

**AUDITORÍA ENERGÉTICA AL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE
BOMBEO DEL RIO PIEDRAS, UBICADA ENTRE LOS MUNICIPIOS LA CEJA Y
ABEJORRAL**

**BUSTAMANTE SERNA JUAN PABLO
CARMONA VELASQUEZ JUAN ESTEBAN
MESA LONDOÑO OSCAR AUGUSTO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2022**

**AUDITORÍA ENERGÉTICA AL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE
BOMBEO DEL RIO PIEDRAS, UBICADA ENTRE LOS MUNICIPIOS LA CEJA Y
ABEJORRAL**

**BUSTAMANTE SERNA JUAN PABLO
CARMONA VELASQUEZ JUAN ESTEBAN
MESA LONDOÑO OSCAR AUGUSTO**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electricista

Asesor Técnico

**BAYRON ALVAREZ ARBOLEDA
Doctor en estudios organizacionales**

Asesor Metodológico

**ROSALBA RÍOS GALVIS
Doctora en estudios organizacionales**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2022**

CONTENIDO

Abstract	9
Introducción	13
1. Planteamiento del problema	14
1.1 Descripción.....	14
1.2 Formulación.	32
2. Justificación.....	33
3. Objetivos.	35
3.1 Objetivo general.	35
3.2 Objetivos específicos.....	35
4. Marco teórico.	36
4.1 Normas ISO 5001 y 5002.....	36
4.2 Auditoría energética.	37
4.3 Importancia de la auditoría energética	38
4.4 Objetivos de la auditoría energética	38
4.5 ¿Quiénes realizan auditorías energéticas?.....	39
5. Metodología.	46
5.1 Tipo de proyecto.....	46
5.2 Método deductivo.....	46
5.3 Instrumentos de recolección de información.....	47
5.3.1 Fuentes primarias.	47
5.3.2 Fuentes secundarias.....	47
6. Resultados	48
6.1 Descripción eléctrica de la estación de Bombeo	48
6.2 Sistemas de medida	54
6.3 Analizadores de red.....	60
6.4 Inventario de equipos eléctricos.....	62
6.5 Iluminación.....	66
6.6 Resultados ahorro en energía de un mes de servicio.....	69

6.7 Propuestas.....	76
6.8 Estudio motores.....	76
7.Conclusiones	85
8.Recomendaciones.....	87
9.Referencias bibliográficas	89

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. vista satelital embalse la Fe	18
Figura 2. Mapa de localización general de la cuenca del río Piedras	19
Figura 3. Desplazamiento del agua por tubería desde el bombeo Rio Piedras	20
Figura 4. Compuerta ecológica	22
Figura 5. Tanques hidroneumáticos.....	23
Figura 6. Tanques hidroneumáticos.....	24
Figura 7. Compresores de los tanques hidroneumáticos.....	24
Figura 8. Válvula de guarda.....	27
Figura 9. Sistema de Lubricación.	28
Figura 10. Válvula Esférica.	29
Figura 11. Parámetros CT relé SEPAM M41, motores 5,1 MVA.....	30
Figura 12. Ajustes 49 RMS relé SEPAM M41, motores 5,1 MVA.	30
Figura 13. Parámetros CT relé SEPAM M41, motores 3,5 MVA.....	30
Figura 14. Ajustes 49 RMS relé SEPAM M41, motores 3,5 MVA.	31
Figura 15. Motor y bomba principales.....	49
Figura 16. Vista superior antebomba.....	49
Figura 17. Diagrama unifilar planta Rio Piedras	50
Figura 18. Datos de placa planta Rio Piedras Ante-Bomba Grupo 2	51
Figura 19. Medidor principal planta Rio Piedras consumo total de los 3 grupos.....	55
Figura 20. Medidor de respaldo planta Rio Piedras.....	55
Figura 21. Triangulo de potencias.	57
Figura 22. Registro real antebomba Siemens	59
Figura 23. Registro real Bomba Siemens	59
Figura 24. Analizador de red principal	61
Figura 25. Analizadores por sistemas	61
Figura 26. Lampara mala, sala de máquinas.....	67
Figura 27. Lampara mala, cuarto de control ccm	68
Figura 28. Lampara mala, cuarto de control ccm	68
Figura 29. Tarifas energía EPM.....	69
Figura 30. Motor lubricación cojinetes.....	77
Figura 31. Cálculo de eficiencia software motor master	78
Figura 32. Motor de válvulas esféricas para la lubricación	78
Figura 33. Cálculo eficiencia software motor master	79
Figura 34. Motor válvula guarda	80
Figura 35. Cálculo de eficiencia software motor master	81
Figura 36. Motor bomba de vacío.....	81
Figura 37. Cálculo de eficiencia software motor master	82
Figura 38. Motor de refrigeración.....	82
Figura 39. Cálculo de eficiencia software motor master	83

Lista de tablas.

	Pág.
Tabla 1.	52
Tabla 2.	52
Tabla 3.	56
Tabla 4.	56
Tabla 5.	57
Tabla 6.	62
Tabla 7.	70
Tabla 8.	71
Tabla 9.	71
Tabla 10.	73
Tabla 11.	74
Tabla 12.	75
Tabla 13.	84

Resumen

AUDITORÍA ENERGÉTICA AL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE BOMBEO DEL RIO PIEDRAS, UBICADA ENTRE LOS MUNICIPIOS LA CEJA Y ABEJORRAL

**BUSTAMANTE SERNA JUAN PABLO
CARMONA VELÁQUEZ JUAN ESTEBA
MESA LONDOÑO OSCAR AUGUSTO**

El desarrollo de este proyecto de grado, es con el propósito de presentar recomendaciones, con base en la auditoría realizada al sistema eléctrico de la planta de bombeo del Río Piedras, ubicada entre los municipios de la Ceja y Abejorral, del departamento de Antioquia, mediante el análisis de las instalaciones físicas de equipos, del consumo total de la planta, de las características técnicas, para presentar una serie de recomendaciones técnicas, tendientes a realizar uso eficiente de la energía y buscar disminuir el consumo de energía eléctrica.

Una auditoria energética en el área eléctrica, es un servicio que permite identificar las características del consumo energético por la operación de elementos eléctricos, en este caso, de una estación de bombeo. En la mayoría de los casos es posible reducir el consumo energético mejorando el desempeño de los equipos en la operación.

Al auditar la planta de Rio Piedras se busca identificar las falencias energéticas existentes en la planta de bombeo, como bajos factores de potencia en los motores de las antebombas y bombas, el desgaste en rodamientos, altos coeficientes de rozamiento en chumaceras de motores y bombas o cojinetes, entre otros.

Por lo anterior la auditoría energética de este proyecto se realiza con el propósito de generar las recomendaciones necesarias que permitan implementar y/o ejecutar acciones que brinden una mayor eficiencia energética en la planta de bombeo, con el fin de contribuir a la

disminución de los consumos de energía eléctrica y reducir las pérdidas económicas generadas por las interrupciones no programadas de la planta, que puedan afectar el sistema de acueducto del Valle de Aburrá o posibles impactos en el sistema eléctrico de Empresas Pública de Medellín E.S.P.

Palabras claves: Auditoría energética, uso racional de energía, bombeo, consumo.

Abstract

The development of this degree project is for the purpose of presenting recommendations, based on the audit carried out on the electrical system of the Río Piedras pumping plant, located between the municipalities of La Ceja and Abejorral, in the department of Antioquia, through the analysis of the physical installations of equipment, of the total consumption of the plant, of the technical characteristics, to present a series of technical recommendations, tending to make efficient use of energy and seek to reduce the consumption of electrical energy.

An energy audit in the electrical area, is a service that allows identifying the characteristics of energy consumption due to the operation of electrical elements, in this case, of a pumping station. In most cases it is possible to reduce energy consumption by improving the performance of the equipment in the operation.

When auditing the Río Piedras plant the aim is to identify existing energy shortcomings in the pumping plant, such as low power factors in the pump and pump motors, bearing wear, high coefficients of friction in the motor and pump bearings, or bearings, among others.

Therefore, the energy audit of this project is carried out with the purpose of generating the necessary recommendations that allow implementing and/or executing actions that provide greater energy efficiency in the pumping plant, in order to contribute to the reduction of consumption. of electrical energy and reduce the economic losses generated by unscheduled interruptions of the plant, which may affect the Valle de Aburrá aqueduct system or possible impacts on the electrical system of Public Companies of Medellín E.S.P.

Keywords: Energy audit, rational use of energy, pumping, consumption.

Glosario

Aforo: Medición del caudal o gasto.

Agua potable: Líquido incoloro, insípido e inodoro que se puede encontrar en estado natural o ser producido a través de un proceso de purificación. Sirve para el consumo humano y animal.

Bomba: Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión, transferida al agua.

Ante bomba: Bombas que succionan del recipiente de succión y descargan en la succión de otras bombas, a las cuales alimentan, y esta a su vez descarga en la succión de otras bombas o descarga directamente a la tubería de salida.

Cárcamo: Es la estructura hidráulica complementaria del sistema hidráulico que sirve como almacenamiento provisional para bombear algún líquido de un nivel inferior a uno superior. Se emplea para el agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial.

Carga total de bombeo: La suma algebraica de la carga de presión en la descarga, más el nivel de succión, más el nivel al centro del manómetro, más las pérdidas de fricción y singulares en la conducción, más la carga de velocidad.

Carga de velocidad: Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento.

CCM: sigla asociada al cuarto de control de motores.

Coefficiente de cortante: Es el coeficiente de rozamiento del agua con las paredes de una tubería; depende del material con que la tubería esté construida o recubierta, del diámetro de la tubería y de la velocidad del agua; con este parámetro se calculan las pérdidas de energía en una

conducción de agua.

Corriente eléctrica: Es la intensidad de corriente que pasa a través de un conductor con resistencia R y cuya tensión eléctrica es V (voltaje).

Factor de potencia: Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, y describe la relación entre la potencia convertida en trabajo útil y real, y la potencia total consumida.

Fuente de abastecimiento: Sitio del cual se toma el agua para suministro en el sistema de distribución.

Gasto: Volumen de agua medido en una unidad de tiempo; se expresa generalmente en litros por segundo.

Nivel a centros de manómetro: Es la distancia vertical entre el nivel de referencia y la posición del manómetro usado para medir las cargas de presión tanto en la succión como en la descarga.

Nivel de referencia: Es el nivel seleccionado como referencia para todas las mediciones hidráulicas, normalmente el plano inferior de la placa base de montaje del equipo de bombeo.

Nivel de succión: Es la distancia vertical desde el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando se encuentra en operación el equipo de bombeo.

Potencia activa: Es la potencia consumida por un motor eléctrico que se convierte en trabajo útil.

Potencia eléctrica: Es la potencia de entrada en watts (o vatios) que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba y en operación normal.

Potencia aparente y reactiva: En un triángulo rectángulo se asocia la potencia aparente a la hipotenusa, a un cateto se le asocia la potencia activa, y al otro se le asocia la potencia reactiva. Al coseno del ángulo existente entre la hipotenusa y el cateto adyacente, asociado a la potencia aparente y potencia activa, respectivamente, se le denomina Coseno θ ($\cos \theta$).

Tensión eléctrica: Trabajo eléctrico medido entre dos puntos de un circuito eléctrico.

Introducción

“La ley 697 promulgada por el Congreso de la República en octubre de 2001 declaró el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) “como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales”. (UPME, 2007)

La auditoría energética es una parte fundamental y el punto de partida donde desarrolla una estrategia de optimización de consumo de energía eléctrica que proporciona la información relevante acerca del consumo actual de energía y su uso eficiente con la finalidad de posibilidades de ahorro que se puede derivar por la implementación de mejoras, innovaciones en los procesos o elementos eléctricos, también por el impacto en paradas no programada que sufre un equipo del sistema, es necesario resaltar, que, la planta de Bombeo Rio Piedras hace parte de un sistema de suministro de agua para la población Área metropolitana del Valle de Aburrá, departamento de Antioquia, Colombia.

La realización de este proyecto se fundamenta en la necesidad actual de disminuir los consumos de energía eléctrica y reducir la incertidumbre por parada no programada de los equipos, y por ende para establecer alternativas. En conclusión, esta auditoría se realiza para mejorar la eficiencia energética del sistema de bombeo mediante unas recomendaciones en base a la inspección y mediciones realizadas.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción.

“Las auditorías energéticas en el área eléctrica, en adelante (AE) se han venido desarrollando como una estrategia de optimización de consumo de energía eléctrica, y según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) “Una Auditoría Energética proporciona la información relevante acerca del consumo actual de energía y las posibilidades de ahorro mediante las AE se analizan los flujos energéticos y se establecen las estrategias o acciones de ahorro y eficiencias energéticas más adecuadas.”. (UPME, 2007).

“El Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) es un lineamiento de política pública para promover el mejor uso de los recursos energéticos, desde su producción hasta su consumo en los diferentes sectores y actividades de la economía. El plan de acción indicativo del PROURE determina las metas de ahorro de energía sectoriales y las acciones y medidas de eficiencia energética para alcanzarlas.” (UPME, 2022)

La normatividad actual se ha enfocado en orientar y establecer los parámetros o lineamientos para que desde cada una de las partes de la cadena de consumo del país se enfilen los esfuerzos para tal fin, como ejemplo de esto se puede tomar lo establecido por el Ministerio de Minas y Energía a través de la UPME, y tomando como referente el Plan de Acción Indicativo (PAIP) y el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales (PROURE) en la Guía de Planes de Gestión Eficiente de la Energía para Entidades Públicas o (PGEE), esta guía orienta y brinda las herramientas necesarias a las entidades públicas para poder implementar el PGEE de manera eficaz, acorde a la naturaleza de cada actividad y enmarcado dentro de la normatividad actual establecida, algunas de las normas en las cuales se enmarca esto son la ley 1715 de 2014, el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 (Ley 1955 de 2019), los objetivos de desarrollo sostenible, el Plan de Acción Indicativo del PROURE 2017-2022 Resolución 41286 de 2016 del Ministerio de Minas y Energía, etc.

La realización de este proyecto se fundamenta principalmente en la necesidad actual de disminuir el consumo de energía convencional a nivel mundial, cada vez más los gobiernos se enfocan en la conservación de los recursos naturales, el cambio climático, el medio ambiente y los demás factores que afectan la estabilidad de los ecosistemas, uno de estos indiscutiblemente es la producción de la energía eléctrica, como bien se sabe, la energía eléctrica ha incrementado su demanda de una manera exponencial, haciendo que cada vez sea más necesario buscar diferentes formas de producirla.

“La demanda de energía eléctrica en 2021 fue de 74,116.91 GWh, lo que representa un crecimiento del 5,51 % con respecto al consumo de 2020 y del 3,1 % con respecto al de 2019, año previo al inicio de la pandemia. Este porcentaje de crecimiento anual es el más alto presentado en los últimos 10 años, evidenciando la reactivación económica del país, superando incluso el impacto presentado por la pandemia” (Portafolio, 2022)

En Colombia se deben construir cada vez más plantas de generación, en lo posible con fuentes no convencionales de energía. De lo contrario llevará a una sobreexplotación del recurso hídrico, afectando no solo los ecosistemas, sino también la economía del país. Según un informe publicado por la universidad Javeriana en el año 2018.

“Actualmente, en Colombia existen alrededor de 43 hidroeléctricas en la cuenca del río Magdalena, de las cuales 33 están en operación. Sin embargo, las metas para la generación de electricidad a 2050 supera la implementación de 100 proyectos más” (Vargas Nieto, 2018).

Cabe resaltar que un incremento en los precios de la energía hará que cada vez sea más costoso producir energía, lo que conlleva, a que el incremento en el precio de los productos sea trasladado de manera directa al consumidor final.

“Pese a tener muchos aspectos positivos hay que tener en cuenta, la construcción de centrales hidroeléctricas de gran porte tiene consecuencias medioambientales negativas, debido a que genera cambios en el ecosistema afectando gravemente a los animales y las plantas, así como a la calidad del agua. Adicionalmente, montar una central hidroeléctrica es costoso, es una

ventaja que, a la larga, la energía hidráulica sea muy económica, pero la inversión para construir la central es muy elevada. Además, en muchas ocasiones, requerirá la expropiación de terrenos con el costo en indemnizaciones que esto conlleva.” (Gana Energía, 2019).

“Los efectos medioambientales en la construcción de una presa tiene importantes consecuencias ambientales, puesto que influye en el cauce de un río e inunda una zona de terreno, lo que produce efectos sobre la flora y la fauna. Por otro lado, cuando se abren y cierran las presas se producen efectos sobre los peces y sobre el ecosistema del río. La construcción de una central hidroeléctrica supone un alto costo, aunque una vez construida su mantenimiento es sencillo y más económico.” (Oxfam Intermón, s.f.).

Como el aleteo de la mariposa que puede tener repercusiones en el otro lado del mundo, las hidroeléctricas no solo impactan en el sitio donde se construyen, también sus efectos se sienten a cientos y miles de kilómetros aguas arriba o aguas abajo del río que se represa.

En la cuenca del río Magdalena, las 33 hidroeléctricas operando y dos en construcción de tamaño grande y mediano están alterando la salud del afluente como un todo y de las planicies inundables de la depresión Momposina, al norte de Colombia, en los departamentos de Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena y Sucre. La evaluación para construir otras 99 posibles iniciativas y cumplir las metas de capacidad de generación de electricidad a 2050 tendrá que estar sustentada en un enfoque integral, para que los estudios de impacto ambiental no se limiten a analizar el ecosistema puntual donde se planean ubicar sino tengan en cuenta los efectos que su construcción puede generar en toda la cuenca.

En conclusión, no se trata de satanizar las hidroeléctricas sino de reconocer y minimizar los impactos con alternativas viables. Es claro el interés del país en aprovechar los privilegios de su geografía con fines hidroenergéticos, pero también lo es que a nivel mundial existe la tendencia a moverse hacia otras formas de producción de energía menos impactantes, tanto ambiental como socialmente. Tanto así que, por ejemplo, en Europa existe toda una iniciativa de remoción de sus hidroeléctricas. ¿Cuál será el camino que Colombia tomará al respecto? (Corradine, 2018).

