico}} = \mathbf{10,050.68 \text{ US\$/año}}$$

Es decir, se obtiene un ahorro económico de 10,050.68 US\$/año, considerándose que cada 5 años se necesite detener la producción por 1 día para resolver fallas en la U4 (siendo un suceso probable), de no llevarse a cabo esta implementación. Para el cálculo del tiempo de recuperación, se procede a la división de la inversión a realizarse entre el ahorro económico obtenido de la estimación de las posibles pérdidas por dejar de generar durante 1 día por cada 5 años en la unidad 4, para resolver desperfectos o por mantenimiento a las Celdas de TP's y Pararrayos.

$$T_{\text{Recuperación}} = 1,443.00 \text{ US\$} / 10,050.68 \text{ US\$/año}$$

$$T_{\text{Recuperación}} = \mathbf{0.14 \text{ años}}$$

Esto refleja un tiempo de recuperación a corto plazo aproximado de 0.14 años; caso contrario el no implementar esta medida puede llevar a serios daños en las instalaciones y pérdidas materiales considerables.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: " MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE LA C.H. CALLAHUANCA - HUAROCHIRI – LIMA ", cuyo autor es INOÑAN FERNANDEZ FRANKLIN EDDY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

CHICLAYO, 17 de Diciembre del 2021

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS DNI: 16720249 ORCID: 0000-0003-4412-8789	Firmado electrónicamente por: AJSALAZARM el 18- 12-2021 21:04:17

Código documento Trilce: TRI - 0231626