

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

SEDE CENTRAL

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**Propuesta de un modelo de gestión de la eficiencia energética en la planta
potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
en Tres Ríos de Cartago, año 2021**

Trabajo final de graduación como requisito para optar por el grado académico de
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Brayan Oporta García

Alajuela, 2021

Universidad Técnica Nacional
Sede Central



Acta de Aprobación 03-2021

En la ciudad de Alajuela, a los 10 días del mes de Noviembre del año 2021 y participando de forma remota, el Tribunal Evaluador conformado por las personas: Ing. Marvin Segura Trejos, Ing. Mauricio Brenes Jiménez, Ing. Charlie Espinoza Matarrita, Ing. Andrés Gutiérrez Mata, Ing. Johnny Willy Romero Padilla, procedieron a evaluar la presentación del proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Electromecánica del estudiante **Brayan Oporta García**, identificación dos cero siete ocho uno cero cero cinco seis (207810056), titulado: “ **Propuesta de un modelo de gestión de la eficiencia energética en la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Tres Ríos de Cartago, año 2021**”, modalidad proyecto de graduación.

El Tribunal Evaluador apegado a las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación de la Universidad Técnica Nacional, realizó la revisión del proyecto del estudiante otorgando una calificación de **9.9**, dando como resultado **Aprobado** (aprobado / reprobado) y además confiriendo una **Mención Honorífica** al estudiante por la calificación obtenida y por cumplir con los requisitos para recibir la distinción mencionada de acuerdo al artículo 37 de excelencia Académica del reglamento de Trabajos finales de graduación de la Universidad Técnica Nacional.

MARVIN
GERARDO
SEGURA
TREJOS
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
MARVIN GERARDO
SEGURA TREJOS
(FIRMA)
Fecha: 2021.11.10
20:39:51 -06'00'

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Licenciatura Electromecánica

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 17 de setiembre de 2021

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Propuesta de un modelo de gestión de la eficiencia energética en la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Tres Ríos de Cartago, año 2021.” elaborado por el estudiante: Brayan Oporta García, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Suscribe cordialmente,



Charlie Espinoza Matarrita
Nombre del tutor

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha:

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

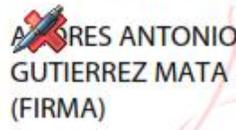
Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Propuesta de un modelo de gestión de la eficiencia energética en la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Tres Ríos de Cartago, año 2021.” elaborado por el estudiante: **Brayan Oporta García**, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Suscribe cordialmente,

 **ANDRES ANTONIO
GUTIERREZ MATA
(FIRMA)** Firmado digitalmente por
ANDRES ANTONIO
GUTIERREZ MATA (FIRMA)
Fecha: 2021.09.07 16:54:12
-06'00'

Andrés Gutiérrez Mata
Nombre del lector

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 22 de octubre de 2021

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

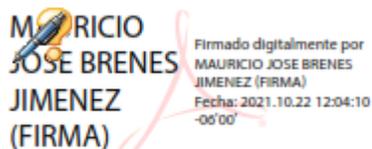
Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Propuesta de un modelo de gestión de la eficiencia energética en la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Tres Ríos de Cartago, año 2021” elaborado por el estudiante: Brayan Oporta García, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Suscribe cordialmente,

 **MAURICIO
JOSE BRENES
JIMENEZ
(FIRMA)**
Firmado digitalmente por
MAURICIO JOSE BRENES
JIMENEZ (FIRMA)
Fecha: 2021.10.22 12:04:10
-06'00'

Ing. Mauricio Brenes Jiménez
Nombre del lector

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL FILÓLOGO
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 23 de setiembre del 2021

Señores
Miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación, denominado: **“Propuesta de un modelo de gestión de la eficiencia energética en la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Tres Ríos de Cartago, año 2021”**, elaborado por el estudiante: **Brayan Oporta García**, para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Corregí el trabajo en aspectos, tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como Trabajo Final de Graduación, por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Se suscribe de ustedes cordialmente,

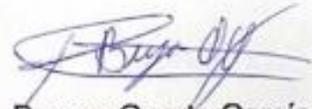


Lic. Zayda Ureña Araya
Cédula: 104230946
Carné: 0163840
Correo electrónico: zaylaud1717@gmail.com

DECLARACIÓN JURADA

El suscrito, **BRAYAN OPORTA GARCÍA** con cédula de identidad número 207810056, declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: Que soy el autor (a) del presente trabajo final de graduación, modalidad memoria; para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica Nacional y que el contenido de dicho trabajo es obra original del suscrito.

Fecha: 23-09-21



Brayan Oporta García 207810056

Nombre del estudiante

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico primeramente a Dios, por ser mi fuente de inspiración y darme la sabiduría necesaria para desarrollar y forjar el proceso de aprendizaje que he finalizado.

A mi mamá, Susana García Rodríguez, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida, que con ejemplo de amor, sacrificio y dedicación se pueden obtener grandes resultados. A mi papá, Cristian Campos Sánchez, le agradezco por los valores inculcados desde mi niñez y que me ha demostrado que con el trabajo honesto se puede lograr un mejor futuro. De ellos me siento orgulloso de ser su hijo, y el éxito alcanzado se debe al sacrificio brindado hacia mí.

También le dedico el trabajo a mi hermano mayor Greivin Oporta García, por lo momentos que hemos vivido y compartido juntos; de él me siento orgulloso y agradecido.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme contar con una familia maravillosa, que han creído en mí, enseñándome la importancia de la superación, perseverancia y sacrificio para alcanzar cada meta propuesta.

También agradezco a los profesores Ing. Charlie Espinoza Matarrita, Ing. Andrés Gutiérrez Mata e Ing. Steve Acosta Fonseca, por su apoyo, confianza, motivación y aportes ofrecidos en el trabajo, quienes me permitieron ejecutar cada proceso con excelencia.

Al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, por la oportunidad de desarrollar mi investigación en la Planta Potabilizadora Tres Ríos, y por brindarme el apoyo del Ing. Mauricio Brenes Jiménez, pues por su asesoramiento y consejos logramos alcanzar lo propuesto.

A mi novia, por apoyarme y creer en mí, durante todo este proceso para la culminación de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I. Introducción	1
1.1. Área de estudio (Delimitación del problema y Justificación)	3
1.2. Pregunta sobre la investigación	6
1.3. Situación actual del conocimiento del tema	7
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
Capítulo II. Marco empresarial	10
2.1. Planta potabilizadora Tres Ríos	10
2.2. Misión	10
2.3. Visión	11
2.4. Organigrama	11
2.5. Proceso productivo de la potabilización Tres Ríos	12
2.5.1. Toma de agua o Cribado	13
2.5.2. Desarenado	13
2.5.3. Cámara de entrada	13
2.5.4. Floculación	17
2.5.5. Sedimentación	18
2.5.6. Filtración	20

2.5.7. Desinfección.....	21
2.5.8. Suministro interno	24
Capítulo III. Marco Teórico	26
3.1. Sistema de Gestión de la Energía (SGE), según Norma ISO 50001:2018 .	26
3.1.1. Planificación de un sistema de gestión energético.....	28
3.1.2. Usos significativos de energía (USEs)	32
3.1.3. Indicadores del desempeño energético (IDEs)	33
3.1.4. Línea base energética (LBE).....	35
3.1.5. Análisis económico.....	36
Capítulo IV. Marco Metodológico	38
4.1. Enfoque metodológico	38
4.2. Tipo de investigación	39
4.3. Formulación de hipótesis o preguntas generadoras	40
4.4. Definición de variables o categorías de análisis	41
4.5. Población (censo o muestra)	43
4.6. Técnicas e instrumentos.....	45
4.7 Desarrollo de la investigación (paso a paso)	46
Capítulo V. Presentación y análisis de resultados.....	51
5.1. Política Energética P.P. Tres Ríos.....	51

5.2. Personal que conforma el comité de gestión de la energía de la P.P. Tres Ríos	52
5.3. Requisitos Legales 4.4.2.....	54
5.4. Revisión Energética 4.4.3	58
5.5. Línea Base Energética 4.4.4.....	69
5.6. Indicadores de Desempeño Energético 4.4.5	83
5.6.1. Indicador de eficiencia energética (IEE).....	83
5.6.2. Indicador de consumo específico de energía (IC)	85
5.6.3. Indicador gráfico de sumas acumulado (CUSUM)	87
Capítulo VI. Conclusiones	90
Capítulo VII. Recomendaciones	92
Bibliografía	93
Apéndices.....	98
Anexos	120

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Planta potabilizadora Tres Ríos	10
Ilustración 2. Organigrama de plantas potabilizadoras	11
Ilustración 3. Descripción del proceso de potabilización en P.P. Tres Ríos	12
Ilustración 4. Mapa de ubicación de equipos planta potabilizadora Tres Ríos. ...	12
Ilustración 5. Cámara de entrada Orosi	14
Ilustración 6. Cámara de Entrada Tiribí	14
Ilustración 7. Bomba dosificadora de sulfato de aluminio	15
Ilustración 8. Bomba dosificadora de polímero	15
Ilustración 9. Zona de floculación	17
Ilustración 10. Bombas agitadoras de sulfato de aluminio	18
Ilustración 11. Proceso de dosificación	18
Ilustración 12. Sedimentación convencional	19
Ilustración 13. Sedimentación laminar	19
Ilustración 14. Proceso de sedimentación	20
Ilustración 15. Bomba de lavado de filtros	21
Ilustración 16. Bomba de lavado de estructuras	21
Ilustración 17. Bombas de cloración	22
Ilustración 18. Zona de desinfección	23
Ilustración 19. Proceso de cloración	23
Ilustración 20. Compresor	24
Ilustración 21. Bomba local	25
Ilustración 22. Modelo de gestión de la energía, según ISO 50001	27

Ilustración 23. Proceso de planificación energética.....	29
Ilustración 24. Resumen del alcance de una revisión energética	31
Ilustración 25. Herramientas y técnicas para la revisión energética	32
Ilustración 26. Proceso del suministro y consumo de energía en un sistema de agua potable típico	33
Ilustración 27. Ejemplo de indicadores de desempeño energético.....	34
Ilustración 28. Relación entre IDEs, LBEs y las metas energéticas	35
Ilustración 29. Fórmula matemática del TIR	36
Ilustración 30. Fórmula matemática del VAN.....	37
Ilustración 31. Fórmula matemática del PRI	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de la investigación.....	41
Tabla 2. Criterio de priorización de proyectos de mejora del desempeño energético	49
Tabla 3. Legislación aplicable en términos energéticos en Costa Rica	54
Tabla 4. Requisitos legales relacionados con la norma INTE/ISO 50001.....	56
Tabla 5. Consumo de energía mensual de la P.P. Tres Ríos (en kWh/mes)	58
Tabla 6. Caudal de agua tratada mensualmente en la P.P, Tres Ríos (en m3/mes)	60
Tabla 7. Datos para la elaboración de un gráfico de control de la P.P. Tres Ríos	62
Tabla 8. Información requerida para la elaboración de una matriz energética.....	64
Tabla 9. Censo de carga de la Planta Potabilizadora de Tres Ríos.....	66
Tabla 10. Datos técnicos de producción y consumo de energía de la Planta Potabilizadora Tres Ríos	69
Tabla 11. Datos de producción y consumo de energía de la Planta Potabilizadora Tres Ríos, con el porcentaje de mejora de desempeño energético en referencia de la línea base	72
Tabla 12. Potencial de ahorro energético anual.....	73
Tabla 13. Criterio de priorización de las propuestas de ahorro energético para lograr una mejora del desempeño energético	76
Tabla 14. Cálculo del indicador de eficiencia energética	83
Tabla 15. Control del consumo específico de energía de la planta.....	85
Tabla 16. Datos para el seguimiento de la planta	87

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Tendencia de consumo eléctrico de la P.P. Tres Ríos (en kWh/mes) .	58
Gráfico 2. Tendencia de consumo eléctrico 2020 (en kWh/mes) y producción de agua tratada (en m3/mes)	60
Gráfico 3. Gráfico de control del consumo eléctrico del año 2020	62
Gráfico 4. Matriz energética de fuentes secundarias de la P.P. Tres Ríos	64
Gráfico 5. Diagrama de Pareto de los consumos equivalentes de energía por área de producción de la P.P. Tres Ríos.....	67
Gráfico 6. Regresión lineal para el consumo de energía.....	69
Gráfico 7. Regresión lineal para el consumo de energía vs. producción.....	73
Gráfico 8. Distribución del ahorro energético entre el total de las oportunidades de mejora del desempeño energético	77
Gráfico 9. Evaluación del indicador de EE en la Planta Potabilizadora Tres Ríos	83
Gráfico 10. Balance del indicador de consumo base y meta con respecto a la producción.....	86
Gráfico 11. Indicador del desempeño energético en la planta	88

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Diseño de la iluminación perimetral en Dialux de la planta 01	98
Apéndice 2. Diseño de la iluminación perimetral en Dialux de la planta 02	99
Apéndice 3. Muestra de colores falsos en Dialux de la planta	100
Apéndice 4. Foto aérea de la planta potabilizadora Tres Ríos.....	101
Apéndice 5. Estimación de la carga a alimentar para el sistema fotovoltaico	102
Apéndice 6. Cálculo de la corriente requerida.....	103
Apéndice 7. Costo de inversión para el sistema fotovoltaico	104
Apéndice 8. Porcentaje de ahorro energético	105
Apéndice 9. Cálculo de materiales para el sistema de iluminación en el proceso	106
Apéndice 10. Estimación de la carga del sistema de iluminación perimetral.	107
Apéndice 11. Costo del consumo actual del sistema de iluminación	108
Apéndice 12. Costo de inversión.....	109
Apéndice 13. Ahorro energético anual estimado.....	110
Apéndice 14. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con la implementación de una mejora potencial que se da por la variabilidad operacional estimada.....	111
Apéndice 15. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con la implementación de un sistema de bombeo solar	112
Apéndice 16. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con la implementación de una mejora en el sistema de iluminación del proceso de la planta	113

Apéndice 17. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con la implementación de una mejora en el sistema de bombeo en el proceso de cloración	114
Apéndice 18. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con el cambio de tarifa de T-CO a TMT	115
Apéndice 19. Resumen de oportunidades de mejoramiento del desempeño energético encontradas	116
Apéndice 20. Distribución de las propuestas de ahorro energético	117
Apéndice 21. Diagrama del sistema de bombeo en el proceso de cloración 1 ..	118
Apéndice 22. Diagrama del sistema de bombeo en el proceso de cloración 2 ..	119

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Parámetros del indicador de eficiencia energética	120
Anexo 2. Cotización de arranque electrónico con variador de frecuencia para el sistema de bombeo de cloración.....	121
Anexo 3. Radiación solar presente en Tres Ríos de Cartago en el año 2019	122
Anexo 4. Ficha técnica del panel fotovoltaico de 450w	123
Anexo 5. Diagrama para el seguimiento y verificación de los indicadores de desempeño energético.....	124
Anexo 6. Oferta para los materiales del sistema iluminación proceso.....	125
Anexo 7. Ecuación para el cálculo de los límites.....	126
Anexo 8. Radiación solar de la base Itzarú Cartago.....	127
Anexo 9. Criterio de selección de proyectos según la tasa interna de retorno ...	128
Anexo 10. Información técnica de un clorador 1000 PPD	129
Anexo 11. Información técnica de un clorador 500 PPD	130
Anexo 12. Instalación típica que utiliza aguas residuales recirculadas para operar el clorador de gas REGAL.....	131
Anexo 13. Proforma de un eyector 1000 PPD.....	132
Anexo 14. Proforma de un eyector 500 PPD.....	133
Anexo 15. Presiones del sistema de bombeo de cloración en la planta Tres Ríos	134
Anexo 16. Estimación de ahorro energético anual por cambio de tarifa.....	135
Anexo 17. Carta de Autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación Universidad Técnica Nacional 1.	136

Anexo 18. Carta de Autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación Universidad Técnica Nacional 2. 137

RESUMEN

La presente investigación muestra la planificación energética basada en la norma ISO 50001, en una planta potabilizadora de Acueductos y Alcantarillados, donde se desarrolló una estrategia coherente con la política energética para mejorar la eficiencia energética.

En las visitas de revisión energética, realizadas a la planta potabilizadora de Tres Ríos, se determinó un análisis de los criterios de evaluación en dirección al comportamiento de la tendencia de los consumos y usos de la energía, para identificar los principales usos significativos. Asimismo, se desarrolló un plan estructurado que implica cálculos técnicos, análisis económicos y financieros, para mostrar un criterio de priorización de las propuestas energéticas, con el propósito de convencer a la gerencia de invertir dinero para obtener beneficios con retornos de inversión.

A su vez, se establece una línea base energética para mostrar una proyección del comportamiento del consumo eléctrico en relación con la producción, con el fin de tener una referencia ante cambios importantes en los patrones de operación de la planta, y ser verificada con los indicadores de desempeño energético para proporcionar una orientación sobre el avance de la implementación del SGEEn (Sistema de Gestión de la Energía).

En total, se cuenta con cinco oportunidades de mejora, dentro de las cuales tres no requieren inversión inicial, y las otras dos tienen un rango de recuperación de la inversión menor a los tres años y medio, logrando ahorros energéticos anuales

en el consumo eléctrico de 95 352.41 kWh/año, y se estiman ahorros que ascienden a los ₡10.463.021,00 (de colones) anuales por la implementación de las propuestas de mejora del desempeño energético.

Capítulo I. Introducción

La planta potabilizadora Tres Ríos, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, actualmente carece de información de un modelo de gestión de eficiencia energética; por esa razón es importante un estudio, donde se puedan obtener los principales consumidores de energía, y para eso es necesaria la recolección de información acerca de los equipos consumidores de energía.

La información se debe analizar para el consumo actual de la planta, donde se obtenga un panorama real, claro y conciso, para medir esos posibles indicadores de consumo. También es importante verificar el correcto funcionamiento de los equipos de la planta de tratamiento de agua, y así poder proyectar mejoras o cambios en el equipo consumidor de energía en la producción del agua potable, para que el proceso funcione de una manera eficiente en términos de energía eléctrica.

Dicho estudio permite cuantificar un porcentaje de ahorro energético en la planta de Tres Ríos, y así tener una dimensión de hasta dónde se puede llegar con la reducción de la facturación energética mensual. También, plantear posibles hipótesis para valorarlas al final del trabajo de investigación, con el propósito de proyectar posibles proyectos de ahorro energético en la parte de motores, aire comprimido, iluminación, energías renovables, entre otros. Como resultado final, se tiene que obtener una vista o idea del retorno de inversión, ya sea a corto, a mediano o a largo plazo desde el punto de vista económico, lo que hace que este tema sea de gran interés para el desarrollo eficiente.

En términos generales, la mejora continua del desempeño energético y del sistema de gestión de energía en las instalaciones del AyA, ofrece la optimización del servicio; es decir, brinda un mejor o igual servicio (producción), pero haciendo uso de menos energía.

El gasto de energía eléctrica demandado en una planta básicamente depende de factores importantes, como la capacidad de la planta, la tecnología empleada en las etapas de tratamiento, la antigüedad de los equipos y el estado de operación de los equipos eléctricos.

1.1. Área de estudio (Delimitación del problema y Justificación)

Actualmente, en la planta potabilizadora Tres Ríos, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), existe un panorama deficiente sobre el consumo y uso de la energía; en otras palabras, no hay control de la eficiencia energética. Dicho estado es importante, porque es necesario para garantizar un funcionamiento energético, eficiente y eficaz en el proceso de tratar el agua cruda que se dirige hacia las comunidades de la Gran Área Metropolitana (GAM). Por ello, se debe asegurar la capacidad de diagnosticar los indicadores de desempeño energético, en condiciones determinadas durante un tiempo, sin afectar el funcionamiento de los equipos para la mejora continua.

Por lo general, en las plantas de tratamiento se carece de información al detalle acerca de los principales equipos consumidores de energía. Pero en estos momentos el AyA está trabajando para tener un control del uso racional de la energía, y para ello se quieren mejorar los excedentes energéticos en la planta, reducir el consumo de la facturación eléctrica mensual y, además, ver un impacto significativo en la disminución de los gases contaminantes que afectan al medio ambiente, provocados por el efecto invernadero. Esto aporta al país en temas de llegar a ser carbono neutral, como se menciona en el *Plan nacional de desarrollo*: “Reducir la dependencia de combustibles importados, aprovechar mejor las fuentes de energía renovable del país y llegar a producir el 100% de la electricidad del país a partir de fuentes de energía renovables” (Dengo Obregón, 2006-2010, p. 80).

Se pueden aportar mejoras a la institución con la implementación y aprovechamiento de las energías renovables, con el fin de ayudar a mejorar el trato

con el medio ambiente, donde se puede sensibilizar a las personas sobre la importancia de este tema.

Para ello, el AyA tiene un compromiso con la población y con las generaciones futuras, de ayudar con el cambio climático y poder optimizar el consumo y uso de energía en sus instalaciones, así como mejorar el desempeño energético, junto con la seguridad energética, establecidos en la *Política nacional para el subsector de agua potable de Costa Rica 2017-2030* (2016), por el AyA, donde se define como uno de los cuatro ejes, la inversión en infraestructura y servicio. Pero también, tiene como meta trabajar en la mejora de la problemática, pero sin afectar la operatividad y el confort de las personas (p. 16).

Con base en lo anterior, se debe planificar una serie de actividades para conocer y establecer un nivel energético en la planta potabilizadora Tres Ríos, y para ello se debe reunir la información del consumo de energía, ligado a la determinación de la línea de base energética, así como de los indicadores de consumo energético, con el fin de analizar y graficar la información acerca de los usos significativos de la energía, detallados en las revisiones energéticas. Al final de la planificación, se debe hacer un análisis económico sobre los proyectos que mejoren la eficiencia energética.

En resumen, el problema que impulsa a ejecutar la presente investigación es aportarle a la Institución una planificación de un sistema de gestión de la eficiencia de energía en la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Tres Ríos de Cartago, para poder aplicar acciones y aportes de

mejora en puntos estratégicos donde se obtenga un mayor impacto positivo en términos sociales, económicos y ambientales.

1.2. Pregunta sobre la investigación

¿Qué impacto puede tener la planeación de un Sistema de Gestión Energético en la Planta Potabilizadora Tres Ríos, que pueda demostrar los indicadores de desempeño energético y la mejora continua en el sistema actual?

1.3. Situación actual del conocimiento del tema

El *Plan Nacional de Energía 2015-2030* (2015), del MINAE, quiere generar cambios significativos en la gestión actual de la eficiencia energética, para elevar y concientizar acerca del ahorro energético, con el fin de avivar el desarrollo de energía renovables para el autoconsumo y generación distribuida en el país, para lograr un impacto en las identidades públicas del sector electricidad y obtener una matriz de generación energética autosostenible en el tiempo de la demanda de energía.

El eje En la senda de la eficiencia energética se enfoca en el logro de un mayor nivel de eficiencia de la matriz eléctrica actual. Los objetivos apuntan tanto al aumento en la eficiencia por el lado de la demanda, como al aumento de la eficiencia energética por el lado de la oferta. (MINAE, 2015, p. 4)

En el tema de seguridad y calidad energética, el Gobierno quiere ofrecer precios competitivos, en comparación con otros países del mundo. Lo mencionado anteriormente, no puede ser alcanzado si no se hace cambio de los hábitos y prácticas de uso de la energía; es decir, sensibilizar a la población sobre el mal uso de la energía y los impactos negativos que se generan al medio ambiente.

En Costa Rica se ha establecido el tema energético y, dentro de este tema, el de la eficiencia energética como parte de los programas en la educación básica. Para esto se desarrollaron en el pasado guías didácticas para los profesores, así como softwares educativos para los estudiantes. Sin embargo, en años recientes no se han actualizado los

contenidos de estos programas y, por otro lado, no se tiene clara la efectividad de estos. (MINAE, 2015, p. 26)

La única forma de atacar el problema desde la raíz es realizarles un cambio de mentalidad a las nuevas generaciones, pero a su vez se deben hacer esfuerzos en la actualización de estos programas, con el fin de tener resultados eficientes y eficaces. Pero también se deben crear programas para las generaciones actuales, adaptables para el presente, porque, de lo contrario si se sigue haciendo mal uso de la energía, se seguirá contribuyendo con la contaminación ambiental acelerada, ya que la matriz de generación eléctrica, que es el conjunto de energías de generación que abastecen la demanda energética, no podrá ser enfocada o adaptada a una mayor eficiencia por el uso desequilibrado de la energía.

Costa Rica, a nivel mundial, es un país reconocido por el alto porcentaje de energía renovable utilizada para la generación eléctrica del autoconsumo en él.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Investigar el impacto de la planeación de un Sistema de Gestión Energético con un enfoque del desempeño energético de la Planta Potabilizadora Tres Ríos, para el conocimiento de los indicadores actuales y su mejora continua según la Norma ISO 50001, durante el 2021.

1.4.2. Objetivos específicos

Elaborar una matriz energética de los equipos con una alta participación en el consumo eléctrico que representen los Usos Significativos de Energía (USEs) en la planta de tratamiento, para la obtención de información acertada de las tendencias del consumo histórico, y sirva como base para el diagnóstico de los Indicadores del Desempeño Energético (IDE).

Establecer una Línea Base de Energía (LBE) para la evaluación del desempeño energético de la planta, usando la información obtenida en las revisiones energéticas en el campo, tomando en cuenta los USEs y los IDEs.

Determinar una serie de proyectos que mejoren los indicadores de consumo energético, con un retorno de inversión, trayendo consigo una mejora en la eficiencia del sistema energético actual, para una toma de decisión de alta gerencia como posibles oportunidades de ahorro.

Clasificar la serie de proyectos de mejora en un orden de importancia según su eficiencia energética y su impacto en el retorno de inversión para la alineación de un plan de acción en la planta potabilizadora de Tres Ríos.

Capítulo II. Marco empresarial

2.1. Planta potabilizadora Tres Ríos

La planta potabilizadora Tres Ríos está ubicada en Dulce Nombre de Tres Ríos, en Cartago. Actualmente abastece a los cantones de Alajuelita, Aserrí, Curridabat, Desamparados, Goicoechea, Montes de Oca, Moravia, San José, Tibás, Vásquez de Coronado y La Unión. La cantidad de agua tratada en esta planta logra alcanzar aproximadamente a 531 521 habitantes. En la Gran Área Metropolitana (GAM) es la planta más grande en cuanto a producción de las 17 plantas potabilizadoras existente ahí.