La AE de este proyecto se realiza con el propósito de generar las recomendaciones necesarias que permitan implementar o ejecutar acciones que brinden una mayor estabilidad al sistema eléctrico de la planta de bombeo, con el fin de contribuir a la disminución de los consumos de energía eléctrica y a las pérdidas económicas generadas por las interrupciones no programadas del sistema eléctrico.

La auditoría energética en el área eléctrica (AE) se realiza en Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), es una empresa industrial y comercial colombiana, propiedad del municipio de Medellín, creada el 6 de agosto de 1955. Es una empresa multilatinista prestadora de servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica, gas por red, acueducto y alcantarillado, EPM llega a 123 municipios de Antioquia. En Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá atiende a 3.6 millones de habitantes. (Empresas Públicas de Medellín, 2022)

La AE se realiza en el área de agua potable de EPM, al sistema eléctrico que controla el bombeo de agua del río Piedras para la represa La Fe, ubicada en el municipio de El Retiro, la Fe es un espejo de agua con una extensión aproximada de 47.157 hectáreas, el cual aporta cerca de 58 % del agua potable para el sistema de EPM. El embalse es alimentado directamente por las quebradas Las Palmas, Espíritu Santo y Boquerón (en el oriente del Valle de Aburrá), y por bombeo de la quebrada La Agudelo, en El municipio de El Retiro, y los ríos Pantanillo, Buey y Piedras en jurisdicción de los municipios de La Ceja, La Unión y Abejorral, este embalse garantiza el suministro de agua potable para el Valle de Aburrá. (orientiantioqueno.com, 2020)



Figura 1. vista satelital embalse la Fe

Fuente: Extraído de presentación U de A. sobre el impacto de las actividades antrópicas que se desarrollan en las cuencas abastecedoras sobre la prestación del servicio de acueducto (EPM). Embalse La Fe – Sistema La Ayurá

Ubicado entre los municipios la Ceja y Abejorral en el departamento de Antioquia, Colombia, se encuentra el río Piedras, el cual es uno de los cuerpos de río de los cuales se alimenta el embalse en épocas de escases de agua, según el informe presentado por Corantioquia llamado “El plan de ordenamiento del recurso hídrico del río Piedras” (Corantioquia, 2014) el bombeo Río Piedras cuenta con una concesión de agua de 2,3 m³ por segundo, tiene un área total de 112,1 km² y una longitud de cauce principal de 27,6 km. Nace aproximadamente a los 2.267 m s.n.m. en La vereda La Raya y desemboca en el río Cauca de la vereda Cauca a los 574 m s.n.m. aproximadamente.

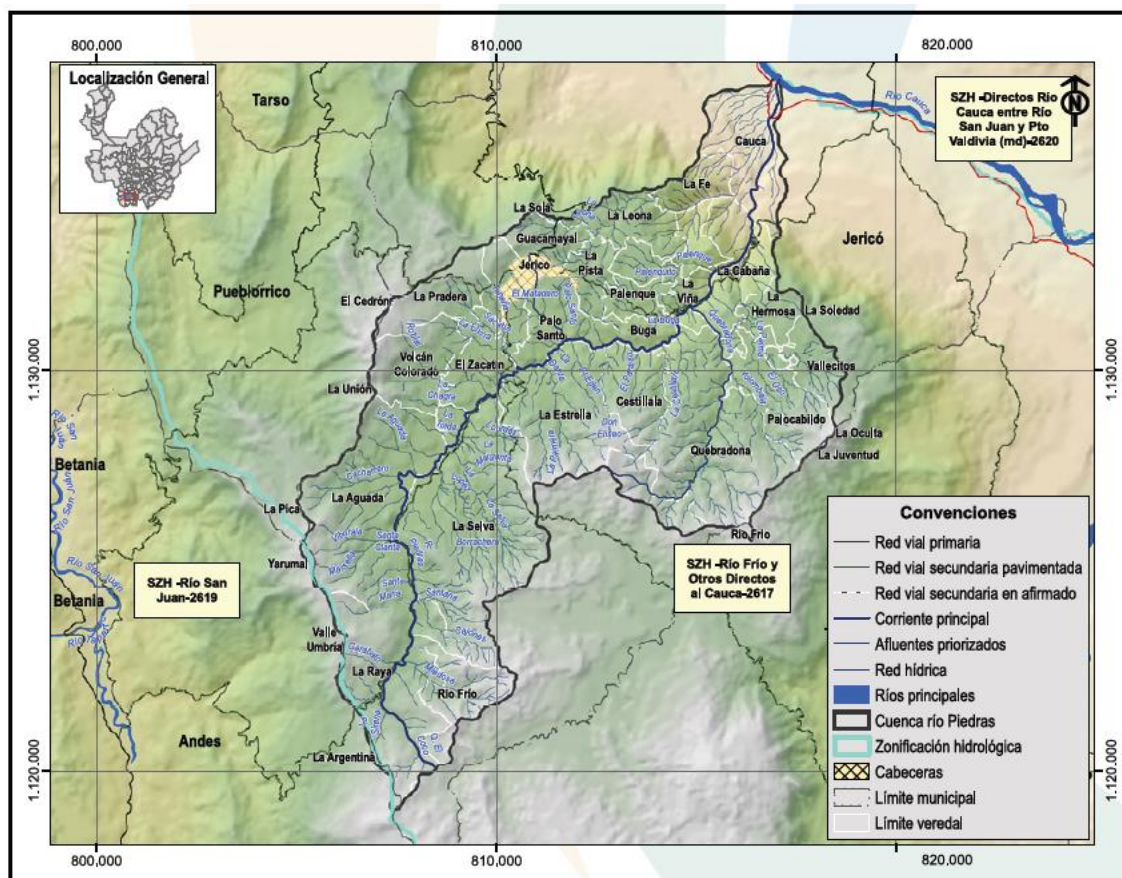


Figura 2. Mapa de localización general de la cuenca del río Piedras

Fuente: Extraído de informe Corantioquia plan de ordenamiento del recurso hídrico (porh) río piedras.

Por otra parte, tenemos el río Buey que es uno de los principales ríos que es captado para unirlo con el río Piedras y suministrar más agua al bombeo Río Piedras, para así bombear el agua hasta la represa la Fe.

“La cuenca hidrográfica del río Buey, se localiza en los municipios de Santa Bárbara, Caldas y Monte Bello en jurisdicción de La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, Corantioquia, y en los municipios de Carmen de Viboral, La Ceja, Abejorral, El Retiro y La Unión, en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare, Cornare, en el suroriente del departamento de Antioquia Colombia. El río Buey geográficamente ubicado en la cordillera central y sus aguas discurren por el flanco occidental al río Arma, este último afluente del río Cauca. Las coordenadas planas extremas $X = 1.161.092$ a $1.124.413$ m N y $Y = 830.872$ a 868.024 m E, con referencia al origen W del sistema de

coordenadas planas de Colombia, al que se le asignaron los valores $X = 1.000.000$, $Y = 1.000.000$ y que corresponde a las coordenadas geográficas $6^{\circ} 03' 13,65''$ a $5^{\circ} 43' 20,09''$ de latitud N y $75^{\circ} 36' 29,81''$ a $75^{\circ} 16' 21,21''$ de longitud W, con una extensión de 81.319 hectáreas, de las cuales 16.624 hectáreas corresponden a Corantioquia y 64.695 hectáreas corresponden a Cornare, es decir 20,7 % y 79,3 % respectivamente; el rango altitudinal es de 3.000 msnm aproximadamente en los nacimientos en los municipios de Abejorral y La Unión y de 600 msnm en la desembocadura en el río Arma, en jurisdicción de los municipios de Abejorral y Santa Barbara.” (CORANTIOQUIA, 2005)

Al río Buey le realizaron un sistema de captación con compuertas y un vertedero de agua, esto con el fin de desviar un 30% de su afluente que viaja por un túnel hasta encontrarse con el río Piedras, antes de ser captados ambos ríos para ser bombeados, esto con el propósito de poder adquirir más agua para el suministro de la represa La Fe.



Figura 3. Desplazamiento del agua por tubería desde el bombeo Río Piedras.

Fuente: Extraído de informe EPM sobre impacto del fenómeno de El Niño en el a bastecimiento de agua para el valle de Aburrá.

Una vez se unen estos dos afluentes, se embalsa en la planta de bombeo mediante un mecanismo de compuerta radial y para su funcionamiento se deben cumplir con las siguientes condiciones:

La operación del bombeo no es posible si el sensor LSL-401, detecta nivel bajo de agua en el embalse de los dos ríos, este sensor bloquea el arranque de los grupos de bombeo, y para el sistema en caso de que estén en funcionamiento, este paro deberá ser de manera secuencial y generar una alarma en el sistema. Contrario a esto, el sensor LSH-401 se encarga de detectar nivel de operación del embalse y permite el arranque de al menos un grupo de bombeo. El arranque de más de un grupo de bombeo dependerá del nivel en el embalse.

La compuerta radial deberá permanecer cerrada para garantizar nivel en el embalse, la operación de la compuerta radial será con maniobra tipo hombre muerto, es decir se activa mediante pulsador y suiche sin enclavamiento, el cual debe permanecer pulsado, en caso contrario se para el movimiento de la puerta, en condiciones normales la puerta se detiene por acción de los finales de carrera o por el paro de emergencia tipo hongo. Se deben tener en cuenta las señales digitales de bloqueo de la compuerta y operación manual de la compuerta con manivela que impiden el mando eléctrico de la misma. Todas las señales deberán llegar al sistema de control incluyendo el sensor de posición análogo de la compuerta.

Los transmisores de nivel LT-408 y LT-409 funcionarán como medición redundante de nivel del embalse. Con estas señales se realiza la función de protección por niveles, básicamente existen 3 niveles, normal, L y LL, en el primero el sistema funciona de manera normal, el segundo permite el uso parcial del sistema, es decir un solo grupo de bombas y el tercero bloquea totalmente el sistema. además, para que esto se cumpla es necesario que se cumplan algunas consideraciones tales como. Las unidades de medida se darán en metros sobre el nivel del mar (msn), además, el nivel de vertimiento o rebose debe ser calculado y la ecuación que rige su comportamiento será suministrada por epm, con esto se garantiza el nivel de embalsamiento suficiente para la función del bombeo y el desperdicio de agua por sobre captación. (EPM, 2019)



Figura 4. Compuerta ecológica

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Tanques hidroneumáticos

“Antes de iniciar el arranque automático se deberá verificar y asegurar que el nivel de agua en los tanques sea el adecuado para iniciar el bombeo, además de verificar el nivel de agua en los tanques se deberá supervisar el valor de presión en los mismos, el nivel de agua en los tanques hidroneumáticos (LT-404, LT-405) deberá ser 3.5 m (SP configurable) y la presión (PIT-411, PIT-412) deberá ser 39 bar (SP configurable). Si el nivel del agua en los tanques es superior a 3.5 m, se deberá dar arranque al sistema de compresores, si por el contrario el nivel del agua está por debajo de 3.5 m, se deberá accionar manualmente la válvula de desagüe”. (EPM, 2019)

El sistema de verificación de nivel de agua en los tanques hidroneumáticos deberá estar en funcionamiento las 24 horas del día de los 365 días del año, este será el único sistema que quede en funcionamiento así no se esté operando ninguno de los grupos de bombeo.



Figura 5. Tanques hidroneumáticos.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Compresores

El sistema de compresores funciona anclado al nivel de agua de los tanques, los sensores de nivel (LT-404 y 405) garantizan que el nivel del agua en los tanques se encuentre por encima de 3.5 m (SP configurable), el sistema operará de manera automática los compresores.

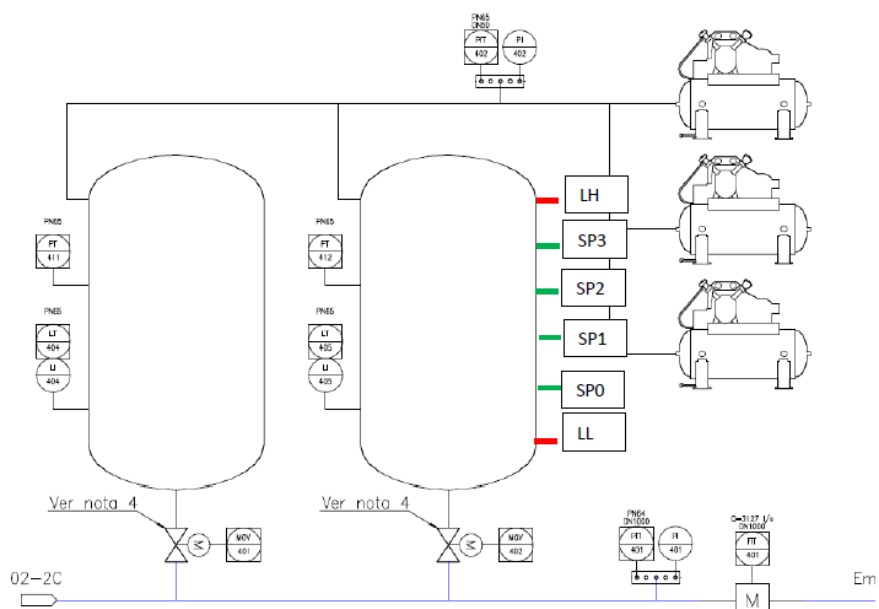


Figura 6. Tanques hidroneumáticos.

Fuente: Extraído de manual EPM, filosofía de operación bombeo Rio Piedras.



Figura 7. Compresores de los tanques hidroneumáticos.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

- “Siempre se deberá garantizar que las válvulas de ambos tanques hidroneumáticos estén 100% abiertas (MOV-401, MOV-402), de lo contrario, se deberá bloquear el arranque del bombeo o si está en funcionamiento se deberá generar una parada secuencial automática. (NOTA: Si hay más de un grupo funcionando, se debe realizar el paro en secuencia, primero un grupo y cuando se confirme el paro total del grupo inicia el proceso de parada del siguiente).
- Cuando se registre un valor mayor SP1 se encenderá un solo compresor para inyectar aire a los tanques y bajar el nivel de agua.
- Si el nivel de agua sigue subiendo y con un solo compresor no se logra bajar el nivel, el segundo compresor se encenderá cuando el nivel este en SP2 o superior.
- Él o los compresores encendidos deberán apagarse si y solo si el nivel registrado en los tanques es de SP0. Si los compresores siguen confirmando operación después de enviar la señal de apagado de los mismos, deberán indicar una alarma de falla.
- El sistema generará una alarma cuando el nivel de los tanques se encuentre en SP3 (pero no genera apagado del sistema).
- En el momento de las pruebas con los tanques hidroneumáticos, se deberá verificar el comportamiento de la presión en cada uno ellos, para determinar SP para señales de presión de los PT-411 y PT-412 como un valor redundante para la protección de nivel de los tanques”. (EPM, 2019)

Protecciones del sistema de compresores:

Mediante la estación de operación hombre maquina (HMI), se debe garantizar el funcionamiento de los compresores, de manera secuencial, el compresor uno funcionara regido por el set point (SP1), el 2 con el SP 2, Se deberá garantizar la disponibilidad de al menos un compresor, siempre y cuando el sistema no alcance el SP2 de nivel en los tanques, de ocurrir lo anterior se debe generar una alarma por nivel alto sin respaldo en compresores.

El arranque eléctrico de los compresores deberá tener las seguridades normales de un arranque motor: Compresor en remoto (Esta señal se conectará desde el selector local del

compresor hasta el controlador), falla de compresor (Cableadas desde la caja de mando local del compresor), Estado del térmico, no confirmación después de la señal de arranque, apertura/disparo interruptor, etc. (EPM, 2019)

Sistema de evacuación (vacío)

Este sistema sirve para llenar la cámara entre la antebomba y la bomba, con la finalidad de eliminar el aire dentro de esta y evitar el arranque en vacío de la bomba principal:

Este sistema inicia a partir de un sistema de válvulas, las cuales arrancan de manera temporizada y garantiza que en un tiempo de máximo de 5 minutos se debe activar la señal generada por sistema de flotador en la cámara de succión, en caso contrario se deberá detener el arranque del sistema. (EPM, 2019)

Compuerta de succión de grupo MOV-X01:

“Antes de dar inicio al grupo de bombeo se debe garantizar que la compuerta de succión o entrada esté completamente abierta (MOV-X01) y validar el nivel del embalse dependiendo de los valores establecidos para el arranque de 1 o más grupo incluyendo que el sensor de turbidez registre valores menores a 200 mg/l. Se deberá verificar el 100% de apertura de la compuerta y no se aceptarán posiciones intermedias”. (EPM, 2019)

Válvula de guarda (reparación) MOV-X02

“El estado de esta válvula es normalmente abierto, la válvula se cerrará solo en casos de mantenimiento, sin embargo, si la válvula se encuentra cerrada antes del arranque del bombeo, se enviará la alarma de que no hay condiciones para el arranque y se debe verificar en campo antes de abrirla desde la IHM, para esto se utilizará el actuador multivuelta, que se comunica a través de protocolo Profibus DP. NOTA: este procedimiento es delicado, no debería hacerse de forma automática por temas de seguridad. Permanentemente debe estar indicado que si la válvula está

cerrada se realice el bloqueo desde el gabinete o CCM (Alarma)". (EPM, 2019)

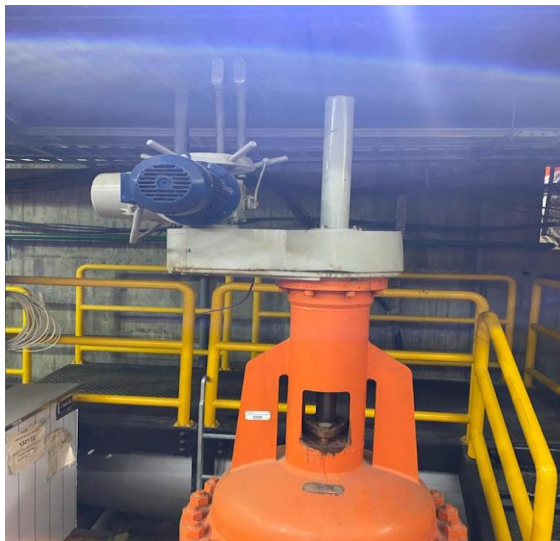


Figura 8. Válvula de guarda.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Sistema de Lubricación

El proceso de lubricación inicia condicionado con los subsistemas anteriores. Cuando se cumplan dichas condiciones, se dará comando de arranque al motor de la bomba de la central que sirve para lubricar los rodamientos y cojinetes de la bomba principal y motor de la antebomba. Se prende la bomba eléctrica, se verifica flujo (SP configurable) y presión normal (SP1 configurable) en la lubricación. En el sistema se encuentra acoplada una bomba mecánica, esta genera una presión adicional al sistema y la presión llega a un SP2 (configurable), allí se apaga la bomba eléctrica y se sigue verificando presión normal (SP1) y flujo (SP). Con las mediciones de los demás instrumentos del sistema deberán generar alarmas dependiendo de los SP configurados para cada uno, durante las pruebas se ajustará todos los parámetros correspondientes.

