REVISTA CARIBEÑA DE CIENCIAS SOCIALES

Julio 2018 - ISSN: 2254-7630

FACTIBILIDAD PARA LA REPOTENCIACIÓN DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 2MW DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO

[1]Santiana Espín Cristian Germán
ECUADOR - ESPOCH - Facultad de Mecánica
cristian.santiana@espoch.edu.ec/c_santiana@yahoo.es
[2]Bolaños Logroño Paulina Fernanda
ECUADOR - ESPOCH – Unidad de Admisión y Nivelación
paulina.bolaños@espoch.edu.ec/ paulis51@hotmail.com
[3]Mantilla Miranda Alex Santiago
ECUADOR - ESPOCH – Unidad de Admisión y Nivelación
alex.mantilla@espoch.edu.ec/ alexsmantillam@hotmail.com
[4]Avemañay Morocho Ángel Moisés
ECUADOR - ESPOCH – Unidad de Admisión y Nivelación
angel.avemanay@espoch.edu.ec/angel.morocho.82@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Santiana Espín Cristian Germán, Bolaños Logroño Paulina Fernanda, Mantilla Miranda Alex Santiago y Avemañay Morocho Ángel Moisés (2018): "Factibilidad para la repotenciación de una central hidroeléctrica de 2MW de producción de cemento", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (julio 2018). En línea:
//www.eumed.net/rev/caribe/2018/07/repotenciacion-central-hidroelectrica.html

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Mini Central Hidroeléctrica de UCEM-CEM, ubicada en la parroquia San Juan, para determinar la factibilidad de repotenciación y optimización de generación de energía, para lo cual se procedió a analizar el estado histórico y actual del consumo y generación de energía de la empresa con los rendimientos de los equipos instalados, evaluando el estado de operación y funcionabilidad de las máquinas e infraestructura, proponiendo una alternativa de inversión con el caudal de equipamiento encontrado, el mismo que se utiliza para realizar el análisis técnico de dos casos: con una potencia promedio de operación de 880 Kw a caudal estable de 330 lt/s y con una potencia de 1258.4 KW y 352 KW, con un caudal diferenciado de 472 lt/s y 132 lt/s, para los horarios de 06:00 a 22:00 y 22:00 a 06:00 respectivamente, con los precios establecido por la Agencia de Control y Regulación de Electricidad en horas diferenciada de Media Tensión, evaluando la factibilidad técnica, socioeconómica, financiera, los resultados obtenidos muestran que la repotenciación de la mini central hidroeléctrica es viable técnicamente con una producción

proyectada de 7688.03 MWh, mientras que en la evaluación económica se tiene un TIR de 16.28% con financiamiento y 24.16% sin financiamiento para el caso de potencia promedio y caudal estable, recomendando a la empresa que realicen la inversión en este caso, de ser posible con financiamiento propio.

Palabras claves: Mini central hidroeléctrica - Caudal de diseño - Generación de energía - Pliego tarifario - Viabilidad del proyecto - Unión Cementera Nacional [UCEM] - Planta Chimborazo [Riobamba]

ABSTRACT

This research was conducted in the UCEM-CEM central mini hydroelectric, located in the Parroquia San Juan, to determine the feasibility of repowering and optimization of power generation. The historical and current state of the consumption and generation of energy of the company was proceeded to analyze with yields of installed equipment. The equipment and infrastructure were observed and the state of operation and functionality of the machines and infrastructure were evaluated. An alternative of investment was proposed with the flow of the equipment found, the same that is used to perform technical analysis of two cases: with an average power of operation of 880 Kw at a stable flow rate of 330 lt/ s with a power of 1258.4 Kilowatt(KW) and 352 Kilowatt (KK), with a differentiated flow rate of 472 lt /s and 132 lt / s, for schedules from 06:00 to 22:00 and 22:00 to 6:00 respectively. The Agency of Control and electricity regulation established the prices in differentiated hours Medium Voltage. The technical, socio-economic, financial and environmental feasibility were assessed. The obtained results say the repowering project is technically feasible with a projected production of 7688.03 Megawatt Hours (MWh), while the economic evaluation has an Internal Rate of Return (IRR) of 16.28% with financing, and 24.16% without funding in the case of average power and stable flow. The research paper recommends to the company performs the investment in this case, if possible with own financing.

Key words: Mini central hydroelectric - Design flow - Power generation - Tariff schedule - project feasibility - Unión Cementera Nacional [UCEM] - Chimborazo plant [Riobamba]

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

1. INTRODUCCIÓN

La Mini Central Hidroeléctrica de propiedad de la UCEM – CEM, planta Chimborazo se encuentra ubicada en la Parroquia San Juan, aproximadamente a 15 Km de Riobamba, en la vía a Guaranda.

La Mini Central antes mencionada cuenta con dos generadores instalados de 1MW cada uno de los cuales uno se encuentra operativo. Demostrando ineficiencia notable en la operación, al trabajar solo un generador.

El tiempo de funcionamiento de esta mini central hidroeléctrica es de aproximadamente 60 años, durante ese tiempo únicamente se ha realizado mantenimiento preventivo y correctivo en períodos de dos años.

El mundo entero se encuentra en constantes investigaciones de generación de energías limpias, renovables con el fin de reemplazar el uso de hidrocarburos por energías alternativas como son: energía solar, energía eólica, energía hidroeléctrica. En el país al momento ya se encuentra en operación proyectos que generan este tipo de energía como es el parque eólico Villonaco, Centrales Hidroeléctrica de Mazar, Sopladora, San Francisco, Toachi Pilaton entre las nuevas y esperamos que entre en funcionamiento el proyecto emblemático de Coca Codo Sinclair. (CELEC EP, 2017)

Además en el Ecuador, hasta la actualidad se considera un país en vías de desarrollo ha propuesto en el Plan Nacional del Buen Vivir el cambio de la matriz productiva con el cambio de la matriz energética (SENPLADES, 2017). Entre los proyectos vigentes es el reemplazo de las cocinas que funcionan con gas licuado de petróleo (GLP) por las cocinas de inducción, por lo tanto, el consumo de energía eléctrica tiende a subir en el país.

En Riobamba uno de los principales consumidores de energía es la Empresa Unión Cementera Nacional UCEM – CEM, planta Chimborazo cuya actividad económica es la producción de cemento hidráulico portland tipo IP, por la cantidad de máquinas y las altas potencias que ellas necesitan.

La mini central hidroeléctrica en la actualidad genera aproximadamente el 11% del total de Energía consumida, mientras que la proveedora de energía local (EERSA) provee con el restante (UCEM-CEM, Analisis de Generación de Energía, 2017).