Ilustración 1. Planta potabilizadora Tres Ríos

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Misión

“Asegurar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país” (Espeleta, 2018, p. 6).

2.3. Visión

“Ser la institución pública de excelencia en rectoría y gestión de los servicios de agua potable y saneamiento para toda la población del país” (Espeleta, 2018, p. 6).

2.4. Organigrama

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS ORGANIGRAMA DE PLANTAS POTABILIZADORAS

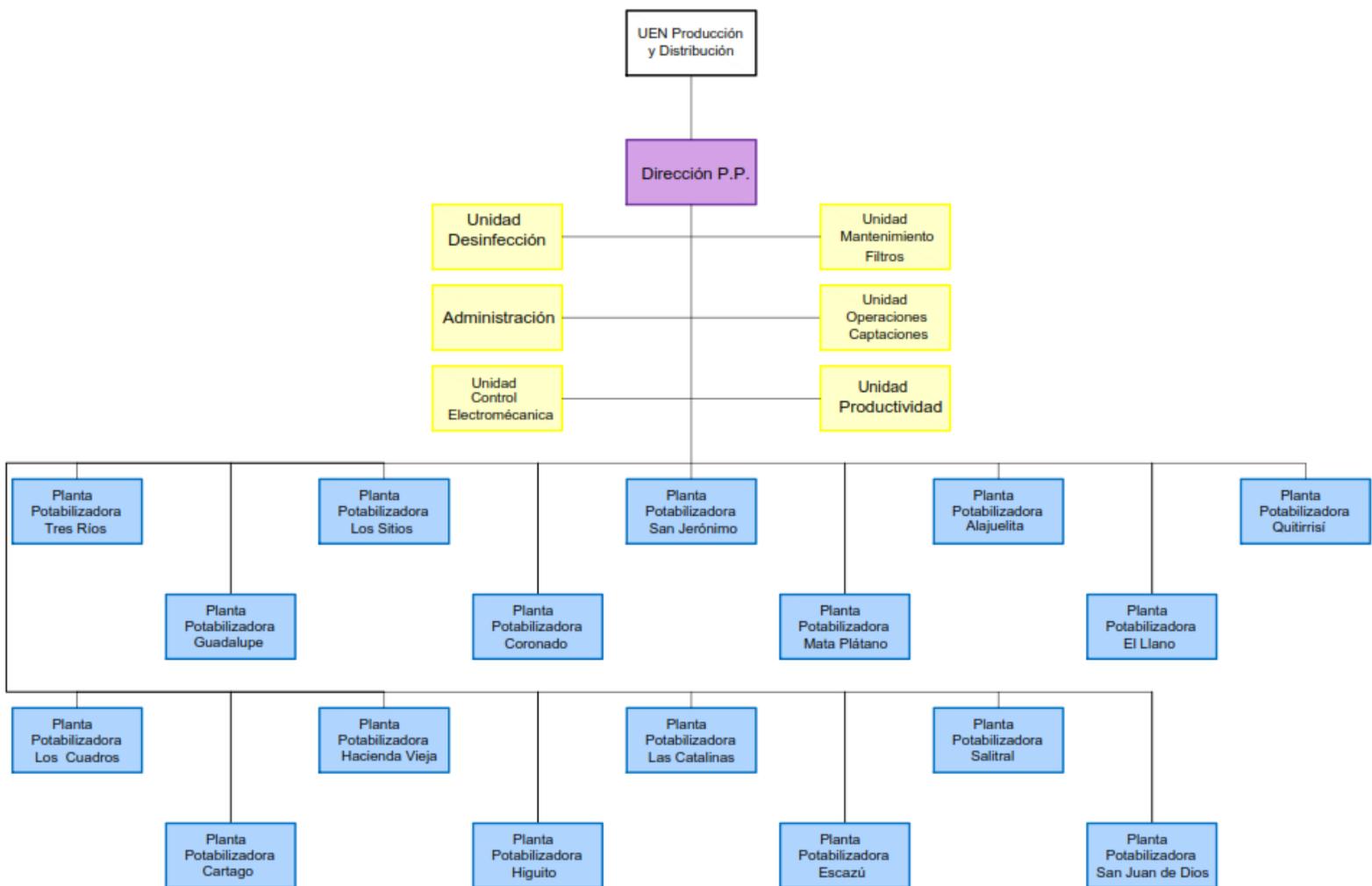


Ilustración 2. Organigrama de plantas potabilizadoras

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Proceso productivo de la potabilización Tres Ríos

Proceso de la Planta P. Tres Ríos

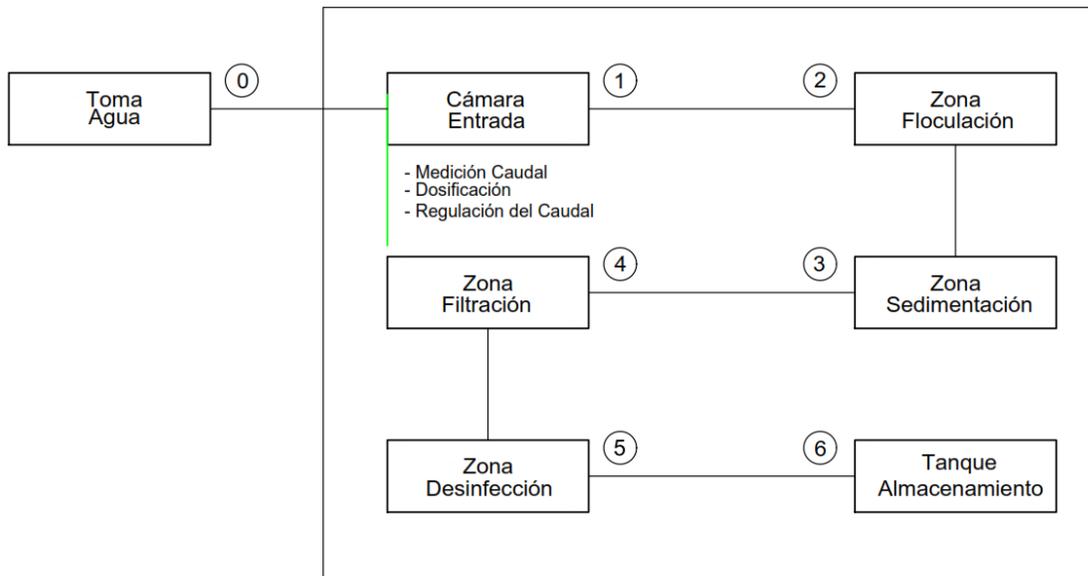


Ilustración 3. Descripción del proceso de potabilización en P.P. Tres Ríos
Fuente: Elaboración propia.

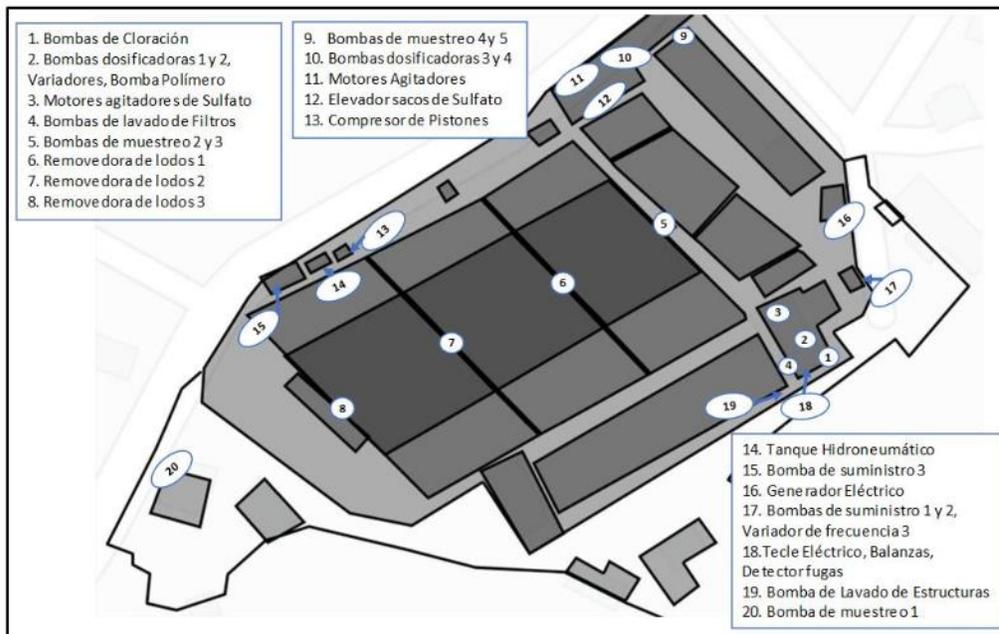


Ilustración 4. Mapa de ubicación de equipos planta potabilizadora Tres Ríos.
Fuente: Fernández Carrillo (2018).

2.5.1. Toma de agua o Cribado

En esta etapa se capta el agua desde una fuente superficial. En el caso de la Planta Potabilizadora de Tres Ríos se cuenta con dos fuentes, el Río Tiribí y el Embalse del Llano de Orosi. En la toma ocurre la primera separación de materia grande (troncos, piedras, hojas, palos).

2.5.2. Desarenado

El agua después de la separación es llevada a un tanque, para crear una especie de captación, eliminación o disminución de contenido de arena que encuentra en el agua, por medio de la precipitación. Este fenómeno se logra gracias al tiempo de retención de la estructura de desarenación, que consiste en el tiempo que tarda en desplazarse una gota de agua que ingresa a la unidad desde la tubería de entrada, hasta la tubería de salida. Es durante este lapso que los sólidos de mayor tamaño (en su mayoría arena), precipitan, acumulándose el fondo del tanque.

Para evitar el arrastre de los lodos precipitados con el agua clarificada, se programa un mantenimiento mensual de la unidad.

2.5.3. Cámara de entrada

El agua cruda es transportada por tubería desde el desarenador hasta la planta potabilizadora, donde llega a una estructura llamada cámara de entrada. En este módulo existe un salto hidráulico, donde se crea una turbulencia, con el fin de generar la mezcla rápida entre el agua cruda y el sulfato de aluminio dosificado. Este reactivo cuenta con carga eléctrica positiva y la suciedad presente en el agua cruda tiene carga eléctrica negativa, por lo que el sulfato de aluminio funciona como un coagulante que agrupa la suciedad en pequeñas partículas llamadas “floc”.



Ilustración 5. Cámara de entrada Orosi
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 6. Cámara de Entrada Tiribí
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 7. Bomba dosificadora de sulfato de aluminio
Fuente: Elaboración propia.

También se dosifica el polímero, el cual se encarga de ayudar a la coagulación para que el sulfato de aluminio se agrupe con la suciedad. A su vez, se dosifica cal para regular el pH, porque el pH tiene un papel importante en la floculación. Todo esto puede variar dependiendo de las propiedades del agua cruda.



Ilustración 8. Bomba dosificadora de polímero
Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo la preparación y dosificación de insumos químicos, es necesario utilizar una serie de equipos electromecánicos; por ejemplo, para la preparación de la solución de sulfato de aluminio se concentran tolvas de 15m³ vertiendo sacos de 25kg. Para su disolución se utilizan dos motores agitadores, uno vertical y otro inclinado, colocados al centro y en el borde de la tolva respectivamente.

Los equipos pueden variar para cada planta; en este aspecto Tres Ríos tiene: dos bombas dosificadoras, seis motores agitadores de sulfato, variadores de frecuencia en las dosificadoras. Cada equipo está dimensionado según la aplicación requerida.

En la cámara de entrada se lleva a cabo la medición de caudal de agua cruda, la cual es una de las variantes que determinan la dosificación de reactivos, además permite hacer una comparación entre el agua que ingresa a la planta versus el agua que sale con calidad potable.

En algunos casos se da la regulación del caudal, porque las bombas dosificadoras se encuentran trabajando a máxima capacidad, y si el agua que entra viene con gran cantidad de materia residual y la planta no tiene la capacidad de remover esos desechos, el operador cierra la válvula para poder limitar el caudal de entrada y aumentar el tiempo de retención, para responder de la mejor forma, con el fin de potabilizar el agua.

2.5.4. Floculación

En Tres Ríos se cuenta con tres módulos de floculación, donde cada uno tiene diferentes entradas. El agua se fuerza a pasar por un laberinto, con el fin de bajar el gradiente y obtener más tiempo para que se forme el “floc”, a pesar de que la sedimentación se da en una etapa posterior, y ya en la floculación se va realizando la sedimentación, y por eso se llena de lodo el fondo de esta estructura, y se debe realizar un mantenimiento para removerlo. Las dimensiones entre cada canal son diferentes: al principio son más cerradas, después se abren, para drenar más el agua y lograr una pérdida de velocidad, y así realizar la floculación de la mejor manera.



Ilustración 9. Zona de floculación

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 10. Bombas agitadoras de sulfato de aluminio
Fuente: Elaboración propia.

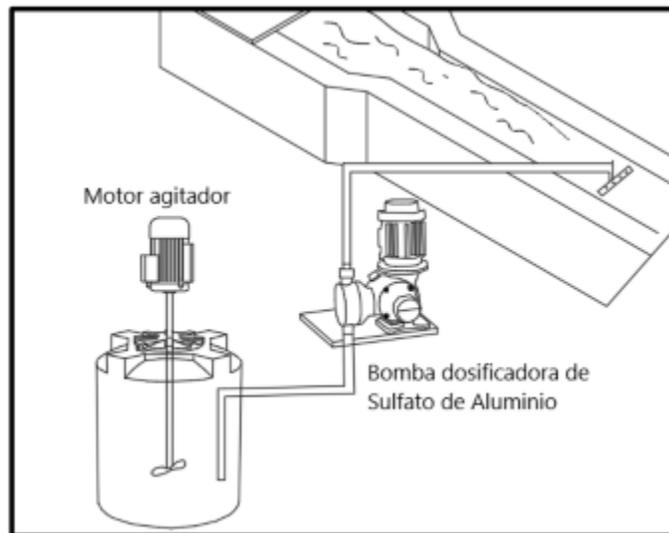


Ilustración 11. Proceso de dosificación
Fuente: Fernández Carrillo (2018).

2.5.5. Sedimentación

La Planta Potabilizadora de Tres Ríos tiene dos tipos de sedimentación:

1. Sedimentación convencional, en el cual se encuentra un tanque grande, donde el agua entra por un lado y al lado contrario tiene su salida, repitiendo

el proceso como el de un desarenador, en el cual, durante el avance del agua se precipita el "floc"



Ilustración 12. Sedimentación convencional
Fuente: Elaboración propia.

2. Sedimentación laminar, en la que se utilizan láminas o pantallas. El nombre que se le da al proceso es porque se logra un flujo laminar en el agua. Dentro de cada tanque hay tubos colectores, donde se colecta el agua más superficial por medio de la succión, y con las láminas se logran atrapar las partículas, para que se precipiten y no suban a la superficie.



Ilustración 13. Sedimentación laminar
Fuente: Elaboración propia.

Los equipos consumidores de energía se asocian a un sistema de remoción de lodos, que permite el barrido de estos de forma mecánica, por medio de un motor reductor y un sistema de transmisión.

En este proceso, al final se reúnen las partes de Tiribí y Orosi, una mezcla de la sedimentación de ambos procesos para iniciar la parte de filtración unidas.

Equipo de motores en el proceso

1. Removedor de lodos

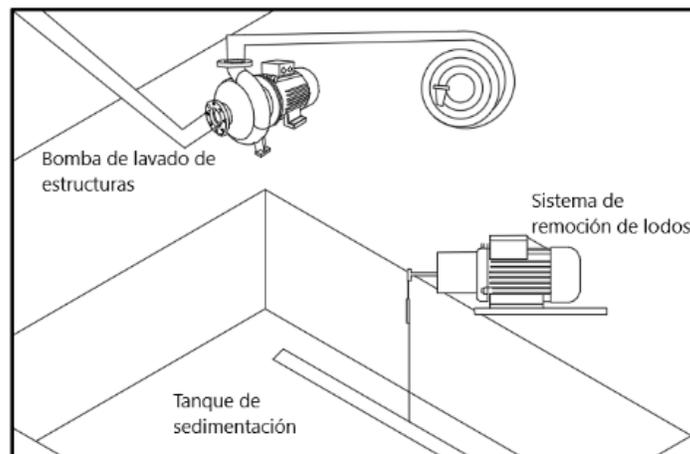


Ilustración 14. Proceso de sedimentación

Fuente: Fernández Carrillo (2018).

2.5.6. Filtración

Los filtros consisten en estructuras conformadas por capas de grava, arena y antracita de diferentes granulometrías, a través de las cuales se hace pasar el agua con la finalidad de retirar la suciedad que no ha sido posible remover con las etapas anteriores. Esta suciedad queda atrapada en los poros de los granos de arena y son evacuados del sistema cuando los filtros llegan al punto de acolmatamiento, por medio de un retrolavado de las unidades. En resumen, en esta

etapa se realiza un pulido al agua, después del cual adquiere la apariencia cristalina del agua potable.

Equipos de bombas en el proceso

1. Lavado de estructuras.
2. Bomba de limpieza de filtro.



Ilustración 15. Bomba de lavado de filtros

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 16. Bomba de lavado de estructuras

Fuente: Elaboración propia.

2.5.7. Desinfección

La desinfección es la última etapa del proceso de potabilización. En esta planta se toma una parte del agua filtrada y por medio de una bomba centrífuga se aumenta

la presión del fluido, con el fin de hacerlo pasar por una boquilla venturi que se encarga de extraer el gas cloro del contenedor.

El gas cloro actúa como un desinfectante que elimina los microorganismos patógenos que pueden ser perjudiciales para la salud de los consumidores. Además aporta un efecto residual que representa un seguro que viaja con el agua hasta su punto de consumo y se activa en caso de que entre en contacto con algún contaminante.

En la planta de Tres Ríos se utiliza un tecele eléctrico, para movilizar los contenedores de almacenamiento de cloro líquido; en cada salida de los tanques se instala una resistencia, que permite elevar la temperatura del cloro hasta la obtención de gas cloro.



Ilustración 17. Bombas de cloración
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 18. Zona de desinfección
Fuente: Elaboración propia.

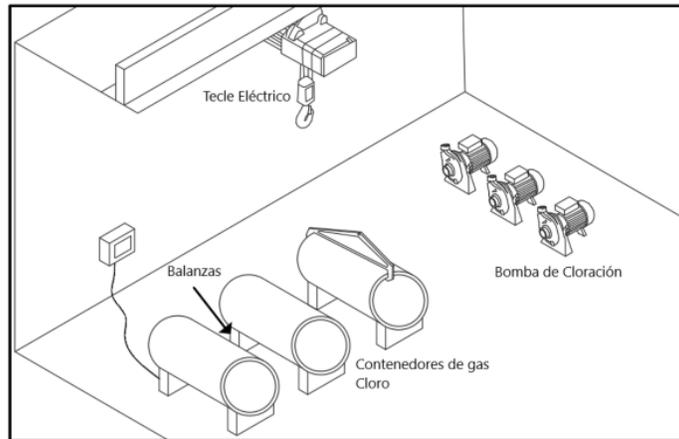


Ilustración 19. Proceso de cloración
Fuente: Fernández Carrillo (2018).

Equipo de bombas en el proceso

1. Cloración.
2. Dosificadora de sulfato.
3. Muestreo de salidas.

Equipo de motores en el proceso

1. Elevador de sacos de sulfato.
2. Teclé eléctrico.

2.5.8. Suministro interno

En la planta potabilizadora Tres Ríos hay equipos fuera del proceso de potabilización que se encargan de suplir las necesidades internas de la planta. A continuación, se detallan los equipos fuera del proceso:

1. Bombas de suministro TH.
2. Compresores y tanque hidroneumático.
3. Generador eléctrico.



Ilustración 20. Compresor
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 21. Bomba local
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo III. Marco Teórico

El marco teórico que se presenta permite conocer los conceptos básicos, para una comprensión clara y concisa acerca del presente proyecto.

3.1. Sistema de Gestión de la Energía (SGE), según Norma ISO 50001:2018

La norma ISO 50001:2018 define que el sistema de gestión de la energía es un sistema de gestión interrelacionado, que logra establecer una política energética, objetivos, metas energéticas, planes de acción y procesos para alcanzar los objetivos, con el fin de poder mejorar su desempeño energético de manera continua.

La ejecución de un SGE, según la norma ISO 50001, es un instrumento apreciado por muchas empresas, ya que se propone mejorar el desempeño energético, y con esto las motiva por la reducción de costos, así como por el perfeccionamiento del desarrollo sostenible.

La norma de un sistema de gestión energético se caracteriza por su ciclo de mejora continua, la cual está basada en los verbos planificar, hacer, verificar y actuar, y la ejecución de este ciclo se garantiza por la mejora del desempeño energético.

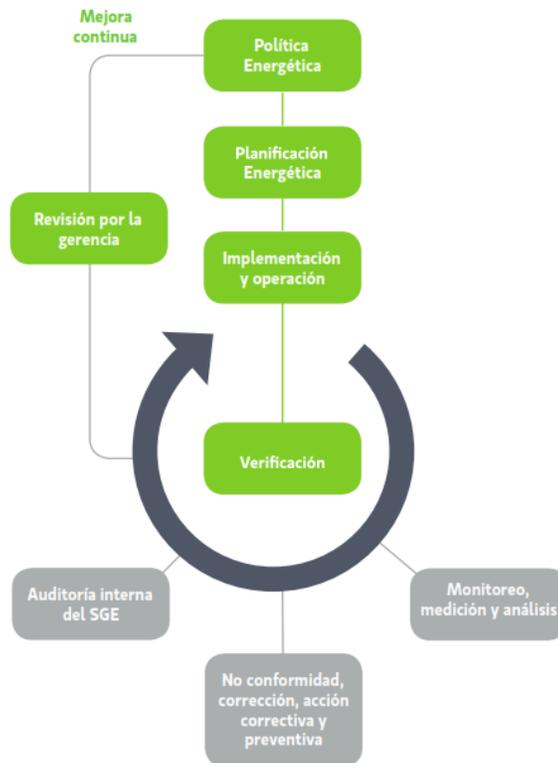


Ilustración 22. Modelo de gestión de la energía, según ISO 50001

Fuente: de Laire, Fiallos, y Aguilera (2018).

También es importante destacar que la base de un SGE es la etapa de planificación; por eso tiene que ser bien construida, porque de ahí se obtienen las herramientas necesarias para la identificación de los usos significativos de la energía; además, proporciona información veraz y acertada de las tendencias del consumo, requeridas para establecer una línea base de energía, donde se evalúa el comportamiento del desempeño energético.

Algunos beneficios que traerá la certificación ISO 50001, entre los más importantes, son:

- Identificar las variables relevantes que afectan la eficiencia en el proceso, combatiéndolas con estrategias que actúan sobre esa ineficiencia.
- Reducción de la factura eléctrica, es decir, reduce los costos de producción.
- Reducción de las emisiones de gases contaminantes al ambiente, ayudando a evitar el cambio climático, favoreciendo la imagen de la organización.
- Ahorro de energía, con posibles proyectos que mejoren la participación de los equipos en el proceso productivo; si fuese necesario, también logra establecer medidas de cambios tecnológicos por equipos de alta eficiencia.
- Mejora la competitividad de la organización.
- Al lograr un ahorro económico, la empresa puede destinar ese capital para mejoras en otras áreas o servicios.

3.1.1. Planificación de un sistema de gestión energético

La planificación de un sistema de gestión de la energía corresponde a las actividades que ayudan a conocer y establecer el nivel energético en función de una revisión energética, donde se puedan identificar posibles proyectos de ahorro energético y oportunidad de mejora. Por eso, la Agencia de Sostenibilidad Energética la define como la capacidad de “reunir la información de consumo de energía y analizarla, con el fin de identificar los usos significativos de la energía y las variables que lo afectan” (de Laire et al., 2018, p. 34). Por lo tanto, de este resultado se espera la definición de controles operacionales y las actividades de seguimiento (medición y análisis) de la organización.

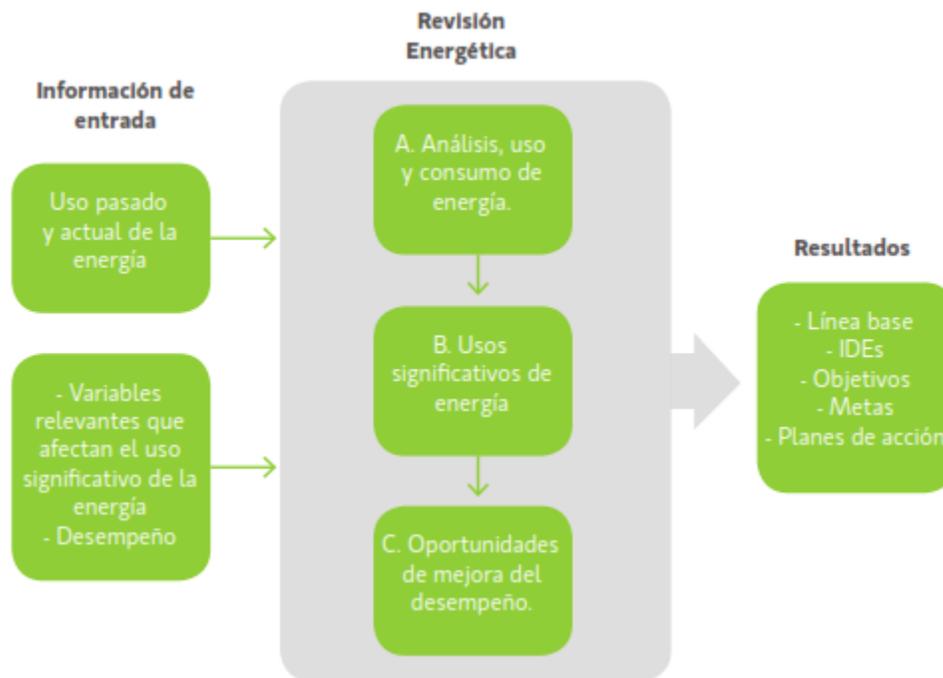


Ilustración 23. Proceso de planificación energética
Fuente: de Laire et al. (2018).