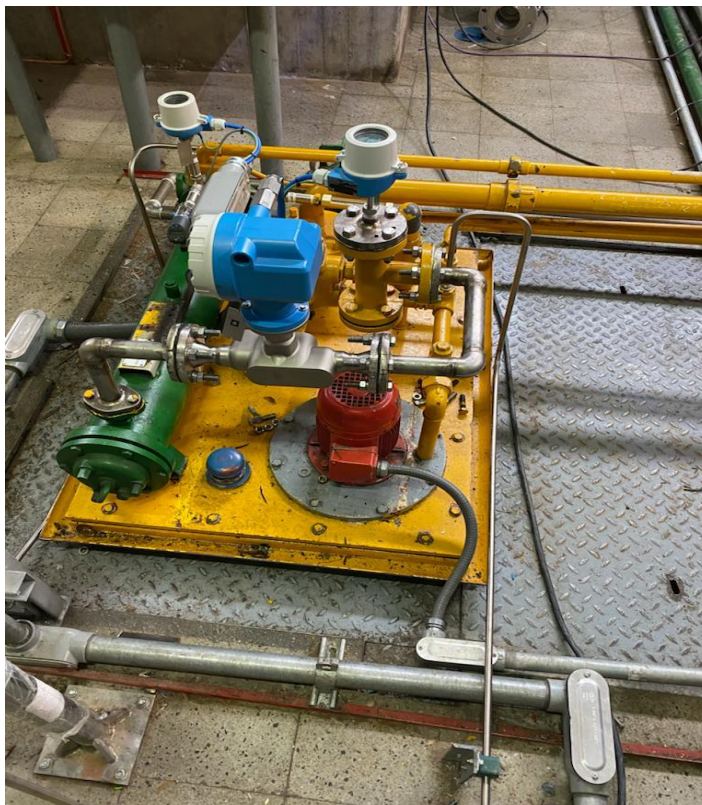


Figura 9. Sistema de Lubricación.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Válvula Esférica

Con el inicio de arranque del grupo de bombeo seleccionado, se deberá enviar el comando de arranque al motor de la central de aceite de alta presión y ubicar la válvula en la posición de abierta, se verificarán las posiciones de los finales de carrera para verificar que la válvula este totalmente abierta, no se aceptarán posiciones intermedias, la válvula posee un interruptor para realizar una reposición al 90% y asegurar que siempre este abierta, la indicación de esta señal deberá encender nuevamente el motor de la central de aceite de alta presión para posicionar la válvula al 100%. el tiempo de accionamiento de la válvula debe ser de 35 segundos, en caso contrario se genera una alarma de falla. (EPM, 2019)



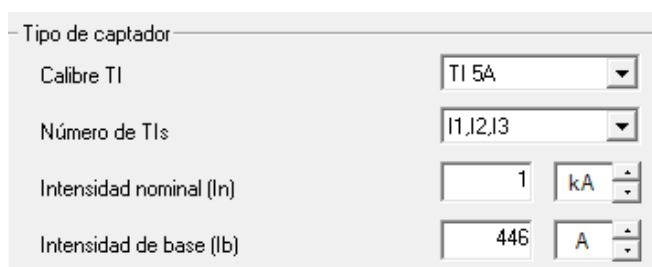
Figura 10. Válvula Esférica.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

El impacto económico más relevante en el sistema de bombeo se presenta cuando se presentan suspensiones o parada de los motores acoplados a las motobombas, debido al deterioro de su sistema eléctrico interno y a la obsolescencia de los mismos, se deben volver a arrancar, prácticamente forzados, lo que genera una gran pérdida económica, debido que el arranque de cada uno de los grupos de motores, es bastante considerable, representado en el costo de la energía que requieren para arrancar nuevamente su funcionamiento.

Con base en lo anterior se dio la necesidad de generar un estudio de coordinación de protecciones, el cual fue realizado por la firma Schneider electric en el año 2019 y mediante este se determinó la necesidad de ajustar los tiempos de respuesta de las protecciones térmicas de los

motores de media tensión (5,1 MVA y 3,5 MVA), estos fueron calculados considerando tiempos de rotor bloqueado de 20 y 25 s para arranques en caliente y en frío respectivamente. (Urrego, 2019), quedando configurados de la siguiente manera.



Tipo de captador

Calibre TI TI 5A

Número de TIs I1,I2,I3

Intensidad nominal (In) 1 kA

Intensidad de base (Ib) 446 A

Figura 11. Parámetros CT relé SEPAM M41, motores 5,1 MVA.

Fuente: Extraído de estudio de coordinación de protecciones de la estación de bombeo Rio Piedras.

Parámetro	Valor	Descripción
K	4,5	Factor de componente inversa
ES2	110%	Disparo por temperatura
ES1	90%	Alarma por temperatura
T1	116 mn	Calculada a 20 s
T2	75 mn	Constante de enfriamiento
ES0	95 %	Calentamiento inicial

Figura 12. Ajustes 49 RMS relé SEPAM M41, motores 5,1 MVA.

Fuente: Extraído de estudio de coordinación de protecciones de la estación de bombeo Rio Piedras.



Tipo de captador

Calibre TI TI 5A

Número de TIs I1,I2,I3

Intensidad nominal (In) 600 A

Intensidad de base (Ib) 306 A

Figura 13. Parámetros CT relé SEPAM M41, motores 3,5 MVA.

Fuente: Extraído de estudio de coordinación de protecciones de la estación de bombeo Rio Piedras.

Parámetro	Valor	Descripción
K	4,5	Factor de componente inversa
ES2	110%	Disparo por temperatura
ES1	90%	Alarma por temperatura
T1	116 mn	Calculada a 20 s
T2	75 mn	Constante de enfriamiento
ES0	95 %	Calentamiento inicial

Figura 14. Ajustes 49 RMS relé SEPAM M41, motores 3,5 MVA.

Fuente: Extraído de estudio de coordinación de protecciones de la estación de bombeo Rio Piedras.

La AE en un sistema de bombeo de agua, debe incluir el análisis de los sistemas típicos donde se consume la energía, que en orden de importancia son los siguientes:

- Suministro eléctrico, incluye las características del contrato de suministro eléctrico.
- Sistema electromotriz, incluido el transformador.
- Conjunto motor-bomba, incluye eficiencias, condiciones de operación y aspectos de mantenimiento.

Es importante mencionar que existen muchas perspectivas para analizar los sistemas eléctricos, para los fines de la AE, pero se debe enfatizar el análisis de los aspectos que mayormente incidan en el consumo energético.

Las características más importantes y los principales aspectos para evaluar, así como también la metodología de cálculo a aplicar durante la auditoria de eficiencia energética, de cada componente de la cadena energética de una instalación típica de los sistemas de bombeo de agua, lo que será útil para el desarrollo de la cartera de proyectos de ahorro de energía, y principalmente en los costos de arranques de los motores.

1.2 Formulación.

Para culminar con el planteamiento del problema es necesario hacer la siguiente pregunta:

¿Qué beneficios energéticos obtendrá la planta de bombeo río Piedras en su funcionamiento, auditando los diferentes procesos, y planteando la modernización de su estructura eléctrica, mediante las recomendaciones que se derivan de una auditoría?

2. Justificación.

Las auditorías energéticas se enmarcan en lo establecido por el Ministerio de Minas y Energía a través de lo establecido en la ley 697 de 2001, la cual determina en su artículo 1.

“Declárase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales” (Minciencias, 2021).

En razón a lo anteriormente expuesto, que se crea el PROURE, (Programa de Uso Racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales), cuyo principal objetivo es la creación o implementación de mecanismos para que se cumplan con los niveles mínimos de eficiencia en toda la cadena energética.

Desde este punto se desprende la importancia de las auditorías energéticas como mecanismo de apoyo para el cumplimiento de dicha ley.

Las auditorías energéticas cobran demasiada relevancia principalmente por los siguientes aspectos:

2.1 Por las recomendaciones y obras que se hagan pueden llevar a una reducción del impacto ambiental que producen las emisiones de dióxido de Carbono (CO₂) a la atmósfera, debido a la disminución en la demanda de energía debido al uso más eficiente de la misma.

2.2 Por las recomendaciones y obras que se realicen en función de un consumo eficiente de energía se puede presentar un impacto positivo en la reducción de los costos asociados a consumos de.

2.3 De la implementación de obras y equipos eficientes se puede optimizar el rendimiento de equipos y procesos.

2.4 De la inspección a análisis en campo se puede diagnosticar el estado real de los equipos.

2.5 Con la inspección se puede determinar el cumplimiento o no de la normatividad asociada al URE.

2.6 Plantea posibles soluciones, que lleven a la organización una implementación eficiente del URE

Basados en lo anteriormente expuesto, se puede determinar que con la realización de esta auditoría se pretende evaluar las condiciones en las que actualmente funciona la planta de bombeo de Rio Piedras, y de esta manera se generaran las recomendaciones técnicas necesarias para crear el impacto, que se obtiene con cada parada no programada que sufre el sistema, es necesario resaltar, que, al ser un sistema de suministro de agua para la población del Valle de Aburrá, se debe procurar que la continuidad por su funcionamiento no se vea afectada por fallas ocasionadas a raíz de una posible obsolescencia de los equipos.

También se realiza la auditoría buscando mejorar los consumos energéticos del sistema de bombeo y es por esto por lo que las recomendaciones generadas con base en las mediciones que se realizan están enfocadas a la eficiencia del proceso, tanto en consumos de energía como en pérdidas operativas debido a salida no programada de equipos, las cuales actualmente son significativas por los constantes apagones de las unidades principales de bombeo.

3. Objetivos.

3.1 Objetivo general.

Auditar el sistema eléctrico que controla el bombeo de agua del río Piedras para la represa la fe, mediante el análisis de los consumos de energía eléctrica, generando recomendaciones técnicas, para el aumento de la eficiencia eléctrica.

3.2 Objetivos específicos.

Verificar mediciones en los equipos eléctricos existentes que permitan determinar las condiciones de demanda actual.

Evaluar la información y datos recaudados, teniendo en cuenta los parámetros iniciales de la máquina y la variación que estos puedan tener, debido a su tiempo de uso.

Analizar los resultados de las mediciones, para establecer la demanda total que tiene el sistema de bombeo, a partir de este análisis, se hizo una proyección del consumo, utilizando el programa Microsoft Excel.

Proponer mejoras en equipos para el aumento en la eficiencia energética eléctrica.

4. Marco teórico.

4.1 Normas ISO 5001 y 5002

“La Norma ISO 50001 es una norma internacional desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) para proporcionar a las organizaciones un marco teórico-conceptual internacionalmente reconocido para gestionar, establecer, perseguir y mejorar su desempeño energético.

La norma en el capítulo 4, en su numeral 1 trata del uso y consumo de energía. En el numeral 2, De la medición, documentación y presentación de informes de uso y consumo de energía del Diseño y prácticas de adquisición para equipos, sistemas y procesos consumidores de energía y en el numeral 4 del desarrollo de un plan de gestión de la energía y otros factores que afectan el rendimiento de la energía que pueden ser supervisados e dirigidos por la organización”. (Iniciativa Energía, 2022)

“La norma ISO 50002 ha sido diseñada para complementar la norma ISO 50001, la cual se centra en el desarrollo de un sistema de gestión de la energía. La auditoría energética aplicando la norma ISO 50002 de 2014, consiste en la recolección de datos sobre el suministro y consumo de todas las formas de energía, con el propósito de evaluar las posibilidades de ahorro de energía y la cuantificación de estas, así como para determinar la conveniencia de la oportunidad económica de ejecutarlas “Ahorrar la mayor cantidad de energía al menor costo”. También para establecer los puntos potenciales de ahorro energético, y evaluar la factibilidad de las medidas de ahorro planteadas y cuánto representaría esto a nivel monetario; así como, de cumplimiento regulatorio, de tal manera de finalizar con una propuesta a corto, mediano y largo plazo. La eficiencia energética es una práctica que tiene como objeto maximizar la producción reduciendo el consumo de energía, sin afectar la calidad de servicio ni las condiciones laborales”. (Timoteo, s.f.)

“La norma ISO 50002 de 2014 especifica los requisitos del proceso de realización de una auditoría energética en relación con la eficiencia energética. Es aplicable a todos los tipos

de establecimientos y organizaciones, y todas las formas de uso de la energía. Esta norma especifica los principios de la realización de auditorías energéticas, los requisitos para los procesos comunes durante su elaboración y los resultados de estas. El propósito de esta Norma Internacional es definir el conjunto mínimo de requisitos que conducen a la identificación de oportunidades para la mejora de la eficiencia energética”. (Ingenieros, 2015)

4.2 Auditoría energética.

“La Auditoría Energética (AE) es un proceso sistemático mediante el cual se obtiene un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético de la empresa para detectar los factores que afectan el consumo de energía e identificar, evaluar y ordenar las distintas oportunidades de ahorro de energía, en función de su rentabilidad. Una AE es un análisis que refleja cómo y dónde se usa la energía de una instalación industrial con el objetivo de utilizarla racional y eficientemente. Ayuda a comprender mejor cómo se emplea la energía en la empresa y a controlar sus costos, identificando las áreas en las cuales se pueden estar presentando despilfarros y en dónde es posible hacer mejoras. Es una evaluación técnica y económica de las posibilidades de reducir el costo de la energía de manera rentable sin afectar la cantidad y calidad de su producto. Como resultado del estudio, se definen medidas correctivas, determinando los consumos específicos, balances energéticos y los costos estimados de ahorro, de inversión y tiempo de retorno de esta. Las AE son una guía para la acción, enfocadas en la búsqueda de racionalizar y optimizar, por un lado, usos y consumos de energéticos, y por otro, procesos y procedimientos tecnológicos que involucren usos y consumos de energéticos.” (UPME, 2007)

“La AE se puede definir como un estudio integral de todos los aspectos, tanto técnicos como económicos, que afectan directa o indirectamente al consumo de las diferentes energías en una Organización. También permite identificar los puntos críticos de baja eficiencia energética, así como establecer las posibles medidas correctoras”. (Universidad Rey Juan Carlos, 2017)

“Una AE es un análisis detallado de la eficiencia energética de una organización, equipo, sistema o proceso y es el primer paso en un proceso de mejora, básico para obtener un conocimiento exhaustivo del perfil de consumo de energía de una instalación. A través de la

realización de mediciones y controles sobre el uso de energía en una instalación, se obtiene información sobre el desempeño energético de la misma y sobre su eficiencia energética. Igualmente ofrece información sobre el uso y el rendimiento actual de las instalaciones y proporciona información para la mejora de la eficiencia energética y de sus beneficios financieros asociados: ahorros, mejoras con y sin inversión, inversiones y periodos de retorno de inversión.” (Ingenieros, 2015)

4.3 Importancia de la auditoría energética

“Fundamentalmente, un procedimiento de este tipo es importante para disminuir los costos del servicio eléctrico como también se aumenta y protege la vida útil de los equipos, crea una imagen de la empresa que refleja consciencia acerca del impacto ambiental, de esta manera, aumenta la competitividad en el campo empresarial. También permite identificar cuáles son las actividades que generan mayor consumo de energía eléctrica. La auditoría no solo es un análisis, sino que también permite, la creación de planes de reducción de costos.” (gimanpro.com, 2021)

4.4 Objetivos de la auditoría energética

“El principal motivo por el cual se realiza este proceso sistemático es porque se requieren los estados reales del consumo energético del proceso a auditar. De esta manera, son más evidentes los lugares o áreas donde se consume mayor cantidad de energía. Además, se muestran las características que perjudican el consumo”. (Gimanpro, 2021).

¿Porque realizar auditorías energéticas?

“Una AE proporciona la información relevante acerca del consumo actual de energía y las posibilidades de ahorro. Mediante las AE se analizan los flujos energéticos y se establecen las estrategias o acciones de ahorro y eficiencias energéticas más adecuadas. Para ello, los expertos responsables de realizar estas tareas deben conocer los procesos físicos y los equipos utilizados

en el sector industrial, así como las técnicas concretas de Auditorías utilizadas en la actualidad. Estas Auditorías pueden ser realizadas por áreas, procesos o fábricas completas, su complejidad depende de las instalaciones, necesidades, expectativas y recursos específicos de cada usuario, pudiendo ir desde un par de semanas hasta de varios meses, en la cual intervienen expertos de diferentes áreas. La AE es parte fundamental de cualquier programa de administración de energía cuando una empresa desea controlar sus costos de energía”. (UPME, 2007)

4.5 ¿Quiénes realizan auditorías energéticas?

“Las AE pueden ser desarrolladas por personal propio de la organización, sin embargo, si el alcance y la complejidad de esta lo ameritan, se sugiere contar con expertos externos que conozcan los procesos físicos y los equipos utilizados en el sector industrial, así como las técnicas concretas de Auditorías utilizadas en la actualidad. La AE se realiza generalmente por un equipo multidisciplinario de especialistas, por la amplitud o complejidad de la instalación industrial concernida. La diversidad de tipo de empresas con procesos muy diferentes hace aconsejable que los Auditores tengan una formación amplia que les permita visualizar las técnicas desde las diferentes características de las industrias. La base teórica de formación debe ir acompañada de una experiencia profesional de trabajo en plantas, y de diseño. El auditor deberá tener la experiencia necesaria para realizar cálculos técnicos y económicos, y un perfil profesional de ingeniero” (UPME, 2007)

Clases de auditorías energéticas existentes

“Partiendo de la idea de que el objetivo general de una AE es el de racionalizar el consumo energético de una organización, y teniendo en cuenta que en la utilización de la energía, aun cuando exista una gran diversidad de tecnologías, la mayor parte de éstas son horizontales (es decir que se aplican indistintamente en la mayoría de las industrias), se encuentra que los tipos de AE se pueden definir por factores como las áreas analizadas, el uso de los diferentes energéticos y/o los procesos estudiados, tal como se muestra a continuación:

Áreas Funcionales: Operativas, administrativas, o subáreas de éstas (talleres, oficinas, cocinas, calderas).