La Mini central Hidroeléctrica en la actualidad se encuentra conectada en paralelo con la fuente de energía de la EERSA, con el afán de cumplir con la función de backup en caso de cortes de energía, esto con el fin de salvaguardar los equipos que se encuentran expuestos a altas temperaturas por tratase de procesos de alto riesgo con temperaturas superiores a los 1500 °C, en donde es importante mantener equipos funcionando, como es el caso de los

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

ventiladores, caso contrario las maquinas tienen a deteriorarse y ocasiona paros de mayor tiempo en el proceso de producción.

Por consiguiente, se consideró importante evaluar el estado y proponer alternativas de mejora en la generación, para el aporte a la Empresa en sus rentabilidades y por ende contribuir con los planes del estado en el cambio de la matriz productiva, aportando indirectamente al desarrollo de la provincia.

Se pretende demostrar que con el mismo caudal de agua que dispone en la actualidad se puede incrementar la generación de energía, mostrando una factibilidad técnica, socio económico y ambiental que al final puede servir como ahorro a la empresa en la compra de energía.

Para lo cual es importante realizar un análisis del histórico energético de consumo y de generación de la planta hidroeléctrica, el aporte como fuente de energía para la empresa y para la comunidad en donde se encuentra ubicada en los últimos años ha representado como una base para el desarrollo y sustento económico.

La evaluación técnica, financiera, socio económico y ambiental para determinar su incremento de generación y su rentabilidad que representa para la empresa, si decide ejecutar el proyecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Toma de datos históricos y relación de los mismos.

El estudio se realizó en las instalaciones de la Mini Central Hidroeléctrica (bocatoma, tanque de presión y la casa de máquinas) en donde reposa los datos históricos que fueron ingresados a tablas de Excel para poder realizar la estadística descriptiva, y poder obtener la información deseada del comportamiento de la central hidroeléctrica. En vista que en los registros históricos se cuenta con las mediciones de las alturas en los canales de la salida de la bocatoma, entrada al tanque de presión.

Estos datos nos sirven para determinar el área del canal, al ser este un canal abierto de tipo trapezoidal usaremos el modelo matemático, para el cálculo del área:

$$A = \frac{B + b}{2} x\, h$$

Mientras que, para el cálculo del caudal, el modelo matemático es:

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

$$Q = A * V$$

Para determinar la velocidad se utilizó el método tradicional del flotador, que constituye en hacer flotar una pelota de pin pon, por una longitud de 10 m de tramo recto, en el canal de salida de la bocatoma. Esto con el fin de tomar el tiempo que se demora en pasar el flotador por la distancia elegida, este dato sirvio para el cálculo de la velocidad promedio del agua, que corresponde a 0.675 m/s.

2.2. E valuación del estado actual de los equipos

Para la evaluación del estado actual de los equipos se aplicó un check list de los equipos e infraestructura de cada una de las áreas del proceso de la central hidroeléctrica para determinar las necesidades según un criterio técnico.

La revisión bibliográfica y los registros de operación y mantenimiento, permitió determinar cuáles equipos deberán ser reemplazados con una valoración significativa a cada uno de los equipos que intervienen en el proceso de generación energética.

Además, fue valioso el aporte que los trabajadores de cada área dieron sus opiniones del estado de las máquinas, según la experiencia en el campo que se desenvuelven con el fin de optimizar el recurso hídrico.

2.3. E valuación Técnica de Generación de Energía.

Para el análisis histórico de generación se tomó 11 años atrás, mientras que para el estudio técnico y análisis de demanda se tomó 3 años atrás, datos que se encuentran disponibles.

Partiendo de los datos históricos hidrológicos calculados en función de las alturas medidas por los trabajadores del área, procedí a tomar el promedio diario de los caudales, posteriormente se clasifica estos caudales en forma descendente.

Para determinar el caudal de diseño analizamos el dato de mayor frecuencia, que en este caso coincide con los caudales que se encuentre entre los días 100 – 110 como mencionan en procedimientos de estudios similares.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

Partiendo de los datos de altura bruta (Hb) obtenidos por el GPS, se procedió determinar la altura neta (Hn) considerando que las pérdidas tienden a cero, entonces $Hn = Hb$.

El caudal de diseño fue tomado, el dato que muestra mayor frecuencia en el año al tratarse del caudal que viene de los deshielos del Chimborazo.

Mientras que para determinar la energía a producir utilizamos el siguiente modelo de diseño tomado de (ESHA, 2006):

$$P = g * (\eta_t)(\eta_g)(Q)(H_B)$$

Donde:

Q_d =0,330 m3/s caudal de diseño

η_t = rendimiento turbina

g = gravedad 9.8 m/s2

H_B = altura bruta en m.

η_g = rendimiento del generador

Con este modelo procedí a determinar la eficiencia actual entre turbina y generador considerando que los datos de generación son 680 Kw (UCEM-CEM, Analisis de Generación Optima , 2015)

Para determinar la energía que se puede generar utilizamos el siguiente modelo matemático:

$$E = \eta g * \eta t * g * H * Q * Top$$

Donde:

E	Energía
ηg	Eficiencia generador
ηt	Eficiencia turbina
g	Gravedad 9.8
H	Altura o salto
Q	Caudal de Diseño
Top	Tiempo de Operación en horas

Se realizó dos propuestas de estudio según el pliego tarifario para determinar si es mejor generar en el horario que la energía tiene su mejor costo y recuperando el nivel de agua en el

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

reservorio en el horario de menor costo y por otro lado el análisis con caudal constante de entrada y salida del reservorio.

Luego se procedió a investigar en el mercado equipos de mayor eficiencia y determinar la inversión que se deberá realizar con la evaluación ex ante de proyectos, con el fin de determinar si el proyecto es factible en los aspectos financieros, económicos, social y ambiental.

2.4. E valuación Financiera y socioeconómica ambiental.

Para la evaluación financiera se consideró a la Mini central Hidroeléctrica como proveedora de energía a la Empresa UCEM – CEM por tanto se considerará como ventas a la energía producida, al mismo precio actual del KWh que se encuentra en el pliego tarifario. Mientras que para determinar los costos se consideró la forma de operar actualmente.

Para la evaluación socio económica se procedió a un análisis de los datos recolectados con las encuestas aplicadas a los trabajadores que laboran en la mini central, para obtener indicadores de desarrollo social y el aporte que da la empresa a las familias de los trabajadores y por ende a la comunidad de donde son oriundos.

Para la evaluación ambiental se plantío tres fases de trabajo de la mini central, como son: la repotenciación, la operación y la fase de mantenimiento. Para cada una de estas fases se detalla las actividades y las posibles intervenciones que se realice a cada uno de los espacios y componentes ambientales según su clasificación. Posteriormente se procede a dar valores cualitativos según la magnitud del daño y el impacto de este en el medio ambiente; considerando que estos podrán ser negativos y positivos.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis de los datos históricos.

