



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA  
CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

Realizado por:

**CARLOS JULIO LOZANO ZAMBRANO**

Director del proyecto:

**MSc Rodolfo Jefferson Rubio Aguiar**

Como requisito para la obtención del título de:

**Máster en Ecoeficiencia Industrial**

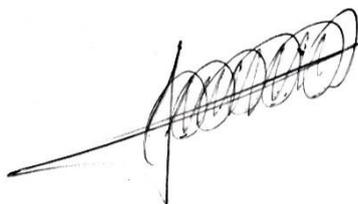
Quito, 14 de octubre 2020

# **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

## **DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, CARLOS JULIO LOZANO ZAMBRANO, con cédula de identidad # 080264431-0, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



**FIRMA**

080264431-0

**“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA  
MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA  
MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

Realizado por:

**CARLOS JULIO LOZANO ZAMBRANO**

como Requisito para la Obtención del Título de:

**MÁSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN EFICIENCIA  
ENERGÉTICA**

ha sido dirigido por el profesor

**RODOLFO JEFFERSON RUBIO AGUIAR**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'RJA', is centered on the page.

**FIRMA**

## LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

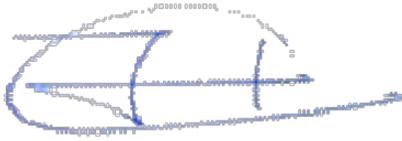
PhD. Mónica Susana Delgado Yáñez

Dr. Jesús López Villada

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su

defensa oral ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 14 de octubre del 2020

## **DEDICATORIA**

**A mis Padres (+)**, que me dieron la oportunidad de compartir la belleza de la vida.

**A mis hijos: Jesús y Camila**, por ser el motor que inspira mis locuras.

## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Internacional SEK, a sus docentes, al Ing. Lister Posligua y a mis compañeros de trabajo que, con su experiencias y conocimientos, ayudaron a culminar esta etapa de mi formación personal y profesional, y como no ser agradecido con Dios, quien con su amor infinito me sostuvo en buen puerto en los momentos difíciles hasta hoy.*

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## ÍNDICE

<b>DECLARACIÓN JURAMENTADA</b> .....	ii
<b>DECLARATORIA</b> .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVO GENERAL.....	25
ESPECÍFICOS .....	25
HIPÓTESIS.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
ZONA DE ESTUDIO .....	26
METODOLOGÍA DE CAMPO .....	27
RESULTADOS .....	37
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES .....	58
AGRADECIMIENTO .....	59
REFERENCIAS .....	60

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ECUACIONES PARA CÁLCULO DE POTENCIAS, TDH Y RENDIMIENTO .....	29
TABLA 2 INVENTARIO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CAPTACIÓN .....	40
TABLA 3 INFLUENCIAS DE LOS GASTOS ENERGÉTICOS RESPECTO A LOS INGRESOS DEL AÑO 2019.....	44
TABLA 4 PRODUCCIÓN Y LÍMITES DE CONTROL .....	45
TABLA 5 CONSUMO DE ELECTRICIDAD Y LÍMITES DE CONTROL .....	46
TABLA 6 CONSUMO ENERGÉTICO Y PRODUCCIÓN DEL 2020 .....	49
TABLA 7 EFICIENCIA TOTAL, ENERGÍA ESPECÍFICA Y ENERGÍA DE LOS GRUPOS DE BOMBEO..	52
TABLA 8 DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CAPTACIÓN.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1.</i> DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES DE GEI POR SECTOR.....	15
<i>FIGURA 2.</i> DIAGRAMA DE PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA DE UNA BOMBA .....	17
<i>FIGURA 3.</i> BALANCE DE POTENCIA DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.....	19
<i>FIGURA 4.</i> LÍNEA BASE ENERGÉTICA, CONSUMO DE ELECTRICIDAD RESPECTO A LA PRODUCCIÓN .....	22
<i>FIGURA 5.</i> CONCEPTO DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO.....	23
<i>FIGURA 6.</i> VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSUMO CON RESPECTO A LA PRODUCCIÓN.....	24
<i>FIGURA 7.</i> EVOLUCIÓN DE ACTIVIDADES DE UNA REVISIÓN ENERGÉTICA. ....	27
<i>FIGURA 8.</i> POTENCIA DE ENTRADA, POTENCIA EN EL EJE Y POTENCIA HIDRÁULICA .....	32