Usos: Iluminación, climatización, refrigeración, calefacción, actividades de oficina, producción de vapor, etc

Procesos: Empaque, secado, trillado, despulpado, entre otros.

Existe otra clasificación de tipos de Auditorías referentes a procesos generales de la empresa. Así, se habla de los siguientes tipos de AE:

Auditorías eléctricas: Se realizan sobre equipos o sistemas que producen, convierten, transfieren, distribuyen o consumen energía eléctrica.

Auditorías térmicas: Se realizan sobre equipos o sistemas que producen, convierten, transportan o distribuyen fluidos líquidos o gaseosos.

De la misma forma, los tipos de AE se definen por el alcance buscado en el cual se analizan en detalle los procesos o se hacen mediciones generales del consumo energético. Por lo tanto, se pueden determinar los siguientes tipos de AE:

Nivel 1 Auditoría Preliminar (diagnóstico): Diagnóstico sensorial (visual, auditivo, al tacto) de las oportunidades de reducir consumos y costos energéticos. Diagnóstico rápido de las oportunidades de reducir consumos y costos energéticos. Su costo puede ser relativamente bajo. Generalmente se toma unas pocas horas y no requiere de ningún tipo de mediación, las recomendaciones se pueden efectuar a muy bajo costo.

Nivel 2 Auditoría Detallada: Evaluación detallada (con planos y pruebas técnicas) de las oportunidades de reducir consumos y costos energéticos. Requiere el uso de equipos de medida y

su alcance puede abarcar la totalidad de los recursos energéticos de la empresa, o solo un tipo de recurso. Requiere un levantamiento completo de los consumos históricos de los diferentes energéticos a considerar. Su costo puede ser apreciable y su duración de varios días.

Nivel 3 Auditoría Especial: Labor detallada en una sección específica de la empresa. Una evaluación más profunda a la obtenida en el Nivel 2, y llegando al detalle de toma de registros por aparato, medición de otros parámetros como calentamientos en diferentes partes de la distribución del energético, inventario completo y ubicación en la vista en planta de la empresa de los equipos consumidores de energéticos, análisis de fallas durante un período determinado y su efecto en las horas hábiles de trabajo, y otros análisis que requiera la empresa auditada. Estas AE se vuelven permanentes, durante un periodo de tiempo que puede ser de un año, y en el cual se deben efectuar los correctivos necesarios para el éxito de los cambios e inversiones efectuadas. Su costo es alto y requiere de una firma auditora que tenga todos los instrumentos requeridos para una AE sofisticada.

Auditoría de Seguimiento: Asistencia en implantación de recomendaciones y evaluación de sus efectos.” (UPME, 2007)

Fases de la auditoría energética

“El proceso de auditoría está constituido por siete fases: comienza con el contacto preliminar que conlleva a la reunión inicial, seguidamente se llevan a cabo los trabajos de recopilación de datos y visitas a las instalaciones, se analizan los resultados y se plasman en un informe. Finalmente se presenta dicho informe en una reunión final.” (Universidad Rey Juan Carlos, 2017)

“Para llevar a cabo un proceso sistemático se requiere realizar, evaluar y aplicar diversas fases que serán clave para cumplir con los objetivos. A continuación, se listan las fases de la auditoría energética requeridas:

Recolectar datos generales. Para iniciar se debe tomar los datos generales que abarquen

las cifras reales de producción y los gastos energéticos de las instalaciones. De manera que, se requiere de equipos de medición que estén bien calibrados, homologados y manipulados por profesionales para medir los consumos de forma correcta.

Registro energético. Todos los equipos o sistemas que pertenezcan al sector de producción se identificaron con su respectivo consumo energético. Para esto, es necesario implementar un sistema que facilite el registro de costos y consumo energético. Así como también, se debe detectar y tomar los consumos históricos de todos los equipos o instalaciones, y el precio de la energía.

Mejoras y recomendaciones. Para concluir con el procedimiento exponemos las propuestas en un informe que contiene lo siguiente: Minimizar el consumo energético y a su vez, los costos asociados. Elevar la eficiencia de los equipos y sistemas. Considerar o evaluar los periodos de recuperación de la inversión, según las propuestas.” (gimanpro.com, 2021)

Proceso de auditoría energética.

“Todas las empresas, tanto públicas como privadas, tienen tres necesidades importantes: Reducción de costos: Reducir la demanda energética de las instalaciones, aumentar la eficiencia energética, reducir costos operativos. La reducción de Inversiones para Mejorar el mantenimiento y alargar la vida útil de los equipos y la mejora Imagen: Apostar en materia de medio ambiente y sostenibilidad. Uno de los mayores costos en cualquier empresa es la energía. De ahí la necesidad de realizar un proceso de Auditoría Energética que detecte las medidas de mejora que puedan ayudar a conseguir esas necesidades. El proceso de auditoría energética, hay que tener en cuenta que dicho proceso debe ser: Adecuado al alcance, a los objetivos y al grado de detalle acordados. Completo, con el objetivo de definir el objeto auditado y la organización. Representativo, con el objetivo de recopilar datos fiables y relevantes. Trazable, con el objetivo de permitir identificar el origen y procesamiento de los datos. Útil, con el objetivo de incluir un análisis de efectividad de los costos de las oportunidades de ahorro de energía identificadas. Verificable, con el objetivo de permitir a la organización supervisar los logros en relación con los objetivos marcados para las oportunidades de mejora de la eficiencia energética implementadas.”

(Universidad Rey Juan Carlos, 2017)

Resultado de las auditorías energéticas

“El producto de las AE es una serie de estrategias, programas o planes en forma de reportes, con recomendaciones y acciones sobre las medidas que pueden ser tomadas para el ahorro de energía. Además, estos reportes con las subsiguientes medidas correctivas se acompañan de un diagnóstico previo en el que se encuentran los consumos energéticos específicos, balances energéticos, aspectos técnicos y los costos estimados de ahorro, de inversión y tiempo de retorno de estas medidas de ahorro energético. Es importante señalar que una AE debe incluir un proceso de implementación de las diferentes acciones y determinar procesos de seguimiento y control de las acciones. De esta forma, esta es una actividad continua que debe tener un seguimiento periódico, que posibilite estar al tanto del consumo energético de la organización. Así las cosas, la AE es parte fundamental de cualquier programa de administración de energía cuando una empresa desea controlar sus costos de energía.

Una AE da lugar a varios impactos positivos, que se pueden clasificar así:

Ahorro y mejora en la eficiencia energética; racionalización y optimización de procesos, que puede implicar modernización e innovación tecnológica no solamente en el sentido que, de ahorro y eficiencia energética, sino que los cambios pueden ser ambientalmente más limpios; reducción de costos de producción; elevación de la competitividad empresarial o industrial; sensibilización y generación de cultura de ahorro y eficiencia energética al interior de las empresas, especialmente en el nivel directivo y en el personal involucrado en el manejo de los procesos de producción.” (UPME, 2007)

Informe de auditoría

“Al realizar el informe de los resultados de la auditoría, el auditor debe: Garantizar que se hayan alcanzado los requisitos acordados; resumir las mediciones relevantes comentando la coherencia y calidad de datos, el motivo de las mediciones, dificultades halladas durante la recopilación de los datos; indicar si los resultados del análisis se basan en cálculos, simulaciones

o estimaciones; indicar los límites de precisión de las estimaciones de ahorro y costo; indicar las oportunidades de mejora de la eficiencia energética por orden.

El informe de auditoría debe contener: Resumen Ejecutivo, clasificación ordenada de las oportunidades de mejora energética. El programa de implementación propuesto. Antecedentes. Información general acerca de la organización auditada. Contexto y metodología de la auditoría energética. Descripción del objeto/s auditados. Las Normas y reglamentaciones relevantes.

Auditoría energética

Descripción, alcance, objetivo, grado de detalle, plazo y límites.

Información acerca de la recopilación de datos: instalación de contadores, indicaciones acerca de los datos utilizados (medidos y estimados), copia de datos clave utilizados y certificados de calibración, etc. Análisis del consumo energético

Criterios según los cuales se ha establecido la clasificación ordenada de las medidas de mejora de la eficiencia energética

Oportunidades de Mejora de la Eficiencia Energética. Acciones propuestas, recomendaciones, plan y programa de implementación. Suposiciones utilizadas para el cálculo del ahorro y la consiguiente precisión de las recomendaciones Análisis económico adecuado, posibles interacciones con otras recomendaciones propuestas. Métodos de medición y verificación que se utilizarán para evaluar las oportunidades recomendadas tras su aplicación” (Universidad Rey Juan Carlos, 2017)

Reunión final

“Por último, en la reunión final, el auditor energético debe: Entregar el informe de la auditoría energética. Presentar los resultados de la auditoría energética de un modo que facilite la toma de decisiones por parte de la organización. Explicar los resultados. Debe debatirse la necesidad de un posible seguimiento y llegar a una conclusión consensuada.” (Universidad Rey Juan Carlos, 2017)

Generalidades

Proyecto de eficiencia energética industrial en Colombia 2016 – 2019

El proyecto Eficiencia Energética en la Industria Colombiana, EEI Colombia buscó impulsar el mercado de servicios y productos de eficiencia energética, a través del fortalecimiento de reglamentos y normas técnicas, la creación de capacidades en Sistemas de Gestión de la Energía, SGEN y optimización de procesos. Con este proyecto se estudiaron 180 industrias y se capacitaron a más de 100 técnicos de industrias ubicadas en siete regiones del país: Boyacá-Cundinamarca, eje cafetero, Santander y Norte de Santander, Valle del Cauca y Atlántico”

Programa de evaluación industrial PEVI (2018-2022)

Por el éxito alcanzado y el beneficio obtenido con el Proyecto EEI Colombia, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y la UPME, se propusieron dar continuidad a través de la iniciativa denominada “Programa de Evaluación Industrial, PEVI”, que identificara y promoviera las oportunidades de eficiencia energética en la industria y al mismo tiempo formará gestores energéticos en las universidades de algunas regiones del país. El PEVI tuvo dos fases piloto, ejecutadas en 2018 y 2019. Dichas fases permitieron generar insumos para establecer y validar la metodología, los esquemas y las herramientas de trabajo con las universidades e industrias regionales. Se realizaron 21 evaluaciones industriales, encontrando potenciales de ahorro en energía superiores al 8% derivados de buenas prácticas de operación (BPO), de mínimo costo o costo cero. Para garantizar la continuidad de esta iniciativa y robustecer las experiencias adquiridas, se propuso en 2020 la creación de tres centros de evaluación industrial, buscando fortalecer el modelo de operación y gestión que permita a las universidades identificar y apoyar las oportunidades de eficiencia energética en las industrias de su zona de influencia.” (www.upme.gov.co, 2022)

5. Metodología.

5.1 Tipo de proyecto.

Debido a que el tipo de proyecto a realizar es de carácter técnico y cuantificable se puede determinar que el tipo de proyecto es descriptivo e investigación aplicada, porque está encaminada a la producción de bienes o servicios.

5.2 Método deductivo.

En primer lugar, se realizaron mediciones a los equipos eléctricos existentes, para determinar la eficiencia, se midió las condiciones de demanda actual de los equipos.

Luego se evaluó la información y datos recaudados, teniendo en cuenta los parámetros iniciales de la máquina y la variación que estos puedan tener, debido a su tiempo de uso.

Posteriormente se analizaron los resultados de las mediciones, para establecer la demanda total que tiene el sistema, se verificó el histórico de los consumos de energía, y se determinó si hubo cambios con respecto a un patrón usual de consumo, en respuesta a señales de precios o incentivos diseñados para inducir bajos consumos. A partir de este análisis, se hace una proyección del consumo, utilizando un software de simulación.

Después se realizan las recomendaciones que contribuyan al cambio de la cultura del consumo energético, desde el nivel directivo hasta el nivel operativo, proponiendo lineamientos para hacer el seguimiento y validación de los indicadores de gestión.

Por último, se propone realizar innovaciones en equipos, buscando el mejoramiento en la eficiencia energética, y se documenta las acciones de vigilancia y control para el buen funcionamiento de las máquinas y de las acciones propuestas.

5.3 Instrumentos de recolección de información.

5.3.1 Fuentes primarias.

5.3.1.1 Comunicación directa con los funcionarios de la planta:

Se realizan conversaciones con ingenieros de planta que brindan información puntual sobre la operación y el funcionamiento de la planta, esto es necesario debido a estar la planta parada por labores de mantenimiento.

5.3.1.2 Datos de consumos brindados directamente por el personal de la unidad gestión de instalaciones y el equipo de telemidas de EPM.

5.3.2 Fuentes secundarias.

- Folletos exclusivos de propiedad de EPM:
- Manual de operación Rio Piedras V1.
- Estudio coordinación de protecciones realizado por Schneider electric para epm año 2019.
- Datos obtenidos a través de pruebas de arranque realizadas por empresas públicas en el año 2019.
- Internet: Páginas de temática relacionada al tema objeto del informe tales como: UPME, CREG, Ministerio de Minas y Energía, ingenieros.com, Corantioquia, etc..

6. Resultados

Como resultado de este trabajo de auditoría, se presenta un informe sobre las condiciones de funcionamiento actuales de la planta, y se determinan los puntos en los cuales el proceso de bombeo es más susceptible a fallas o pérdidas operacionales, además, se plantea las recomendaciones para una posible intervención al proceso, estas están basadas en fundamentos técnicos, mediante las mediciones realizadas en terreno, análisis de resultados y caracterización de variables.

Las recomendaciones son de tipo predictivo, preventivo o correctivo e implican un posible cambio de algunos equipos como motores, bombas o válvulas, por equipos de mejor rendimiento y eficiencia, teniendo en cuenta la inversión a realizar y el tiempo de retorno de ésta en años.

Finalmente se entrega el informe con la propuesta de recomendaciones y un planteamiento del manejo futuro que se dará a los mantenimientos.

En el cumplimiento de los objetivos trazados en la propuesta a continuación se realiza el desarrollo del presente trabajo:

6.1 Descripción eléctrica de la estación de Bombeo

La planta de bombeo del Rio Piedras, está conformado por tres grupos de motores y sus respectivas bombas, las cuales operan de acuerdo con las necesidades de demanda de la represa la FE, que cumple una función integral en el manejo energético de EPM y en el cual se da una integralidad en aspectos del control de la represa con multiobjetivo de acueducto y generación de energía eléctrica en la central Ayurá. Cada grupo dispone de una antebomba (figura 12) y su respectivo motor y esta pasa a la bomba principal y su respectivo motor (figura 11). En la Figura 17 se presenta el diagrama eléctrico de la planta de bombeo

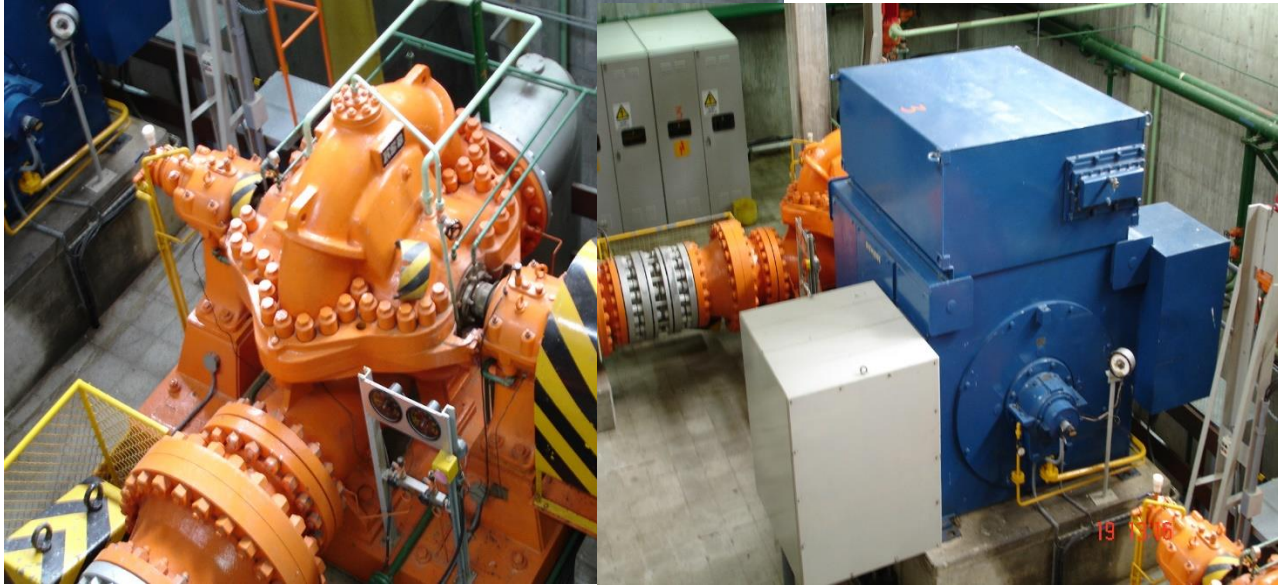


Figura 15. Motor y bomba principales.
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.