Generación de Energía

Luego de haber tomado los datos de los registros que reposa en las instalaciones de la hidroeléctrica, procedemos al análisis del comportamiento histórico de la generación de energía eléctrica de la Planta.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

La tendencia de la generación de energía en los últimos 10 años con el fin de evidenciar el comportamiento de la generación en este periodo de tiempo.

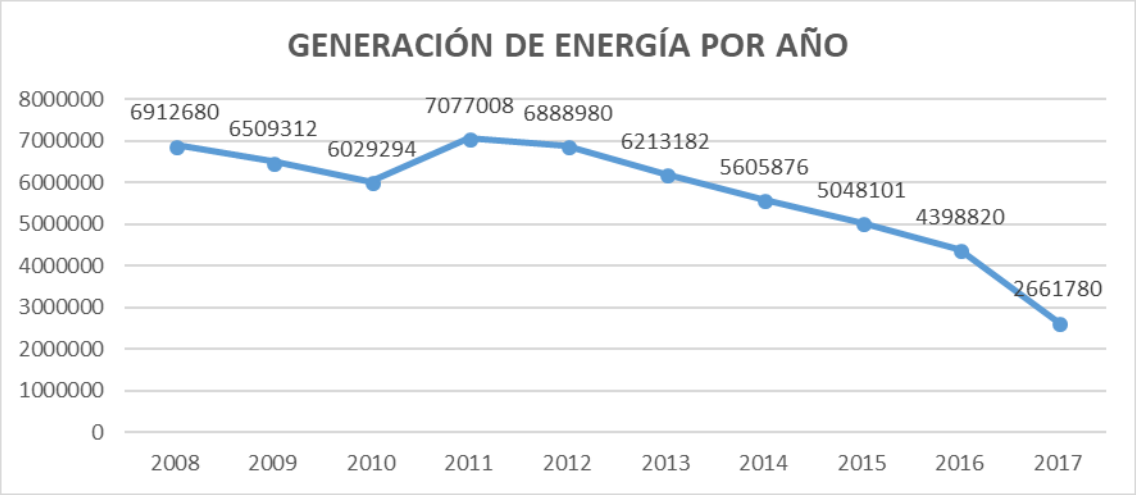

Fig. 1.Historicos de Generaciòn de Energìa de la Planta Hidroeléctrica.

Esta tendencia indica que en el año 2011 se consigue el punto más alto de generación que corresponde a 7077008 KW/h en el año, esto permite evidenciar que al menos a este punto es a donde podemos llegar luego de la repotenciación.

Además, es considerable lo que ha estado sucediendo en los últimos años la tendencia de generación es a bajar, lo que responde a la intervención urgente a realizar para mejorar este síntoma que presenta la Central Hidroeléctrica.

Es importante mencionar que en ciertas ocasiones en los daños que presenta la planta en su operación, transmisión de energía, o reparaciones en estas ocasiones el plan de acción a tomar es recuperar el nivel de agua en el embalse o tanque de presión, para luego generar energía en su máxima potencia permitida, en este caso se debe evidenciar la eficiencia que presenta los equipos. Al presentar los datos del comportamiento del último año por cada mes, con el fin de evidenciar que en Ecuador no existen estaciones marcadas de primavera, invierno, verano y otoño.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

Fig. 2. Generación de Energía del 2011

Evidenciando que en los meses de abril y mayo se tiene la mejor producción de energía, esto se debe al caudal de agua, sin embargo, podemos evidenciar que en el primer semestre del año se tiene el mejor estado de generación de la central.

Posterior a los gráficos presentados pasamos a mostrar el comportamiento de los generadores en cuanto a la producción total de energía en la Central.

Tabla 1. COMPARACIÓN DE GENERACIÓN DE LOS DOS GENERADORES

	2008	***2009***	***2010***	***2011***	***2012***	***2013***	***2014***	***2015***	***2016***	***2017***
Generador 1	5850230	5516174	4978624	4005984	4589301	1498460	4514482	4850230	4364285	4985674
Generador 2	1062450	993138	1050670	3071024	2299679	4224516	1091394	889451	1620123	925138

En esta tabla podemos apreciar que el generador 1 ha aportado con la mayor parte de producción de energía. En el año 2013 es el único año que aporta más el generador 2, pero la producción general es baja.

3.2 Análisis de los datos históricos.

La planta de producción de cemento es una de las más altas en cuanto a consumo energético en la Provincia Chimborazo y cuenta con procesos muy críticos en donde es imprescindible el uso de energía eléctrica con el fin de salvaguardar los equipos. Como se muestra en la gráfica

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

la generación es en un porcentaje mínimo al necesario para la planta, por lo que es necesario de un proveedor externo, en este caso la Empresa Eléctrica Riobamba S.A (EERSA).

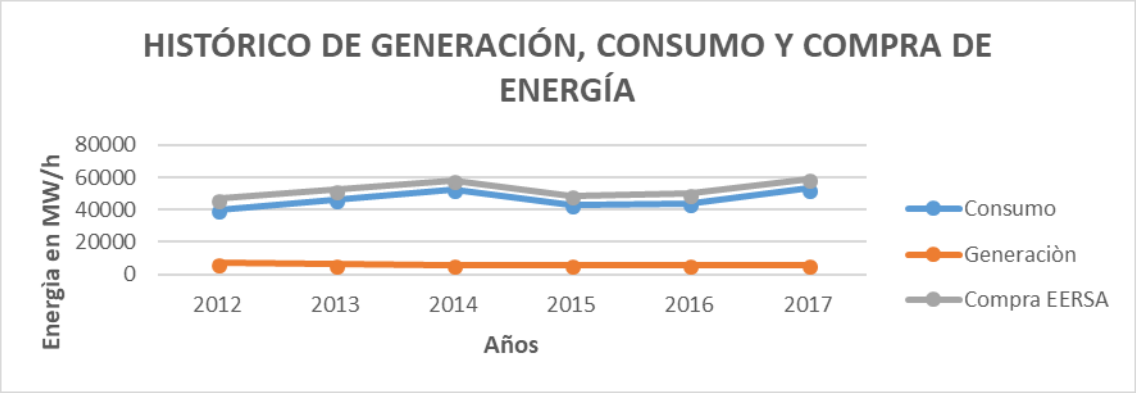

Fig. 3 Histórico de Energía

3.3 Análisis del estado actual de Operación de los Equipos e Infraestructura

3.3.1 Observación en el área de la Bocatoma

Partiendo del punto de entrada de agua y por medio del check list realizado en el sitio de observación, tenemos que:

Al evaluar el estado de las compuertas e infraestructura del área de la bocatoma se puede evidenciar que se encuentran en buen estado en su mayoría, presentando inconvenientes al cierre de la compuerta del tanque grande de desarenador, es decir la que se manipula con mayor frecuencia. En este caso con la experiencia de los trabajadores de esta área, cierran con arena.