Revisión energética

La revisión energética permite detallar el uso de la energía eléctrica utilizada en la industria para el desarrollo del proceso. La magnitud de la revisión energética depende de los recursos para la ejecución, así como del tamaño del recinto. “La revisión energética es un proceso de identificación de los usos y consumos de energía y sus niveles de eficiencia asociados” (de Laire et al., 2018, p. 39). La organización debe ejecutar, inspeccionar y conservar una revisión energética.

Es una etapa importante de la planificación de un sistema de gestión de la energía, porque permite establecer un panorama claro de los procesos, donde el consumo eléctrico se realiza de manera ineficiente, además de que forma las variables para la línea base. Para realizar una excelente revisión energética, la *Guía*

de implementación de sistemas de gestión de la energía basada en ISO 50001 menciona varias actividades para desarrollarse (de Laire et al., 2018, p. 39):

1. Recopilar información para determinar los diferentes usos finales de la energía y los diversos tipos de energía consumidos (uso y consumo).
2. Recopilar datos de consumo y costos históricos a nivel general, y si es posible, separados por los principales procesos.
3. Recopilar datos sobre producción, listado de equipos de consumo energético, parámetros operacionales y gráficos de flujo de procesos.
4. Los datos que se recopilen y analicen deben representar el consumo de cada uno de los elementos consumidores de energía, y pertenecientes a los límites establecidos para el SGE.
5. En caso de empresas que cuentan con equipos de medición de energía, estos datos históricos deben recopilarse para analizar las tendencias de consumo.
6. Analizar el uso y consumo de energía, de manera que permitan orientar los esfuerzos de mejora continua del desempeño energético de la organización, para las principales oportunidades existentes.
7. La información adecuadamente documentada permitirá que el proceso de revisión del SGE se lleve a cabo de forma efectiva y simplificada.

Los límites de la revisión energética ya son establecidos en la norma ISO 50001:2018. Esos límites se deben definir para la obtención de datos u otro tipo de información, orientada a la tipificación de las oportunidades de mejora. En el libro *Metodología para la planificación energética a partir de la norma ISO 50001 (2018)*,

de Castrillón Mendoza y González Hinestroza (2018), se logra determinar un resumen del alcance de la revisión energética:

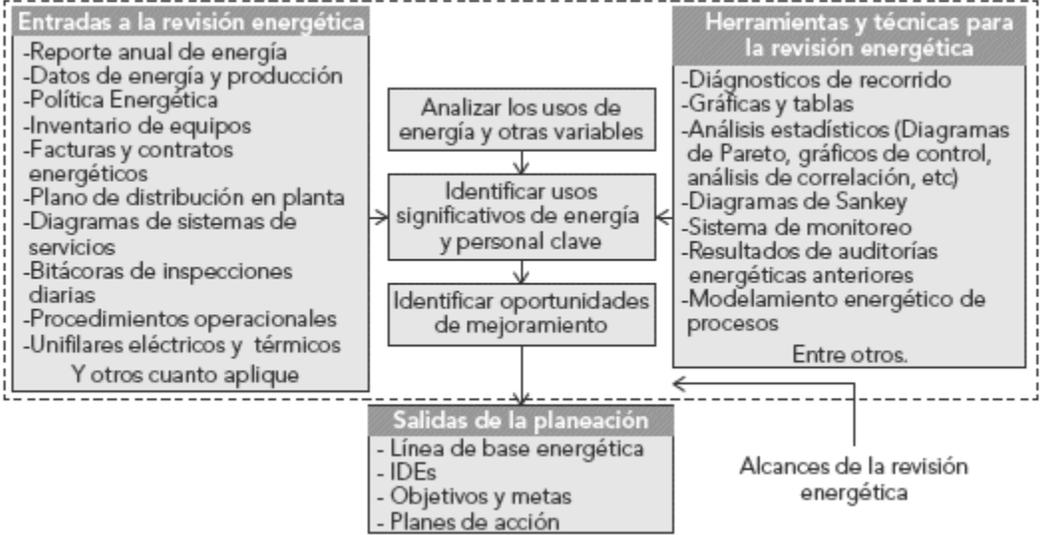


Ilustración 24. Resumen del alcance de una revisión energética

Fuente: Castrillón Mendoza y González Hinestroza (2018). Metodología para la planificación energética a partir de la norma ISO 50001.

El desarrollo de la revisión energética se puede definir en tres etapas: análisis de los usos de energía, identificación de usos significativos de energía e identificación de oportunidades de mejora. Por este motivo, los autores de la metodología para la planificación energética definen una serie de técnicas y herramientas utilizadas para la revisión energética.



Ilustración 25. Herramientas y técnicas para la revisión energética

Fuente: Castrillón Mendoza y González Hinestroza (2018). Metodología para la planificación energética a partir de la norma ISO 50001.

Toda la información suministrada o registrada en una base de datos tiene que ser clara y precisa, para la obtención de resultados confiables.

3.1.2. Usos significativos de energía (USEs)

Este concepto conlleva a definir los USEs como los procesos que tienen mayor participación en el consumo eléctrico, y lo más recomendado es determinar los USEs donde haya alta probabilidades de mejora en el uso eficiente de la energía eléctrica.

Los usos significativos de energía (USEs) son aquéllos [sic] que tienen un consumo sustancial de energía y/o que ofrecen un alto potencial de mejora en el desempeño, por lo que son los puntos en los que la organización debe enfocar su gestión. (de Laire et al., 2018, p. 41)

La determinación de los usos significativos de la energía implica decidir, que constituye en:

1. Sustancial, como un “consumo sustancial” (un balance de energía puede ser un enfoque útil para esto).
2. Considerable, como una “oportunidad considerable para la mejora del desempeño energético” (Castrillón Mendoza y González Hinestroza, 2018, pp. 70-71).

En una planta potabilizadora son necesarios ciertos componentes para la producción, suministro y tratamiento del agua. En la siguiente ilustración se puede observar el consumo de un sistema típico de tratamiento de agua potable, comenzando por el medidor eléctrico hasta cada salida correspondiente, como: motores eléctricos, bombas, entre otros equipos:

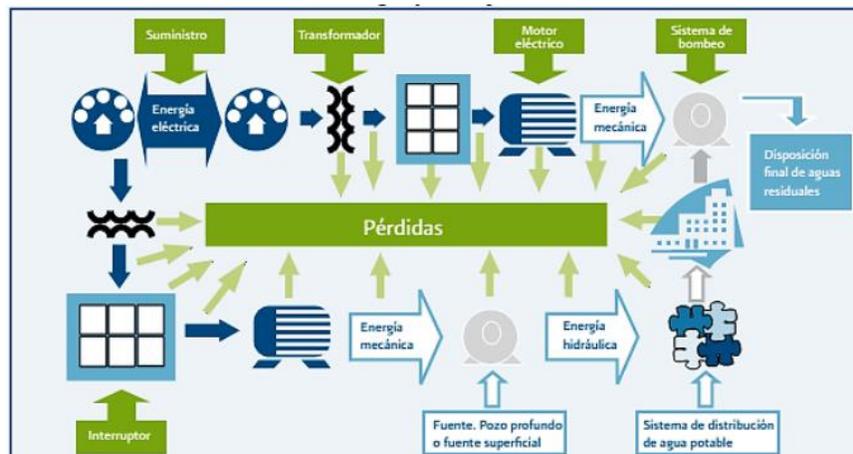


Ilustración 26. Proceso del suministro y consumo de energía en un sistema de agua potable típico
Fuente: *Energética* (2017, p. 13).

3.1.3. Indicadores del desempeño energético (IDEs)

Son utilizados para verificar el desempeño energético de la organización. El desarrollo de los IDEs en el lapso del tiempo indica si las medidas adoptadas en el ámbito del SGE están produciendo resultados positivos sobre las mejoras deseadas

en el desempeño energético, y cada organización puede definirlos de acuerdo con su realidad operativa.

En resumen, se puede decir que los aspectos energéticos en realidad están incluidos en el los valores adquiridos por los indicadores de desempeño energético. Con esta información, se pueden determinar los usos significativos (instalaciones y/o equipos significativos) y establecer objetivos de mejora para un aprovechamiento más eficiente de las instalaciones y una optimización de los consumos de energía. (Jiménez, 2017, p. 31)

Rubro	Fuente de energía	Indicador	Resultado
Iluminación	Electricidad [kWh]	Consumo eléctrico por unidad de superficie	kWh / m ²
	Electricidad [kWh]	Consumo eléctrico por trabajador	kWh / trabajador
Transporte	Combustible [l]	Consumo de combustible por distancia recorrida	km / l
	Combustible [l]	Consumo de combustible por pasajero	(km/l) / pasajero
	Combustible [l]	Consumo de combustible por tonelada transportada	(km / l) / t
Industria	Electricidad [kWh]	Consumo eléctrico por tonelada de producto	kWh / t
	Electricidad [kWh]	Consumo eléctrico por unidad de superficie	kWh / m ²
Energía	Gas natural [Gj]	Gas natural consumido por unidad de producto	Gj / unidad
	Gas natural [Gj]	Electricidad [kWh]	Gj _{gas natural} / kWh _{elec}
	Gas natural [Gj]	Vapor [Gj]	Gj _{gas natural} / Gj _{vapor}

Ilustración 27. Ejemplo de indicadores de desempeño energético

Fuente: de Laire et al. (2018, p. 45).

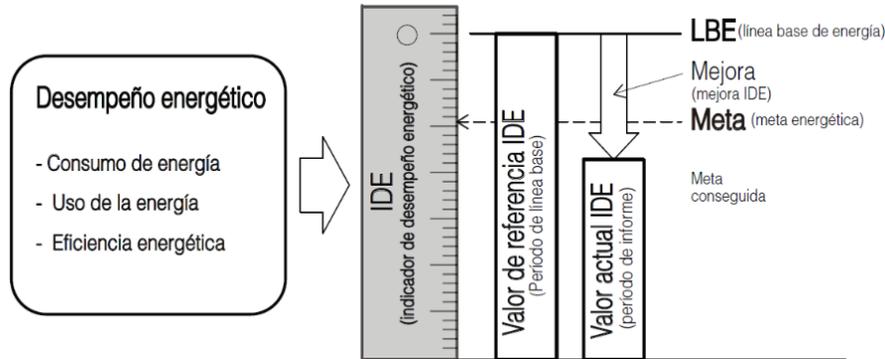


Ilustración 28. Relación entre IDEs, LBEs y las metas energéticas
Fuente: Valencia Musalem y Franjola Lara (2019, p. 12).

3.1.4. Línea base energética (LBE)

Es utilizada como referencia cuantitativa para la evaluación del desempeño energético, con el fin de comparar el uso y la eficiencia energética de un equipo, instalación o planta dentro de los parámetros del SGE. La *Guía implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001*, la define como: “el comportamiento de los IDEs durante un periodo determinado” (de Laire et al., 2018, p. 46).

El desafío que presenta la LBE es definir dicho periodo para realizar los cálculos necesarios, usando la información de las revisiones energéticas, para luego plantearlos con diferentes métodos.

Lo más sencillo, es tomar directamente como línea base el año o período anterior a la primera revisión energética o un promedio de los últimos períodos. También es posible evaluar tendencias en el tiempo y proyectarlas al futuro. Existen empresas, que, por la naturaleza de su operación, aumentan o disminuyen su consumo específico por razones

ajenas al desempeño energético, por lo que, en estos casos, es posible calcular la tendencia y proyectar la LBE. (de Laire et al., 2018, p. 46)

La línea base es una herramienta que ayuda a evaluar el progreso de la implementación de un sistema de gestión de la energía; se puede evaluar mediante indicadores, en este caso por el desempeño energético, donde se implementó una mejora, una buena práctica de operación y mantenimiento, para obtener resultados esperados determinados en los objetivos y metas.

3.1.5. Análisis económico

Realizar un análisis económico permite tener una valoración de la situación económica existente en la organización, con el propósito de determinar los peligros incluidos de corto a medio plazo, para la estabilidad de los precios desde la perspectiva de la oferta y demanda en los mercados de bienes. En el presente estudio se quiere la obtención de un resultado medible sobre la rentabilidad de algunos proyectos, y por eso debe tomar en cuenta los siguientes indicadores económicos:

3.1.5.1. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de interés con la cual el valor actual neto equivale a 0; se puede decir que es un indicador de rentabilidad. Este valor es calculado:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Ilustración 29. Fórmula matemática del TIR
Fuente: Valencia Musalem y Franjola Lara (2019, p. 70).

3.1.5.2. Valor presente neto (VAN)

Es un indicador que trae al valor presente el flujo de efectivo después de la amortización, es decir, representa la rentabilidad absoluta que proporciona un proyecto de inversión.

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

Donde,

- V_t : Flujos de caja en cada periodo
- I_0 : Inversión inicial
- n : Número de periodos considerados (10 años)
- k : Tipo o tasa de interés (12%)

Ilustración 30. Fórmula matemática del VAN

Fuente: Valencia Musalem y Franjola Lara (2019, p. 70).

3.1.5.3. Periodo de Retorno de la Inversión (PRI)

El indicador del PRI presenta el tiempo mínimo en el cual se recupera la inversión, y es el más importante para las organizaciones:

$$PRI = a + \frac{(I_0 - c)}{d}$$

Donde,

- a : Año inmediatamente anterior en el que se recupera la inversión
- I_0 : Inversión Inicial
- c : Flujo de caja acumulado en el año inmediatamente anterior en el que se recupera la inversión
- d : Valor presente del flujo de caja del año en el que se recupera la inversión

Ilustración 31. Fórmula matemática del PRI

Fuente: Valencia Musalem y Franjola Lara (2019, p. 71).

Capítulo IV. Marco Metodológico

En el capítulo IV de la presente investigación, se detallan varias peculiaridades utilizadas para el desarrollo de esta, con el propósito de exponer los métodos teóricos y prácticos para el análisis del problema tratado, logrando la resolución del problema.

4.1. Enfoque metodológico

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, porque representa un conjunto de procesos en forma secuencial y probatoria, donde se sigue un patrón de manera detallada y no se puede quitar alguna etapa, todo con el fin de medir las variables obtenidas para un análisis detallado con métodos estadísticos, donde se logra una cadena de conclusiones. El objetivo del siguiente texto es dar a conocer el enfoque cuantitativo.

Los autores Fernández Collado, Baptista Lucio y Hernández Sampieri (2014, p. 4), señalan que el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Por otra parte, Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018, p. 5) refieren que el enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos organizado de manera secuencial para comprobar ciertas suposiciones. Cada fase precede a la siguiente y no se pueden eludir pasos; el orden es riguroso, aunque desde luego, se puede redefinir alguna etapa.

Con base en lo anterior, se puede decir que el enfoque cuantitativo es el idóneo para la investigación, debido a que la misma está compuesta por un proceso donde engloba una serie de pasos, tales como: planteamiento del problema, preguntas de la investigación, objetivos, desarrollo del marco teórico y metodológico, planteamiento de hipótesis y definición de las variables, desarrollo de la investigación, selección de la muestra, recolección de los datos, análisis de los datos y conclusiones, como reporte de los resultados, con el propósito de resolver la problemática.

4.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva, debido a que se recolecta información en las revisiones energéticas para apreciar el comportamiento de los usos significativos de la planta de tratamiento (listado de equipos), registros históricos del consumo de energía, costos energéticos de la empresa del suministro eléctrico, planos unifilares actualizados, entre otros datos. Así mismo, se debe contar con una línea base para comparar el desempeño energético, donde se evalúe el consumo, el uso y la eficiencia energética del equipo. Por último, se debe realizar la debida verificación del desempeño energético de la organización, con los indicadores del desempeño energético.

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables

a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas [sic]. (Fernández Collado et al., 2014, p. 92).

4.3. Formulación de hipótesis o preguntas generadoras

1. ¿Qué variables relevantes inciden en el consumo de energía para identificar los usos significativos de energía en la planta potabilizadora de Tres Ríos?
2. ¿Cuál es la tendencia de consumo histórico de la planta potabilizadora de Tres Ríos, que sirva como base para el diagnóstico de los posibles indicadores del desempeño energético?
3. ¿Qué proceso o equipo tiene mayor porción de consumo de energía para identificar una posible mejora potencial en el uso eficiente de la energía?
4. ¿Cuáles son los factores que inciden para establecer y observar el desempeño energético sobre la línea base, durante un periodo de tiempo determinado en la planta de tratamiento de agua potable?
5. ¿Cuáles proyectos con nuevas tecnologías de alta eficiencia se pueden determinar en las plantas potabilizadoras, trayendo consigo una mejora en la eficiencia del sistema energético actual?
6. ¿Cuál es el retorno de inversión interno esperado en cada posible proyecto determinado, para una mejora de la eficiencia energética?
7. ¿Cuáles son las variables que pueden determinar el orden de priorización de los proyectos con oportunidad de mejora del desempeño energético en la planta potabilizadora de Tres Ríos, impactando positivamente la eficiencia energética?

4.4. Definición de variables o categorías de análisis

Tabla 1. Variables de la investigación

Objetivos	Variables	Dimensión	Indicador
Investigar el impacto de la planeación de un Sistema de Gestión Energético con un enfoque del desempeño energético de la Planta Potabilizadora Tres Ríos, para el conocimiento de los indicadores actuales y su mejora continua según la Norma ISO 50001, durante el 2021.	Sistema de Gestión Energético (SGE).	Planificación.	-Línea base de energía. -Indicadores del desempeño energético. -Objetivos y metas. -Oportunidades de mejora (plan de acción).
Elaborar una matriz energética de los equipos con una alta participación en el consumo eléctrico que representen los Usos Significativos de Energía (USEs) en la planta de tratamiento, para la obtención de información acertada de las	Usos significativos de Energía (USEs).	Matriz de USEs.	kWh por equipo en el diagrama de Pareto.

<p>tendencias del consumo histórico, y sirva como base para el diagnóstico de los Indicadores del Desempeño Energético (IDE).</p>			
<p>Establecer una Línea Base de Energía (LBE) para la evaluación del desempeño energético de la planta, usando la información obtenida en las revisiones energéticas en el campo, tomando en cuenta los USEs y los IDEs.</p>	<p>Eficiencia energética.</p>	<p>1. Consumo de energía. 2. Uso de la energía.</p>	<p>1. Energía consumida/producción.</p>
<p>Determinar una serie de proyectos que mejoren los indicadores de consumo energético, con un retorno de inversión, trayendo consigo una mejora en la eficiencia del sistema energético actual, para una toma de</p>	<p>Indicadores del Desempeño Energético (IDEs).</p>	<p>1. Valor de energía medida. 2. Ratio de valores medidos. 3. Modelos estadístico e ingeniería.</p>	<p>1. Precio de los kWh (análisis de tarifa). 2. kWh/m³, kWh/m², kWh/producto terminado. 3. Parámetros de consumo.</p>

decisión de alta gerencia como posibles oportunidades de ahorro.			
Clasificar la serie de proyectos de mejora en un orden de importancia según su eficiencia energética y su impacto en el retorno de inversión para la alineación de un plan de acción en la planta potabilizadora de Tres Ríos.	Económico. Impacto en la eficiencia energética.	Costos. Mejora del desempeño.	-VAN. -TIR. -PRI. -Indicador de la eficiencia energética.

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Población (censo o muestra)

La población de estudio para esta investigación será la planta potabilizadora de Tres Ríos, la cual cuenta con varios equipos de consumo eléctrico significativos. Dichos equipos ayudarán a establecer una muestra que cumpla con una serie de criterios para el fin del trabajo. A continuación, se detalla cada equipo presente en la planta:

1. Bomba dosificadora 01 (3 kW, 8.82A), Orosi.
2. Bomba dosificadora 02 (3 kW, 8.82A), Orosi.
3. Motor agitador 01 (2 HP, 1.49kW,5.8A), Orosi.
4. Motor agitador 02 (2 HP, 1.49kW,5.8A), Orosi.

5. Motor agitador 03 (2 HP, 1.49kW,5.8A), Orosi.
6. Motor agitador 04 (2 HP, 1.49kW,5.8A), Orosi.
7. Motor agitador 05 (2 HP, 1.49kW,5.8A), Orosi.
8. Motor agitador 06 (1.1/2 HP, 1.12kW,4.8A), Orosi.
9. Elevador de sacos de sulfato, Orosi.
10. Bomba de muestreo (0.75 kW,6A), Orosi.
11. Bomba 01 local (10 HP, 27A), Plantel.
12. Bomba 02 local (10 HP, 27A), Plantel.
13. Bomba de polímero (2 HP, 6.2A), Orosi.
14. Bomba 01 (2 HP, 4.9 A), Orosi.
15. Bomba 02 (2 HP, 4.9 A), Orosi.
16. Cepillo eléctrico (1.5 HP, 15A), Orosi.
17. Bomba dosificadora 01 (3 kW, 8.82A), Tiribí.
18. Bomba dosificadora 02 (3 kW, 8.82A), Tiribí.
19. Elevador de sacos de sulfato, Tiribí.
20. Motor agitador 01 (2 HP, 1.49kW,5.8A), Orosi.
21. Motor agitador 02 (2 HP, 1.49kW,5.8A), Orosi.
22. Bomba 01 (1/2 HP, 3 A), Tiribí.
23. Bomba 02 (1/2 HP, 3 A), Tiribí.
24. Cepillo eléctrico (1.5 HP, 15A), Tiribí.
25. Bomba tanque (1 HP, 8.5A), Plantel.
26. Teclé eléctrico para cloración.
27. Motor de ventilación 01 (1 HP), Cloración.
28. Motor de ventilación 01 (1 HP), Cloración.

- 29. Bomba de cloración 01 (5 HP, 11.5A).
- 30. Bomba de cloración 02 (5 HP, 11.5A).
- 31. Bomba de cloración 03 (5 HP, 11.5A).
- 32. Compresor de aire (10 HP, 28A).
- 33. Bomba tanque presurizado (5 HP, 12.30 A).
- 34. Transformador seco Tiribí (112,5 kVA), 460 a 240 VAC.
- 35. Transformador seco Orosi (150 kVA), 460 a 240 VAC.
- 36. Bomba de lavado 01 (40 HP).
- 37. Bomba de lavado 02 (40 HP).
- 38. Bomba de lavado 03 (5 HP, 13.2 A).

4.6. Técnicas e instrumentos

Para la recolección de la información se utilizan técnicas e instrumentos para el proceso de tabulación y análisis de los datos, donde se pueda determinar el estado de la planta, así como el análisis de la mejora del desempeño. A continuación, se detalla una serie de técnicas e instrumentos:

1. Diagnóstico de recorrido.
2. Gráficas y tablas.
3. Análisis estadísticos (diagramas de Pareto, gráficos de control, entre otros).
4. Tablas y hojas de cálculos.
5. Gráficos y diagramas (tendencias, control, entre otros).
6. Mapeo del uso de la energía.
7. Matriz energética.
8. Diagrama energético-productivo (USEs).

9. Censo de carga (datos de placa, mediciones en el campo, tablas de diseño).
10. Para priorizar las propuestas se puede utilizar un método sencillo de comparación de pares.
11. Modelos de relación entre el consumo de energía para una salida única de producción.
12. Modelo de regresión lineal y no lineal.
13. Modelo de regresión exponencial.
14. Diagrama de dispersión.
15. Análisis económico.

4.7 Desarrollo de la investigación (paso a paso)

1. Información de entrada

- 1.1. Acumular información acerca de los indicadores de desempeño energético en la planta.
- 1.2. Determinar el estado del uso pasado y actual de la energía.
- 1.3. Encontrar las variables que afectan al uso de la energía.
- 1.4. Documentar la facturación de la electricidad.
- 1.5. Resumir y ordenar los datos, para graficarlos.

2. Revisión energética

- 2.1. Desarrollar una lista del inventario de los equipos.
- 2.2. Conocer el procedimiento operacional de la planta potabilizadora.
- 2.3. Definir los datos de producción, con el fin de graficar la producción de energía con respecto a la producción de agua tratada.
- 2.4. Identificar las fuentes de energía que utiliza la planta potabilizadora.

- 2.5. Identificar los usos significativos de energía de los equipos presentes en la población determinada.
- 2.6. Análisis de la energía (calidad), para determinar el comportamiento del consumo eléctrico en un periodo determinado.
- 2.7. Identificar, priorizar y registrar oportunidades para la mejora del desempeño energético.

3. *Establecer la línea base de energía*

- 3.1. Definir límites.
- 3.2. Identificar equipos energéticos que están incluidos en el SGE.
- 3.3. Definir las variables significativas.
- 3.4. Establecer el periodo base.
- 3.5. Estimar línea de base energética.
- 3.6. Evaluar los indicadores del desempeño energético.

4. *Determinar los proyectos que mejoren los indicadores del desempeño energético*

- 4.1. Calcular el retorno de inversión, el valor actual neto y el periodo de retorno de inversión.
- 4.2. Establecer los objetivos y metas energéticas, así como los planes de acción para el ahorro de energía en los equipos.
- 4.3. Priorización de los proyectos según el impacto de la eficiencia energética.
- 4.4. Crear una matriz para la valoración de la prioridad de los proyectos con un método objetivo, con el fin de demostrar cuál es el de mayor o menor importancia. Los datos de dicha matriz se van a sacar de la siguiente tabla

de criterio de priorización de proyectos de mejora del desempeño energético.

En la ejecución del proyecto se utilizarán herramientas y técnicas para ordenar la información por medio de tablas, gráficas y diagramas, donde se puede visualizar el desarrollo del proyecto con el fin de alcanzar los objetivos establecidos.