Figura 16. Vista superior antebomba.
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

DIAGRAMA UNIFILAR RIO PIEDRAS

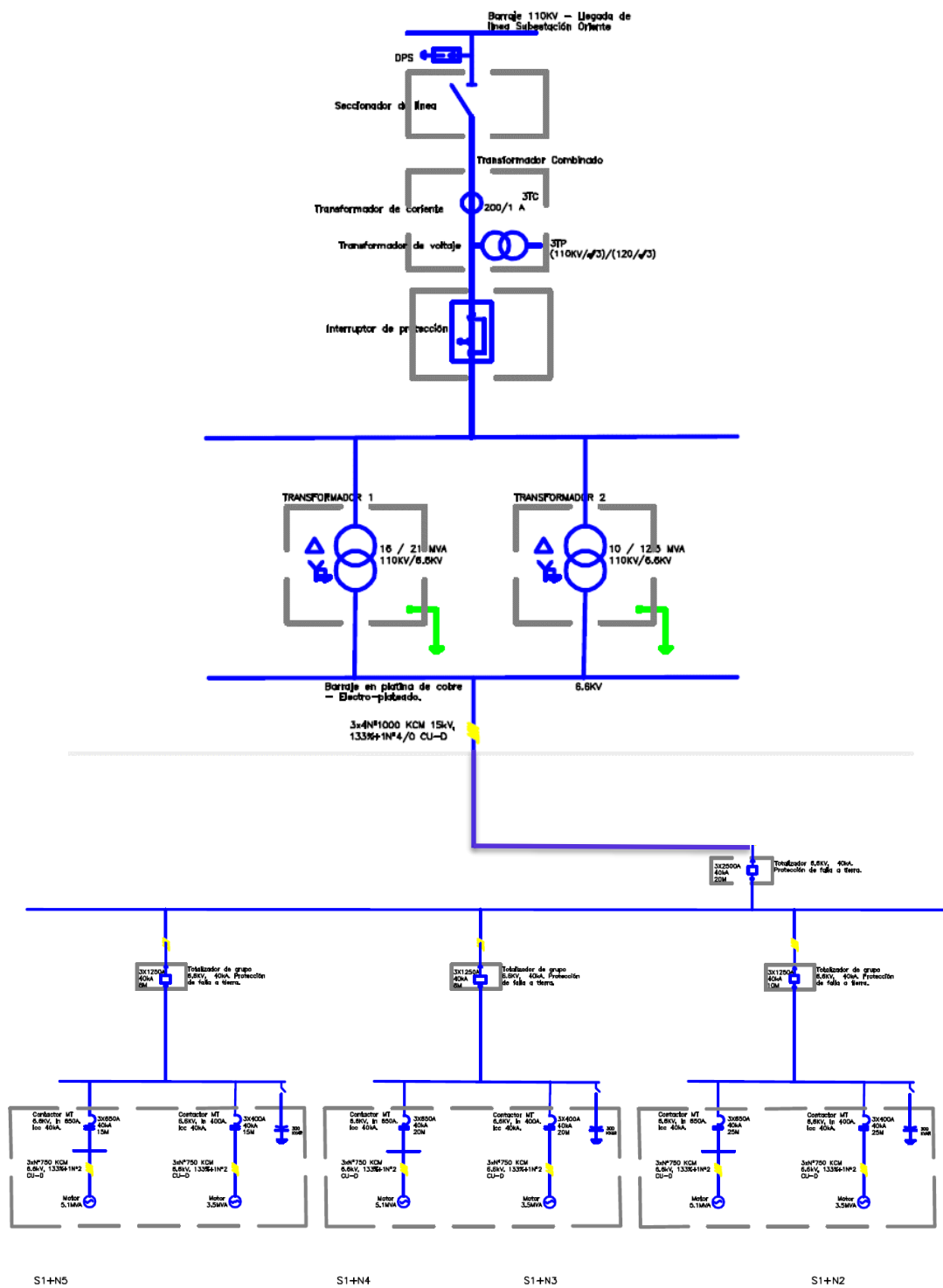


Figura 17. Diagrama unifilar planta Rio Piedras
Fuente: Extraído de archivo EPM (plan de intervención provisión aguas (pipa))

A continuación, se presenta un registro fotográfico con las placas de los equipos del Grupo 2 de Rio Piedras. Estas características técnicas son similares para los equipos del Grupo 1 y 3. La Figura 18 muestra los datos de placa de la Ante- Bomba Grupo 2, La Figura 19 muestra los datos de placa de la Bomba Grupo 2.



Figura 18. Datos de placa planta Rio Piedras Ante-Bomba Grupo 2
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.



Figura 19. Datos de placa planta Rio Piedras Bomba Grupo 2.
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

En la siguiente Tabla 1 y la Tabla 2, se presenta un resumen de los datos técnicos de los motores de la Ante-Bomba y Bomba principal del Grupo 2.

Tabla 1.
Características técnicas del motor de la Ante-Bomba.

Motores grupo 2	
Características	Motor antebomba SIEMENS
Voltaje	6600
Conexión	Estrella
Potencia [kW]	3300
Corriente [I]	350
Factor de potencia $\cos \phi$	0,85
rpm	893
Clase de aislamiento	IP 44
Instalacion msnm	2045
Frecuencia [Hz]	60

Fuente: Diseño propio

Tabla 2
Características técnicas del motor de la Bomba

Motores grupo 2	
Características	Motor bomba SIEMENS
Voltaje	6600
Conexión	Estrella
Potencia [kW]	4800
Corriente [I]	497
Factor de potencia $\cos \phi$	0,87
rpm	1790
Clase de aislamiento	IP 44
Instalacion msnm	2045
Frecuencia [Hz]	60

Fuente: Diseño propio

Estos motores cuentan con protecciones por relés marca Schneider tipo SEPAM M41, con relación CT 1000/5. Fig. 16 y 17



Figura 20. Relé de protección bomba principal
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.



Figura 21. Relé de protección antebomba.
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Como se mencionó anteriormente, esta planta de bombeo debido a sus años de servicio continuo y al envejecimiento y uso de los equipos, podría presentar una disminución en la eficiencia de planta, además, se han presentado disparos no deseados, lo cual hace necesario programar mantenimientos no previstos, lo que pone en riesgo el suministro de agua a la represa la Fe y por ende la generación y el acueducto del sistema de EPM.

6.2 Sistemas de medida

El sistema de bombeo Rio Piedras cuenta con un sistema de medida localizado en la subestación del municipio de Rionegro, allí se tienen dos medidores instalados, uno principal (fig 22) y el otro un respaldo (fig 23), estos se encargan de medir los consumos de toda la planta y por tanto los valores generados en el cuerpo de este informe no representan los consumos generados por cada grupo del sistema y solamente se tomarán como referencia para las recomendaciones finales.

Ambos medidores cuentan con iguales características tal y como se describen a continuación:

Medidor marca Elster, tipo A 1800.

3x57/100...277/480V

60 Hz

1(10) A

Precisión 0,2 S

TP: 110000/v3/120/v3

TC : 200/5

Factor de multiplicación: 36666.67



Figura 19. Medidor principal planta Rio Piedras consumo total de los 3 grupos.
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.



Figura 20. Medidor de respaldo planta Rio Piedras.
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Los registros de consumos totales de la planta se muestran en las siguientes Tabla 3, 4 y 5, para los años 2019, 2020 y 2021, respectivamente.

Tabla 3

Consumos totales plata Rio Piedras año 2019.

Mes/año	Energía activa kWh	Energía reactiva kVArh	Factor de potencia fp
ene-19	2.104.673	415.707	0,9810
feb-19	5.699.495	1.325.336	0,9740
mar-19	795.188	361.464	0,9104
abr-19	31.368	0	0,9885
may-19	327.161	132.806	0,9266
jun-19	13.429	0	0,9863
jul-19	7.541	0	0,9808
ago-19	3.302.467	1.255.270	0,9348
sep-19	4.693.782	1.932.645	0,9247
oct-19	4.044.946	1.831.628	0,9110
nov-19	30.592	0	0,9879
dic-19	1.027.216	467.115	0,9103
Total	22.077.858	7.721.970	0,9514

Fuente: Diseño propio

Tabla 4

Consumos totales planta Rio Piedras año 2020

Mes/año	Energía activa kWh	Energía reactiva kVArh	Factor de potencia fp
ene-20	4.663.059	1.750.434	0,9362
feb-20	5.572.410	1.718.204	0,9556
mar-20	5.205.768	1.937.043	0,9372
abr-20	6.865.012	2.806.098	0,9257
may-20	7.187.726	2.749.373	0,9340
jun-20	7.487.472	2.521.775	0,9477
jul-20	471.963	95.277	0,9802
ago-20	1.588.933	242.685	0,9885
sep-20	20.467	0	0,9852
oct-20	24.492	0	0,9901
nov-20	25.795	0	0,9864
dic-20	34.142	1.887	0,9985
Total	39.147.240	13.822.776	0,9638

Fuente: Diseño propio

Tabla 5
Consumos total planta Rio Piedras año 2021

Mes/año	Energía activa kWh	Energía reactiva kVArh	Factor de potencia fp
ene-21	1.268.726	65.801	0,9987
feb-21	3.812.219	225.692	0,9983
mar-21	105.021	5.360	0,9987
abr-21	14.968	0	1,0000
may-21	19.493	314	0,9999
jun-21	21.743	0	1,0000
jul-21	41.051	4.201	0,9948
Total	5.283.222	301.369	0,9986

Fuente: Diseño propio

El cálculo del factor de potencia cada mes se hace teniendo en cuenta el triángulo de potencias.



Figura 21. Triangulo de potencias.

Fuente: Extraído de blog.sunwise.io

Siguiendo el teorema de Pitágoras, podemos entender que la fórmula para sacar factor de potencia es el ángulo que une la potencia activa con la potencia aparente. Éste se representa con la letra griega “θ”.

La fórmula se ve así:

$$\text{Factor de potencia} = \cos \theta = \frac{\text{potencia activa (kW)}}{\text{potencia aparente (kVA)}}$$

Entonces, el factor de potencia nos describe que tanta potencia activa existe en relación con el total de potencias.

Pero además sabiendo que la $S = V \times I$, y según el triángulo, la S también será igual a la raíz cuadrada de P_a al cuadrado más Q al cuadrado, se determina la fórmula con la cual se realizarán los cálculos, la aplicación de esta es posible debido a que se cuentan con los registros de consumos de energía activa y reactiva tomada de los medidores:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \gg S = \sqrt{P^2 + Q^2} \gg \cos\theta = \frac{P_a}{S} = \frac{P_a}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Como resultado se observa un factor de potencia de 0.9514 para el año 2019 y 0.9638 año 2020 y para el 2021 un factor de potencia de 0,9986, cabe resaltar que el sistema de bombeo en el periodo 2021 estuvo fuera de servicio por un tiempo debido a labores de mantenimiento realizados en las instalaciones, además, tal y como se mencionó en un capítulo anterior, el sistema de bombeo no presenta un funcionamiento constante y por tal razón se presentan variaciones significativas en los consumos reportados, esto implica que no es posible determinar una curva de consumos que genere claridad sobre los valores reales de consumos y las posibles variaciones que ha sufrido en el tiempo la planta.

En este sentido, en la Figura 25 ilustra un registro puntual de datos reales para la bomba principal de consumos en los equipos Siemens. De estos datos se observa como en el caso de la bomba principal del grupo 2, un factor de potencia de potencia de 0.88, equivalente a una eficiencia de 95.69%, estos datos se generan en pruebas de arranque realizadas posterior a la realización del estudio para coordinación de protecciones.

Las pruebas se realizan en condiciones de vacío, es decir, no se realizan en condiciones normales de funcionamiento y por tanto los valores obtenidos son básicamente de referencia a los valores reales y pueden diferir de los obtenidos a plena carga de funcionamiento.

Motor Name: ANTEBOMBA 2
 Test Date: 1/8/2019 10:14:56 AM
 Report Title: Power Results
 Motor Location: Ruta Sur BOMBEO RIO PIEDRAS ANTEBOMBA

Create Date: 03/08/2022
 Submitted By: Administrator

Probe Setting:	CT5 (0.333V/5A)	Condition Code:	Normal	Nameplate Information
VOLTAGE		POWER		Type: AC Mtr.
	Fund RMS Tot RMS C.F. THD	kW kVAR kVA PF		Manufacturer: SIEMENS
Voltage 1-2	6533.23 6534.37 1.40 0.93	Phase 1	987.72 590.62 1150.83 0.88	User Asset ID: -
Voltage 2-3	6509.98 6511.13 1.40 0.96	Phase 2	1008.44 600.29 1173.59 0.88	Frame #: 4030
Voltage 1-3	6508.70 6509.86 1.40 0.97	Phase 3	1001.58 575.91 1155.35 0.87	NP Freq: 60
Average	6517.31 6518.46	Total	2997.74 1766.82 3479.77 0.88	Volt: 6600
% Imbalance	0.24 0.24	Power Sequence	2997.74 1764.24 3478.36 0.88	FLA: 350.00
% NEMA Derating	100.00 % NEMA Derating 100.00	Efficiency		KW: 3300.00
		Efficiency	95.26	HP: 4425.30
Voltage 1	3767.49 3768.15 1.42 0.95	HP Output	3830.12	PF: 0.85
Voltage 2	3769.47 3770.12 1.42 0.93	kW Output	2857.27	NP Speed: 823
Voltage 3	3751.34 3752.01 1.42 0.98	Torque Output (ft-lb)	22502.35	Eff: 0.960
Average	3762.77 3763.43			OP Speed: 893
% Imbalance	0.30 0.30			Slots: 96
				Bars: 116
CURRENT		SEQUENCE		
	Fund RMS Tot RMS C.F. THD	Positive Negative Zero		
Current 1	305.35 305.41 1.42 1.16	Voltage Ph-Ph	6517.30 15.95 0.00	
Current 2	311.22 311.29 1.43 1.24	Voltage Ph-N	3762.76 9.21 2.33	
Current 3	307.87 307.93 1.42 1.29	Current	308.14 3.39 0.32	
Average	308.15 308.21			
% Imbalance	1.00 1.00	Zero	12.21 30.48 12.21 150.48	
% FLA	88.04 88.06	Positive	0.13 57.83 0.16 313.77	
		Negative	0.02 91.29 0.02 54.71	
IMPEDANCE		Phase Configuration	Phase to Ground - 120 Degree	
	Real Magnitude Angle	Phase Rotation	Counter Clockwise	
Phase 1	10.59 12.34 30.84			
Phase 2	10.41 12.11 30.73			
Phase 3	10.57 12.19 29.86			
% Imbalance	1.07			

Comments:

Figura 22. Registro real antebomba Siemens
 Fuente: Imagen tomada de pruebas de arranque motores EPM.

Motor Name: GRUPO 2 BOMBA
 Test Date: 1/8/2019 10:06:24 AM
 Report Title: Power Results
 Motor Location: Ruta Sur BOMBEO RIO PIEDRAS BOMBA

Create Date: 03/08/2022
 Submitted By: Administrator

Probe Setting:	CT5 (0.333V/5A)	Condition Code:	Normal	Nameplate Information
VOLTAGE		POWER		Type: AC Mtr.
	Fund RMS Tot RMS C.F. THD	kW kVAR kVA PF		Manufacturer: SIEMENS
Voltage 1-2	6539.15 6538.42 1.40 0.87	Phase 1	1404.40 792.54 1612.60 0.87	User Asset ID: -
Voltage 2-3	6526.81 6527.12 1.40 0.95	Phase 2	1460.70 809.49 1670.01 0.87	Frame #: 8435
Voltage 1-3	6513.69 6513.98 1.40 0.92	Phase 3	1429.99 747.71 1613.67 0.89	NP Freq: 60
Average	6526.55 6526.84	Total	4295.09 2349.74 4896.27 0.88	Volt: 6600
% Imbalance	0.20 0.20	Power Sequence	4295.09 2348.50 4895.23 0.88	FLA: 497.00
% NEMA Derating	100.00 % NEMA Derating 100.00	Efficiency		KW: 4800.00
		Efficiency	95.69	HP: 6436.80
Voltage 1	3768.41 3768.56 1.42 0.88	HP Output	5312.72	PF: 0.87
Voltage 2	3777.33 3777.49 1.42 0.91	kW Output	4112.49	NP Speed: 1790
Voltage 3	3758.57 3758.76 1.42 0.96	Torque Output (ft-lb)	16161.77	Eff: 0.970
Average	3768.10 3768.27			OP Speed: 1790
% Imbalance	0.25 0.25			Slots: 60
				Bars: 50
CURRENT		SEQUENCE		
	Fund RMS Tot RMS C.F. THD	Positive Negative Zero		
Current 1	427.87 427.91 1.43 1.26	Voltage Ph-Ph	14.70 6526.54 0.00	
Current 2	442.06 442.09 1.43 1.25	Voltage Ph-N	8.49 3768.10 2.38	
Current 3	429.28 429.31 1.43 1.15	Current	8.91 433.02 0.71	
Average	433.07 433.10			
% Imbalance	2.08 2.08	Zero	8.70 28.66 8.70 148.66	
% FLA	87.14 87.14	Positive	0.01 221.70 0.01 269.75	
		Negative	0.16 75.00 0.20 317.17	
IMPEDANCE		Phase Configuration	Phase to Ground - 120 Degree	
	Real Magnitude Angle	Phase Rotation	Clockwise	
Phase 1	7.57 8.81 29.42			
Phase 2	7.47 8.54 28.98			
Phase 3	7.76 8.76 27.59			
% Imbalance	2.10			

Figura 23. Registro real Bomba Siemens
 Fuente: Imagen tomada de pruebas de arranque motores EPM.

6.3 Analizadores de red.

La planta cuenta con analizadores de red instalados localmente en los cuartos de control, los analizadores objeto de esta auditoria son de marca Schneider tipo power logic ION, estos se encargan de monitorear los sistemas principales del bombeo.

Estos analizadores presentan características específicas como:

6.3.1 Análisis de calidad de energía: índice de armónico, detección huecos y picos, captura de onda de corriente, supervisión de cumplimiento, dip y swell, transitorio, detección de dirección de interferencias, programabilidad (funciones lógica y matemática), aprendizaje del punto de ajuste, hasta armónico 63.

6.3.2 Aplicación del dispositivo: Totalización e impulso de energía; corrección del transformador del instrumento; medición de la tarifa; reducción de la carga; cogeneración y supervisión de PIE (Productor Independiente de Energía); demanda y control del factor de potencia; control y supervisión del equipo

6.3.3 Tipo de medición: Corriente, tensión, frecuencia, potencia aparente total, factor de potencia total, potencia aparente por factor, factor de potencia por fase, potencia activa total, potencia activa por fase, potencia reactiva total, potencia reactiva por fase.