Por lo tanto, se considera el mantenimiento de dicha compuerta para garantizar el cierre al 100%, con el fin de evitar desperdicios de agua.

Una vez realizado la entrevista a un trabajador del área de la bocatoma que trabaja 25 años en el área quien da su opinión sobre sus responsabilidades en el área de trabajo con una presencia de climas bajos en el sector. No tiene necesidades de instalar otras compuertas e infraestructura, con las existentes es suficiente para el área. El único problema que se encuentra en el área es el cierre de la compuerta principal del desarenador, pero no requiere de técnicos especialistas, el personal encargado puede solucionar sin mayor inconveniente.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

En los últimos cinco años el área no ha tenido cambios e innovaciones en sus instalaciones.

Según su experiencia y conocimientos del área de trabajo se puede reducir el tiempo que se demora en desarenar. Además, es importante mencionar que junto a las fuentes de agua que ingresa a la central hidroeléctrica existe una fuente de aproximadamente 3 lt/s las mismas que se podría traer por medio de tuberías, con el fin de incrementar en algo la generaciòn.

3.3.2 Observación en el área del Tanque de Presión

Al realizar un recorrido por el área en donde se encuentra el tanque de presión se puede evidenciar que 6 de las 7 compuertas que forman parte de estas instalaciones y la infraestructura se encuentra en condiciones operativas. Mientras que una compuerta se encuentra en mal estado, por la presencia de agua que lo cubre a sus partes metálicas, es necesario el reemplazo de esta compuerta para que garantice el trabajo que cumple. En cuanto a las rejillas usadas para evitar el ingreso de basura a la tubería es necesario su cambio en su totalidad.

Además, es importante la instalación de una compuerta que ayudará a secar el agua con mayor eficiencia cuando el requerimiento del personal de mantenimiento sea puntual, como es el caso de corte por 30 a 60 minutos, para realizar el trabajo puntual de mantenimiento.

3.3.3 Observación en la Casa de Máquinas

Tras la visita y la observación superficial de los equipos e instalaciones de la casa de máquinas de la mini central hidroeléctrica se logró evidenciar las fugas que presenta por los sellos en mal estado de las válvulas, el desgaste que presenta los inyectores de los generadores, al encontrarse inmersas en el generador y sin el fácil acceso a las turbinas no se pudo evidenciar el desgaste que estas presenta. Los generadores como tal presentan un estado bueno de operación pese al paso de 55 años de trabajo, al ser de fabricación alemana como indica en sus datos de placa. Los tableros de Regulación de la excitatriz se encuentran en buen estado, luego de haber sido reemplazados en el año pasado, los breakers de salida se encuentra en perfectas condiciones luego de haber sido reemplazados en este año con el fin de incorporar al Sistema SCADA incorporado para la operación de la mini central. El transformador elevador de voltaje de 440 VAC a 22000 VAC, se encuentra operativo sin embargo es importante mencionar que ha pasado 55 años de su instalación y según las pruebas de aceite realizados presenta la presencia de PCB, por lo tanto, presenta los riesgos de explosión y sin duda el

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

peligro de salud hacia los trabajadores del área. En cuanto a las líneas de transmisión se observa operativas.

Al aplicar la entrevista a uno de los operadores de la mini central hidroeléctrica con una experiencia de 18 años en el área de trabajo quien opina que el área requiere de mucha responsabilidad en los equipos y de conocimientos específicos en el área, el mismo que manifiesta que es necesario mejorar en la ergonomía del trabajo, reduciendo los niveles de ruido. Además, indica que es necesaria la atención a las partes que intervienen en el proceso de generación con el fin de optimizar. En cuanto a los problemas comunes que se presenta en la generación se debe a fugas de agua en las válvulas de entrada, daños en los pararrayos y aisladores, problemas en las líneas por condiciones ambientales, los inyectores y reguladores de agua son obsoletos, los mismos que presentan desgastes y que frecuentemente deben se reajustados y calibrados por los técnicos mecánicos de la empresa. La mini central ha tenido cambios significativos en equipamiento e innovaciones en cuanto a disyuntores, ha sido implementado un sistema SCADA, reguladores electrónicos con tecnología AVR. Según la experiencia del operador se puede mejorar el abastecimiento de agua, revisar el diseño de las palas de la turbina, planificar los mantenimientos con el fin de optimizar los recursos. En cuanto a los estudios realizados manifiesta que en los últimos 10 años se realizó estudios para cambio de turbinas sin mostrar claros resultados.

3.4 Estudio Técnico para la Repotenciación

3.4.1 Determinación del Caudal de Diseño

Partiendo del análisis hidrológico de los últimos tres años y partiendo de las metodologías de determinación del caudal de diseño, presentadas en el manual de diseños de centrales hidroeléctricas, tenemos que el promedio diario de los datos de los últimos tres años.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

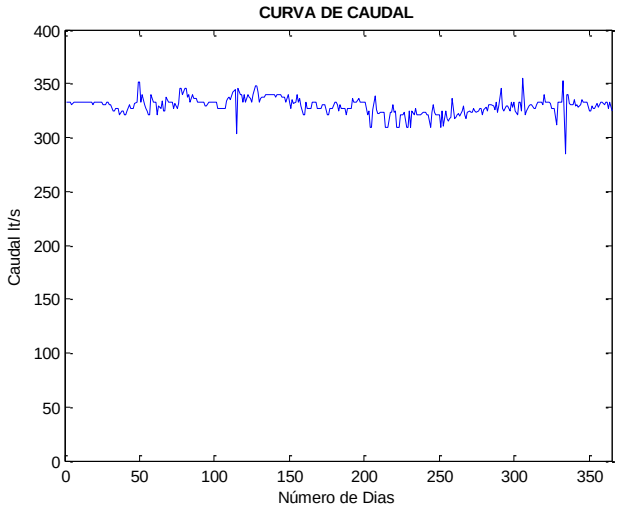

Fig. 4 Promedio de caudal diario de los últimos 3 años

Al clasificar los caudales de mayor a menor como se presenta en la figura 5, se evidencia que el comportamiento del caudal se ha mantenido estable en los últimos tiempos.