Tabla 2. Criterio de priorización de proyectos de mejora del desempeño energético

CRITERIO DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE MEJORA DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO														
Proyecto	Ahorros energéticos		Ahorros económicos estimados		Inversión	TIR	Ahorros totales estimados			Inversión			Calificación	
	kWh/año	%	€/año	%			€	Altos	Medios	Bajos	Puntos	Altos		Medios
A: Sustitución de iluminación			€0,00		€0,00					0				0
B: Rediseño de aire comprimido			€0,00		€0,00					0				0
C: Control de encendido y apagado de equipos			€0,00		€0,00	-				0				0
D: Cogeneración			€0,00		€0,00					0				0
E: Buenas prácticas Operativas			€0,00		€0,00					0				0
F: Instalación de variadores de frecuencia			€0,00		€0,00					0				0
G: Sustitución de			€0,00		€0,00					0				0

moto- res															
CRITERIOS DE SELECCIÓN: se contemplan dos criterios de selección de los proyectos de mejora: los de ahorros económicos aportados por el proyecto y la inversión requerida.															
CRITERIOS DE CALIFICACIÓN: para calificar los proyectos se multiplican los puntos de ambos criterios. Los proyectos con más puntos son los prioritarios.															
CRITERIOS DE PUNTUACIÓN			Comentario:												
	Aho- rros	In- ver- sión													
Alto	6	2													
Media- no	4	4													
Bajo	2	6													

Fuente: Richard (2017, p. 130).

Capítulo V. Presentación y análisis de resultados

5.1. Política Energética P.P. Tres Ríos

La política energética es donde la institución expresa formalmente su compromiso y apoyo a la gestión de la energía.

La Dirección de Plantas Potabilizadoras, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, es consciente de que el cumplimiento de su misión y objetivos implica que debe asegurar el acceso universal al agua potable de forma comprometida; por eso se debe velar por la sostenibilidad del recurso hídrico, implicando que debe ser más competitiva en la forma que opera para que sea más sustentable. Por esa razón, el uso eficiente de los recursos energéticos es un pilar fundamental para ser sustentables con el medio ambiente, y poder preservar los recursos naturales.

La Dirección de Plantas Potabilizadoras, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, tiene la postura de alcanzar un desempeño energético mejorado, adquiriendo los siguientes compromisos:

1. Mejorar continuamente el desempeño energético.
2. Fomentar el uso eficiente de la energía y el ahorro energético en sus instalaciones.
3. Implementar nuevas tecnologías y mejorar las existentes, para consumir energía en las instalaciones de manera más eficiente.
4. Mejorar los hábitos de consumo de energía por parte de los trabajadores.
5. Fomentar el empleo, en la medida de lo posible, de tecnologías renovables de producción de energía.

6. Asegurar la disponibilidad de información y recursos, para lograr los objetivos y metas energéticas.
7. Apoyar la compra de equipos de eficiencia energética, con el fin de mejorar el rendimiento energético.
8. Cumplir con los requisitos aplicables relacionados con sus usos y consumos energéticos.
9. Formar y motivar al personal en temas de eficiencia energética.

5.2. Personal que conforma el comité de gestión de la energía de la P.P. Tres Ríos

1. Alta Dirección

Este requisito de la norma ISO 50001 declara cuáles son las responsabilidades que tiene la dirección de la institución al decidir implementar un SGE, porque requiere de un alto compromiso, además de la toma de decisión para asignar recursos materiales y humanos.

Por eso, la alta dirección debe asignar un representante de la dirección y del equipo de gestión de la energía, así como definir los roles de cada uno.

La institución de Acueductos y Alcantarillados cuenta con una **Dirección de Plantas Potabilizadoras**, la cual se encarga de velar por el correcto control operacional de las 17 plantas del país, así como de la toma de decisiones para adoptar medidas para la mejora de los procesos de potabilización.

Las principales funciones de la alta gerencia son:

- A. Definir, establecer, implementar la política energética.

- B. Realizar revisiones por la gerencia, de manera periódica.
- C. Considerar el desempeño energético en la planificación a largo plazo, y asegurar que los indicadores de desempeño energético (IDE) son apropiados para la organización.
- D. Comunicarle al personal la importancia de realizar un SGEN dentro de la organización.

2. Representante de la dirección

Es una persona que sigue el SGEN y asegura su correcta implementación y mejora del sistema de gestión. También es un puente de comunicación directa entre la alta dirección, el personal de la organización y los entes externos (INTECO). Por ese motivo es la máxima autoridad sobre el sistema de gestión de la energía.

En este proyecto, el encargado de representar a la alta dirección es el **Ing. Mauricio Brenes Jiménez**, quien es el jefe de la Unidad de Control Electromecánica.

3. Definición de los límites y alcances

Es la frontera física de la organización, o bien asociada a una planta. En este proyecto **los límites son los de la Planta Potabilizadora Tres Ríos**, en Dulce Nombre de Cartago. El alcance en la planta es la producción de agua potable, es decir, los equipos que participan en el tratamiento del agua.

4. Comité Gestión de Energía

El encargado de conformar este equipo será el representante de la alta gerencia, y dicho equipo de trabajo se encarga de ejecutar el sistema de gestión de

la energía en la planta potabilizadora Tres Ríos. Dicho comité no tiene límites; el representante de gerencia puede incluir la cantidad de personas que crea necesarias, y tienen que ser personas de diferentes puestos de trabajo dentro de la planta, tales como las de mantenimiento, el jefe de la planta y los operadores, para tener un enfoque diverso para la mejora en de la eficiencia energética.

5.3. Requisitos Legales 4.4.2

Tabla 3. Legislación aplicable en términos energéticos en Costa Rica

Fuente	Normativa	Descripción
Marco General	Ley No 7447. Regulación del uso racional de la energía.	La presente Ley fomenta el uso racional y eficiente de la energía en Costa Rica.
Directrices	Plan nacional de energía 2015-2030: Principal autor: Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).	Es un instrumento de política pública, el cual establece las acciones que el sector energía debe desarrollar en un horizonte de 15 años, en temas de la conservación de la energía. Se toma en cuenta el siguiente listado: <ol style="list-style-type: none"> 1. Política energética – Costa Rica. 2. Recursos energéticos – conservación. 3. Consumo de energía. 4. Planificación energética – Costa Rica.
	Artículo 4. Límites de consumo.	Por el cual se establece un programa gradual obligatorio de uso racional de la energía, destinado a las empresas privadas con alto consumos anuales de energía mayores de 240 000 kWh de electricidad. Recomendaciones técnicas: a) Auditoría energética que identifique los proyectos tendientes a reducir el índice energético. b) Estudio técnico financiero de un proyecto de uso racional de la energía.

	Ley para el fomento de la generación de energía para el autoconsumo y la utilización de energías renovables no convencionales.	La presente Ley tiene los siguientes objetivos: 1. Fomentar las prácticas orientadas a la generación de energía para el autoconsumo y la utilización de energías renovables no convencionales. 2. Incentivar la investigación sobre este tipo de energías. 3. Promover la eficiencia energética integrada de los edificios.
Normas técnicas sobre la eficiencia energética	INTE 28-01-10-2008. Eficiencia energética de motores de corriente alterna.	Esta norma establece los valores de eficiencia nominal y mínima asociada, el método de prueba para su evaluación, y la especificación de etiquetado de la eficiencia nominal, en la placa de datos de los motores.
	INTE 28-01-16:2015. Eficiencia energética. Lámparas de diodos. Emisores de luz (LED) para iluminación general. Requisitos.	Esta norma nacional establece las especificaciones para las lámparas de LED para iluminación general. Asimismo, establece el tipo de información de características técnicas esenciales acordes con el uso destinado, que deben llevar los productos objeto de esta norma nacional, que se comercialicen dentro del territorio nacional, y de igual forma, atiende la necesidad de que dichos productos propicien el uso eficiente y el ahorro de energía.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se reflejan las exigencias nacionales para una optimización energética en Costa Rica, por lo que se menciona la Ley 7447 sobre la regulación del uso racional de la energía, todo con el fin de que la organización cumpla con la legislación vigente en el país, en materia de energía.

Inclusive se menciona el plan nacional de energía, que es un documento oficial de Costa Rica para tomar acciones en la mejora de la eficiencia energética con un horizonte de 15 años a nivel nacional, para lograr una sociedad con una mayor

sensibilidad al medio ambiente, donde logre evitar y opacar los impactos ambientales de los procesos industriales relacionados con el sector eléctrico.

Tabla 4. Requisitos legales relacionados con la norma INTE/ISO 50001.

Requisito Legal u otro	Descripción del requisito	Estado de cumplimiento	Acciones recomendadas
4.2.1 INTE/ISO 50001:2018. Sistemas de Gestión de la Energía - Requisitos con orientación para su uso.	Establecer, implementar, mantener y mejorar un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) de acuerdo con la norma ISO 50001.	Elaboración de documentos relacionados con la operación del SGE : está en marcha.	Obtención de la certificación.
INTE/ISO 50001: 2018 - 3.1.2.	Responsabilidad de la alta gerencia, la cual controla el SGEn.	Designar un representante de la gerencia y aprobar la creación de un equipo de gestión de la energía (comité).	Asignarles responsabilidades a los integrantes del comité.
INTE/ISO 50001: 2018 - 3.2.4.	Política energética,	Desarrollo de una política energética , que cumpla con las intenciones de la mejora del desempeño energético.	Planificarle un método de comunicación de la política energética a todo el personal de la organización.
INTE/ISO 50001: 2018 - 3.5.5.	Revisión energética,	Plan de Revisión SGE , donde se analiza la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía, orientada a la	

		identificación de los USEs.	
INTE/ISO 50001: 2018 - 3.4.7 y 3.4.4	Línea base energética e indicadores de desempeño energético,	Plan de Revisión SGE , con base en la información con datos para detección de oportunidades de la mejora del desempeño energético.	Revisar y actualizar la línea base energética según la recomendación del plan de revisión SGE.
INTE/ISO 50001: 2018 - 3.2.4.	Objetivos energéticos, Metas energéticas y planificación de un plan de acción para la gestión de la energía.	Plan de acción SGE : tiene que ser consistente con la política energética.	

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4 indica los requisitos legales referentes a la norma INTE/ISO 50001, que se rige en el país para mantener e implementar la mejora continua en un sistema de gestión de energía. En cada requisito legal u otro se asignan acciones recomendadas y estados de cumplimiento, con el fin de lograr la documentación pertinente.

Por ejemplo, la INTE/ISO 50001: 2018 – 3.1.2 establece la responsabilidad de la alta gerencia para tener un mejor control del SGE. Una de las legislaciones mencionada es la asignación de un representante para una mayor comunicación de los objetivos y metas, así como los planes de acción de la organización, para velar por que se cumplan cada uno de ellos, con el fin de obtener una mejora continua.

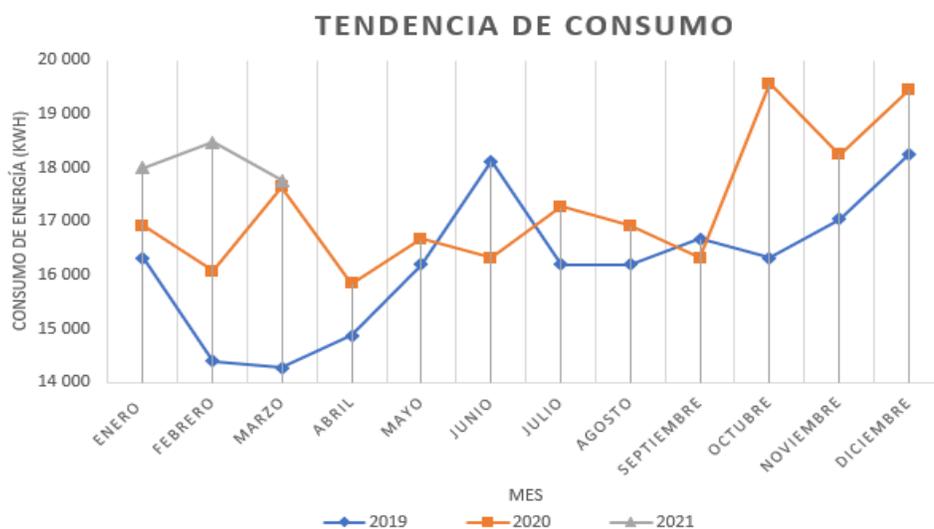
5.4. Revisión Energética 4.4.3

Tabla 5. Consumo de energía mensual de la P.P. Tres Ríos (en kWh/mes)

Mes	Año		
	2019	2020	2021
Enero	16 320	16 920	18 000
Febrero	14 400	16 080	18 480
Marzo	14 280	17 640	17 760
Abril	14 880	15 840	
Mayo	16 200	16 680	
Junio	18 120	16 320	
Julio	16 200	17 280	
Agosto	16 200	16 920	
Septiembre	16 680	16 320	
Octubre	16 320	19 560	
Noviembre	17 040	18 240	
Diciembre	18 240	19 440	
Sumatoria	194 880	207 240	54 240
Promedio	16 240	17 270	18 080

Fuente: Unidad Central Electromecánica de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

Gráfico 1. Tendencia de consumo eléctrico de la P.P. Tres Ríos (en kWh/mes)



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5 se establece un periodo de análisis de 27 meses de consumo mensual de energía (en kWh/mes) del mes de enero del 2019 hasta marzo del 2021. En el año 2019 se obtuvo un total de consumo de 194 880 kWh/año por debajo del año 2020, el cual tiene un valor de 207 240 kWh/año, lo que representa una diferencia de 12 360 kWh/año, y esto equivale a ₡ 2.357.422,80, basado en el costo de la electricidad de la tarifa comercial de la CNFL, la que recibe un valor de ₡ 109,73 por kWh, una cifra representativa, porque en la planta se tienen los mismos equipos operando. Además, en esta tabla se refleja que al inicio de los tres años se da un aumento considerable en el consumo, a pesar de ser el mismo mes.

En el gráfico 1, de tendencia de consumo, se evidencia el comportamiento de los consumos energéticos de los últimos años. En octubre del 2020 se obtuvo el mayor incremento de consumo con un valor de 19 560 kWh/mes, si se iguala a los otros meses. Se demuestra que no existe control sobre el consumo de energía, ya que a medida que pasan los años el consumo eléctrico aumenta, y por lo consiguiente el recibo eléctrico también.

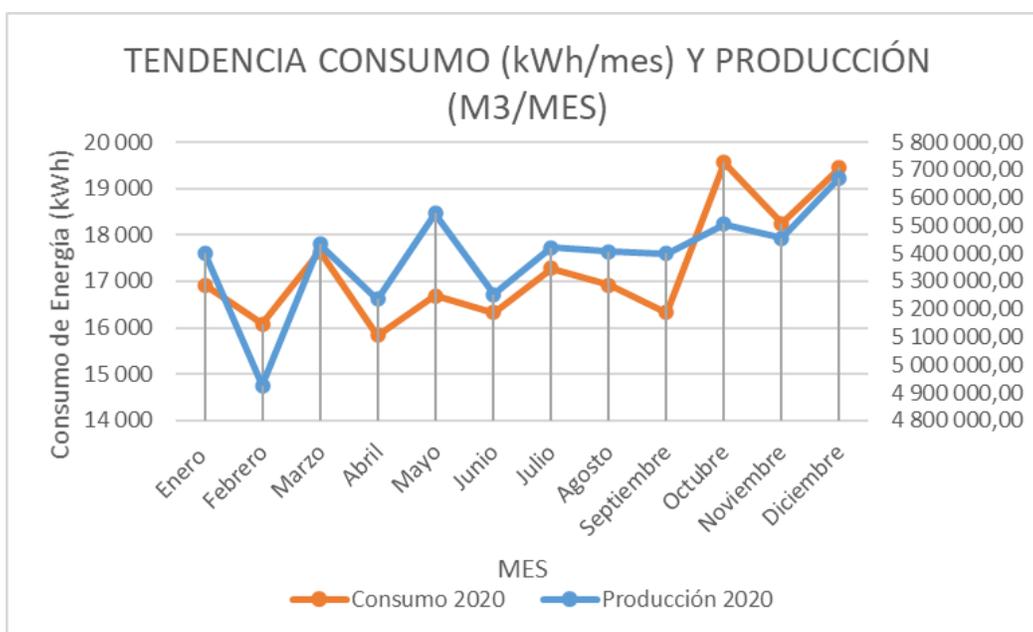
Es importante comprobar la diferencia que existe entre junio del 2020 y junio del 2019, donde en el año 2019 en ese mes se reflejó un consumo eléctrico de 18 120 kWh/mes, marcando una ventaja significativa de 1 800 kWh/mes con respecto a junio del 2020. El factor clima no es aplicable en este caso, porque ambos meses están dentro de la temporada lluviosa del país. Si los equipos eléctricos son los mismos en ambos años, se puede considerar que el aumento en el consumo eléctrico va ligado a la operación de estos.

Tabla 6. Caudal de agua tratada mensualmente en la P.P, Tres Ríos (en m3/mes)

Mes	Año		
	2019	2020	2021
Enero		5 400 924,90	5 571 191,98
Febrero		4 924 237,46	5 184 087,82
Marzo		5 433 288,73	5 639 938,82
Abril	5 591 252,84	5 235 424,52	
Mayo		5 543 634,06	
Junio	5 423 490,74	5 253 310,18	
Julio		5 420 020,44	
Agosto	4 848 386,32	5 407 130,80	
Septiembre	5 057 096,62	5 400 116,12	
Octubre	5 455 165,47	5 505 108,98	
Noviembre	5 508 152,08	5 454 539,98	
Diciembre	5 491 551,25	5 671 228,76	
Sumatoria	37 375 095,32	64 648 964,93	16 395 218,62
Promedio	5 339 299,33	5 387 413,74	5 465 072,87

Fuente: Unidad Central Electromecánica de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

Gráfico 2. Tendencia de consumo eléctrico 2020 (en kWh/mes) y producción de agua tratada (en m3/mes).



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 6 demuestra el caudal generado por mes en cada año presente. Esto deja evidenciar los m³/mes de agua tratada para el consumo humano. También deja claro que los caudales son constantes con respecto a la cantidad de agua cruda que entra a la planta, la cual recibe un valor de 5 443 200 m³/mes, donde 4 665 600 m³/mes son de la parte de Orosi, y los 777 600 m³/mes son los restantes de Tiribí.

El gráfico 2 muestra, paralelamente, el consumo energético y la producción en el tiempo, y deja evidenciar comportamientos anormales que se pueden comprender con las condiciones de operación registradas en la planta, para observar la variación independiente de la energía consumida y la cantidad de caudal producido.

En febrero del 2020 hubo una reducción de la producción, equivalente a 4 924 237,46 m³/mes, con un consumo eléctrico que equivale a 16 080 kWh/mes, pero si se compara con el mes de abril, la producción aumentó a 5 235 424,52 m³/mes, y el consumo eléctrico fue de 15 840 kWh/mes, lo cual deja en evidencia una mala gestión de la energía, porque en febrero se incrementó el consumo y la producción se redujo, y en abril el consumo se redujo, pero la producción aumentó.

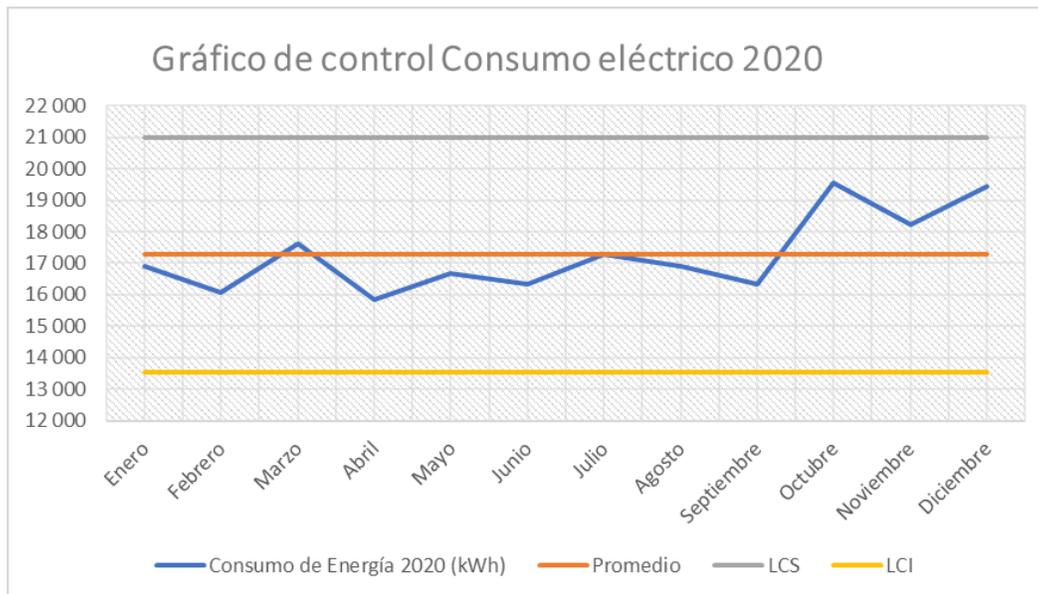
Este fenómeno ocurre en varios meses del año; la toma de datos obtenida es valiosa para la revisión energética, porque al seguir cierto comportamiento pasado y futuro se predicen estas conductas en la operación de los equipos.

Tabla 7. Datos para la elaboración de un gráfico de control de la P.P. Tres Ríos

Mes	Consumo de Energía 2020 (kWh)	Promedio	LCS	LCI
Enero	16 920	17 270	20 987	13 553
Febrero	16 080			
Marzo	17 640			
Abril	15 840			
Mayo	16 680			
Junio	16 320			
Julio	17 280			
Agosto	16 920			
Septiembre	16 320			
Octubre	19 560			
Noviembre	18 240			
Diciembre	19 440			

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Gráfico de control del consumo eléctrico del año 2020



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 7 muestra los límites de control, tanto el superior, que equivale a 20 987 kWh/mes, como el inferior, que equivale a 13 553 kWh/mes, para detectar la tendencia de los valores presentados en el año 2020. Estos valores de consumo de energía en el 2020 se deben encontrar dentro de los límites para que las

variaciones en los valores se relacionen con una causa común y el proceso se declare bajo control, pero si están por fuera del límite, inmediatamente pasan a ser un caso especial, porque el proceso no está trabajando bajo control. La ecuación para el cálculo de los límites se aprecia en el anexo 7.

El gráfico 3 se evidencia, de manera visual, el estado de control del proceso. A partir de este año (referencia) se crean tendencias para identificar un descontrol en años futuros, con una estimación de la dispersión del proceso, o bien determinar en cuáles períodos se conforman irregularidades en la variación del consumo eléctrico.

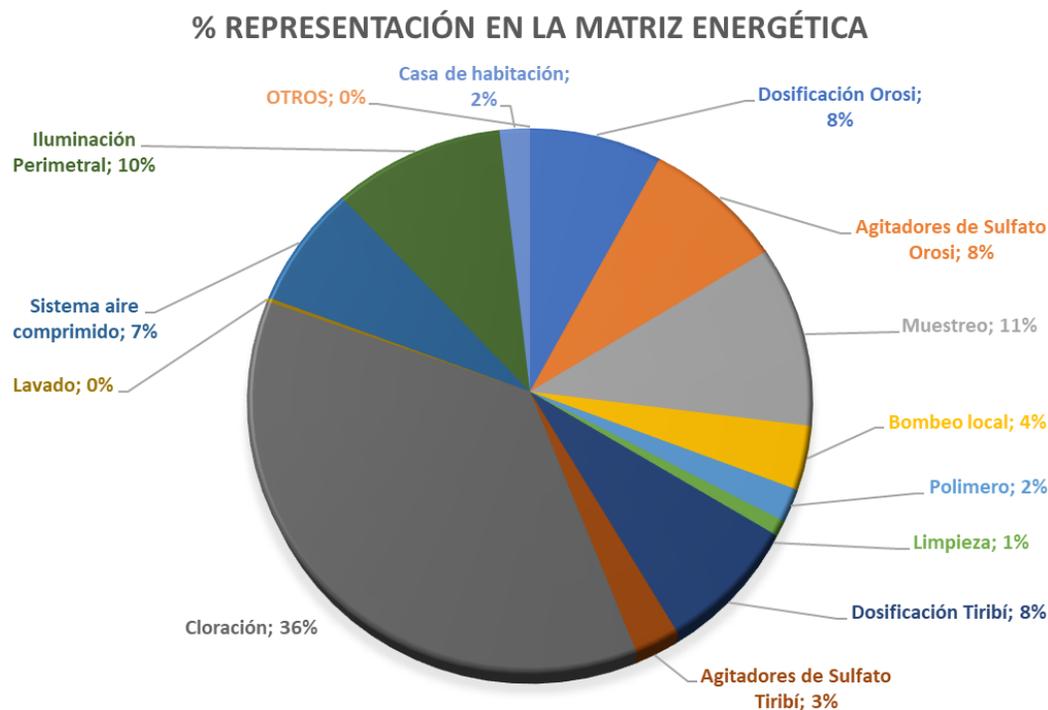
En el año 2020, el gráfico 3 lo que indica es que el proceso inició como un proceso estable, pues ninguna de las variables está por fuera del mismo. Pero a partir de setiembre hasta diciembre, los valores tienden a estar por encima del valor medio, lo que se cree que puede ser una conducta anormal. Dicha conducta se puede corregir si se detectó a tiempo, porque se pueden tomar acciones correctivas o preventivas, para mantener el proceso enérgicamente estable.

Tabla 8. Información requerida para la elaboración de una matriz energética

Tipo de Energía	Área	Consumo Equivalente (en kWh/mes)	% Representación en la matriz	% acumulado
Energía Eléctrica	Cloración	8222	36,66%	36,66%
	Muestreo	2411	10,75%	47,41%
	Iluminación Perimetral	2279	10,16%	57,57%
	Agitadores de Sulfato Orosi	1870	8,34%	65,91%
	Dosificación Orosi	1754	7,82%	73,73%
	Dosificación Tiribí	1754	7,82%	81,55%
	Sistema aire comprimido	1641	7,32%	88,87%
	Bombeo local	843	3,76%	92,63%
	Agitadores de Sulfato Tiribi	561	2,50%	95,13%
	Polimero	439	1,96%	97,09%
	Casa de habitación	400	1,78%	98,87%
	Limpieza	202	0,90%	99,77%
	Lavado	51	0,23%	100,00%
	OTROS	0	0,00%	100,00%
	Total		22427,28251	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4. Matriz energética de fuentes secundarias de la P.P. Tres Ríos



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 8 detalla el porcentaje de representación de la matriz en cada consumo de energía que actúa en el proceso de potabilización, para tener una orientación en la planificación energética de la institución, y así poder garantizar una seguridad energética en el uso adecuado de la energía. También, como se detalla, la fuente secundaria de la planta potabilizadora es la energía eléctrica, con una representación del ciento por ciento.