6.3.4 Precisión de medida:

Corriente 0.1 % 1...5 A

Tensión 0.1 % 57...288 V

Energía 0.2 %

6.3.5 Clase de precisión: Clase 0,2S energía



Figura 24. Analizador de red principal

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.



Figura 25. Analizadores por sistemas

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

6.4 Inventario de equipos eléctricos.

Considerando que la planta de bombeo es de gran tamaño, que al momento de realizar la auditoria se encontraba en labores de mantenimiento y que los datos recaudados y recomendaciones se dan enfocados en su mayor parte a los grupos de bombeo, se decide relacionar el registro de los equipos instalados en la planta como dato clave para futuras propuestas de mejoramiento y por ser parte fundamental de los consumos generales recaudados.

Tabla 6
Lista de equipos de media y baja tensión

ITEM	DESCRIPCION	IDENTIFICACION	TIPO ACCIONAMIENTO	FABRICANTE	CAPACIDAD	UNIDADES	PROTECCION
1	Totalizador barraje de media tensión	TOT001	Alimentador MT	Schneider Electric	2500	A	Sepam S82
2	Alimentador Grupo de Bombeo 1	TOT101	Alimentador MT	Schneider Electric	1250	A	Sepam S82
3	Alimentador Grupo de Bombeo 2	TOT201	Alimentador MT	Schneider Electric	1250	A	Sepam S82
4	Alimentador Grupo de Bombeo 3	TOT301	Alimentador MT	Schneider Electric	1250	A	Sepam S82
5	Alimentador Transformador MT/BT	TOT401	Alimentador MT	Schneider Electric	1250	A	Sepam S82
6	Arrancador Bomba Principal Grupo 1	MOT101	FVNR MV	Square D	600	A	Sepam M41
7	Arrancador Antebomba Grupo 1	MOT102	FVNR MV	Square D	400	A	Sepam M41
8	Interruptor Banco Capacitores Grupo 1	VAR101	Alimentador MT	Square D	500	KVAR	
9	Arrancador Bomba Principal Grupo 2	MOT201	FVNR MV	Square D	600	A	Sepam M41
10	Arrancador Antebomba Grupo 2	MOT202	FVNR MV	Square D	400	A	Sepam M41
11	Interruptor Banco Capacitores Grupo 2	VAR201	Alimentador MT	Square D	500	KVAR	

12	Arrancador Bomba Principal Grupo 3	MOT301	FVNR MV	Square D	600	A	Sepam M41
13	Arrancador Antebomba Grupo 3	MOT302	FVNR MV	Square D	400	A	Sepam M41
14	Interruptor Banco Capacitores Grupo 3	VAR301	Alimentador MT	Square D	500	KVAR	
15	Totalizador barraje de baja tensión	TOT002	Interruptor BT	Schneider Electric	1000	A	MasterPact + Micronolog 2.0A
16	Motor sistema hidro neumático actuador 1	MOV401	Interruptor BT	Schneider Electric	120	KW	Relé térmico bimetalico
17	Motor sistema hidro neumático actuador 2	MOV402	Interruptor BT	Schneider Electric	120	KW	Relé térmico bimetalico
18	Motor actuador válvula de impulsión Grupo 1	MOV102	Interruptor BT	Schneider Electric	30	KW	Relé térmico bimetalico
19	Motor actuador válvula de impulsión Grupo 2	MOV202	Interruptor BT	Schneider Electric	30	KW	Relé térmico bimetalico
20	Motor actuador válvula de impulsión Grupo 3	MOV302	Interruptor BT	Schneider Electric	30	KW	Relé térmico bimetalico
21	Motor actuador válvula de compuerta de succión Grupo 1	MOV101	Interruptor BT	Schneider Electric	2	KW	Relé térmico bimetalico
22	Motor actuador válvula de compuerta de succión Grupo 2	MOV201	Interruptor BT	Schneider Electric	2	KW	Relé térmico bimetalico
23	Motor actuador válvula de compuerta de succión Grupo 3	MOV301	Interruptor BT	Schneider Electric	2	KW	Relé térmico bimetalico
24	Motor actuador válvula de compuerta ecológica	MOV404	Interruptor BT	Schneider Electric	2	KW	Relé térmico bimetalico
25	Motor actuador válvula de compuerta túnel de descarga El Buey	MOV403	Interruptor BT	Schneider Electric	15	KW	Relé térmico bimetalico
26	Motor válvula esférica Grupo 1	MOT104	FVNR BT	Schneider Electric	3	HP	Relé térmico bimetalico
27	Motor válvula esférica Grupo 2	MOT204	FVNR BT	Schneider Electric	3	HP	Relé térmico bimetalico
28	Motor válvula esférica Grupo 3	MOT304	FVNR BT	Schneider Electric	3	HP	Relé térmico bimetalico

29	Motor bomba de aceite Grupo 1	MOT103	FVNR BT	Schneider Electric	1	KW	Relé térmico bimetalico
30	Motor bomba de aceite Grupo 2	MOT203	FVNR BT	Schneider Electric	1	KW	Relé térmico bimetalico
31	Motor bomba de aceite Grupo 3	MOT303	FVNR BT	Schneider Electric	1	KW	Relé térmico bimetalico
32	Motor bomba de vacío Grupo 1	MOT105	FVNR BT	Schneider Electric	7,5	KW	Relé térmico bimetalico
33	Motor bomba de vacío Grupo 2	MOT205	FVNR BT	Schneider Electric	7,5	KW	Relé térmico bimetalico
34	Motor bomba de vacío Grupo 3	MOT305	FVNR BT	Schneider Electric	7,5	KW	Relé térmico bimetalico
35	Motor compresor 1	MOT401	FVNR BT	Schneider Electric	15	HP	Relé térmico bimetalico
36	Motor compresor 2	MOT402	FVNR BT	Schneider Electric	15	HP	Relé térmico bimetalico
37	Motor compresor 3	MOT403	FVNR BT	Schneider Electric	15	HP	Relé térmico bimetalico
38	Motor sistema refrigeración antebomba Grupo 1	MOV103	FVNR BT	Schneider Electric	5	HP	Relé térmico bimetalico
39	Motor sistema refrigeración antebomba Grupo 2	MOV203	FVNR BT	Schneider Electric	5	HP	Relé térmico bimetalico
40	Motor sistema refrigeración antebomba Grupo 3	MOV303	FVNR BT	Schneider Electric	5	HP	Relé térmico bimetalico
41	Motor bomba de succión de agua de refrigeración 1	MOT404	FVNR BT	Schneider Electric	20	KW	Relé térmico bimetalico
42	Motor bomba de succión de agua de refrigeración 2	MOT405	FVNR BT	Schneider Electric	20	KW	Relé térmico bimetalico
43	Motor bomba de llenado tubería	MOT416	FVNR BT	Schneider Electric	123	KW	Relé térmico bimetalico
44	Motor puente grúa	MOT417	FVNR BT	Schneider Electric	10	KW	Relé térmico bimetalico
45	Motor compuerta radial	MOT418	FVNR BT	Schneider Electric	5	HP	Relé térmico bimetalico
46	Motor sistema de refrigeración bomba 1	MOT406	VFD BT	Schneider Electric	20	HP	
47	Motor sistema de refrigeración bomba 2	MOT407	VFD BT	Schneider Electric	20	HP	
48	Motor sistema de refrigeración bomba 3	MOT408	VFD BT	Schneider Electric	20	HP	

49	Motor sistema de refrigeración bomba 4	MOT409	VFD BT	Schneider Electric	20	HP	
50	Motor sistema de refrigeración radiador 1A	MOT410	VFD BT	Schneider Electric	10	HP	
51	Motor sistema de refrigeración radiador 1B	MOT411	VFD BT	Schneider Electric	10	HP	
52	Motor sistema de refrigeración radiador 2A	MOT412	VFD BT	Schneider Electric	10	HP	
53	Motor sistema de refrigeración radiador 2B	MOT413	VFD BT	Schneider Electric	10	HP	
54	Motor sistema de refrigeración radiador 3A	MOT414	VFD BT	Schneider Electric	10	HP	
55	Motor sistema de refrigeración radiador 3B	MOT415	VFD BT	Schneider Electric	10	HP	
56	Motor actuador sistema de refrigeración válvula 1	MOV405	FVNR BT	Schneider Electric	2	HP	Relé térmico bimetalico
57	Motor actuador sistema de refrigeración válvula 2	MOV406	FVNR BT	Schneider Electric	2	HP	Relé térmico bimetalico
58	Motor actuador sistema de refrigeración válvula 3	MOV407	FVNR BT	Schneider Electric	2	HP	Relé térmico bimetalico
59	Alimentador Cargas críticas transformador MT/AT	INT401	Alimentador BT	Schneider Electric	250	A	Compact NX400N + Micrologic 2.2A
60	Alimentador Cargas críticas Red externa	INT402	Alimentador BT	Schneider Electric	250	A	Compact NX400N + Micrologic 2.2A
61	Alimentador Cargas críticas	INT403	Interruptor BT	Schneider Electric	250	A	Compact NX400N + TM250D
62	Alimentador emergencia Cargas críticas	INT404	Interruptor BT	Schneider Electric	250	A	Compact NX400N + TM250D
63	Rectificador / Cargador de baterías	INT405	Interruptor BT	Schneider Electric	30	A	Compact NX400N + TM32D
64	Tablero de control	INT406	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D
65	Tablero de servicios auxiliares 1	INT407	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D
66	Tablero de servicios auxiliares 2	INT408	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D
67	Tablero de servicios auxiliares 3	INT409	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D

68	Tablero de servicios auxiliares 4	INT410	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D
69	Tablero de distribución 32 ctos	INT411	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D
70	Reserva	INT412	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D
71	Reserva	INT413	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D
72	Reserva	INT414	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D
73	Reserva	INT415	Interruptor BT	Schneider Electric	20	A	Compact NX400N + TM32D

Fuente: Diseño propio

6.5 Iluminación

Los sistemas de iluminación del bombeo en los cuartos de control y en algunos sitios son de tipo tubo fluorescente, el uso de este tipo de lámparas está regulado por el ministerio de minas y energía desde el año 2008 según la Resolución 18 0606 de 2008, en la cual se establece el tipo de lámparas permitidas y las características que éstas deben cumplir, para efectos de este informe citaremos solo lo que compete al desarrollo de este.

Artículo 1°. Objeto y campo de aplicación. Esta resolución tiene por objeto determinar las especificaciones técnicas mínimas aceptadas en la sustitución y uso de fuentes lumínicas en los edificios que sean sede de entidades públicas de cualquier orden, independientemente de quien ostente la propiedad del inmueble.

Artículo 2°. Especificaciones técnicas. Las fuentes lumínicas usadas en las edificaciones que sean sede de entidades públicas de cualquier orden deberán cumplir como mínimo las siguientes especificaciones técnicas:

2.2 Lámparas fluorescentes tipo tubos lineales. Las lámparas fluorescentes que reemplacen

a los tubos fluorescentes T 12 serán fuentes lumínicas con eficacias no menores a 80 Lm/W y vida útil no menor a 10.000 horas. Estas fuentes podrán ser tubos fluorescentes T 5 o T 8, o fuentes de otras tecnologías, siempre que la eficacia sea superior a los 80 Lm/W.

2.7 Balastos. Los balastos de bajo factor de eficacia deberán ser sustituidos por balastos de pérdidas no mayores al 20% para sistemas de alta intensidad de descarga, y de pérdidas no mayores al 18% para tubos fluorescentes. (Ministerio de Minas y Energía, 2008).

En las inspecciones realizadas se logra evidenciar el estado de deterioro y la antigüedad de las instalaciones de las luminarias tal y como se evidencia en las figuras 26, 27 y 28.



Figura 26. Lámpara mala, sala de máquinas.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.



Figura 27. Lampara mala, cuarto de control ccm
Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.



Figura 28. Lampara mala, cuarto de control ccm
Fuente: Elaboración propia.
Nota: Fotografía tomada en visita a la planta.

6.6 Resultados ahorro en energía de un mes de servicio

En cumplimiento de la Leyes 142 de 1994 y 1955 de 2019, resoluciones CREG 058/2000, 119/2007, 105/2009, 173/2011, 189/2015, 030, 152 de 2018, 129 y 156 de 2019, 012, 104, 152 de 2020, 214 de 2021 y 101-002 de 2022

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. informa:

Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado - **marzo de 2022**

	Nivel II		Nivel III		Nivel IV	
	Punta	Fuera de Punta	Punta	Fuera de Punta	Punta	Fuera de Punta
Tarifa						
Industrial y Comercial	646.93	645.07	533.44	531.61	483.92	482.12
Oficial y Exentos	539.11	537.56	444.53	443.00	403.27	401.77
Costo						
CU CREG 012 de 2020	539.11	537.56	444.53	443.00	403.27	401.77
Total CU	598.77	587.78	502.80	491.90	456.55	445.77
Costo compra: Gm,i	290.15	281.82	290.15	281.82	290.15	281.82
Cargo transporte STN: Tm	46.82	41.97	46.82	41.97	46.82	41.97
Cargo transporte SDL: Dn,m	171.46	171.46	77.81	77.81	35.09	35.09
Margen comercialización: CVm,i,j	55.59	55.59	55.59	55.59	55.59	55.59
Costo G, T, pérdidas: PRn,m	18.11	18.07	15.79	15.84	12.26	12.43
Restricciones: Rm	16.64	18.87	16.64	18.87	16.64	18.87
CU CREG 012 de 2020	537.73		443.17		401.93	
CU Monomio	590.69		494.79		448.63	

Tarifa Horaria -Franjas Aplicadas:

Horas de punta: 9 a.m. - 12 m; 6 p.m - 9 p.m.

Horas fuera de punta: 0 a.m - 9 a.m.; 12 m - 6 p.m y 9 p.m - 12 p.m.

Consumo Subsidiado

Alturas superiores o iguales a 1.000 mts sobre el nivel del mar

Alturas inferiores 1.000 mts sobre el nivel del mar

ESPD* : E.S.P. Domiciliarios de acueducto y alcantarillado, consumo de energía en actividades operativas inherentes a la propia prestación del servicio.

Rango subsidiado

(0-130 kWh)

(0-173 kWh)

Figura 29. Tarifas energía EPM

Fuente: cu.epm.com.co/clientesyusuarios/energía/tarifas-energía.

Existen 68 luminarias T12 de 39 W, las cuales generan un consumo y costo de operación relacionado según el siguiente calculo.

$$P_{\text{dia}} = 2,652 \text{ Kwh} * 10 \text{ horas/dia} \rightarrow 26,52 \text{ Kw/dia}$$

$$P_{\text{mes}} = 26,52 \text{ Kw/dia} * 30 \text{ dias} \rightarrow 795,6 \text{ Kw/mes}$$

$$\text{GASTO} = 795,6 \text{ Kw/mes} * \$401,77 \cong \$319.648$$

Al comparar estos costos con los generados al utilizar bombillas tipo led de 18W, obtenemos el siguiente ahorro mensual:

$$P_{\text{dia}} = 1,224 \text{ Kwh} * 10 \text{ horas/dia} \rightarrow 12,24 \text{ Kw/dia}$$

$$P_{\text{mes}} = 12,24 \text{ Kw/dia} * 30 \text{ dias} \rightarrow 367,2 \text{ Kw/mes}$$

$$\text{Gasto} = 367,2 \text{ Kw/mes} * \$401,77 \cong \$147.530$$

$$\text{Ahorro} = 319.648 - 147.530 \rightarrow \$172.118$$

Existen 13 reflectores 400 W, los cuales generan un consumo y costo de operación relacionado según el siguiente calculo.

$$P_{\text{dia}} = 5,2 \text{ Kwh} * 10 \text{ horas/dia} \rightarrow 52 \text{ Kw/dia}$$

$$P_{\text{mes}} = 52 \text{ Kw/dia} * 30 \text{ dias} \rightarrow 1.560 \text{ Kw/mes}$$

$$\text{GASTO} = 1.560 \text{ Kw/mes} * \$401,77 \cong \$626.761$$

Al comparar estos costos con los generados al utilizar reflectores con tecnología tipo led de 70 W, obtenemos el siguiente ahorro mensual:

$$P_{\text{dia}} = 1,04 \text{ Kwh} * 10 \text{ horas/dia} \rightarrow 10,4 \text{ Kw/dia}$$

$$P_{\text{mes}} = 10,4 \text{ Kw/dia} * 30 \text{ dias} \rightarrow 312 \text{ Kw/mes}$$

$$\text{Gasto} = 312 \text{ Kw/mes} * \$401,77 \cong \$125.352$$

$$\text{Ahorro} = 626.761 - 125.352 \rightarrow \$501.409$$

Existen 20 luminarias 400 W, los cuales generan un consumo y costo de operación relacionado

$$P_{\text{dia}} = 8 \text{ Kwh} * 10 \text{ horas/dia} \rightarrow 80 \text{ Kw/dia}$$

$$P_{\text{mes}} = 80 \text{ Kw/mes} * 30 \text{ dias} \rightarrow 2.400 \text{ Kw/mes}$$

$$\text{GASTO} = 2.400 \text{ Kw/mes} * \$401,77 \cong \$964.248$$

Al comparar estos costos con los generados al utilizar bombillas con tecnología tipo led de 70 W, obtenemos el siguiente ahorro mensual:

$$P_{\text{dia}} = 2,56 \text{ Kwh} * 10 \text{ horas/dia} \rightarrow 25,6 \text{ Kw/dia}$$

$$P_{\text{mes}} = 25,6 \text{ Kw/dia} * 30 \text{ dias} \rightarrow 768 \text{ Kw/mes}$$

$$\text{Gasto} = 768 \text{ Kw/mes} * \$401,77 \cong \$308.559$$

$$\text{Ahorro} = 964.248 - 308.559 \rightarrow \$655.689$$

Tabla 7.
Valores comparativos lámpara T12 Vs led

	Lampara T12	Led 18W
Potencia consumida por la instalacion(kw/h)	2,652	1,224
Potencia consumida día laboral (kw/h)	26,52	12,24
Potencia consumida en un mes (kw/h)	795,6	367,2
Total, consumido en (\$ cop)	319.648	147.530
Ahorro con respecto a la T12(\$ cop)	0	172.118

Fuente: Diseño propio

Nota: Consumo calculado en un tiempo de 10 horas por día.