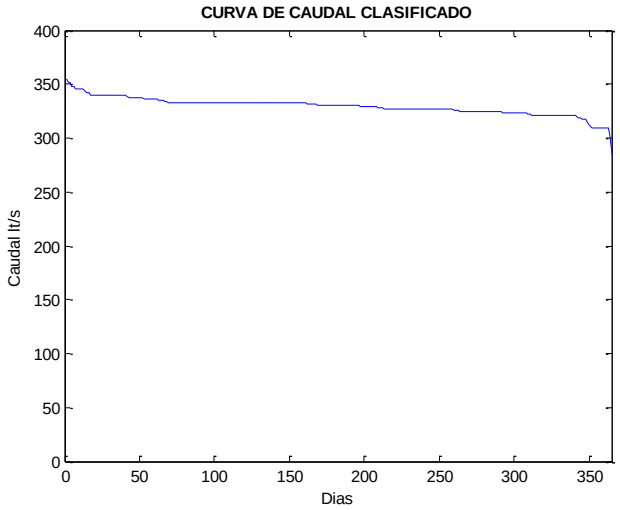

Fig. 5 Promedio de caudal diario de los últimos 3 años

Para determinar el caudal de diseño tomamos el dato que tiene mayor frecuencia, según se muestra en la figura 6, de acuerdo al procedimiento analizado.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

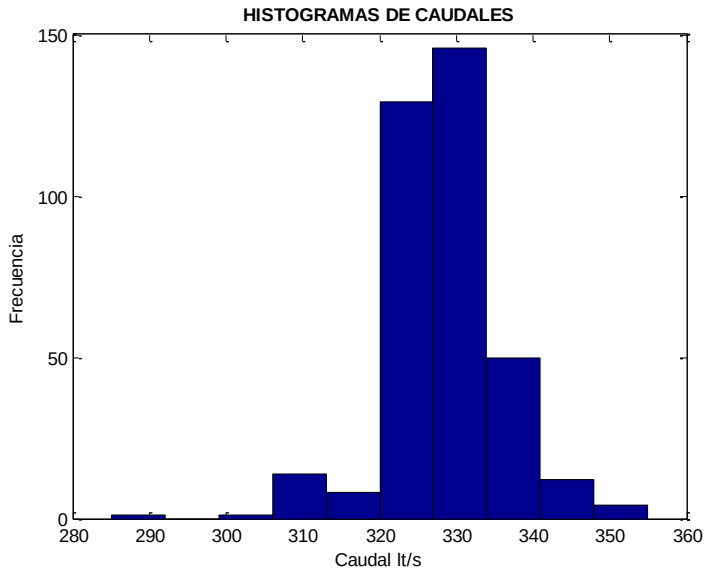

Fig. 6 Histograma para definir el Caudal

Por lo tanto, considerando el mayor número de repetitividad y tomando los datos que se encuentran entre los días 100 a 110 según la metodología que propone(Sierra Vargas, Sierra Alarcon, & Guerrero Fajardo, 2011) tenemos que el caudal de diseño es 0.330 m^2/s o 330 l/s.

3.4.2 Determinación del Salto de la Mini central Hidroeléctrica.

Como requisito de diseño de las centrales hidroeléctricas es importante conocer la altura disponible entre el tanque de presión hasta la casa de máquinas, a esta altura se conoce como el salto de una central hidroeléctrica.

Para determinar el salto de la mini central hidroeléctrica y al no existir planos de los diseños iniciales de la mini central, se procede a la toma de altitudes por medio de GPS.

Tabla 2 MEDIDAS DE ALTITUD POR GPS

	ALTURA	*TEMPERATURA*	*DISTANCIA*
BOCATOMA	3893.6 msnm	5º a 10º	Bt a Ra = 4.700m
RESERVORIO DE AGUA	3883 msnm	7º a 12º	Ra mide =320m
ENTRADA TUBERÍA	3881msnm	7º a 12º	Tp a Et = 485m
CASA DE MÁQUINAS	3538msnm	8º a 13º	Tubería = 1.080m

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

De esta manera al realizar la diferencia entre la altura de la entrada a la tubería con la llegada a la casa de máquinas se tiene una Altura Bruta de 345 con un salto neto de 343 m.

3.4.3 Determinación de la Eficiencia actual de la Turbina y Generador.

Considerando las que no se tiene perdidas de la tubería tiende a cero y utilizando la ecuación 4 del capítulo 3 tenemos que y la potencia generada es de 680 KW:

$$P = 9.8 * (\eta_t)(\eta_g)(Q)(H_B)$$

Datos:

P = 680 Kw – Potencia generada

Q_d =0,333 m3/s caudal de diseño

η_t = rendimiento turbina

η_g = rendimiento del generador

$$H_B = 343\text{m} \;\; 458 \text{ m}$$

$$n_{t-g} = \frac{680}{9.8 * (0.330) * (343)}$$

$$n_{t-g} = 0.6130$$

Por lo tanto, la eficiencia actual de los equipos es del 61.30 %.

Aplicando la ecuación del capítulo anterior y despejando n_{t-g}, podemos determinar el rendimiento que han tenido los equipos de la mini central en los últimos 7 años analizados.

Tabla 3 RENDIMIENTO DE LA TURBINA GENERADOR EN FUNCIÓN A LA ENERGÍA GENERADA

	2008	*2009*	*2010*	*2011*	*2012*	*2013*	*2014*	*2015*	*2016*	*2017*
Energía Generada (MW)	6.912,68	6.509,31	6.029,3	7.077	6.889	6.213,18	5.605,88	5.048,1	4.398,8	2.661,8
Rendimiento Turbina Generador	70,50%	66,38%	61,49%	72,17%	70,26%	63,36%	57,17%	51,48%	44,86%	27,15%

3.4.4 Determinación de la Potencia a generar.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

Considerando la información proporcionada por los fabricantes de turbinas y generador en este caso por la empresa WKV Energy for Future, de Alemania, tenemos los siguientes rendimientos para turbina y generador según el grado de carga, de esta manera se consigue la energía posible a generar.