Se establece la verificación de la participación de los equipos eléctricos de la planta en el proceso de tratamiento de agua. En el caso del área de cloración, existe una participación de tres bombas de 5hp trifásicas, las cuales tiene un funcionamiento de 24 horas durante 7 días a la semana, demostrando que el consumo eléctrico, aproximadamente, equivale a 8222,2 kWh/mes, con un porcentaje de representación del 36.66% del consumo total de la planta por mes.

El gráfico 4 logra un propósito en la etapa de la revisión energética de la norma ISO 50001, y su función es dar a conocer los usos finales del consumo energético. También se detalla el mayor consumo de energía en el proceso de potabilización, y este recibe el nombre de cloración de agua, con un 37% de la matriz energética.

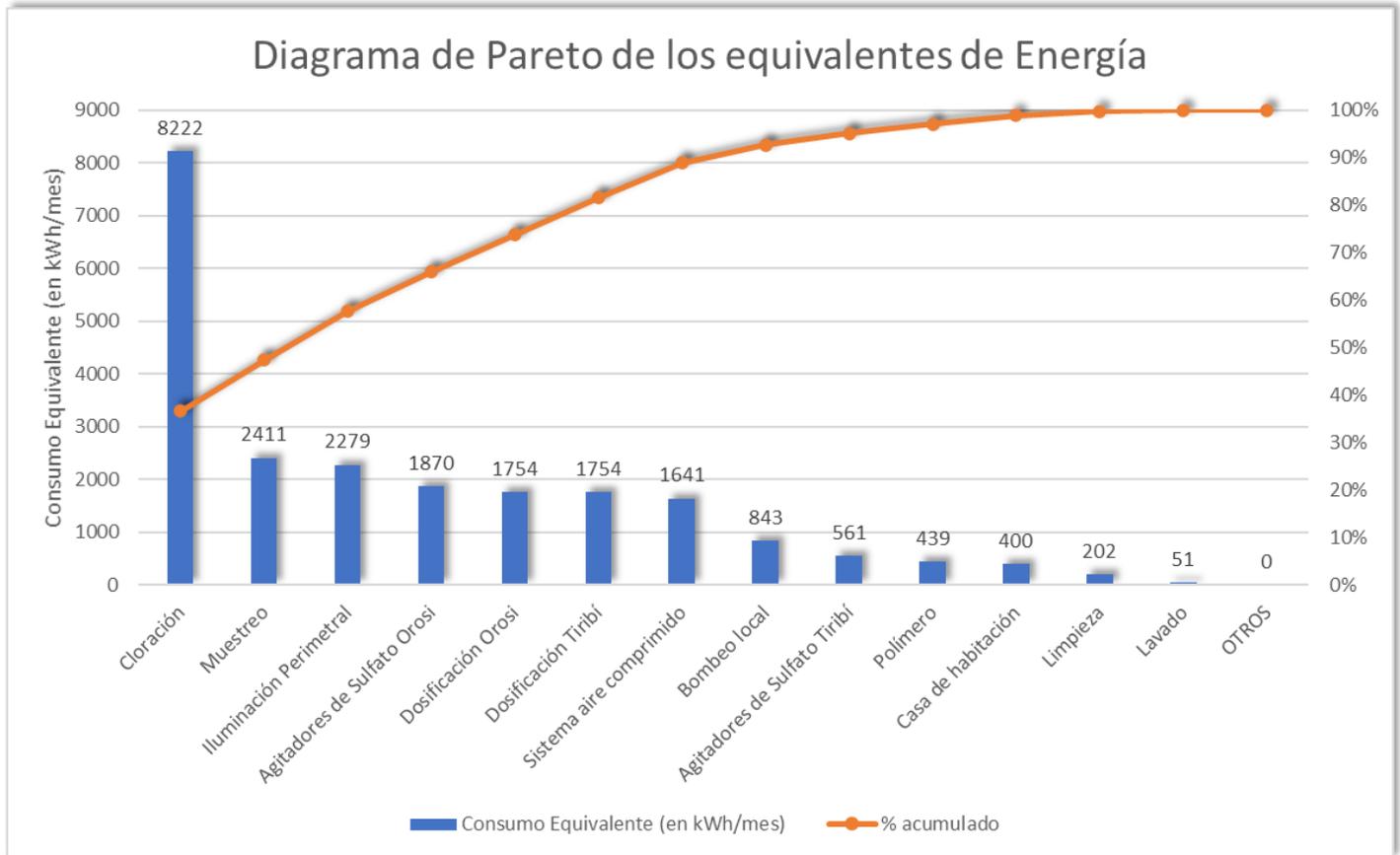
Con base en lo anterior, se puede definir que esta matriz energética es un método para la identificación gráfica de los usos significativos de la planta, así como apreciar dónde se produce, consume y transforma la energía de la institución.

Tabla 9. Censo de carga de la Planta Potabilizadora de Tres Ríos

Área	Equipo/instalación	Cantidad	Potencia de placa [kW]	Potencia de Operación [kW]	Tiempo de uso mes [h]	Energía consumida [kWh/mes]
Dosificación Orosi	Bomba	2	3	2	720	1754
	TOTAL CONSUMO ÁREA					1754
Agitadores de Sulfato Orosi	Motor	5	1	1	180	1347
	Motor	1	1	1	180	269
	Elevador Sacos de Sulfato	1	13	10	26	254
	TOTAL CONSUMO ÁREA					1870
Muestreo	Bomba	1	2	1	720	1071
	Bomba	2	1	1	720	1071
	Bomba	2	0	0	720	269
	TOTAL CONSUMO ÁREA					2411
Bombeo local	Bomba	2	7	7	120	843
	TOTAL CONSUMO ÁREA					843
Polímero	Bomba	1	3	2	240	439
	TOTAL CONSUMO ÁREA					439
Limpieza	Cepillo eléctrico	2	1	1	90	202
	TOTAL CONSUMO ÁREA					202
Dosificación Tiribí	Bomba 01	2	3	2	720	1754
	TOTAL CONSUMO ÁREA					1754
Agitadores de Sulfato Tiribí	Elevador Sacos de Sulfato	1	2	1	26	23
	Motor	2	1	1	180	539
	TOTAL CONSUMO ÁREA					561
Cloración	Tecla eléctrico	1	3	2	26	49
	Motor	2	1	1	45	34
	Bomba	3	3,730	3,525	727	8135
	TOTAL CONSUMO ÁREA					8217
Lavado	Bomba removedora	3	0	0	0	0
	Bomba Lavado de Filtros	2	30	0	0	0
	Bomba Lavado de Estructuras	1	4	4	13	51
	TOTAL CONSUMO ÁREA					51
Sistema aire comprimido	Compresor de Aire	1	12	11	120	1302
	Bomba de tanque presurizado	1	4	3	120	339
	TOTAL CONSUMO ÁREA					1641
Iluminación	Iluminación perimetral	1	6	6	360	2279
	TOTAL CONSUMO ÁREA					2279
Casa de habitación	Casas	2	---	---	---	400
	TOTAL CONSUMO ÁREA					400
TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA [kWh/mes]						22422

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5. Diagrama de Pareto de los consumos equivalentes de energía por área de producción de la P.P. Tres Ríos



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 9 tiene un formato para el censo de la carga de la P.P. Tres Ríos. Se documenta por área cada sector incluido en el SGEN, así como su equipo, además de la cantidad de cada uno. También se registró la potencia de placa de cada equipo, y se realiza la medición para obtener la potencia de operación. Y una variable importante es el tiempo de operación, el cual se obtuvo del encargo de la planta potabilizadora, ya que tiene contacto con los equipos constantemente. El objetivo de la tabla es el hallazgo de la energía consumida (en kWh/mes) en cada área y por equipo.

Una vez realizado el censo energético de la carga de la planta potabilizadora de Tres Ríos, donde participa más del 90% del consumo, es posible identificar las áreas de mayor impacto o usos significativos en el consumo, las cuales se visualizan en el diagrama de Pareto en el gráfico 5.

En la tabla 9 se observan los equipos con un tiempo de operación 720 hr/mes, lo que equivale a un trabajo continuo por el tipo de aplicación utilizado. Las horas fueron registradas a partir de una bitácora de producción a cargo del jefe de planta. También se puede considerar el área de iluminación perimetral como uno de los USOs, ya que opera durante toda la noche (12 horas por día), donde se incluyen 17 lámparas LED tipo cobra de 120 watts y 32 reflectores LED de 150watts, todas distribuidas en el perímetro de la planta, así como en el proceso de potabilización.

El gráfico 5, diagrama de Pareto, aclara que el 80% de las consecuencias de un fenómeno es causado por el 20% de las causas. Los procesos de cloración, muestreo, iluminación perimetral, agitadores de sulfato Orosi, dosificación Orosi y dosificación Tiribí representan el 81.55% del consumo equivalente; con esto se pueden detectar los equipos de mayor consumo (USOs) para dar seguimiento y prioridad en las oportunidades de mejora. Pero no significa que al 18.55% faltante no se le dé importancia, solo que al atacarlo no influye con mayor impacto en la mejora del desempeño energético.

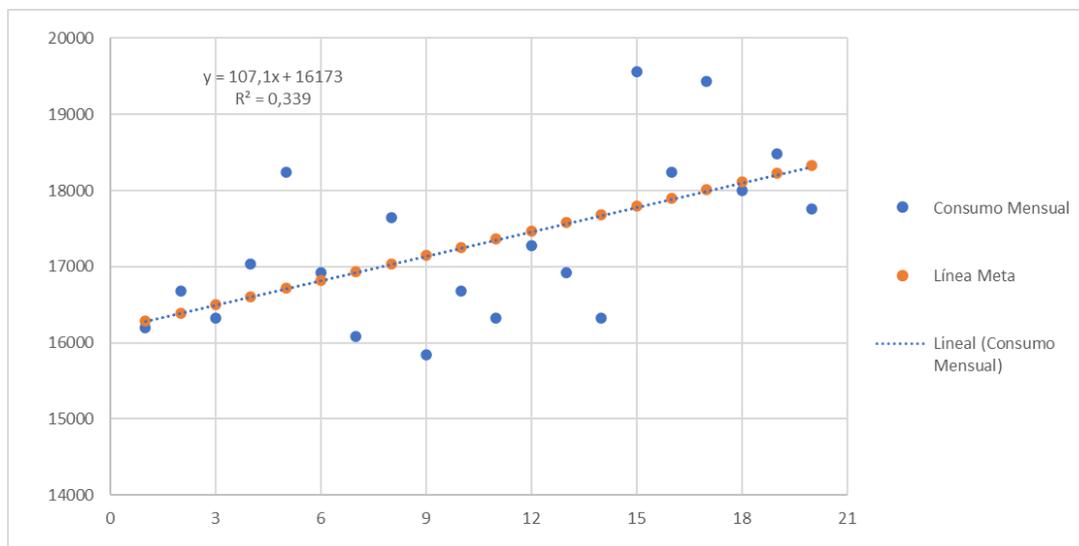
5.5. Línea Base Energética 4.4.4

Tabla 10. Datos técnicos de producción y consumo de energía de la Planta Potabilizadora Tres Ríos

Número/Mes	Mes y Año	Consumo kWh/mes	Monto Factura CNFL (Colones/mes)	Consumo Estimado teórico (kWh/mes)
1	ago-19	16200	¢2 189 910	16281
2	sep-19	16680	¢2 054 955	16389
3	oct-19	16320	¢1 981 695	16497
4	nov-19	17040	¢2 073 560	16605
5	dic-19	18240	¢2 216 955	16713
6	ene-20	16920	¢2 150 275	16821
7	feb-20	16080	¢2 083 220	16929
8	mar-20	17640	¢2 213 275	17037
9	abr-20	15840	¢2 033 310	17145
10	may-20	16680	¢2 124 440	17253
11	jun-20	16320	¢2 107 560	17361
12	jul-20	17280	¢2 134 210	17469
13	ago-20	16920	¢2 095 670	17577
14	sep-20	16320	¢2 063 565	17685
15	oct-20	19560	¢2 328 625	17793
16	nov-20	18240	¢2 135 465	17901
17	dic-20	19440	¢2 255 830	18009
18	ene-21	18000	¢2 066 650	18117
19	feb-21	18480	¢1 976 540	18225
20	mar-21	17760	¢1 914 715	18333
	Sumatoria	345 960	¢42 200 425	346145
	Promedio	17298	¢2 110 021	17307

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Regresión lineal para el consumo de energía



Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 10, la facturación mensual eléctrica asciende a un promedio de ₡2.110.021,00 por mes, con un consumo mensual promedio de 17 298 kWh/mes. Dicho promedio de la facturación equivale a una tarifa comercial con un coste de ₡109,73 por kWh, según los costos por kWh de la CNFL cobrados en el medidor del AyA, sin sufrir variaciones durante el año. Asimismo, se evidencia un consumo estimado como el ideal a partir del consumo real de la institución.

El consumo estimado es una proyección del comportamiento ideal que debe tener la planta con respecto al tiempo, razón por la cual es una línea base, porque ayuda a predecir el consumo de energía con datos de unos meses como referencia.

En el gráfico 6 se puede interpretar una relación lineal con respecto al tiempo, a través de la ecuación del consumo de energía total para la producción realizada, $E=mP+E_0$, donde existe un consumo de energía fijo, E_0 , que se refiere al consumo base o energía no asociada a la producción en el período de análisis, porque esta energía no es destinada a la transformación de la materia prima llanamente y, por otra parte, hay una variable requerida, donde se transforma directamente la materia prima mP , que es una energía asociada directamente al proceso o al sistema analizado. Pero por sí sola, la variable P significa la producción seleccionada en el período evaluado, y así mismo la variable m es la razón del cambio medio del consumo de energía respecto a la producción; en otras palabras, es la pendiente de la recta. Esta ecuación de regresión lineal es la representación de la línea base energética.

También se observa gráficamente la tendencia centralizada de los puntos, pero algunos datos de la muestra están dispersos, de manera aleatoria, alrededor

de una línea recta. El objetivo de simular una recta es la corrección del coeficiente de correlación cuadrático de los datos dispersos; en este caso el coeficiente de correlación cuadrático tiene un valor de 0,339, por lo que sirve para reflejar la bondad de ajuste del modelo utilizado. Y cuanto más se acerca a uno, se considera un ajuste lineal perfecto. Por ese motivo, se deben aplicar medidas para la corrección del desempeño, para llevar el valor lo más cercano a uno, y por eso se calcula un consumo estimado, donde se pueda corregir el coeficiente de correlación cuadrático.

Con base en la información obtenida a través de la regresión lineal, se adquirió una ecuación $E = 107,98 * P + 16173$; esta ecuación es necesaria para el cálculo del consumo estimado, que se encuentra en la tabla 10. Y para encontrar el consumo estimado se cambia la variable P por el periodo analizado [t], ya sea para el primer mes o para el mes 15.

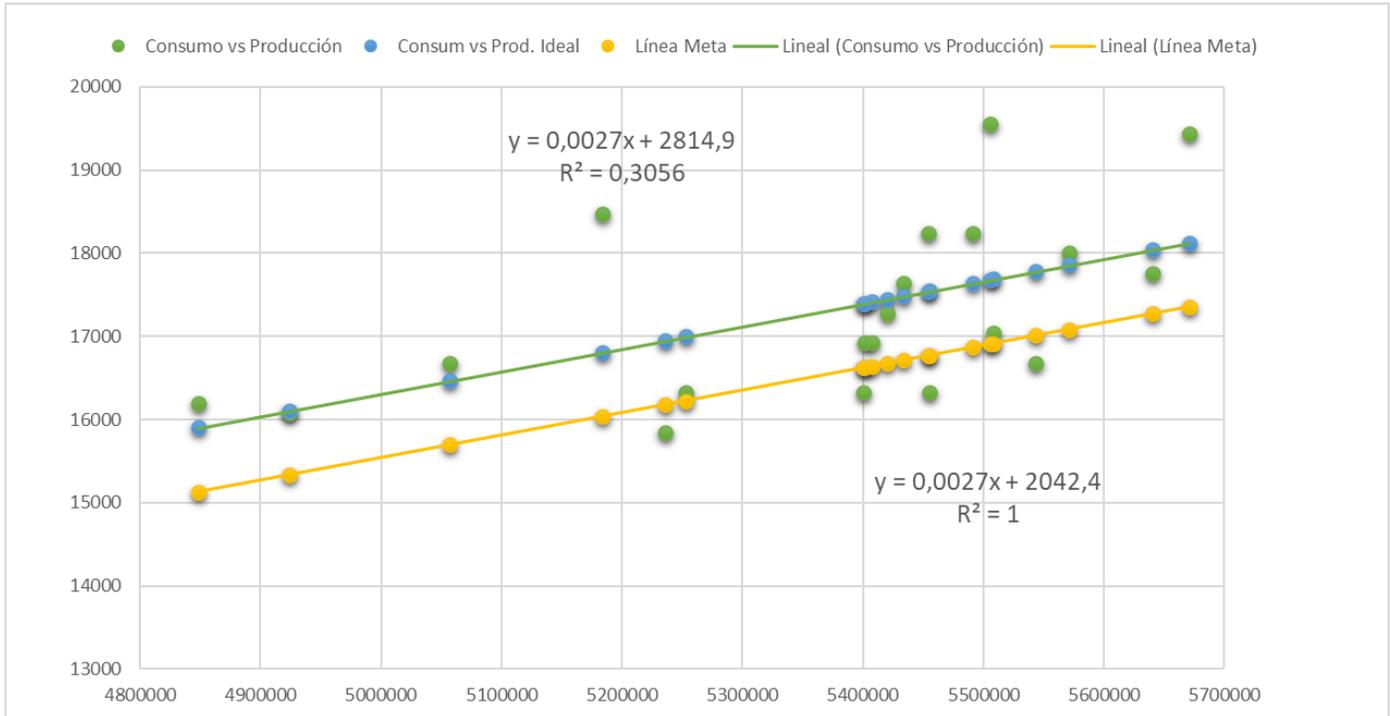
La energía no asociada a la producción, E_0 , se vuelve un valor de importancia porque se pueden identificar potenciales de ahorro energético en el proceso sin cambio tecnológico, donde los ahorros se pueden hacer por medio de una buena gestión operacional o del mantenimiento. En el caso de la planta, la E_0 puede ser la iluminación, los equipos electrónicos, la energía usada para mantenimiento, entre otros. Así mismo, es importante que el porcentaje de energía no asociado a la producción sea lo menor posible, $E_0/E * 100$.

Tabla 11. Datos de producción y consumo de energía de la Planta Potabilizadora Tres Ríos, con el porcentaje de mejora de desempeño energético en referencia de la línea base

Mes y Año	E=Consumo kWh/mes	Monto Factura CNFL	P=Caudal Agua Tratada (m3/mes)	Consumo teórico kWh/mes (Ideal)	Real - Teórico	Diferencia de cuadrados	Línea meta kWh/mes	IDEn: Consumo eléctrico medido / consumo eléctrico estimado a partir de línea base energética : Valor cuantitativo o medida del desempeño energético	Mejora del desempeño energético en referencia a la línea base energética
ago-19	16200	€2 189 910,00	4848386,32	15905,54	294,46	---	15133,06	1,02	-2%
sep-19	16680	€2 054 955,00	5057096,62	16469,06	210,94	---	15696,58	1,01	-1%
oct-19	16320	€1 981 695,00	5455165,47	17543,85	-1223,85	1497800,91	16771,37	0,93	7%
nov-19	17040	€2 073 560,00	5508152,08	17686,91	-646,91	418493,35	16914,43	0,96	4%
dic-19	18240	€2 216 955,00	5491551,25	17642,09	597,91	---	16869,61	1,03	-3%
ene-20	16920	€2 150 275,00	5400924,90	17397,40	-477,40	227908,12	16624,92	0,97	3%
feb-20	16080	€2 083 220,00	4924237,46	16110,34	-30,34	920,58	15337,86	1,00	0%
mar-20	17640	€2 213 275,00	5433288,73	17484,78	155,22	---	16712,30	1,01	-1%
abr-20	15840	€2 033 310,00	5235424,52	16950,55	-1110,55	1233312,87	16178,07	0,93	7%
may-20	16680	€2 124 440,00	5543634,06	17782,71	-1102,71	1215973,67	17010,23	0,94	6%
jun-20	16320	€2 107 560,00	5253310,18	16998,84	-678,84	460820,33	16226,36	0,96	4%
jul-20	17280	€2 134 210,00	5420020,44	17448,96	-168,96	28545,86	16676,47	0,99	1%
ago-20	16920	€2 095 670,00	5407130,80	17414,15	-494,15	244187,35	16641,67	0,97	3%
sep-20	16320	€2 063 565,00	5400116,12	17395,21	-1075,21	1156084,12	16622,73	0,94	6%
oct-20	19560	€2 328 625,00	5505108,98	17678,69	1881,31	---	16906,21	1,11	-11%
nov-20	18240	€2 135 465,00	5454539,98	17542,16	697,84	---	16769,68	1,04	-4%
dic-20	19440	€2 255 830,00	5671228,76	18127,22	1312,78	---	17354,74	1,07	-7%
ene-21	18000	€2 066 650,00	5571191,98	17857,12	142,88	---	17084,64	1,01	-1%
feb-21	18480	€1 976 540,00	5184087,82	16811,94	1668,06	---	16039,46	1,10	-10%
mar-21	17760	€1 914 715,00	5639938,82	18042,73	-282,73	79938,98	17270,25	0,98	2%
Sumatoria	345960	€42 200 425,00	107404535,29		Varianza	596726,01			
Promedio	17298	€2 110 021,25	5370226,76		Desv. Estandar	772,48			

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7. Regresión lineal para el consumo de energía vs. producción



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Potencial de ahorro energético anual

Potencial de ahorro anual	9269,77
Costo de kWh	₡109,73
Ahorro/año	₡1 017 171,33

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 11 evidencia la línea base energética del consumo eléctrico con respecto a la producción de agua tratada en la salida del proceso de los últimos 20 meses. También demuestra un consumo teórico (ideal) a partir del consumo real de la planta.

El consumo teórico (ideal) es una referencia del comportamiento ideal que debe tener la planta, pero con respecto a la producción, es decir, es una línea base de energía porque ayuda a predecir el consumo de energía con datos de la

producción paralelamente en el tiempo. Además, se realizó una diferencia del consumo real entre el consumo teórico, para apreciar la diferencia de kWh/mes.

El consumo teórico se obtiene con la ecuación de la regresión lineal encontrada en el gráfico 7, $E=0,0027 * P + 2814,9$; en este caso la variable P será la producción en el periodo que se analiza. Por ejemplo, al aplicar la fórmula se reemplaza la variable P por el valor de producción en el primer mes, equivalente a 4.848.386, 32 m³/mes, y se obtendrá el valor del consumo teórico ideal para ese mes en estudio. Dicho consumo tiene un valor de 15 905,54 kWh/mes, dando una diferencia de 294,46 kWh/mes, considerando que en dicho mes se debería bajar el consumo según la proyección del método de regresión lineal.

En la columna de diferencia de cuadrados se conservan los valores negativos para ser pasados a un valor positivo. Una vez hallado este valor positivo, se encuentra la varianza de los 11 datos de la muestra y, a su vez, la desviación estándar, la cual tiene un valor de 772.48 kWh/mes; este valor representa el potencial de ahorro, que se puede tener simplemente con la reducción de la energía no asociada a la producción.

La tabla 12 muestra el potencial de ahorro anual al reducir la energía no asociada a la producción, el que representa un ahorro anual de ¢1.768.022,00, reflejando un ahorro anual de un 4.47% en el consumo eléctrico total de la planta.

En la columna de línea meta, se detalla el comportamiento que tendrá el consumo, si se le aplican las correcciones necesarias para disminuir la energía no asociada a la producción; dicha línea meta es una conducta teórica. La ecuación

base se modifica una vez realizadas las mejoras operacionales en la planta y pasar a ser $E=0,0027 * P + 2042,42$. Dicha modificación se realiza porque, a la energía no asociada a la producción, se le restó el ahorro energético teórico de 772.48 kWh/mes, y por eso E_0 equivale a 2042,42.

Se utilizaron los datos del consumo teórico (ideal), para poner en práctica un indicador del desempeño energético, el cual está compuesto por el consumo eléctrico medido entre consumo teórico ideal de la tabla 11, y poder representar la mejora del desempeño energético, en referencia a la línea base energética establecida para la planta.

Con base en lo anterior, se observa que en el primer mes de estudio la mejora del desempeño no fue tan favorable, ya que el valor es 1.02, superior a 1. Esto se puede comparar con la explicación del anexo 1, donde se establece que en el IDEn mayor a uno, en este mes, no se consiguió una mejora del desempeño energético. En general, se evidencian en dicha tabla 11 los resultados de cada mes, donde en algunos meses sí se logró teóricamente mejorar el desempeño de la organización, pero en varios meses no se logró la mejora; entonces se debe investigar y actuar sobre este fenómeno, para realizar la debida corrección como un sistema de mejora continua.

En el gráfico 7 se visualiza desde otra perspectiva la explicación anterior. Los puntos verdes corresponden al comportamiento del consumo real entre la producción de la planta, y la recta de color verde es la recta de la regresión lineal estimada a partir de los datos mencionados. Y los puntos azules son el consumo teórico ideal entre la producción. Por lo tanto, se logra graficar la línea meta entre la

producción, donde se refleja una mejora en el consumo una vez aplicadas las oportunidades de mejora de la energía no asociada a la producción.