Tabla 8.

Valores comparativos reflectores 400 W Vs led

	Reflectores	Led
	400 w	80 W
Potencia consumida por la instalación (kw/h)	5,2	1,04
Potencia consumida día laboral (kw/h)	52	10,4
Potencia consumida en un mes (kw/h)	1.560	312
Total consumido en (\$ cop)	626.761	125.312
Ahorro con respecto a reflector 400 w (\$ cop)	0	501.409

Fuente: Diseño propio

Nota: Consumo calculado en un tiempo de 10 horas por día.

Tabla 9

Valores comparativos luminarias 400W Vs led

	Luminaria	Led
	400 W	128 W
Potencia consumida por la instalacion(kw/h)	8	2,56
Potencia consumida día laboral (kw/h)	80	25,6
Potencia consumida en un mes (kw/h)	2.400	768
Total consumido en (\$ cop)	964.248	308.559
Ahorro con respecto a la luminaria 400 (\$ cop)	0	655.689

Fuente: Diseño propio

Nota: Consumo calculado en un tiempo de 10 horas por día.

Con base en lo anterior se realiza el cálculo de los costos de la inversión y determinar el tiempo de retorno de esta, para este cálculo solamente se tienen en cuenta los costos asociados a la compra de los insumos, no se relacionan los gastos de mano de obra.

T12 vs LED

Costo de compra 68 luminarias led de 18 W = \$1.489.000

Gasto energético = 26,52 Kw/día – 12,24 Kw/día

→ 14,28 Kw/día de ahorro en consumos

Si ponemos el precio del Kwh según la tarifa relacionada en la figura 32.

Consumo día led de 18 W = 14,28 Kw/día * 401,77 ≅ \$ 5.737 de ahorro diario

Retorno de la inversión en días = $\frac{1.489.000}{5.737} \rightarrow 260 \text{ días.}$

REFLECTORES vs LED

Costo de compra 13 reflectores led de 80 W = \$1.690.000

Gasto energético = 52 Kw/día – 10,4 Kw/día → 41,6 Kw/día de ahorro en consumos

Si ponemos el precio del Kwh según la tarifa relacionada en la figura 32.

Consumos día reflectores led de 80 W = 41,6 Kw/día * \$401,77

≅ \$ 16.714 de ahorro energético diario

Retorno de la inversión en días = $\frac{1.690.000}{16.714} \rightarrow 101 \text{ días}$

LUMINARIAS vs LED

Costo de compra 20 luminarias led de 128 W = \$3.600.000

Gasto energético = 80 Kw/día – 25.6 Kw/día → 54,4 Kw/día de ahorro en consumos

Si ponemos el precio del Kwh según la tarifa relacionada en la figura 32.

Consumos día luminarias led de 128 W = 54,4 Kw/día * \$401,77

≅ \$ 21.856 de ahorro energético diario

Retorno de la inversión en días = $\frac{3.600.000}{21.856} \rightarrow 165 \text{ días.}$

Retorno

T12 vs LED= 260 días

REFLECTOR vs LED= 101 días

LUMINARIAS vs LED=165 días

6.6.1 Tarifas energía años 2019, 2020 y 2021

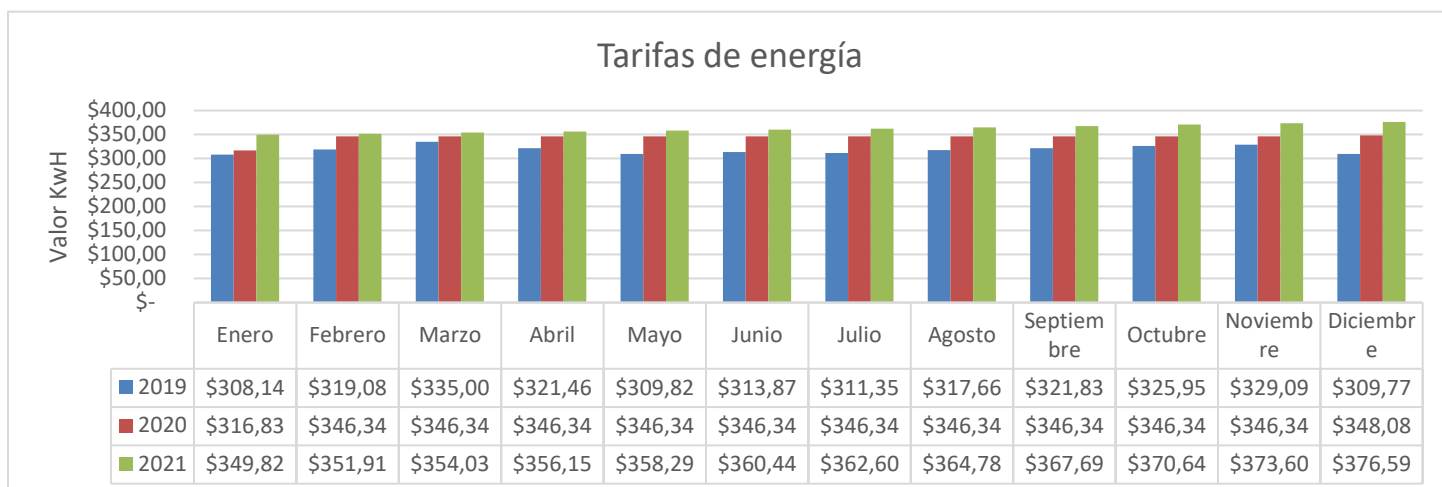
Las tarifas de energía se regulan a través de lo establecido por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) y como referencia se toman las establecidas por empresas públicas de Medellín en los años 2019, 2020 y 2021, en las tablas 10 y 11 se observa la variación tarifaria en los tres años que se toman como objeto de la auditoria.

Tabla 10
Tarifas energía 2019, 2020 y 2021

		Tarifas energía		
		Año		
		2019	2020	2021
Enero	\$	308,14	\$ 316,83	\$ 349,82
Febrero	\$	319,08	\$ 346,34	\$ 351,91
Marzo	\$	335,00	\$ 346,34	\$ 354,03
Abril	\$	321,46	\$ 346,34	\$ 356,15
Mayo	\$	309,82	\$ 346,34	\$ 358,29
Junio	\$	313,87	\$ 346,34	\$ 360,44
Julio	\$	311,35	\$ 346,34	\$ 362,60
Agosto	\$	317,66	\$ 346,34	\$ 364,78
Septiembre	\$	321,83	\$ 346,34	\$ 367,69
Octubre	\$	325,95	\$ 346,34	\$ 370,64
Noviembre	\$	329,09	\$ 346,34	\$ 373,60
Diciembre	\$	309,77	\$ 348,08	\$ 376,59

Fuente: Diseño propio

Tabla 11
Comparativos valores Kwh/mes años 2019, 2020 y 2021



Fuente: Diseño propio

En la gráfica se puede apreciar el incremento que se da en las tarifas de energía en los años auditados y se evidencia además como en el año 2020 se presenta una suspensión temporal de los incrementos en dichas tarifas, lo anterior según lo establecido por el Ministerio de Minas y Energía en el decreto legislativo número 517 del 4 de abril del 2020 y la resolución GREG 064 del 2020:

“El Parágrafo Segundo del Artículo 3 del Decreto 517 de 2020 establece que la CREG podrá adoptar todas las medidas necesarias de las que trata este Decreto mientras permanezca vigente la declaratoria de Emergencia Sanitaria por parte del Ministerio de Salud y Protección Social, sin la observación de los períodos, plazos y requisitos definidos en las leyes 142 y 143 de 1994 y demás disposiciones legales; y que, así mismo, el Ministerio de Minas y Energía y las entidades adscritas podrán establecer las medidas extraordinarias de las que trata este Decreto sin necesidad de agotar el requisito de información de los proyectos de regulación a la Superintendencia de Industria y Comercio del que tratan la Ley 1340 de 2009 y el Decreto 1074 de 2015. Tampoco será de obligatorio el cumplimiento de los requisitos y plazos de publicidad y de consulta de los proyectos de regulación previstos en la Ley 1437 de 2011 y el Decreto 1078 de 2015”. (ministerio de minas y energía, 2020).

Basados en las tarifas anteriores y los datos obtenidos de consumos se logra determinar un estimado de los valores pagados en los 3 años por consumos de la planta, estos valores serán

tomados como referencia para las recomendaciones generadas mediante el informe de la auditoría.

Tabla 12

Valores consumos totales por año

Mes	Valores de consumos por año		
	AÑO		
	2019	2020	2021
Enero	\$ 648.533.790,00	\$ 1.477.396.911,87	\$ 443.825.833,92
Febrero	\$ 1.818.594.971,40	\$ 1.929.948.391,60	\$ 1.341.557.831,90
Marzo	\$ 266.387.871,23	\$ 1.802.965.726,84	\$ 37.180.459,27
Abril	\$ 10.083.695,67	\$ 2.377.628.364,48	\$ 5.330.962,79
Mayo	\$ 101.360.978,57	\$ 2.489.397.157,77	\$ 6.984.132,32
Junio	\$ 4.215.022,41	\$ 2.593.210.900,64	\$ 7.837.186,16
Julio	\$ 2.347.741,96	\$ 163.459.669,96	\$ 14.885.224,59
Agosto	\$ 1.049.061.688,79	\$ 550.311.167,05	\$ 0
Septiembre	\$ 1.510.599.775,36	\$ 7.088.685,07	\$ 0
Octubre	\$ 1.318.450.254,96	\$ 8.482.726,56	\$ 0
Noviembre	\$ 10.067.526,68	\$ 8.933.863,33	\$ 0
Diciembre	\$ 318.200.693,16	\$ 11.884.226,55	\$ 0
	\$ 7.057.904.010,18	\$ 13.420.707.791,73	\$ 1.857.601.630,93

Fuente: Diseño propio.

Como se observa, ya la planta Rio Piedras supera los 30 años de servicio, lo cual se refleja en un bajo factor de potencia y baja eficiencia, que a su vez es un reflejo de las pérdidas en devanados, alto nivel de rozamiento en chumaceras o cojinetes del conjunto motores y bombas, lo que es un foco de posibles paradas no programadas.

Con la información recopilada hasta ahora, no se nota la necesidad de evaluar proyecciones de consumo a futuro, ya que, con la observación del bajo factor de potencia y baja eficiencia, se puede recomendar un proceso para mejorar la eficiencia energética de la planta Rio Piedras, de forma que contribuyan a mejorar estos dos aspectos, que finalmente redundan en ahorros energéticos que podrán ser cubiertos en el futuro.

Para el tema de una eficiencia energética y considerando que la planta Rio Piedras entró en operación por el año 1979, por lo cual a días de hoy es una planta que ha superado los 30 años de servicio y por ende sus equipos se han vuelto obsoletos y han perdido eficiencias. En este sentido a continuación y con base en las visitas técnicas se han podido identificar varios tópicos en los que

se pueden proponer mejoras de eficiencia.

6.7 Propuestas de Mejoramiento

- 6.7.1 Mejora de motores y bombas con más de 30 años de operación continua.
- 6.7.2 Mejora de rodamientos en chumaceras de bombas y motores.
- 6.7.3 Los sistemas de refrigeración de motores y bombas, hoy en día operan de manera continua con el arranque de los motores; se propone automatismos inteligentes asociados a éstos sistemas.
- 6.7.4 Cambiar sistemas de iluminación en general de la planta basadas en balastras.
- 6.7.5 Elementos eléctricos con altos niveles de oxidación en la subestación y gabinetes.
- 6.7.6 Equipos de medida con muchos años de servicio.
- 6.7.7 Incorporación de energía renovable, principalmente solar para sustitución de energía para consumo básico de la planta.
- 6.7.8 Se reportan paradas no programadas por disparo o por necesidad de mantenimientos correctivos en los equipos, lo cual deja vulnerable el sistema eléctrico e hidráulico de EPM.

6.8 Estudio motores

Con base en lo anterior, a continuación, se presentan recomendaciones tendientes a proponer mejorar la eficiencia energética en el área eléctrica de la planta Rio Piedras.

La principal recomendación se da para los motores, se sugiere un cambio de tecnología en motores, esto, aunque representa un alto costo, enmarcaría el proceso del sistema de bombeo dentro de los lineamientos del uso racional y eficiente de la energía; esta recomendación se sustenta mediante los siguientes cálculos realizados con el software motor máster internacional, el cual permite realizar un análisis de la forma más idónea de cambio de motores, el costo de la inversión y el tiempo de retorno de esta.

A efectos de la auditoria y teniendo en cuenta que la planta al momento de esta se encontraba en labores de mantenimiento, se realizaran los cálculos de eficiencia de los motores según la formula.

$$\varepsilon_f = \frac{Hp \times 746}{\sqrt{3} * VLLxI \times fp}$$

Además, se tomará como carga de trabajo un valor estándar para todos de 75%

6.8.1 Motor de celtralina para lubricación de los cojinetes: en la planta se encuentran seis motores de similares.



Figura 30. Motor lubricación cojinetes

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Características:

Potencia [hp]: 1 (750 W)

Voltaje[V]: 440.

Corriente [A]: 1,95.

Factor de potencia [fp]: 0,68

Según el análisis realizado se logra determinar que el ahorro por año en consumos de energía es de \$115, 905, por un total de seis (6) motores de este tipo tendremos un ahorro total de \$695,376, una inversión total \$3,212,118, se calcula que el tiempo de retorno de esta inversión es de 4,6 años.

Motor Savings Analysis - Replace Existing				Page: 1
INPUTS				
Motor Characteristics				
	Description:	Existing Motor		Premium-Efficiency Motor
		Energy Efficient		GE - Energy Saver ODP - NEMA Design B
Size (HP) / Speed (RPM) (Poles):		1,0 HP 1800 RPM		1,0 HP 1800 RPM
Enclosure / Voltage (Volts):		ODP 440 Volts		ODP 440 Volts
Load (%):		75,0		75,0
Efficiency (%):		74,0		85,3
Full load RPM:		0 RPM		0 RPM
Centrifugal load:		False		
Old Motor Efficiency Loss (%):		0		
Costs/Use				
		Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Utility Data
Dealer discount (%):	N/A		35	Energy price (\$/kWh): 401,769989
Purchase price (\$):	N/A		535.353	Demand charge (\$/kW/mo.): 8
Installation cost (\$):	N/A		0	Power factor (%): N/A
Motor rebate (\$):	N/A		0	Rebate program: <None>
Peak months:	12		12	Simple payback criteria, yrs: 10
Hours use/yr:	2880		2880	
RESULTS - SAVINGS				
		Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Energy Savings
Differential cost (\$):			535.353	Energy (kWh/yr): 288
Energy use (kWh/yr):	2178		1889	Demand (kW): 0,1
Energy cost (\$/yr):	874.860		758.964	Energy savings (\$/yr): 115.896
Demand charge (\$/yr):	73		63	Demand savings (\$/yr): 10
Greenhouse Gas Emissions Reduction				Total savings (\$/yr): 115.905
State:	New York		tonnes CO2/yr: 0,11	Simple payback (yrs): 4,6

04/17/2022

copyright 2002 WSU

Figura 31. Cálculo de eficiencia software motor master

Fuente: Software motor master

6.8.2 Motor de válvulas esféricas para la lubricación: En la planta de bombeo existen 3 motores similares.



Figura 32. Motor de válvulas esféricas para la lubricación

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta

Características:

Potencia [hp]: 4

Voltaje[V]: 440.

Corriente [A]: 6,3.

Factor de potencia [fp]: 0,77

Según el análisis realizado se logra determinar que el ahorro por año en consumos de energía es de \$625,939, por un total de tres (3) motores de este tipo tendremos un ahorro total de \$1,877,817, una inversión total \$2,814,222, se calcula que el tiempo de retorno de esta inversión es de 1,5 años.

Motor Savings Analysis - Replace Existing				Page: 1
INPUTS				
Motor Characteristics				
	Description:	Existing Motor Energy Efficient		Premium-Efficiency Motor GE - Energy Saver ODP - NEMA Design B
Size (HP) / Speed (RPM) (Poles):		5,0 HP	1800 RPM	5,0 HP 1800 RPM
Enclosure / Voltage (Volts):		ODP	440 Volts	ODP 440 Volts
Load (%):		75,0		75,0
Efficiency (%):		81,0		90,3
Full load RPM:		0 RPM		0 RPM
Centrifugal load:		False		
Old Motor Efficiency Loss (%):		0		
Costs/Use				
		Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Utility Data
Dealer discount (%):	N/A		35	Energy price (\$/kWh): 401,769989
Purchase price (\$):	N/A		938,074	Demand charge (\$/kW/mo.): 8
Installation cost (\$):	N/A		0	Power factor (%): N/A
Motor rebate (\$):	N/A		0	Rebate program: <None>
Peak months:	12		12	Simple payback criteria, yrs: 10
Hours use/yr:	4380		4380	
RESULTS - SAVINGS				
		Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Energy Savings
Differential cost (\$):			938,074	Energy (kWh/yr): 1.558
Energy use (kWh/yr):	15127	13569		Demand (kW): 0,4
Energy cost (\$/yr):	6.077.664	5.451.725		Energy savings (\$/yr): 625.939
Demand charge (\$/yr):	332	297		Demand savings (\$/yr): 34
Greenhouse Gas Emissions Reduction				Total savings (\$/yr): 625.973
State:	New York		tonnes CO2/yr.: 0,61	Simple payback (yrs): 1,5

04/17/2022

copyright 2002 WSU

Figura 33. Cálculo eficiencia software motor master

Fuente: Software motor master

6.8.3 Motor válvula guarda: En la planta de bombeo existen 7 motores similares.



Figura 34. Motor válvula guarda

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Características:

Potencia [hp]: 4,6

Voltaje[V]: 440.

Corriente [A]: 6,9.

Factor de potencia [fp]: 0,83

Según el análisis realizado se logra determinar que el ahorro por año en consumos de energía es de \$400,200, por un total de siete (7) motores de este tipo tendremos un ahorro total de \$2,801,400, una inversión total \$6,566,518, se calcula que el tiempo de retorno de esta inversión es de 2,3 años.