Tabla 4 EFICIENCIAS Y POTENCIA GENERADA

Descarga		*Eficiencia de la Turbina*	*Salida de la Turbina*	*Eficiencia de generador*	*Salida del generador KW*
%	Caudal l/s	*(%)*	*KW*	*%*	
20%	71	82,0%	195	93,8%	183
40%	142	87,5%	417	95,5%	398
60%	213	89,0%	636	97,0%	617
80%	284	91,2%	869	97,2%	844
100%	355	90,7%	1080	97,2%	1050

Considerando la eficiencia de la turbina al 90,7% y la eficiencia del generador a una eficiencia de 97.2%, aplicando la ecuación 4 del capítulo anterior tenemos:

$$P = 9.8 * (\eta_t)(\eta_g)(Q)(H_n)$$

Datos:

Q_d =0,330 m3/s caudal de diseño

$\eta_t = 90.7\ \%$

$\eta_g = 97.2\ \%$

$H_n = 343m$

$P = 9.8 * (0.907) * (0.972) * (0.330) * (343)$

$$P = 977{,}93\ Kw$$

A esta potencia considerando el 10% de pérdidas por fallas de operación y equipos nos dará una potencia instantánea promedio de:

$P = 880{,}14\ Kw$

Aplicando la ecuación permite determinar la energía a generar en un año y considerando que el rendimiento turbina del 90.7% y el rendimiento del generador de 97.2%, vamos a tener una generación de energía en óptimas condiciones:

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

$$E = n_t * n_g * g * H * Q * Top$$

$$E = 0.907 * 0.972 * 9.8 * 343 * 0.330 * 8760$$

$$E = 8566{,}66\ Mwh.$$

Con el 10% de pérdidas consideradas anteriormente tendremos una generación anual de:

$E = 7710\ Mwh.$

Para determinar la potencia a generar según el diferente caudal que se tiene en el año, considero los polinomios de rendimientos de la turbina y el generador.

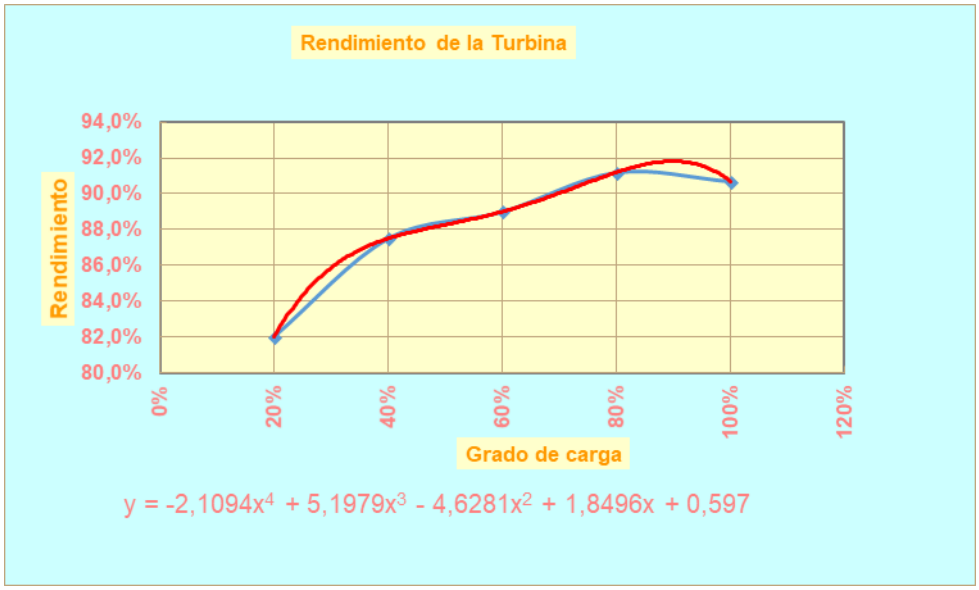

Fig. 7 Tendencia de Rendimiento de la Turbina

De la misma manera tenemos para determinar el rendimiento del generador según el grado de carga.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

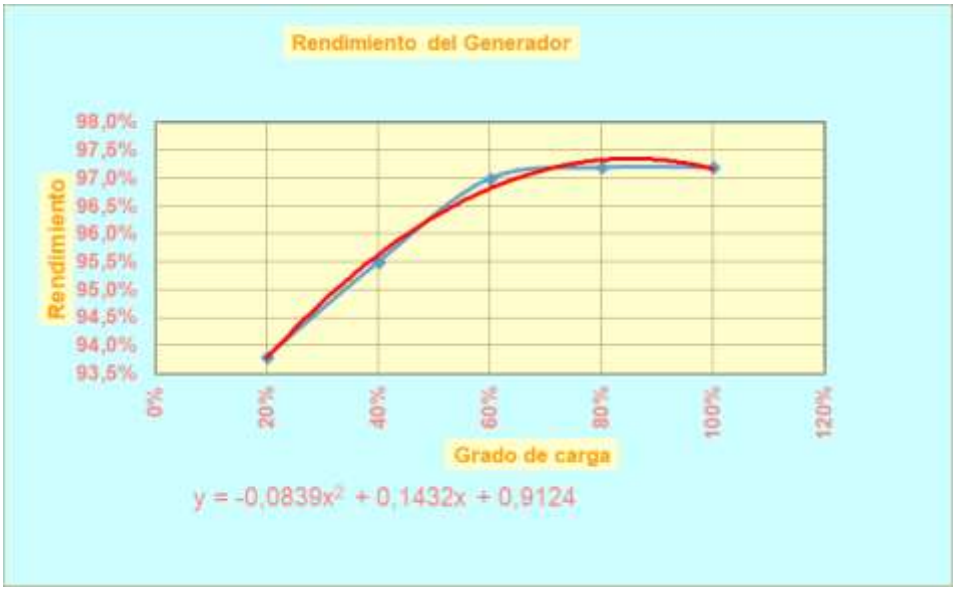

Fig. 8 Tendencia de Rendimiento del Generador

Con estos datos de rendimientos de la turbina y el generador para los diferentes caudales que se encuentran en el año se tiene un total de energía a generar de 7688.03 Mwh al año.

Según el pliego tarifario (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018) de la empresa proveedora de electricidad y el emitido a nivel nacional, se tiene que el costo de energía no tiene el mismo valor en todas las horas del día y considerando que el voltaje de transmisión de la planta hidroeléctrica es de 22KV, el mismo que se encuentra en el rango de media tensión.

Tabla 5 TARIFAS DE ENERGÍA A MEDIA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA

Media Tensión con Demanda Horaria Diferenciada

Horario	USD/Kwh
Lunes -Viernes 08:00 hasta 18:00	0,093
Lunes -Viernes 18:00 hasta 22:00	0,107
Lunes -Viernes 22:00 hasta 08:00	0,075
Sábado, Domingo y feriados 18:00 hasta 22:00	0,093

Con esta diferenciación de horarios del plan tarifario propongo un plan de generación de energía según los horarios definidos en el Tabla 5, para generar en su mayoría en el horario que mayor costo tiene el Kwh, mientras que en el resto del tiempo se pueda recuperar el nivel

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

de agua del reservorio. Con el fin de no tener muchas variaciones en la carga, hacemos dos diferenciaciones considerando dos porcentajes de caudales para la generación de energía.