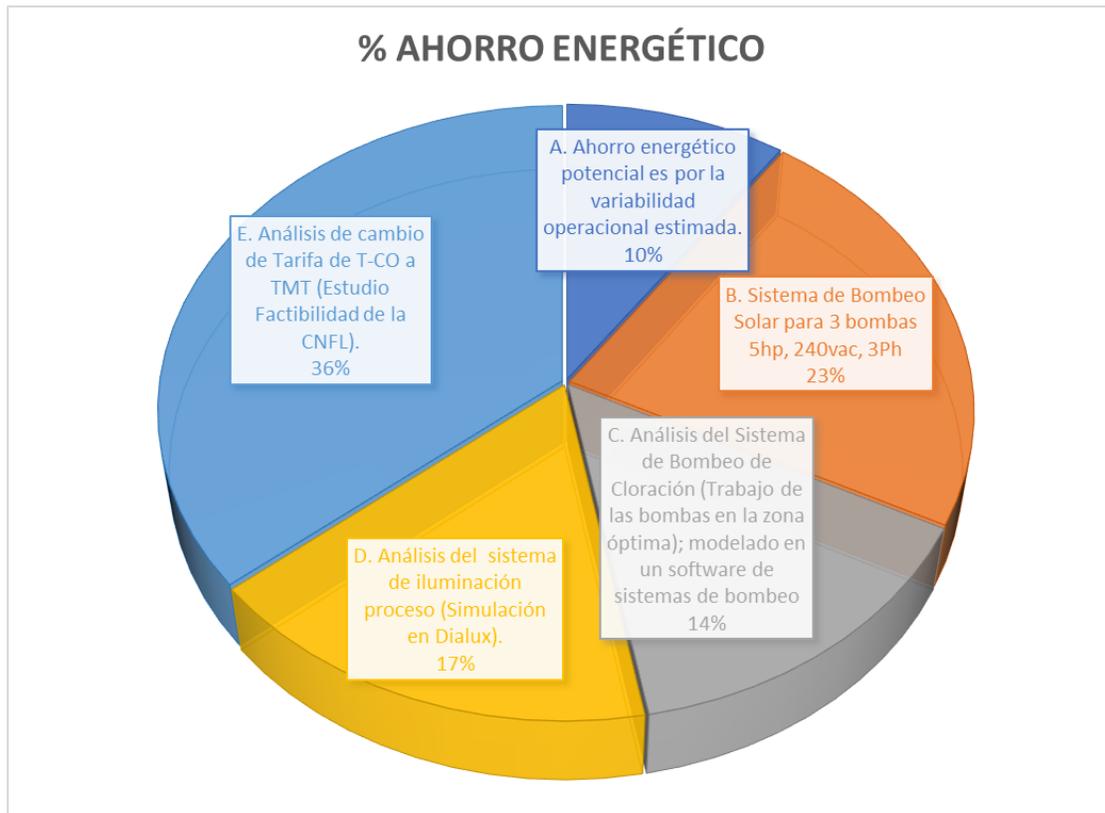
También se puede apreciar la diferencia del coeficiente de correlación cuadrático entre la recta verde y la recta amarilla; la recta verde tiene un valor del coeficiente de correlación cuadrático de 0,3056, y dicho valor es sin aplicar mejoras al sistema, y el valor del coeficiente de correlación cuadrático en la recta amarilla es de 1, lo que indica que tiene un ajuste perfecto, es decir, está en un estado ideal.

Tabla 13. Criterio de priorización de las propuestas de ahorro energético para lograr una mejora del desempeño energético

CRITERIO DE PRIORIZACIÓN DE LAS OPORTUNIDADES DE MEJORA DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO														
Propuesta de ahorro energético	Ahorros Energéticos		Ahorros económicos estimados	Inversión	TIR	Ahorros energéticos totales Estimados				Inversión				Calificación
	kWh/año	%	€/año	€	%	Altos	Medianos	Bajos	Puntos	Altos	Medianos	Bajos	Puntos	
A. Ahorro energético potencial es por la variabilidad operacional estimada.	9269,77	4,47	€1 017 171,86	€0	0			2	2			6	6	12
B. Sistema de Bombeo Solar para 3 bombas 5hp, 240vac, 3Ph	21724,2	22,2	€2 383 796,47	€7 659 202	16,81	6			6		4		4	24
C. Análisis del Sistema de Bombeo de Cloración (Trabajo de las bombas en la zona óptima); modelado en un software de sistemas de bombeo	13922,18	14,3	€1 527 681,35	€0	0		4		4			6	6	24
D. Análisis del sistema de iluminación proceso (Simulación en Dialux).	16200,00	83,3	€1 777 626,00	€1 009 761	174,92		4		4		4		4	16
E. Análisis de cambio de Tarifa de T-CO a TMT (Estudio Factibilidad de la CNFL).	34236,26	17,3	€3 756 745,00	€0	0	6			6			6	6	36
CRITERIOS DE SELECCIÓN: se contemplan dos criterios de selección de los proyectos de mejora: los de ahorros económicos aportados por el proyecto y la inversión requerida.														
CRITERIOS DE CALIFICACIÓN: para calificar los proyectos se multiplican los puntos de ambos criterios. Los proyectos con más puntos son los prioritarios.														
CRITERIOS DE PUNTUACIÓN														
	Ahorros	Inversión	Comentario:											
Alto	6	2												
Mediano	4	4												
Bajo	2	6												

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8. Distribución del ahorro energético entre el total de las oportunidades de mejora del desempeño energético



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 13 revela el criterio utilizado para la priorización de las propuestas de ahorro energético. En la primera columna se encuentra cada posible mejora del desempeño energético, y en las siguientes columnas se encuentran ciertas variables importantes para la toma de decisión. A continuación, se detalla el cálculo de cada variable:

El sistema de bombeo solar se estima a partir del consumo promedio mensual del proceso de cloración, donde incluye tres bombas de 5HP; dicho consumo promedio mensual tiene un valor de 97 680,00 kWh/anual sin la implementación de

la mejora, como se aprecia en el apéndice 5. La cantidad de los paneles solares se estima con la potencia teórica del sistema de bombeo entre la potencia máxima de los paneles solares que da el fabricante; en este caso es de 450 watts, dando una cantidad de 30 paneles solares, ya que se utilizó un factor de seguridad del 20%, y se detalla en el apéndice 6.

La energía teórica anual generada por los paneles solares tiene un ahorro energético anual de 21 724 kWh/año y un ahorro económico anual de ₡2.383.796,00, detallado en el apéndice 8. Para el cálculo de la energía teórica generada se utilizó un dato importante sobre la hora solar pico por día, con un valor de 4.47, obtenido del Instituto Meteorológico Nacional en la estación de Itzarú en Cartago.

Con base en lo anterior, se estima el consumo de energía en el sistema de bombeo con la implementación de los paneles solares, el cual se realizó con una diferencia entre la energía consumida sin paneles solares y entre la energía generada por los paneles solares, reflejando un consumo de 75 956 kWh/año.

En el apéndice 14 se encuentra un resumen de la parte económica de la propuesta de ahorro energético en el sistema de bombeo de cloración. Para el cálculo del VAN se utilizó una tasa de descuento o tasa mínima aceptable de rendimiento del 5%, la cual representa la tasa mínima que un banco puede asumir, porque el AyA no cuenta con dicho valor.

El Valor Actual Neto (VAN) tiene un monto de ₡2.661.389,00; este valor significa cuánto vale ese dinero con respecto a la inversión, y para esta propuesta

es positivo, lo que indica que el proyecto es viable, ya que el valor actual de los flujos es mayor al desembolso inicial.

En este caso se utilizó un periodo de cinco años, como en los libros contables de una empresa, para obtener la tasa de retorno interna (TIR) para la oportunidad de mejora, dando un porcentaje del 16.81%. Dicho valor es mayor a la tasa mínima aceptable de rendimiento, y esto quiere decir que el proyecto es aceptado, según el apéndice 16.

El sistema de iluminación en el proceso de potabilización tiene un consumo energético de 1620 kWh/mes sin la implementación de la mejora. La iluminación de este sistema cuenta con 30 reflectores de 150w cada uno, y son utilizados por 12 horas diarias durante siete días a la semana. La incorporación de pulsadores con temporizadores, en el sistema, crea un ahorro energético importante de 1 350 kWh/mes y un ahorro económico de ₡148.135,00, configurando los temporizadores a 10 min cada hora. También se realizó un modelado en Dialux del sistema de iluminación perimetral, con el fin de apreciar si la cantidad de lámparas en la planta cumple con la normativa de INTECO, lo cual se aprecia en el apéndice 3.

En el apéndice15 se encuentra un resumen de la parte económica de la propuesta de ahorro energético, en el sistema de iluminación, en el proceso de potabilización. El Valor Actual Neto (VAN) tiene un monto de ₡6.686.429,00; este valor significa cuánto vale ese dinero con respecto a la inversión, y para esta propuesta el valor es mayor a cero, lo que indica que el proyecto es viable, ya que el valor actual de los flujos es mayor al desembolso inicial.

Para el análisis económico se utilizó un periodo de cinco años en la tasa de retorno interna (TIR), reflejando un porcentaje del 174.92%; dicho valor es mayor a la tasa mínima aceptable de rendimiento del 5%, y esto quiere decir que el proyecto es aceptado, según el apéndice 16.

Para calificar las oportunidades de mejora se multiplican los puntos de ambos criterios, el ahorro económico y la inversión requerida. Los proyectos con más puntos son los prioritarios.

El modelado del sistema de bombeo en el proceso de cloración reflejó un costo de operación de ₡4.583.044,00 con el funcionamiento de las tres bombas, pero con el funcionamiento de dos bombas se obtuvo un costo promedio de ₡3.055.362,00. El sistema debe operar con dos bombas, por lo que se logró un ahorro energético de ₡1.527.681,00, sacando de funcionamiento a una de las bombas. Asimismo, se logra una mejora del sistema desde el punto de vista de la eficiencia, pues al operar dos bombas de las tres existentes es posible realizarle un mantenimiento adecuado al sistema, ya que este funciona 365 días al año.

En el software de modelado de sistemas de bombeo, las bombas se modelaron a velocidad máxima, y no en función de la presión obtenida en la operación del sistema, porque ese valor de presión no es un control de presión establecido por la aplicación, sino que es un valor obtenido por la operación convencional del sistema hidráulico, donde se incluye la cabeza dinámica del sistema, o la carga que deben suministrar las bombas al sistema para vencer la fricción del flujo de agua a través de la tubería, es decir, las pérdidas por fricción y accesorios.

Con base en lo anterior, las pérdidas obtenidas en la succión de la bomba (3) son mayores que las pérdidas de la succión de la bomba (2), lo que implica un mayor trasiego de caudal en la bomba (2), y por ese motivo la bomba se sale de su curva, o bien de su punto óptimo. Este comportamiento se aprecia por el modelado realizado, ya que a simple vista no hubiera sido posible.

En la parte del ahorro energético, el software de modelado de sistemas de bombeo refleja un consumo dependiendo del comportamiento del sistema; es decir, trabaja a un flujo máximo y ajusta la curva para esa demanda de energía y caudal.

En el apéndice 17 se encuentra el análisis económico de la propuesta de ahorro energético por la implementación de una mejora en dicho sistema de bombeo. El Valor Actual Neto (VAN) tiene un monto de ¢6.614.059,25, lo que significa que el flujo de efectivo neto traído a valor presente logra pagar la inversión, y deja ganancias para la institución.

Para este caso, la tasa de retorno interna (TIR) tiene un valor de 0, porque para implementar esta mejora no se requiere una inversión inicial; esto quiere decir que el proyecto es aceptado por la cantidad de dinero obtenido en el VAN.

El estudio de cambio de tarifa T-CO a TMT es ofrecido por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, en el cual se determina que se puede tener un beneficio anual equivalente a ¢3.756.745,00 por el cambio de la tarifa; sin embargo, no se cumple con uno de los cuatro criterios de evaluación para el cambio. Dicho criterio es la demanda máxima mínima aceptada para un sistema trifásico con un valor de 75 kVA, y la planta tiene un valor de 63.27 kVA. No obstante, cumple con los criterios

restantes, como el consumo anual superior a 120 000 kWh/año, la institución es cliente de media tensión y presenta un ahorro económico, el cual equivale a un 17% del consumo total por año, según el anexo 16.

Con base en lo anterior, esta oportunidad de mejora queda ligada a un futuro estudio, sobre las posibles multas o sanciones, donde se refleje si es un beneficio o no para la institución realizar el cambio, porque, aunque no se cumpla con un criterio, sí es posible ejecutarse el cambio de tarifa.

Para finalizar, se realiza el criterio de priorización de las propuestas de la mejora del desempeño energético, donde se puntúa conforme a las variables detalladas.

El primer lugar lo toma la mejora del cambio de tarifa T-CO a TMT, para darle prioridad, porque se puede llegar a un ahorro energético significativo; asimismo, darle prioridad a que el estudio se lleve a cabo a futuro para medir el grado de riesgo al realizar el cambio y determinar si la planta puede asumir ese riesgo. El segundo lugar lo lleva el sistema de bombeo, porque son proyectos que con baja inversión pueden dar altos resultados.

El gráfico 8 es una referencia del porcentaje de ahorro energético que obtuvieron las oportunidades de mejora con respecto al total de ahorro, para evaluar si es bajo, medio o alto su ahorro energético.

El último lugar es la propuesta de ahorro energético potencial logrado por la variabilidad operacional, ya que genera un ahorro económico menor a las otras propuestas.

5.6. Indicadores de Desempeño Energético 4.4.5

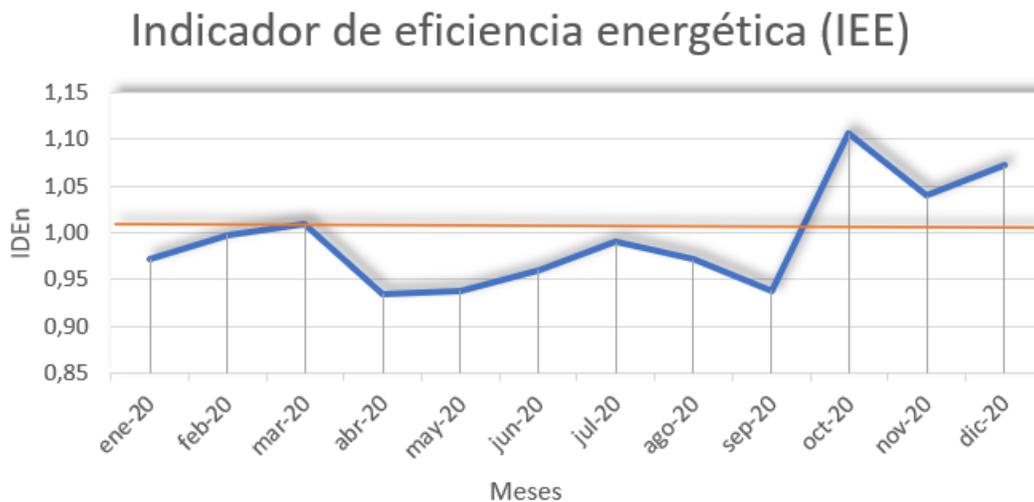
5.6.1. Indicador de eficiencia energética (IEE)

Tabla 14. Cálculo del indicador de eficiencia energética

Mes - Año	E=Consumo kWh/mes	Consumo teórico kWh/mes (Ideal)	IEE	Alerta	Mejora del desempeño energético en referencia a la línea base energética
ene-20	16920	17397,39723	0,97	●	3%
feb-20	16080	16110,34114	1,00	●	0%
mar-20	17640	17484,77957	1,01	●	-1%
abr-20	15840	16950,5462	0,93	●	7%
may-20	16680	17782,71196	0,94	●	6%
jun-20	16320	16998,83749	0,96	●	4%
jul-20	17280	17448,95519	0,99	●	1%
ago-20	16920	17414,15316	0,97	●	3%
sep-20	16320	17395,21352	0,94	●	6%
oct-20	19560	17678,69425	1,11	●	-11%
nov-20	18240	17542,15795	1,04	●	-4%
dic-20	19440	18127,21765	1,07	●	-7%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9. Evaluación del indicador de EE en la Planta Potabilizadora Tres Ríos



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 14 compara el comportamiento del consumo real de la planta durante el período operativo del año 2020, con respecto al consumo teórico calculado a partir de la línea base energética. Asimismo, es importante tomar en cuenta que dicha comparación no está influenciada por el cambio en el nivel de producción; es por eso por lo que permite comprender la proporción de desarrollo de la eficiencia energética en el proceso.

En relación con lo anterior, en la tabla 14 se presencia una alerta con dos criterios de colores, donde el color rojo significa que requiere acciones correctivas de urgencia en el proceso, porque se están presentando eventos no anhelados, y es necesaria la corrección de manera eficiente y rápida. Por ejemplo, en marzo del año 2020 hay una alerta roja con un porcentaje de -1, para la mejora del desempeño energético, es decir, en este mes el consumo de energía fue mayor al consumo que se hubiera gozado en las mismas condiciones de operación, durante el período de referencia, y por eso se aplican acciones para no volver a presenciar este fenómeno.

El color verde significa que la mejora del desempeño energético en este período de estudio fue positiva; esto expresa que las buenas prácticas aplicadas al proceso han surtido efecto sobre el IDEn, puesto que está en un rango deseado.

El gráfico 8 ilustra el conjunto de datos, donde de manera visual se aprecia la conducta de la eficiencia energética de la planta. Incluso permite analizar el estado del IEE, mediante tres estados, en el cual se encuentra seteado dentro de los rangos numéricos <1 , >1 , $e=1$, ligado a la alerta mencionada anteriormente.

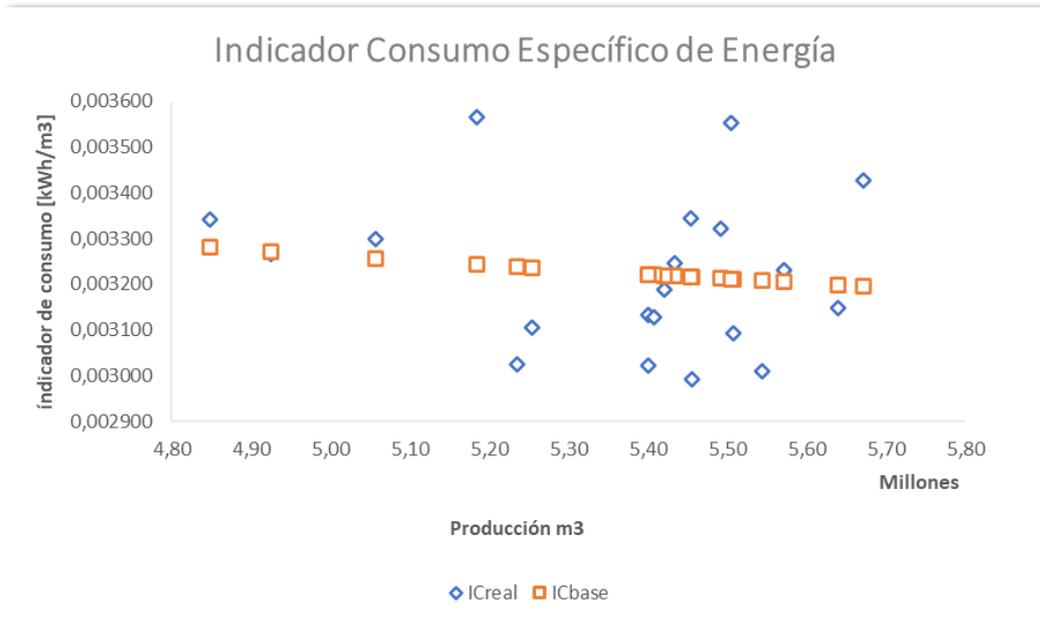
5.6.2. Indicador de consumo específico de energía (IC)

Tabla 15. Control del consumo específico de energía de la planta

Mes - Año	Consumo de Energía 2020 (kWh)	Producción 2020 (m3/mes)	ICreal	ICbase	Alerta
ago-19	16 200	4 848 386,32	0,003341	0,003281	●
sep-19	16 680	5 057 096,62	0,003298	0,003257	●
oct-19	16 320	5 455 165,47	0,002992	0,003216	●
nov-19	17 040	5 508 152,08	0,003094	0,003211	●
dic-19	18 240	5 491 551,25	0,003321	0,003213	●
ene-20	16 920	5 400 924,90	0,003133	0,003221	●
feb-20	16 080	4 924 237,46	0,003265	0,003272	●
mar-20	17 640	5 433 288,73	0,003247	0,003218	●
abr-20	15 840	5 235 424,52	0,003026	0,003238	●
may-20	16 680	5 543 634,06	0,003009	0,003208	●
jun-20	16 320	5 253 310,18	0,003107	0,003236	●
jul-20	17 280	5 420 020,44	0,003188	0,003219	●
ago-20	16 920	5 407 130,80	0,003129	0,003221	●
sep-20	16 320	5 400 116,12	0,003022	0,003221	●
oct-20	19 560	5 505 108,98	0,003553	0,003211	●
nov-20	18 240	5 454 539,98	0,003344	0,003216	●
dic-20	19 440	5 671 228,76	0,003428	0,003196	●
ene-21	18 000	5 571 191,98	0,003231	0,003205	●
feb-21	18 480	5 184 087,82	0,003565	0,003243	●
mar-21	17 760	5 639 938,82	0,003149	0,003199	●

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10. Balance del indicador de consumo base y meta con respecto a la producción



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 15 destaca un control del consumo específico de energía por unidad producida; dicho indicador puede ser la base para la construcción de programas de optimización energética buscando la reducción.

Al establecer la LBE como la regresión lineal de mejor ajuste para un grupo de datos de energía, es posible determinar un indicador de consumo específico base ICbase, para evaluar el estado de este, a partir de $IC_{base} = E_0/P + m$, la m, que representa un valor constante y el otro un conjunto, y varía dependiendo de la producción. También se procede con el cálculo de IC medido para cada período de producción, para comparar el resultado de ambas variables y determinar si el valor de ICbase es mayor o menor que el ICreal, incluyendo la cantidad de la producción.

Si el cálculo de IBase está por debajo de ICreal se presenta una alerta, como se aprecia en la columna de la tabla 15, la cual indica que la operación es ineficiente, porque se requiere mayor energía para terminar la producción, y al contrario, la alerta verde significa que la operación es eficiente.

El gráfico 9 es una referencia del desempeño energético, porque se observa que para niveles de producción bajo hay una mayor afectación del indicador de consumo base. Asimismo, la producción de mayor nivel representa el menor indicador de consumo base. Este indicador es útil para los operarios y supervisores, puesto que monitorean alertas tempranas en una hoja de control.

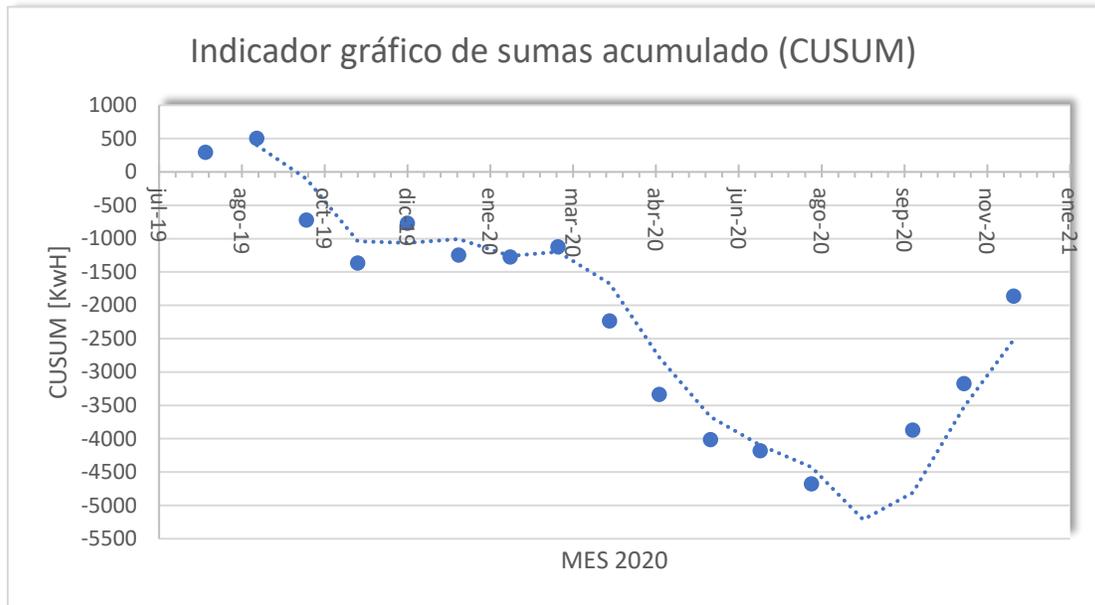
5.6.3. Indicador gráfico de sumas acumulado (CUSUM)

Tabla 16. Datos para el seguimiento de la planta

Mes - Año	Datos para seguimiento		Consumo de Energía Base [kWh/mes]	Ereal-Ebase	CUSUM [kWh/mes]
	Producción [m3/mes]	Consumo de Energía [kWh/mes]			
ago-19	4 848 386,32	16200	15906	294	294
sep-19	5 057 096,62	16680	16469	211	505
oct-19	5 455 165,47	16320	17544	-1224	-718
nov-19	5 508 152,08	17040	17687	-647	-1365
dic-19	5 491 551,25	18240	17642	598	-767
ene-20	5 400 924,90	16920	17397	-477	-1245
feb-20	4 924 237,46	16080	16110	-30	-1275
mar-20	5 433 288,73	17640	17485	155	-1120
abr-20	5 235 424,52	15840	16951	-1111	-2231
may-20	5 543 634,06	16680	17783	-1103	-3333
jun-20	5 253 310,18	16320	16999	-679	-4012
jul-20	5 420 020,44	17280	17449	-169	-4181
ago-20	5 407 130,80	16920	17414	-494	-4675
sep-20	5 400 116,12	16320	17395	-1075	-5750
oct-20	5 505 108,98	19560	17679	1881	-3869
nov-20	5 454 539,98	18240	17542	698	-3171
dic-20	5 671 228,76	19440	18127	1313	-1858
ene-21	5571191,98	18000	17857	143	-1716
feb-21	5184087,82	18480	16812	1668	-48
mar-21	5639938,82	17760	18043	-283	-330

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11. Indicador del desempeño energético en la planta



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 16 consta de la suma acumulada del consumo energético, para la verificación y monitoreo de las mejoras del IDEn; asimismo, consta de los ahorros reales alcanzados en la planta, porque establece un dato cuantificable de la energía que se ha dejado de consumir en un período determinado.