Motor Savings Analysis - Replace Existing				Page: 1
INPUTS				
Motor Characteristics				
	Description:	Existing Motor Energy Efficient		Premium-Efficiency Motor GE - Energy Saver ODP - NEMA Design B
Size (HP) / Speed (RPM) (Poles):		5,0 HP 1800 RPM	5,0 HP 1800 RPM	
Enclosure / Voltage (Volts):		ODP 440 Volts	ODP 440 Volts	
Load (%):		75,0	75,0	
Efficiency (%):		78,6	90,3	
Full load RPM:		0 RPM	0 RPM	
Centrifugal load:		False		
Old Motor Efficiency Loss (%):		0		
Costs/Use				
		Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Utility Data
Dealer discount (%):	N/A		35	Energy price (\$/kWh): 401,769989
Purchase price (\$):	N/A		938.074	Demand charge (\$/kW/mo.): 8
Installation cost (\$):	N/A		0	Power factor (%): N/A
Motor rebate (\$):	N/A		0	Rebate program: <None>
Peak months:	12		12	Simple payback criteria, yrs: 10
Hours use/yr:	2160		2160	
RESULTS - SAVINGS				
		Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Energy Savings
Differential cost (\$):			938.074	Energy (kWh/yr): 996
Energy use (kWh/yr):	7688		6692	Demand (kW): 0,5
Energy cost (\$/yr):	3.088.722		2.688.522	Energy savings (\$/yr): 400.200
Demand charge (\$/yr):	342		297	Demand savings (\$/yr): 44
Greenhouse Gas Emissions Reduction				Total savings (\$/yr): 400.244
State:	New York		tonnes CO2/yr.: 0,39	Simple payback (yrs): 2,3

04/18/2022

copyright 2002 WSU

Figura 35. Cálculo de eficiencia software motor master

Fuente: Software motor master

6.8.4 Motor bomba de vacío: En la planta de bombeo existen 3 motores similares.



Figura 36. Motor bomba de vacío

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Características:

Potencia [hp]: 4,6

Voltaje[V]: 440.

Corriente [A]: 6,9.

Factor de potencia [fp]: 0,83

Según el análisis realizado se logra determinar que el ahorro por año en consumos de energía es de \$ 5,238,949, por un total de tres (3) motores de este tipo tendremos un ahorro total de \$15,716,847, una inversión total \$34,305,999, se calcula que el tiempo de retorno de esta inversión es de 2,2 años.

Motor Savings Analysis - Replace Existing				Page: 1
INPUTS				
Motor Characteristics				
	Existing Motor		Premium-Efficiency Motor	
Description:	Energy Efficient		GE - Energy Saver ODP - NEMA Design B	
Size (HP) / Speed (RPM) (Poles):	125,0 HP	1800 RPM	125,0 HP	1800 RPM
Enclosure / Voltage (Volts):	ODP	440 Volts	ODP	440 Volts
Load (%):	75,0		75,0	
Efficiency (%):	87,4		96,1	
Full load RPM:	0 RPM		0 RPM	
Centrifugal load:	False			
Old Motor Efficiency Loss (%):	0			
Costs/Use				
	Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Utility Data	
Dealer discount (%):	N/A	35	Energy price (\$/kWh): 401,769989	
Purchase price (\$):	N/A	11.435.333	Demand charge (\$/kW/mo.): 8	
Installation cost (\$):	N/A	0	Power factor (%): N/A	
Motor rebate (\$):	N/A	0	Rebate program: <None>	
Peak months:	12	12	Simple payback criteria, yrs: 10	
Hours use/yr:	1800	1800		
RESULTS - SAVINGS				
	Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Energy Savings	
Differential cost (\$):		11.435.333	Energy (kWh/yr): 13.040	
Energy use (kWh/yr):	144036	130996	Demand (kW): 7.2	
Energy cost (\$/yr):	57.869.356	52.630.408	Energy savings (\$/yr): 5.238.949	
Demand charge (\$/yr):	7.682	6.986	Demand savings (\$/yr): 695	
Greenhouse Gas Emissions Reduction			Total savings (\$/yr): 5.239.645	
State:	New York	tonnes CO2/yr.: 5,09	Simple payback (yrs): 2,2	

04/18/2022

copyright 2002 WSU

Figura 37. Cálculo de eficiencia software motor master

Fuente: Software motor master

6.8.5 Motor de refrigeración: En la planta de bombeo existen 4 motores similares.



Figura 38. Motor de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en visita a la planta.

Características:
 Potencia [hp]: 150 (110kW)
 Voltaje[V]: 440.
 Corriente [A]: 175,2.
 Factor de potencia [fp]: 0,87

Según el análisis realizado se logra determinar que el ahorro por año en consumos de energía es de \$ 4,165,859, por un total de tres (4) motores de este tipo tendremos un ahorro total de \$16,663,436, una inversión total \$62,959,440, se calcula que el tiempo de retorno de esta inversión es de 3,77 años.

Motor Savings Analysis - Replace Existing				Page: 1
INPUTS				
Motor Characteristics				
	Description:	Existing Motor		Premium-Efficiency Motor
		Energy Efficient		GE - Energy Saver ODP - NEMA Design B
Size (HP) / Speed (RPM) (Poles):	150,0 HP	1800 RPM	150,0 HP	1800 RPM
Enclosure / Voltage (Volts):	ODP	440 Volts	ODP	440 Volts
Load (%):	75,0		75,0	
Efficiency (%):	94,7		96,0	
Full load RPM:	0 RPM		0 RPM	
Centrifugal load:	False			
Old Motor Efficiency Loss (%):	0			
Costs/Use				
	Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Utility Data	
Dealer discount (%):	N/A	35	Energy price (\$/kWh): 401,769989	
Purchase price (\$):	N/A	15.739.860	Demand charge (\$/kW/mo.): 8	
Installation cost (\$):	N/A	0	Power factor (%): N/A	
Motor rebate (\$):	N/A	0	Rebate program: <None>	
Peak months:	12	12	Simple payback criteria, yrs: 10	
Hours use/yr:	8640	8640		
RESULTS - SAVINGS				
	Existing Motor	Premium-Efficiency Motor	Energy Savings	
Differential cost (\$):		15.739.860	Energy (kWh/yr): 10.369	
Energy use (kWh/yr):	765694	755325	Demand (kW): 1,2	
Energy cost (\$/yr):	307.632.768	303.466.912	Energy savings (\$/yr): 4.165.859	
Demand charge (\$/yr):	8.508	8.393	Demand savings (\$/yr): 115	
Greenhouse Gas Emissions Reduction			Total savings (\$/yr): 4.165.974	
State:	New York	tonnes CO2/yr: 4,04	Simple payback (yrs): 3,8	

04/18/2022

copyright 2002 WSU

Figura 39. Cálculo de eficiencia software motor master

Fuente: Software motor master

Luego del análisis anterior se logra concluir que con el cambio de tecnología en solo los motores seleccionados logramos un ahorro no solo en costos de operación si no también en consumos al lograr mejorar la eficiencia en los motores, de manera cuantitativa en este proceso se logra para el bombeo del Rio Piedras a la represa la Fe un ahorro tal y como se muestra en la tabla 14

Tabla 13
Tiempo de retorno y ahorro año.

Tiempo de retorno y ahorro año calculados				
	Característica	Cantidad	Tiempo de retorno	Ahorro año
Motores	Motor de celtralina	6	4,6	\$ 695.376
	Motor de válvulas esféricas	3	1,5	\$ 1.877.817
	Motor válvula guarda	7	2,3	\$ 2.801.400
	Motor bomba de vacío	3	2,2	\$ 15.716.847
	Motor de refrigeración	4	3,77	\$ 16.663.436
	Ahorro total por año posterior al tiempo de retorno			\$ 37.754.876
Iluminación	Luminaria Led de 18 W	68	0,71	\$ 2.065.416
	Reflectores Led de 80 W	13	0,27	\$ 6.016.908
	Luminaria Led de 128 W	20	0,16	\$ 7.868.268
	Ahorro total por año posterior al tiempo de retorno			\$ 15.950.592

Fuente: Diseño propio

7. Conclusiones

La planta Rio Piedras con más de 30 años de operación requiere de una modernización la cual a su vez debe capitalizar y apuntar a mejorar los índices de eficiencia energética en los siguientes aspectos

- 7.1** Mejorar los factores de potencia del consumo de energía eléctrica en motores, con lo cual se reducen las pérdidas de energía, pérdidas térmicas, mejores sistemas de rodamientos en chumaceras de motores y bombas debido a la obsolescencia tecnológica y el tiempo de uso de los equipos, esta conclusión se plantea de manera teórica, debido que no es posible calcular los costos de inversión ya que los motores de bomba y antebomba son de diseño exclusivo, es decir, no comerciales, lo que impide generar un comparativo con nuevas tecnologías.
- 7.2** En cuanto a motores y bombas, El mejorar el factor de potencia se refleja en una mejor eficiencia, debido a menores pérdidas eléctricas, menor esfuerzo por pérdidas en rozamientos en rodamientos, menos valores de consumo en los arranques de los motores y bombas, menores pérdidas por calentamientos de embobinados de los motores, menos consumo de potencia reactiva.
- 7.3** Mejorar la eficiencia en los sistemas de iluminación de la planta, garantiza el cumplimiento de la normatividad vigente, y enfocar el proceso hacia programas de uso racional y eficiente de la energía (URE).
- 7.4** Se recomienda realizar el aprovechamiento de los espacios utilizables para la implementación de sistemas de energía solar.
- 7.5** Falta de automatización que mejore la eficiencia de sistemas de refrigeración en bombas y motores.

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede determinar que con la realización de esta

auditoría se logró evaluar las condiciones en las que actualmente funciona la planta de bombeo Rio Piedras, y de esta manera se generaron las recomendaciones técnicas necesarias para crear el impacto, que se genera con cada parada no programada que sufre el sistema, es necesario resaltar, que, al ser un sistema de suministro de agua para la población del Valle de Aburrá, se debe procurar que la continuidad de su funcionamiento no se vea afectada por fallas ocasionadas a raíz de la obsolescencia de los equipos.

Adicionalmente se realiza la auditoría buscando mejorar la estabilidad económica del sistema de bombeo, por lo cual las recomendaciones generadas con base en las mediciones que se realizan están enfocadas a mejorar la eficiencia del proceso, tanto en consumos de energía como en pérdidas operativas, las cuales actualmente son significativas por los constantes apagones de las unidades principales de bombeo.

Se hace la claridad que se presenta limitación en las medidas, debido a que por la naturaleza de su funcionamiento la planta no opera de manera constante y en ningún caso se usan los tres grupos de motores al mismo tiempo, esto genera que los consumos reportados en el presente informe no brindan una estabilidad que nos permita realizar cálculos o proyecciones del incremento de los consumos en el tiempo de funcionamiento de la planta.

Por último, es necesario tener en cuenta que el análisis del comportamiento del consumo de energía reactiva inductiva y reactiva capacitiva nos permite garantizar el cumplimiento de lo establecido en la resolución CREG 199 de 2019, la cual establece dentro de sus lineamientos la penalización por la generación de este tipo de energías y los porcentajes en los cuales se penalizará si no se corrige de manera oportuna.

8. Recomendaciones

8.1 Cambiar los equipos existentes de motores de la antebomba y bomba principal con el objeto de mejorar el factor de potencia, reducir los rozamientos en las chumaceras de los motores, aumentar el factor de eficiencia y reducir pérdidas por calor en devanados

8.2 Cambiar los cojinetes o chumaceras de las bombas para reducir coeficientes de fricción.

8.3 Cambiar los sistemas de iluminación internos, en cuartos de control y operación y en la periferia de la planta por iluminación Led de alta eficiencia.

8.4 Aprovechar la sinergia de las Empresas Públicas de Medellín para la instalación de paneles solares y banco de baterías, lo cual puede abastecer servicios auxiliares de iluminación y de emergencia.

8.5 Se recomienda implementar un sistema interno de gestión de energía, que permita un monitoreo constante de variables críticas y no críticas del proceso y permita la toma de decisiones de manera proactiva, con esto se garantizará un control eficaz de los sistemas punto a punto y no de manera global tal y como se hace actualmente.

8.6 Implementar sistemas de control automático tipo variadores de frecuencia o de velocidad, que permitan a los sistemas de refrigeración funcionar de manera controlada según su necesidad y no de manera continua, tal y como se hace actualmente, esto garantizará el ahorro de energía.

8.7 Es necesario que se realice un mejor manejo de la información energética, que se obtiene diariamente de los equipos que intervienen en el proceso, se recomienda que los datos sean digitalizados, esto garantizará contar con una base de datos que permita realizar a futuro una evaluación más rápida, precisa y acorde a las condiciones reales de la planta.

8.8 Se recomienda a futuro realizar una auditoria energética en el área eléctrica con la planta en pleno funcionamiento, de la cual se puedan obtener datos reales y más confiables, y así lograr mejores resultados económicos.

9. Referencias bibliográficas

- CORANTIOQUIA. (20 de Septiembre de 2005). *Plan De Ordenación Y Manejo De La Cuenca Hidrográfica Del Río Buey*. Obtenido de Corantioquia: https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNR_CN_6198_2005.pdf
- Corantioquia. (01 de enero de 2014). *cta.org*. (F. A. Vahos Arias, C. Herrera Barrientos, & M. Delgado Sánchez, Edits.) Obtenido de cta.org: https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/04_PORH_Piedras-TK3.pdf
- Corradine, L. F. (23 de 05 de 2018). *Pesquisa Javeriana*. Obtenido de Pesquisa Javeriana: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/efectos-de-hidroelectricas-urge-una-vision-integral/>
- Empresas Públicas de Medellín. (3 de 05 de 2022). *EPM*. Obtenido de EPM: <https://cu.epm.com.co/institucional/sobre-epm/quienes-somos>
- EPM. (2019). *Filosofía De Operación Bombeo Rio Piedras*. Medellín.
- EPM. (2019). *Filosofía De Operación Bombeo Rio Piedras*. Medellín. Recuperado el 20 de mayo de 2019
- Gana Energía. (27 de 11 de 2019). Obtenido de Gana Energía: <https://ganaenergia.com/blog/ventajas-desventajas-energia-hidraulica/>
- gimanpro.com. (2021). *Gimanpro*. Obtenido de Gimapro: <https://www.gimanpro.com/la-auditoria-energetica/>
- Ingenieros. (27 de 01 de 2015). *Ingenieros.es*. Obtenido de Ingenieros.es: <http://www.ingenieros.es/noticias/ver/iso-500022014-una-herramienta-para-optimizar-el-desarrollo-de-las-auditorias-energeticas/5200#:~:text=La%20nueva%20norma%20ISO%2050002,de%20uso%20de%20la%20energ%C3%ADa.>
- Iniciativa Energía. (2022). Obtenido de Iniciativa Energía: <https://www.iniciativaenergia.mx/eficiencia-energetica/norma-iso-50001>
- Ministerio de Minas y Energía. (29 de abril de 2008). *mincit.gov.co*. Obtenido de mincit.gov.co: <https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-18-0606-de-2008.aspx>
- ministerio de minas y energía. (4 de abril de 2020). *dapre.presidencia.gov.co*. Obtenido de [dapre.presidencia.gov.co](https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20517%20DEL%204%20DE%20ABRIL%20DE%202020.pdf): <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20517%20DEL%204%20DE%20ABRIL%20DE%202020.pdf>
- orientantioqueno.com. (8 de octubre de 2020). *orientantioqueno.com*. Obtenido de [orientantioqueno.com](https://orientantioqueno.com/turismo-en-el-retiro/embalse-la-fe/): <https://orientantioqueno.com/turismo-en-el-retiro/embalse-la-fe/>
- Oxfam Intermón. (s.f.). Obtenido de Oxfam Intermón: <https://blog.oxfamintermon.org/descubre-las-ventajas-y-desventajas-de-la-energia-hidraulica/>
- Portafolio. (2022). En 2021, se marcaron máximos históricos en demanda de energía. *Portafolio*.
- Timoteo, K. L. (s.f.). *SCRIBD*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/409855238/Auditoria-Energetica-Aplicando-La-Norma-ISO-50002-docx>
- Universidad Rey Juan Carlos. (10 de 07 de 2017). Obtenido de Universidad Rey Juan Carlos: <https://urjconline.atavist.com/2017/07/10/spoc-cei-ii-m2-auditorias-energeticas/>
- Universidad Rey Juan Carlos. (10 de 07 de 2017). Obtenido de Universidad Rey Juan Carlos: <https://urjconline.atavist.com/2017/07/10/spoc-cei-ii-m2-auditorias-energeticas/>
- UPME. (Marzo de 2007). *UPME.gov.co*. Obtenido de UPME.gov.co: https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/902/1/upme_217_auditorias_energeticas_2007.pdf
- UPME. (marzo de 2007). *Evaluación y divulgación de una guía didáctica para el desarrollo de auditorías energéticas*,. Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2007, Cundinamarca. Bogotá: Impreso en Colombia - Printed in Colombia. Recuperado el 10 de marzo

- de 2022, de bdigital.upme.gov.co:
https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/902/1/upme_217_auditorias_energeticas_2007.pdf
- UPME. (marzo de 2007). *Guía didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas*. Bogotá: Grafitecnia. Recuperado el marzo de 2007, de upme.gov.co:
https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/902/1/upme_217_auditorias_energeticas_2007.pdf
- UPME. (2007). www.upme.gov.co. Obtenido de www.upme.gov.co:
https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/902/1/upme_217_auditorias_energeticas_2007.pdf
- UPME. (3 de mayo de 2022). upme.gov.co. Obtenido de upme.gov.co:
<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PROURE.aspx>
- Urrego, C. A. (2019). *Estudio De Coordinación De Protecciones De La Estación De Bombeo Rio Piedras*. Antioquia. Medellín: GERS. Recuperado el 20 de mayo de 2019
- Vargas Nieto, M. D. (12 de 12 de 2018). *Hidroeléctricas, ¿energía amigable con el medio ambiente?* Obtenido de www.javeriana.edu.co: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/hidroelectricas-energia-amigable-con-el-medio-ambiente/>
- www.upme.gov.co. (2022). Obtenido de www.upme.gov.co:
<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Proyectos-de-eficiencia-energetica.aspx>