Tabla 6 ANÁLISIS DE CAUDAL Y GENERACIÒN DE ENERGÍA PARA HORARIO DIFERENCIADO

Análisis Diferenciado de Caudal y Energía

Número de Horas	Porcentaje en caudal	Caudal en Relación a Caudal de Diseño	Energía MWh
08:00 - 22:00	143%	0,4719	4498,41
22:00 - 08:00	40%	0,132	2878,87
Total de Energía a Generar al Año			7377,28

3.4.5 Elección de Equipos e Infraestructura

De acuerdo a los resultados del estado de situación actual de la mini central hidroeléctrica se considera que la infraestructura civil se mantiene, en lo que corresponde al comportamiento del caudal no ha variado y los canales aun soportan un caudal mayor de agua. Además, el diseño de las compuertas no ha presentado conflictos en la operación según la experiencia de los operadores y ayudantes de la mini central es posible mantener el actual.

Elección de la Turbina

De acuerdo al salto identificado como establece en (Palma, 2004), la turbina apropiada el salto es la Turbina Pélton, según la característica de funcionamiento de acuerdo al salto neto y caudales de diseño pequeños, siendo nuestro caudal de diseño de 0.333 m^3/s y 343 m de altura neta.

Elección de Generador

De acuerdo a los datos de placa del generador se tiene que la velocidad de sincronismo es de 900RPM, dando el número de 2 polos.

En cuanto al voltaje es importante considerar los mismos niveles de voltaje para poder conservar los equipos que se encuentren en buen estado o al menos pueda servir de repuesto para los nuevos a instalar. Por lo tanto, el voltaje de generación es de 440 V.

Elección del Transformador

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

Según las consideraciones anteriores los niveles de voltaje y su potencia se mantendrán de acuerdo a los datos de placa, mejorando únicamente el rendimiento o eficiencia del mismo de acuerdo a las normativas de fabricación en vigencia.

Elección de Sistema de Transmisión de Energía

Luego de haber realizado el análisis del estado en el que se encuentra el sistema de transmisión, se mantiene el cableado al no sufrir un incremento en corriente al diseño que fue implementado. El trabajo a realizar es el cambio de aisladores en su totalidad con el fin de disminuir el número de fallas que el sistema presenta, en este caso se recomienda el reemplazo por aisladores de las mismas características de los actuales de esta manera se evita el cambio de las estructuras de cada poste.

3.5 Evaluación Financiera

3.5.1 Inversión

Luego de evaluar las condiciones de operación y el estado de los equipos se definen los equipos a ser cambiados de la mini central hidroeléctrica. Partiendo de este análisis se determinó la inversión necesaria para la repotenciación de la mini central hidroeléctrica.

Tabla 7 ACTIVOS FIJOS

ACTIVOS FIJOS	Valor en libros
Generador	$ 850.000,00
Transformador	$ 95.000,00
Compuertas	$ 10.000,00
Aisladores de las Líneas de Transmisión	$ 9.200,00
Turbina	$ 350.000,00
Vehículo	$ 20.000,00
TOTAL	**$ 1.334.200,00**

3.5.2 Capital de Trabajo

El capital de trabajo, representa al costo de producción de energía por cada año de operaciones, en este caso la materia prima directa para la generación de energía es el agua y

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

las aguas utilizadas para la operación son concesionadas por la empresa. Para la proyección de los costos de mano de obra directa y los costos indirectos de producción a partir del segundo año de operación se considera una tasa de inflación de 4.02 % tomada de la media presentada en las estadísticas del Banco Central del Ecuador.

Tabla 8 CAPITAL DE TRABAJO

	AÑO 1
Materia Prima Directa	-
Mano de Obra Directa	*$ 102.276,41*
Costos Indirectos de Producción	*$ 133.149,45*
COSTOS DE PRODUCCIÓN	***$ 235.425,86***

Por lo tanto, lo inversión para el proyecto queda de la siguiente manera:

Tabla *9* INVERSIÓN

Capital de trabajo	*$ 235.425,86*
Activo fijo	*$ 1.334.200,00*
Activo diferido	*$ 58.500,00*
TOTAL INVERSIÓN	***$ 1.628.125,86***

3.5.3 Fuentes de Financiamiento

Según la política de financiamiento de la Corporación Nacional Financiera Ecuatoriana (CFN), el crédito es del 70% para proyectos nuevos que corresponde a 1.139.688,10 dólares destinados para activos fijos. Entonces el 30% que representa a 488.437,76 dólares corresponde a la inversión inicial de la Empresa UCEM-CEM

3.5.4 Ingresos

Para los ingresos del estado de resultados aplico el pliego tarifario publicado por la Agencia de Control y Regulación de Electricidad, con horario diferenciado a media tensión señalado en el Tabla 6, para las dos propuestas de generación.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

En el primer caso, se propone generar energía a caudal constante tenemos que los ingresos proyectados a conseguir son:

Tabla 10 INGRESOS PROYECTADOS PARA EL AÑO - CASO 1

Análisis Diferenciado de Energía

Número de Horas	*Caudal de Operación lt/s*	*Potencia Promedio KW*	*Energía MWh*	*Precio USD/KWh*	*Ingresos*
08:00 - 18:00	*330*	*880*	*3393,43*	*$ 0,093*	*$ 315.588,99*
18:00 - 22:00	*330*	*880*	*1091,00*	*$ 0,107*	*$ 116.737,00*
22:00 - 08:00	*330*	*880*	*3203,60*	*$ 0,075*	*$ 240.270,00*
Total de Energía a Generar al Año			***7688,03***		***$ 672.595,99***

En el segundo caso se propone generar al 143 % del caudal de equipamiento en el horario de 08:00 a 22:00, para recuperar el nivel de agua en el reservorio de 22:00 a 08:00, con una generación al 40% del caudal de equipamiento, tenemos:

Tabla 11 INGRESOS PROYECTADOS PARA EL AÑO - CASO 2

Análisis Diferenciado de Caudal y Energía

Número de Horas	*Caudal de Operación lt/s*	*Potencia Promedio KW*	*Energía MWh*	*Precio USD/KWh*	*Ingresos*
08:00 - 18:00	*472*	*1258,4*	*3403,30*	*$ 0,093*	*$ 316.506,90*
18:00 - 22:00	*472*	*1258,4*	*1095,11*	*$ 0,107*	*$ 117.176,77*
22:00 - 08:00	*132*	*352*	*2878,87*	*$ 0,075*	*$ 215.915,25*
Total de Energía a Generar al Año			***7377,28***		***$ 649.598,92***

3.5.5 Indicadores de Evaluación Financiera

Estos indicadores he calculado para las dos propuestas de generación de energía de la mini central hidroeléctrica, para cada caso considerando si es con financiamiento o sin financiamiento, de esta manera la Empresa podrá considerar cuál de los casos considera para su inversión. Indicadores que se obtienen de los análisis financieros previos, con una TMAR de 10.306%.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

Tabla 12 INDICADORES FINANCIEROS PARA UNA GENERACIÓN A CAUDAL DE DISEÑO

INDICADORES	CON FINANCIAMIENTO	SIN FINANCIAMIENTO
VAN	1.208.345,13	2.402.573,16
VAN POSITIVO	35.520,91	12.247,08
VAN NEGATIVO	(91.859,12)	(62.460,53)
TIR	16,28%	24,16%
Beneficio/Costo	1,71	1,96

Mientras que, para el segundo caso propuesto, con caudal y generación diferenciada se tiene los siguientes indicadores como resultado del análisis financiero, con una TMAR de 10.306%.