En el momento que se consume o no exista sobreconsumo, la curva CUSUM cambiará de dirección; es decir, una curva hacia abajo significa ahorros, mientras que una curva hacia arriba significa pérdidas. Este gráfico es un recurso útil para la alta gerencia, porque se traduce en pérdidas o ganancias económicas, ya que la energía eléctrica se puede entender como un activo de la institución.

El gráfico 10 hace visible cualquier ahorro o exceso de consumo energético, pero también es una referencia económica de la institución, donde se aprecia la variación de los consumos con respecto a la línea base establecida. De igual forma,

este gráfico muestra la suma total de consumos energéticos a medida que avanza el tiempo.

Capítulo VI. Conclusiones

1. Se establecieron las funciones de la alta gerencia, así como las del representante de la alta gerencia, para conformar un comité o grupo de trabajo que se encargará de ejecutar el modelo de gestión de la energía.
2. Se utilizó una herramienta de censo de carga para la identificación de áreas o equipos críticos en el consumo energético, así como la determinación de acciones o propuestas de mejora energética.
3. Se elaboró una matriz energética, la cual refleja que el uso más significativo de la energía es el proceso de cloración con el 36.43%, con un consumo de 8 222 kWh/mes.
4. Se determinó la línea base de energía como punto de inicio para la mejora del desempeño energético, con base en un periodo de 22 meses, desde agosto del 2019 hasta marzo del 2021.
5. Se determinaron cinco propuestas de ahorro energético, que mejoran la eficiencia energética de la planta potabilizadora.
6. Se generó un orden de importancia con un criterio de priorización de propuestas para la mejora de la eficiencia energética, según su retorno de inversión y costo.
7. Las propuestas de ahorro energético generan ahorros para la institución, y son viables.
8. La propuesta de ahorro energético del sistema de bombeo solar puede generar un ahorro del 22,24% por año, del consumo actual del proceso.

9. La implementación de un panel de control en el sistema de cloración hace posible obtener una mayor intervención en la operación de las bombas, y mejorar su eficiencia.
10. La mejora energética del análisis de cambio tarifario exige la validez de varios criterios de aceptación; en este caso la institución cumple con tres de los cuatro establecidos por la CNFL.
11. Por medio de la propuesta de ahorro energético (C), se logra implementar la oportunidad de mejora en el sistema de bombeo en cloración, por lo cual se espera que en los próximos meses se tenga un ahorro energético de 1 160 kWh/mes.

Capítulo VII. Recomendaciones

Se recomienda equiparar las pérdidas de presión en las tres bombas en la succión, para obtener un punto óptimo de operación, donde el sistema equilibrado logra un desgaste parejo en las bombas. Asimismo, se asegura un trabajo u operación similar de las bombas, para equilibrar el caudal o la entrega de caudal de ellas, evitando la sobrecarga en una.

Se recomienda realizar un análisis de carga más profundo en un periodo de un año, tomando en cuenta las variables para conformar un traslado de tarifa eléctrica en la CNFL, para obtener un grado de riesgo más preciso, que puede tener la institución al realizar un traslado de la tarifa comercial a la tarifa TMT, con los consumos de energía presentes en la Planta potabilizadora Tres Ríos.

Se recomienda implementar el sistema de gestión energético una vez definida la planificación energética de la institución, para conocer el estado de la organización o la obtención de un panorama real de lo que sucede con los equipos, y así poder definir una base energética, donde se tomen medidas con los indicadores energéticos adecuados para proporcionar una orientación y retroalimentación sobre los planes de acción.

Se recomienda tener una adecuada actualización de la información sobre las normas jurídicas y de otra índole, con el fin de mejorar continuamente, y a su vez, ligar el SGE a la normativa de la eficiencia energética del país.

Bibliografía

- ACHEE, y Limitada, I. P. (2014). *Guía metodológica de eficiencia energética en proyectos de inversión*. Chile: Agencia Chilena de Eficiencia Energética (ACHEE).
- AyA. (2016). *Política nacional para el subsector de agua potable de Costa Rica 2017-2030*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Comisión Interinstitucional, San José, Costa Rica.
- Cascante Loaiza, D. (2013). *Plan estratégico para el aprovechamiento de energías limpias por medio del diseño de productos que faciliten su implementación a nivel residencial de forma complementaria a la energía eléctrica*. Cartago: Intituto Tecnológico de Costa Rica.
- Castrillón Mendoza, R., y González Hinestroza, A. J. (2018). *Metodología para la planificación energética a partir de la norma ISO 50001*. Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- Castrillón Mendoza, R., González Hinestroza , A. J., Quispe Oqueña, E. C., Urhán Rojas, M., y Fandiño Gutiérrez, D. (2014). *Metodología para la implementación del sistema de gestión integral de la energía*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (2019). *La modificación tarifaria*. Obtenido de CNFL:
https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion_comercializacion/tarifas_vigentes_comerciales.pdf

Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (31 de diciembre de 2020). *Tarifa Acceso (T-A)*. Obtenido de CNFL: <https://www.cnfl.go.cr/servicios-electricos-para-inmuebles/tarifas-vigentes/tarifa-acceso-t-a>

Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (31 de diciembre de 2020). *Tarifa Media Tensión b T-MTb*. Obtenido de CNFL: <https://www.cnfl.go.cr/servicios-electricos-para-inmuebles/tarifas-vigentes/tarifa-media-tension-b-t-mtb>

Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (2020). *Tarifas eléctricas*. Obtenido de CNFL: https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/consolidado_tarifas.pdf

Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (31 de diciembre de 2020). *Tarifas Residencial Horaria T-REH*. Obtenido de CNFL: <https://www.cnfl.go.cr/servicios-electricos-para-inmuebles/tarifas-vigentes/tarifa-residencial-horaria-t-reh>

Cortez Bonilla, F. R., Hernández Alfaro, M. L., y Martell Martínez, M. A. (2018). *Diseño de un sistema de gestión energética basado en la norma ISO 50001 para la facultad de odontología de la Universidad de El Salvador*. San Salvador: Universidad de El Salvador.

de Laire, M., Fiallos, Y., y Aguilera, Á. (2018). *Guía implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001*. Chile: Agencia de Sostenibilidad Energética.

Dengo Obregón, J. M. (2006-2010). *Plan nacional de desarrollo*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. San José: MIDEPLAN.

Díaz Ruíz, J. J. (2020). *Diseño del sistema de gestión energética- Norma ISO 50001 para optimizar el consumo de energía en Hipermercados Tottus-Chepén 2019*. Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejo.

Energética, D. G. (2017). *Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético plantas de saneamiento de agua*. Lima: Ministerio de Energía y Minas.

Espeleta, Y. A. (marzo de 2018). *Informe de gestión 2014-2018*. Obtenido de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados: <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20final%20de%20Gesti%C3%B3n%20AyA%202014%202018.pdf>

Fernández Carrillo, A. (2018). *Modelo de gestión y cuantificación de costos de mantenimiento en la Dirección de Plantas Potabilizadoras del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en la GAM*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.

Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., y Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). Santa Fe, México: McGraw-Hill Education.

Fluke. (s.f.). *Analizador de motor y de calidad eléctrica Fluke 438-II*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-cr/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/438-ii>

García Sánchez, J. M., Cubillo Sagüés, M., y Gordaliza Lozoya, D. (2020). *Gestión de la eficiencia energética en el sector industrial*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Hernández Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Santa Fe, México: McGraw-Hill Education.

INTECO. (s.f.). *Certificaciones*. Obtenido de INTECO: <https://www.inteco.org/gestion-de-la-energia>

Jiménez Fuentes, J. (2017). *Procesos y mejoras prácticas para el manejo de los recusos energéticos eléctricos de la Universidad de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Jiménez, M. (2017). *Identificación, evaluación y recomendaciones en los indicadores requeridos para el ahorro de energía en tiendas departamentales*. Xalapa: Universidad Veracruzana.

López, G., López Gutiérrez, L. F., Lira Oliver, A., y Castillo Torres, J. A. (s.f.). *Luxómetro digital*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura. Laboratorio de Edificación Sustentable.

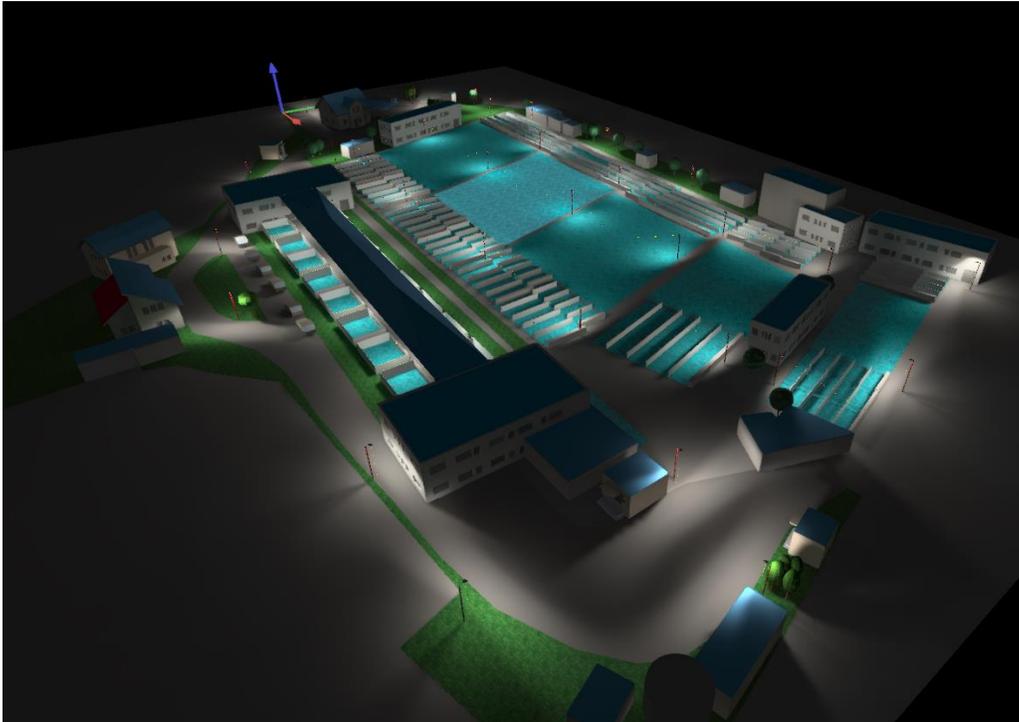
MINAE. (2015). *VII Plan nacional de energía 2015-2030*. San José: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Narváez, F. (2018). *Eficiencia Energética en Sistemas de Aire Comprimido*. Bogotá: Fluid & Pipe Ingeniería.

- Peña, A. C., y García Sánchez, J. M. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. España: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Quinjia Juiña, O. H. (2018). *Eficiencia energética en el sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Quinindé, Ecuador*. Leiria: Instituto Politécnico de Leiria.
- Richard, N. (2017). *Guía técnica para la implementación de sistemas de gestión de la energía en el marco de una red de aprendizaje*. México: Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (giz) GmbH. Obtenido de https://energypedia.info/images/d/d2/Guia_tecnica_Participante_2017.pdf
- Valencia Musalem, A., y Franjola Lara, S. (2019). *Auditoría de eficiencia energética en Papales Cordillera S.A.* Santiago de Chile: Universidad de Chile.

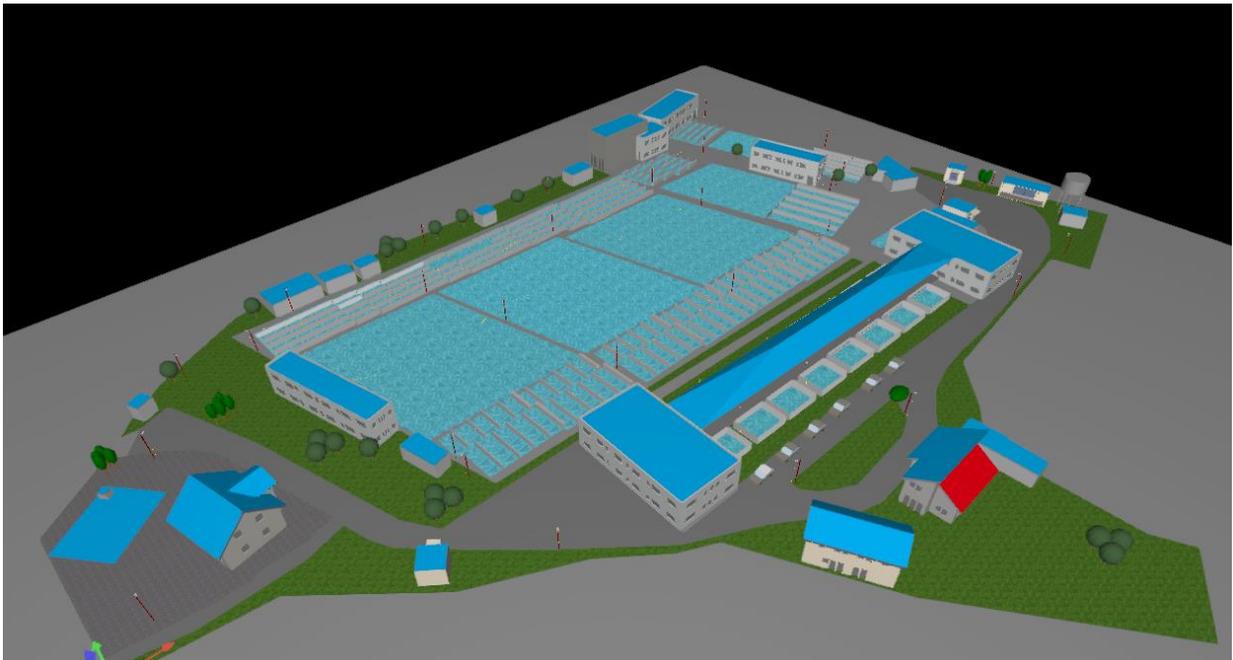
Apéndices

Apéndice 1. Diseño de la iluminación perimetral en Dialux de la planta 01



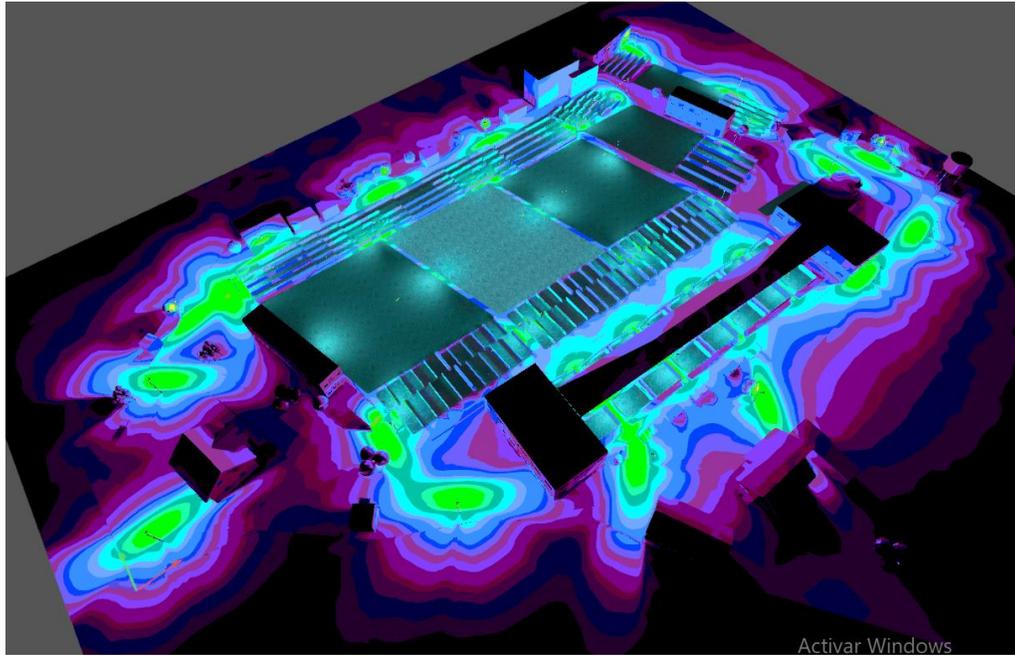
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2. *Diseño de la iluminación perimetral en Dialux de la planta 02*



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 3. *Muestra de colores falsos en Dialux de la planta*



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 4. Foto aérea de la planta potabilizadora Tres Ríos



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 5. Estimación de la carga a alimentar para el sistema fotovoltaico

Cantidad	Carga	Potencia Unitaria [kW]	Potencia Totales [kW]	Horas de uso * mes [h]	Consumo diario [kWh/mes]
3	Bomba 5hp 240vac 3Ph	3,73	11,19	727,44	8140,0536
				Total	8140,0536

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 6. Cálculo de la corriente requerida

Cálculo de la corriente requerida		
A1	Carga total mensual sin paneles[kW/h]	8140
A2	Costo kW/h mensual sin paneles	₡893 208
A3	Potencia Sist. Bomba (P bomba) [kW]	11,19
A4	Potencia max (Pmax) [kW]	0,45
A5	$N = P_{\text{bomba}} / P_{\text{panel}}$	25
A6	Multiplicar con el factor de seguridad 20% (compensar las pérdidas del sistema)	1,2
A7	Cantidad de paneles	30
A8	Promedio anual de horas de sol por día (solarelectricityhandbook)	4,47
A9	Energía teórica generada por mes [kWh/mensual]	1810,35
A10	Consumo estimado con paneles (kWh/ mensual)	6329,70
A11	Costo kW/h mensual generado	₡198 650

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 7. Costo de inversión para el sistema fotovoltaico

Costo de inversión			
Cantidad	Equipo	Costo	Costo total
30	Panel Fotovoltaico 450 Watts	¢118 000	¢3 540 000
50	Cable Fotovoltaico negro	¢800	¢40 000
50	Cable Fotovoltaico rojo	¢800	¢40 000
3	Conector Paralelo	¢7 000	¢21 000
1	Tubería, conector, etc.	¢200 000	¢200 000
		Total	¢3 841 000
Cantidad	Equipo	Costo	Costo total
1	Panel de arranque electrónico con variador de frecuencia 5HP, 3 fases	¢3 818 202	¢3 818 202
		Total	¢3 818 202

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 8. Porcentaje de ahorro energético

Retorno de inversión	
Consumo estimado con paneles anual (kW/h)	75956,44
Costo del consumo eléctrico con paneles anual	₡8 334 701
Costo total de la inversión	₡7 659 202
Ahorro económico anual	₡2 383 796
22,24%	Porcentaje de ahorro por año en bombas de cloración. Este ahorro potencial es por incorporación del sistema solar estimado

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 9. Cálculo de materiales para el sistema de iluminación en el proceso

Área	DESCRIPCIÓN	Aplicación	Cantidad	Unidad	Costo Unit. sin I.V.A	Precio Total sin I.V.A	Total del producto	
1	Instalación de pulsadores con temporizadores	Tubo Amanco 1/2in UL	Canalización	40,00	C/U	¢2 287,70	¢91 508,16	¢893 593,71
		Unión Amanco 1/2in UL	Canalización	40,00	C/U	¢171,31	¢6 852,40	
		Conector Amanco 1/2in UL	Canalización	65,00	C/U	¢232,47	¢15 110,55	
		Gaza doble EMT 1/2in UL	Canalización	100,00	C/U	¢176,55	¢17 655,00	
		Riel Strut Perfil bajo	Canalización	5,00	C/U	¢4 327,98	¢21 639,90	
		Gaza riel strut rigid 1/2in	Canalización	100,00	C/U	¢176,37	¢17 637,00	
		Tapón para riel strut perfil	Canalización	50,00	C/U	¢247,19	¢12 359,50	
		Conduleta EMT 1/2in UL TIPO LB	Canalización	10,00	C/U	¢2 701,92	¢27 019,20	
		Cable #12 THHN Azul, mts	Cableado	120,00	MTS	¢250,00	¢30 000,00	
		Cable #12 THHN Blanco, mts	Cableado	120,00	MTS	¢250,00	¢30 000,00	
		Cable #12 THHN Verde, mts	Cableado	120,00	MTS	¢250,00	¢30 000,00	
		Cable #12 THHN Rojo, mts	Cableado	120,00	MTS	¢250,00	¢30 000,00	
		Accesorios extra (Tape, Tornillos, Terminales, entre otros)	Global	1,00	Global	¢50 000,00	¢50 000,00	
		Pulsador verde 22mm pvc	Interruptor	7,00	C/U	¢14 016,00	¢98 112,00	
		Timmer Finder bticino	Iluminación	7,00	C/U	¢30 000,00	¢210 000,00	
		Caja plástica plex eagle 6x4	Iluminación	7,00	C/U	¢5 100,00	¢35 700,00	
		Sensores de movimiento eagle	Interruptor	10,00	C/U	¢17 000,00	¢170 000,00	
SUBTOTALES						¢ 893 594	¢ 893 593,71	
COSTO TOTAL Con I.V.A						¢ 893 593,71		
TOTAL PRECIO DE VENTA MATERIALES CON IVA						¢ 1 009 760,89		

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 10. Estimación de la carga del sistema de iluminación perimetral.

Cantidad	Carga	Potencia Unitaria [kW]	Potencia Total [kW]	Horas de uso * mes [h]	Consumo diario [kWh/mes]
1	Sistema de iluminación perimetral	6,33	6,33	360	2278,8
				Total	2278,8

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 11. Costo del consumo actual del sistema de iluminación

Cálculo del costo del consumo actual		
A1	Carga total mensual con toda la iluminación [kW/h]	2279
A2	Costo kW/h mensual con toda la iluminación	¢250 053

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 12. Costo de inversión

Costo de inversión			
Cantidad	Equipo	Costo	Costo total
1	Cotización del material eléctrico	Ø1 009 761	Ø1 009 761
		Total	Ø1 009 761

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 13. Ahorro energético anual estimado

Retorno de inversión	
Consumo estimado Iluminación proceso con los pulsadores (kWh/mes)	270,00
Consumo estimado Iluminación proceso sin los pulsadores (kWh/mes)	1620
Ahorro estimado de consumo energético (Actual - pulsadores)	1350,00
Ahorro económico con la mejora mensual	₡148 135,50
Ahorro económico anual	₡1 777 626
83,33%	Porcentaje de ahorro por año en el sistema de iluminación de proceso. Este ahorro potencial es por incorporación de oportunidad de mejora en el sistema de iluminación en el proceso de potabilización

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 14. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con la implementación de una mejora potencial que se da por la variabilidad operacional estimada

Tasa de descuento para el VAN	5,0%
Inversión inicial	€0,00
TIR	---
VAN	€4 403 821,84
PIR (Año)	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 15. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con la implementación de un sistema de bombeo solar

Año	Flujo de efectivo
0	-C\$7 659 202,00
1	C\$2 383 796,47
2	C\$2 383 797,47
3	C\$2 383 798,47
4	C\$2 383 799,47
5	C\$2 383 800,47

Tasa de descuento para el VAN	5,0%
Inversión inicial	C\$7 659 202,00
TIR	16,81%
VAN	C\$2 661 389,19
PIR (Año)	3,21

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 16. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con la implementación de una mejora en el sistema de iluminación del proceso de la planta

Año	Flujo de efectivo
0	-€1 009 761,00
1	€1 244 338,20
2	€1 244 338,20
3	€1 244 338,20
4	€1 244 338,20
5	€1 244 338,20

Tasa de descuento para el VAN	5,0%
Inversión inicial	€1 009 761,00
TIR	174,92%
VAN	€6 686 429,30
PIR (Año)	0,57

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 17. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con la implementación de una mejora en el sistema de bombeo en el proceso de cloración

Tasa de descuento para el VAN	5,0%
Inversión inicial	¢0,00
TIR	0,00%
VAN	¢6 614 059,25
PIR (Año)	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 18. Análisis económico de la propuesta de ahorro energético con el cambio de tarifa de T-CO a TMT

Tasa de descuento para el VAN	5,0%
Inversión inicial	€0,00
TIR	0,00%
VAN	€16 264 739,84
PIR (Año)	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 19. Resumen de oportunidades de mejoramiento del desempeño energético encontradas

Propuesta de ahorro energético	Área	Ahorro Energético Anual (kWh/año)	Ahorro Económico Anual (€/año)	Inversión (€)	Rango de recuperación de la inversión (años)	Total Ahorro Energético anual (kWh/año)	Total Ahorro Económico Anual (€/año)
Ahorro energético potencial es por la variabilidad operacional estimada.	Global	9269,77	€1 017 171,86	€0	0,00	9269,77	€1 017 172
Sistema de Bombeo Solar para 3 bombas 5hp, 240vac, 3Ph	Cloración	21724,2	€2 383 796,47	€7 659 202	3,21	21724,2	€2 383 796
Análisis del Sistema de Bombeo de Cloración (Trabajo de las bombas en la zona óptima); modelado en un software de sistemas de bombeo	Cloración	13922,18	€1 527 681,35	€0	0,00	13922,18	€1 527 681
Análisis del sistema de iluminación proceso (Simulación en Dialux)	Iluminación Perimetral	16200,00	€1 777 626,00	€1 009 761	0,57	16200,00	€1 777 626
Análisis de cambio de Tarifa de T-CO a TMT (Estudio Factibilidad)	Planta Global	34236,26	€3 756 745,00	€0	0,00	34236,26	€3 756 745
Totales		---	---	€8 668 963	---	95352,41	€10 463 021