Tabla 13 INDICADORES FINANCIEROS PARA UNA GENERACIÓN DIFERENCIADO

INDICADORES	*CON FINANCIAMIENTO*	*SIN FINANCIAMIENTO*
VAN	928.259,48	2.122.487,52
VAN POSITIVO	140.857,46	57.666,14
VAN NEGATIVO	(11.361,01)	(25.501,16)
TIR	15%	23%
Beneficio/Costo	1,65	1,89

3.5.6 Evaluación de los Resultados

Con un caudal de diseño de 330 lt/s y una altura neta de 343 m, en la actualidad la planta se encuentra generando un promedio de potencia instantánea de 680 Kw, lo que representa un 61,3 % de rendimiento turbina-generador, con una curva decreciente para los últimos años.

Luego de aplicar los cálculos respectivos con el mismo caudal de diseño y la misma altura neta, con los rendimientos emitidos por uno de los proveedores de turbinas y generador se proyecta tener una potencia instantánea de generación de $977{,}93$ Kw dando una generación de energía al año de $8566{,}66\ Mwh.$

Para corroborar los resultados obtenidos solicitamos una cotización a la empresa WKV la misma que con los datos de caudal de diseño y salto neto se puede generar 1050 Kw de potencia instantánea que se acerca mucho a los datos obtenidos en el presente trabajo.

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

Considerando unas pérdidas del 10% por pérdidas y fallas de operación que se pueda suscitar tenemos una potencia instantánea de 880,14 Kw que representa una generación de energía anual 7710 Mwh. Esto representa un incremento en la generación de energía en relación al año 2011 que mayor fue su generación del 9% y en relación al año 2014 en donde tenemos la menor generación del 37.6 % lo que indica que la repotenciación dará un incremento en la generación.

Con esta generación y a un precio diferenciado según el pliego tarifario y una tasa de Inflación de 4,02% para el año 2017 y una TMAR de 10,30% arroja los indicadores con financiamiento y sin financiamiento que se encuentra en el Estudio Financiero.

4. CONCLUSIONES

En el estado histórico de la mini central hidroeléctrica se puede observar un comportamiento oscilante, esto se debe al caudal de agua en años secos y lluviosos, como también de las intervenciones de mantenimiento que se han realizado en las instalaciones. En el año 2011 presenta el mejor año de producción, a partir de ese año se nota un decrecimiento en la generación de energía.

El estado actual de operación de la maquinaria e infraestructura de la mini central hidroeléctrica en su mayoría se encuentra operativa, esto se debe a los cambios correctivos que ha tenido algunos equipos. Siendo los equipos que menos intervenciones relevantes, han tenido los generadores, turbinas y transformador quienes son los equipos principales en el proceso de generación hidroeléctrica.

La alternativa propuesta para el incremento en la generación de energía es el cambio del generador número uno por otro de mayor eficiencia y capacidad de 1050 Kw, manteniendo el generador número dos como stand by para tener la alternancia. Por otro lado, en esta alternativa no se ha considerado realizar el cambio de la tubería de presión, luego de haber investigado que tiene al menos 10 años más de normal desempeño.

El transformador elevador también debe ser cambiado por haber cumplido la vida útil y según el informe de los análisis de aceite en los mantenimientos preventivos contiene PCB, además el cambio de aisladores y mantenimiento en parte de las líneas de transmisión al ser este el factor principal de interrupciones en la normal operación.

Según los indicadores financieros del VAN, TIR y B/C podemos apreciar cuatro casos, de estos siendo los considerados para cuando se genera a potencia promedio y caudal constante, si la empresa financia el 100% de la inversión tenemos TIR de 24,16 %, mientras que financiado el

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

70% se tiene 16.28 %. Considerando que los créditos en la CFN para activos fijos es de 10 años plazo. Pero la vida útil de los equipos es de 50 años, por lo tanto, el proyecto es rentable a largo plazo generando a una potencia promedio con los precios diferenciado del pliego tarifario.

En cuanto al riesgo en ventas no va a existir ya que el principal consumidor es la misma empresa y siempre va a necesitar electricidad para sus plantas de producción de cemento, dando como resultado final un ahorro a la empresa por la compra de energía.

5. RECOMENDACIONES

Para incrementar más la generación de energía, es imprescindible buscar nuevas fuentes de agua con el fin de mejorar el caudal de operación y optimizar los recursos que se encuentran operativos y los que van a ser reemplazados. Esto representa un ahorro significativo en la compra de energía para la empresa.

En lo que respecta a la tubería no se propone su reemplazo, considerando la información de los operadores que en análisis anteriores los resultados fueron que la tubería soporta al menos 10 años de trabajo, pero se recomienda realizar un monitoreo periódico con el fin de llevar un registro de estado y operación.

6. REFERENCIAS

Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Servicio público de energía eléctrica. Periodo: enero - diciembre 2018, 18, 1–34. Retrieved from http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf

CELEC EP. (24 de 11 de 2017). Corporación Eléctrica del Ecuador. Obtenido de www.celec.gob.ec

ESHA. (2006). Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica, 305. Retrieved from www.esha.be/fileadmin/esha_files/.../GUIDE_SHP_ES_01.pdf

Palma, N. (2004). Centrales hidroelectricas. Centrales Hidroeléctricas, 1–41.

SENPLADES. (10 de 12 de 2017). Buen Vivir. Obtenido de Buen Vivir: http://www.buenvivir.gob.ec/

Sierra Vargas, F. E., Sierra Alarcon, A. F., & Guerrero Fajardo, C. A. (2011). Pequeñas y

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación
[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.

microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. Informador Tecnico, Ed. 75, 73–85. https://doi.org/10.23850/22565035.22

UCEM-CEM, J. d. (20 de 08 de 2017). Analisis de Generación de Energía. (C. Santiana, Entrevistador)

[1]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de proyectos para el Desarrollo, Docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica.

[2]Ingeniera Electrónica y Tecnología en Computación, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

[3]Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales, Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

[4]Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación

.