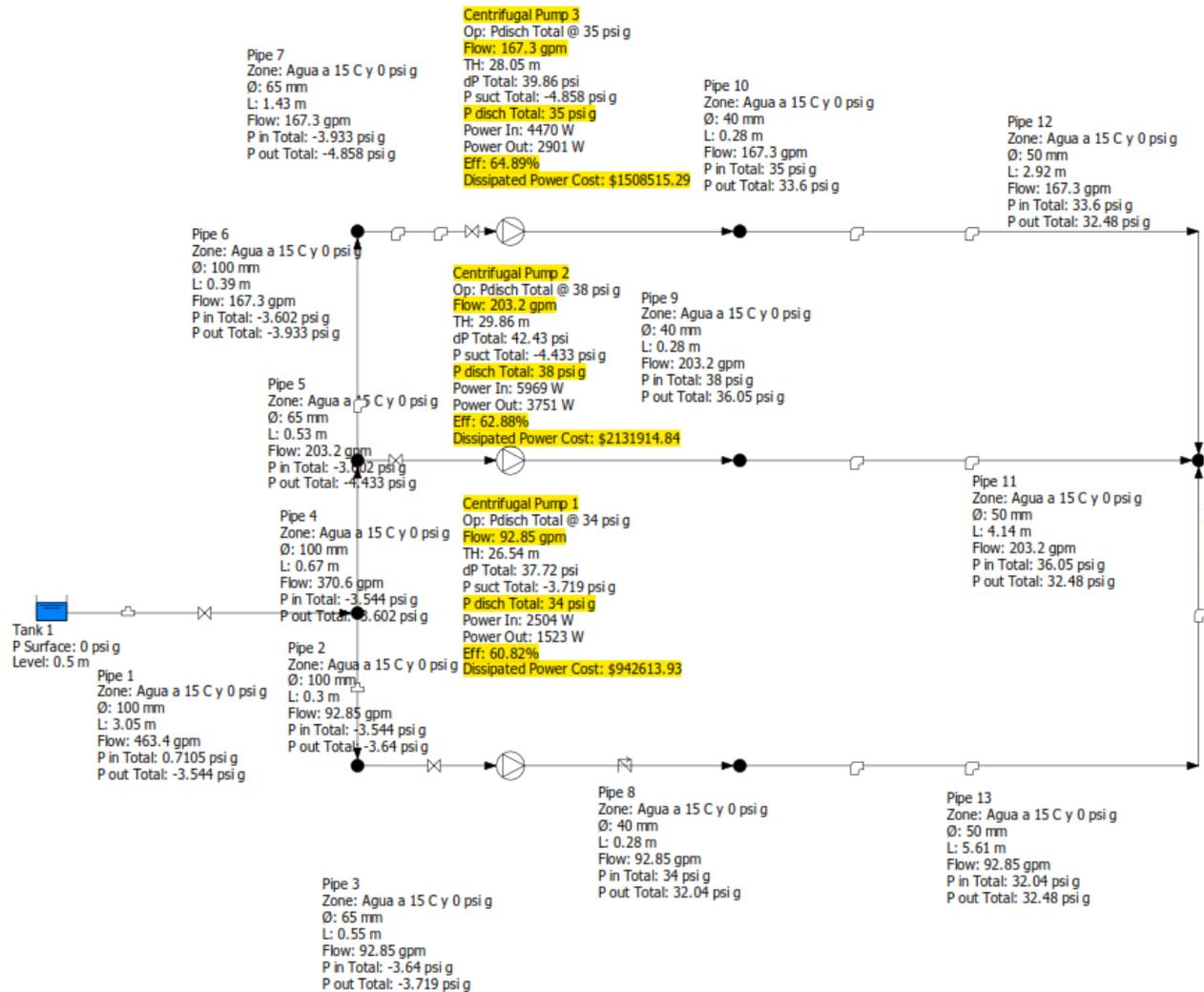
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 20. Distribución de las propuestas de ahorro energético

Propuesta de ahorro energético	Ahorros Energéticos	
	kWh/año	%
A. Ahorro energético potencial es por la variabilidad operacional estimada.	9269,77	9,72%
B. Sistema de Bombeo Solar para 3 bombas 5hp, 240vac, 3Ph	21724,2	22,78%
C. Análisis del Sistema de Bombeo de Cloración (Trabajo de las bombas en la zona óptima); modelado en un software de sistemas de bombeo	13922,18	14,60%
D. Análisis del sistema de iluminación proceso (Simulación en Dialux).	16200,00	16,99%
E. Análisis de cambio de Tarifa de T-CO a TMT (Estudio Factibilidad de la CNFL).	34236,26	35,90%
TOTAL	95352,41	100,00%

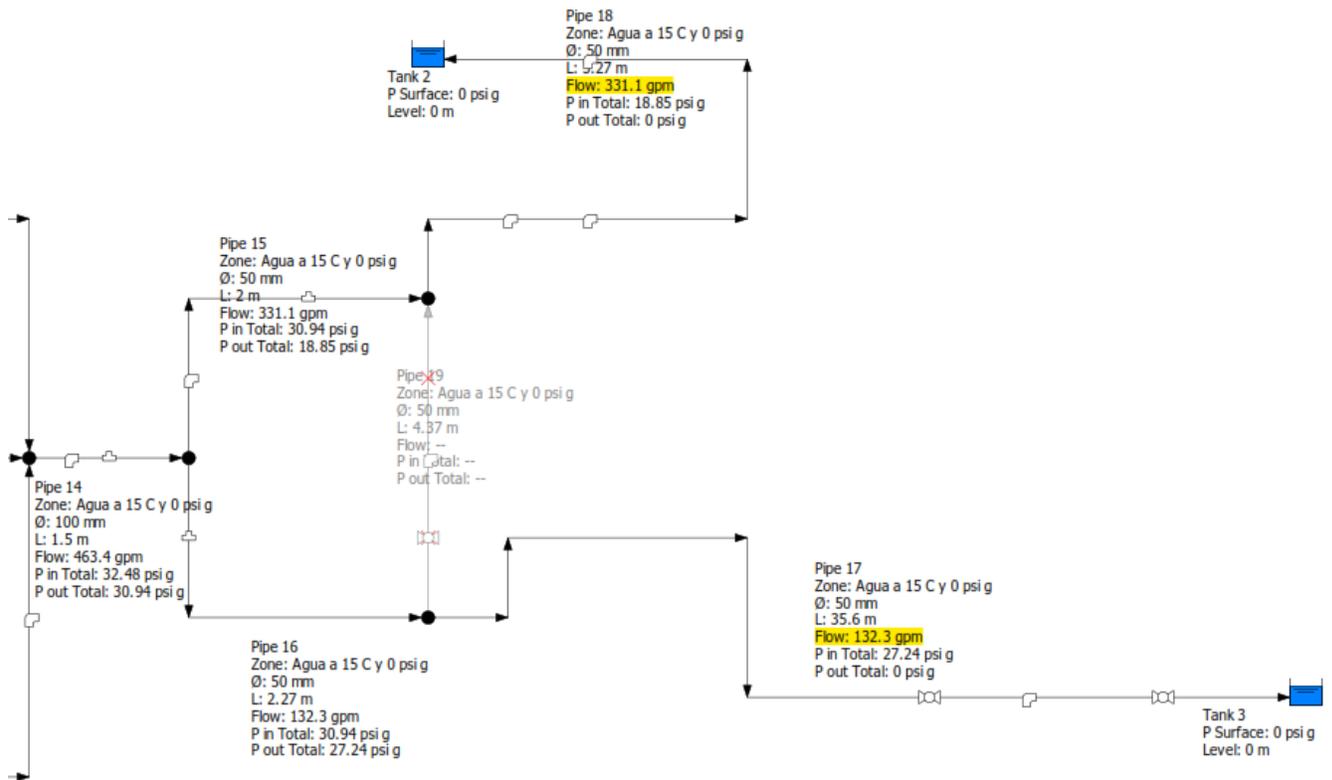
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 21. Diagrama del sistema de bombeo en el proceso de cloración 1



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 22. Diagrama del sistema de bombeo en el proceso de cloración 2



Fuente: Elaboración propia.

Anexos

Anexo 1. Parámetros del indicador de eficiencia energética

Si $IDEn < 1$, significa que, en este mes, el consumo de energía fue menor al consumo que se hubiera tenido en las mismas condiciones de operación (cantidad producida) durante el periodo de referencia (línea de base energética), es decir que se consiguió una mejora del desempeño energético contra el mismo mes del año de referencia.

Si $IDEn > 1$, significa que, en este mes, se consumió más energía que lo que se hubiera consumido durante el año de referencia en un mes con las mismas condiciones operativas (cantidad producida), es decir que no se consiguió una mejora del desempeño energético.

En el ejemplo tratado, el valor del $IDEn$ es de 0.96, es inferior a 1. Podemos deducir que, en este mes, la mejora del desempeño energético fue de 4% en comparación a la línea de base energética. Se muestra los resultados del ejemplo seleccionado para todos los meses del 2016.

Fuente: *Guía técnica para la implementación de sistemas de gestión de la energía en el marco de una red de aprendizaje.* Richard (2017).

Anexo 2. Cotización de arranque electrónico con variador de frecuencia para el sistema de bombeo de cloración



OFERTA TECNICA

Panel de arranque electrónico con variador de frecuencia 5HP, 3 fases, 240Vac, conformado por:

- Variador de frecuencia ATV320 de 5HP, 3F, 240Vac.
- Gabinete metálico IP66 de 1000x600x300mm, IP 65, IK10, RAL 7035.
- Protección para el variador por medio de interruptor termomagnético.
- Luces piloto led de operación, falla y alarma. 3 en total.
- Botón pulsador hongo de paro de emergencia.
- Pulsador de arranque y paro
- Ventilación forzada por medio de abanicos.
- Terminales de conexión de control y potencia.
- Planos de control y potencia, etiquetado de cableado y borneras.

NOTAS:

El equipo se entrega ensamblado. El ensamble realizado en un taller certificado ETS por el fabricante.

No se incluye en esta oferta el servicio de puesta en marcha del equipo.

Todos los equipos ofertados son marca Schneider Electric.

No se incluye programación por medio de software ni enlazada a una red de comunicación.

Fuente: Oferta técnica de IESA (2021).

Anexo 3. Radiación solar presente en Tres Ríos de Cartago en el año 2019

Solar Irradiance figures

Select Country:

Select Town/City:

Solar Panel direction:



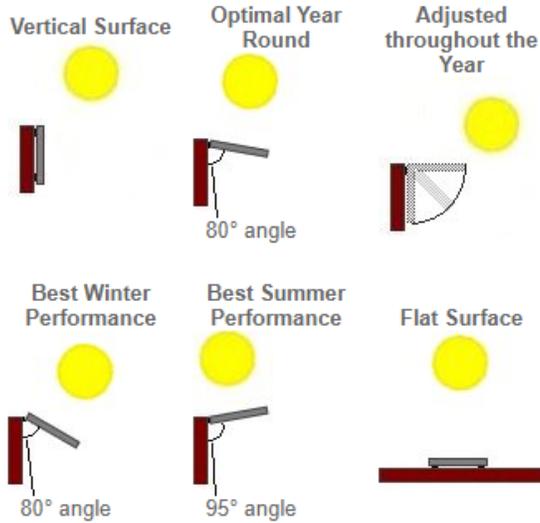
**Tres Rios
Average Solar Insolation
figures**



Measured in kWh/m²/day onto a horizontal surface:

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
4.71	5.20	5.71	5.08	4.30	4.26
Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
4.12	4.02	4.21	3.86	3.84	4.29

Click on the images below to see irradiance figures for different angles:



Fuente: Solar Electricity Handbook (2021). <http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html>

Anexo 4. Ficha técnica del panel fotovoltaico de 450w

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC							
Maximum Power (P_{max})	435W	440W	445W	450W	455W	460W	465W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	49.6V	49.8V	50.0V	50.2V	50.4V	50.6V	50.8V
Short Circuit Current (I_{sc})	11.10A	11.16A	11.22A	11.28A	11.34A	11.40A	11.46A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	41.2V	41.4V	41.6V	41.8V	42.0V	42.2V	42.4V
Current at Maximum Power (I_{mp})	10.56A	10.63A	10.70A	10.77A	10.84A	10.91A	10.97A
Module Efficiency (%)	19.90	20.13	20.36	20.58	20.81	21.04	21.27
Operating Temperature	-40°C to +85°C						
Maximum System Voltage	1000V DC/1500V DC						
Fire Resistance Rating	Type 1 (in accordance with UL1703)/Class C (IEC61730)						
Maximum Series Fuse Rating	20A						

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5; Tolerance of Pmax: 0~+3%; Measurement Tolerance: ±3%

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT							
Maximum Power (P_{max})	323W	327W	331W	335W	339W	343W	347W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	45.6V	45.8V	46.0V	46.2V	46.4V	46.6V	46.8V
Short Circuit Current (I_{sc})	8.99A	9.04A	9.09A	9.14A	9.19A	9.24A	9.29A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	37.4V	37.6V	37.8V	38.0V	38.2V	38.4V	38.6V
Current at Maximum Power (I_{mp})	8.64A	8.70A	8.76A	8.82A	8.88A	8.94A	8.99A

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS	
Cell type	Monocrystalline PERC 166*83mm
Number of cells	144 (6x24)
Module dimensions	2102x1040x35mm (82.76x40.94x1.38inches)
Weight	24kg (52.9lbs)
Front cover	3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP68, 3 diodes
Cable	4mm ² (0.006inches ²), Length: Portrait: 300mm (11.81inches); Landscape: 1400mm (55.12inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

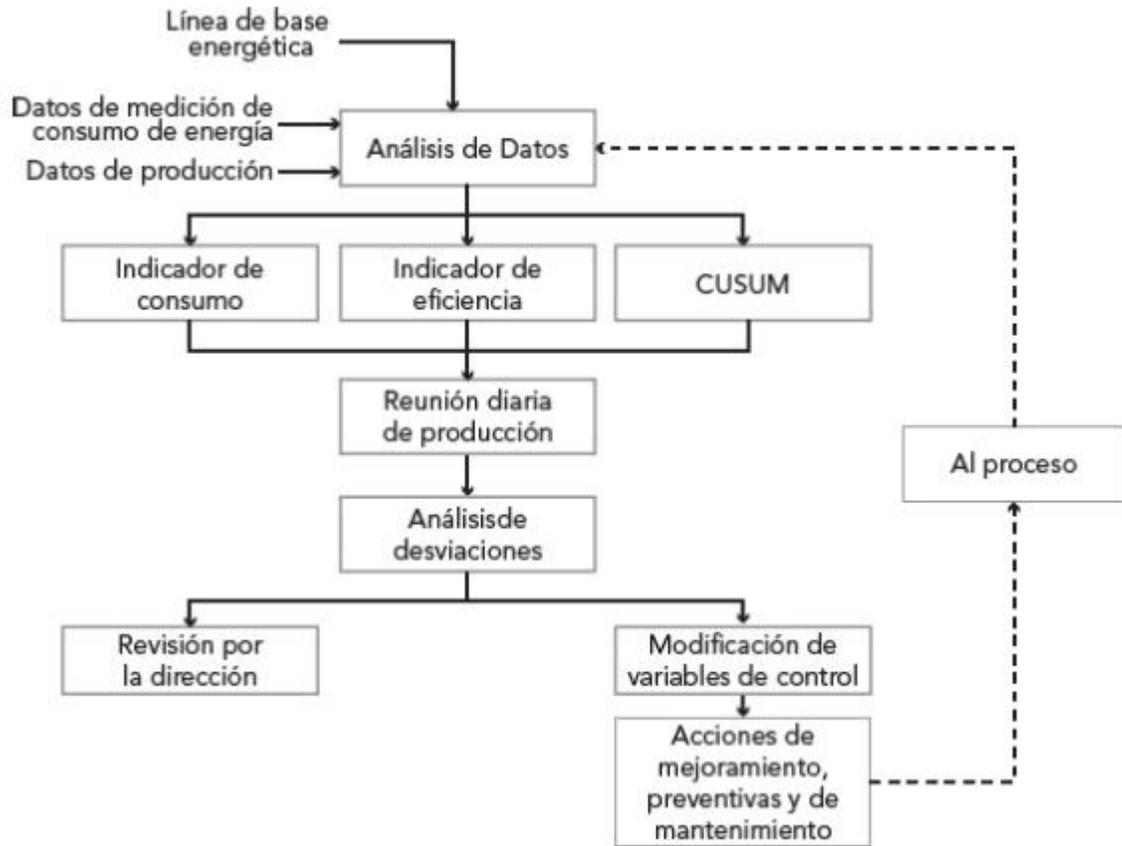
TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	43°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.36%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.28%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.05%/°C

PACKAGING	
Standard packaging	31pcs/pallet
Module quantity per 20' container	155pcs
Module quantity per 40' container	682pcs

Fuente: Ficha técnica del panel solar (2021).

<http://www.weamerisolar.com/d/file/english/product/pro11555/2021/02-01/7cf91d3ecd53fd5f44f0ad5c6da16ab9.pdf>

Anexo 5. Diagrama para el seguimiento y verificación de los indicadores de desempeño energético



Fuente: Metodología para la planificación energética a partir de la norma ISO 50001. Castrillón Mendoza y González Hinestroza (2018).

Anexo 6. Oferta para los materiales del sistema iluminación proceso



Suplidora Alajuela FM, Ltda.
 Céd. Jurídica: 3-102-390063
 Teléfono: (506) 2430-9010 Fax: (506) 2296-1558
 150 Sur de la iglesia La Agonía, Alajuela
 Apartado: 212-1017, San José 2000
 E-mail: info.alajuela@gdiez.com
 www.gdiez.com

Fecha: **08-06-2021**

Cotización

CO-0003910490

Vendedor

Walter Rivera Miranda

Orden:

Cliente: AyA
 Dirección:
 Teléfono : - Fax: -
 Observaciones: **DESCUENTO APLICADO**

Cuenta
10001

Código	Descripción	Cant.	Precio Colones	Total Colones
1010614	TUBO PVC CONDUIT 12MM SCH40 U.L. **965918	40.00	2,366.00	94,640.00
1010674	UNION PVC CONDUIT 12MM SCH40 U.L. **9663	40.00	172.00	6,880.00
1010662	CONECTOR PVC CONDUIT 12MM MACHO SCH40 U.L	65.00	232.00	15,080.00
3160329	GAZA EMT USA 2H 18MM (3/4") UL. ** A **	100.00	25.60	2,560.00
3160392	RIEL STRUT DE 1 5/8" X 13/16" CAL:14 ** A **	5.00	8,100.00	40,500.00
3160340	GAZA P/RIEL STRUT P/EMT & RIGID 1/2" **A**	100.00	120.00	12,000.00
3160141	CONDULETA TIPO LB USA 12MM #OLB-2986-C ** A	10.00	840.00	8,400.00
1140055	CABLE THHN # 12 AWG AZUL	120.00	287.00	34,440.00
1140056	CABLE THHN # 12 AWG BLANCO	120.00	287.00	34,440.00
1140059	CABLE THHN # 12 AWG VERDE	120.00	287.00	34,440.00
1140058	CABLE THHN # 12 AWG ROJO	120.00	287.00	34,440.00
1040348	PULS SS 3SU11000AB401BA0 RASANTE VERDE 1NA PL	7.00	9,107.75	63,754.00
1090460	TIMER LG 412631 16A	7.00	73,053.25	511,373.00
1110094	CAJA EAGLE 223-A PLEXO 175X110X66	7.00	4,007.75	28,054.00
1380306	SENSOR TECNOLLX-28A MOVIM P/TECHO	10.00	13,659.50	136,595.00

Fuente: Cotización de Grupo Diez (2021).

Anexo 7. Ecuación para el cálculo de los límites

b. Construcción del gráfico de control

En la elaboración de un gráfico de control de medias para la evaluación de los consumos energéticos, se requiere:

- Realizar una tabla de datos de consumos de energía para un período de tiempo determinado.
- Calcular la media de los datos a partir de la ecuación, la cual determina el valor medio para evaluar el consumo de energía observado:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

- Calcular los límites de control: Los límites de control se calculan a partir de la desviación estándar de los datos y la media de los mismos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$LCS = \bar{x} + 3\sigma \quad (3)$$

$$LCI = \bar{x} - 3\sigma \quad (4)$$

Fuente: Metodología para la planificación energética a partir de la norma ISO 50001. Castrillón Mendoza y González Hinestroza (2018).

Anexo 8. Radiación solar de la base Itzarú Cartago

Base Itzarú			Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. kWh/m2
RADIACION	1999	2019	4,11	4,94	4,81	4,69	4,11	3,69	3,81	4,11	4,11	3,78	3,42	3,64	4,10

Fuente: Instituto Meteorológico de Costa Rica (2021).

Anexo 9. Criterio de selección de proyectos según la tasa interna de retorno

El criterio de selección será el siguiente donde “k” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- **Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado.** En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- **Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero.** En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- **Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse.** No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

Fuente: Economipedia (2021).

Anexo 10. Información técnica de un clorador 1000 PPD

REGAL Series 2000 Gas Chlorinators

1000 LBS/24 HRS. (20kg/hr)

EJECTOR BACKPRESSURE		REQUIRED Ejector Supply Pressure & Water Flow Rate			
		A-2920 EJECTOR - 0.563" (STD)		A-2922 EJECTOR - 0.750"	
PSIG	kg/cm ²	PSIG @ GPM	kg/cm ² @ 1/sec	PSIG @ GPM	kg/cm ² @ 1/sec
0	0.00	15 @ 34.5	1.05 @ 2.18	8 @ 46.0	0.57 @ 2.90
10	0.70	35 @ 43.7	2.43 @ 2.76	16 @ 65.6	1.13 @ 4.13
20	1.41	58 @ 52.9	4.04 @ 3.34	30 @ 84.0	2.10 @ 5.30
30	2.11	85 @ 62.1	5.98 @ 3.92	48 @ 98.9	3.40 @ 6.24
40	2.81	115 @ 71.3	8.08 @ 4.50	67 @ 112.7	4.69 @ 7.11
50	3.52	147 @ 82.8	10.35 @ 5.22	87 @ 126.5	6.14 @ 7.98
60	4.22	—	—	108 @ 136.9	7.60 @ 8.63
70	4.92	—	—	129 @ 149.5	9.05 @ 9.43

Fuente: Boletín 1900, Regal Chlorinators (2015).

Anexo 11. Información técnica de un clorador 500 PPD

Maximum Chlorine Feed Rate — 500 PPD (10 Kg./Hr.) See Note.

NOZZLE		Standard Nozzle No. 50X*	
EJECTOR BACKPRESSURE		REQUIRED Ejector Supply Pressure and Water Flow Rate	
PSIG	kg/cm ²	PSIG @ GPM	kg/cm ² @ l/sec.
0	0	72 @ 20.7	5.06 @ 1.31
10	0.70	89 @ 23.1	6.26 @ 1.46
20	1.40	97 @ 24.1	6.82 @ 1.52
30	2.10	105 @ 25.2	7.38 @ 1.59
40	2.81	113 @ 26.3	7.94 @ 1.66
50	3.51	125 @ 27.3	8.79 @ 1.72
60	4.21	138 @ 29.0	9.70 @ 1.83
70	4.92	155 @ 31.5	10.90 @ 1.99
80	5.62	173 @ 32.2	12.16 @ 2.03
90	6.32	192 @ 34.5	13.50 @ 2.18
100	7.03	210 @ 36.8	14.76 @ 2.32
110	7.73	228 @ 38.5	16.03 @ 2.43

Fuente: Boletín 1900, Regal Chlorinators (2021).

Anexo 13. Proforma de un eyector 1000 PPD



Barreal de Heredia, de Embotelladora Centroamericana (PEPSI) 500
Norte y 75 Este
Heredia, Costa Rica.
Teléfono: (506) 2239-9590 - Fax: (506) 2239-9593
Cédula Jurídica: 3-101-079790-29

Oferta de Venta

N° 4663

ORIGINAL

Día	Mes	Año
20	7	2021

Cliente: Contado (999999)

Dirección: ,
,CR

Teléfono N°:

Asesor: Kevin Sanchez

Atención:

Términos de pago: Contado

Validez de la oferta: 20/07/2021

Fecha de entrega: 05/09/2021

Referencia: Brayan Oporta

Código	Descripción	Un.	Cantidad	Precio Unitario	Total
A-2920	EJECTOR ALTA PRESION MAXI	Ud	1	USD 3,048.45	USD 3,048.45

Fuente: COANSA (2021).

Anexo 14. Proforma de un eyector 500 PPD



Barreal de Heredia, de Embotelladora Centroamericana (PEPSI) 500
Norte y 75 Este
Heredia, Costa Rica.
Teléfono: (506) 2239-9590 - Fax: (506) 2239-9593
Cédula Jurídica: 3-101-079790-29

Oferta de Venta

N° 4663

ORIGINAL

Día	Mes	Año
20	7	2021

Cliente: Contado (999999)

Dirección: ,
,CR

Teléfono N°:

Asesor: Kevin Sanchez

Atención:

Términos de pago: Contado

Validez de la oferta: 20/07/2021

Fecha de entrega: 05/09/2021

Referencia: Brayán Oporta

Código	Descripción	Un.	Cantidad	Precio Unitario	Total
A-920	EJECTOR ALTA PRESION MAXI	Ud	1	USD 802.35	USD 802.35

Sub Total USD 802.35

I.V. USD 104.31

Otros 0.00

Total USD 906.66

Fuente: COANSA (2021).

Anexo 15. *Presiones del sistema de bombeo de cloración en la planta Tres Ríos*

Presión del sistema de bombeo en PSI	
Bomba #1	35
Bomba #2	38
Bomba #3	34
Bomba #1 y #2	50
Bomba #1 y #3	48
Bomba #2 y #3	48
Bomba #1, #2 y #3	55

Fuente: Unidad de Control Electromecánica (AyA, 2021).

Anexo 16. *Estimación de ahorro energético anual por cambio de tarifa*

Estimación Anual	
Total T-GE	₡21 663 789,00
Total TMT	₡17 907 044,00
Beneficio Anual	₡3 756 745,00

Fuente: Compañía Nacional de Fuerza y Luz (2021).

Anexo 17. Carta de Autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación Universidad Técnica Nacional 1.

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
(Trabajo Individual)**

Alajuela, 10 de noviembre de 2021.
Señores/as

Vicerrectoría de Investigación. Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores/as:

Yo Brayan Oporta García portador (a) de la cédula de identidad número 207810056. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulada: "Propuesta de un modelo de gestión de la eficiencia energética en la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Tres Ríos de Cartago, año 2021"

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 10/11/2021, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede Central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

**Autorizo
Ver capítulo V, disposiciones finales, artículo 41 (O aquel que refiera a derechos patrimoniales)**

Marque con una X o un ✓	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca.	X
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X
Consulta electrónica con texto protegido	X
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X
Divulgación del resumen en el Repositorio UTN, con una cantidad de 200 a 500 palabras	X

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de

Anexo 18. Carta de Autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación Universidad Técnica Nacional 2.

originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante: _____



Cédula: 207810056

Día: 15-11-2021