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

<i>FIGURA 9.</i> ENERGÍA ESPECÍFICA, ENERGÍA REQUERIDA PARA MOVER 1 M <sup>3</sup> DE LÍQUIDO.....	34
<i>FIGURA 10</i> DIAGRAMA DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	38
<i>FIGURA 11</i> PLANO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	38
<i>FIGURA 12</i> ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA CRUDA EL CEIBAL .....	39
<i>FIGURA 13</i> ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA POTABLE EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	39
<i>FIGURA 14</i> CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS .....	42
<i>FIGURA 15</i> DIAGRAMA COSTO ENERGÉTICO DE ELECTRICIDAD .....	43
<i>FIGURA 16</i> DIAGRAMA DE GASTOS DE ELECTRICIDAD VERSUS LOS INGRESOS .....	44
<i>FIGURA 17</i> GRAFICO DE CONTROL PRODUCCIÓN.....	46
<i>FIGURA 18</i> GRAFICO DE CONTROL DE CONSUMO DE ELECTRICIDAD .....	47
<i>FIGURA 19</i> ENERGÍA Y PRODUCCIÓN AÑO 2019.....	47
<i>FIGURA 20</i> LÍNEA BASE ENERGÉTICA.....	48
<i>FIGURA 21</i> ÍNDICE DE CONSUMO REAL Y MODELADO RESPECTO A LA PRODUCCIÓN.....	48
<i>FIGURA 22</i> DIAGRAMA DE PARETO DE LOS EQUIPOS DE USOS SIGNIFICATIVO DE LA ENERGÍA.....	49
<i>FIGURA 23</i> DIAGRAMA DE ENERGÍA TOTAL Y ENERGÍA ESPECIFICA DE BOMBA UNO .....	50
<i>FIGURA 24</i> DIAGRAMA DE ENERGÍA TOTAL Y ENERGÍA ESPECIFICA DE BOMBA DOS.....	50
<i>FIGURA 25</i> DIAGRAMA DE ENERGÍA TOTAL Y ENERGÍA ESPECIFICA DE BOMBA TRES .....	51
<i>FIGURA 26</i> DIAGRAMA DE ENERGÍA TOTAL Y ENERGÍA ESPECIFICA DE BOMBA CUATRO .....	51
<i>FIGURA 27</i> INDICADOR DE CONSUMO ESPECÍFICO .....	55

# **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

Para someter a: Enfoque UTE

To be submitted: *Enfoque UTE*

## **“Planeación energética estación de bombeo agua cruda Manta-Ecuador, bajo Norma ISO 50001”**

**Energy Planning for the Manta-Ecuador raw water pumping station, under ISO 50001 standard**

**Julio Lozano**<sup>1</sup> [cjlozano.mee@uisek.edu.ec](mailto:cjlozano.mee@uisek.edu.ec)

**Jefferson Rubio**<sup>1\*</sup>

**Mónica Susana Delgado Yáñez**<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

\*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: MSc. Jefferson Rubio, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

Teléfono: 0987905726, email: [rodolfo.rubio@uisek.edu.ec](mailto:rodolfo.rubio@uisek.edu.ec)

Título corto o Running Title: **Planeación energética estación de bombeo agua cruda.**

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## RESUMEN

La Planificación Energética es el segundo eslabón del sistema de gestión de la energía según la Norma ISO 50001, que permite realizar el seguimiento, medición de los procesos y características que determinan el desempeño energético, en este estudio se escoge la estación de bombeo Ceibal-Captación Agua Cruda de la Ciudad de Manta. El objetivo del presente trabajo es realizar la evaluación energética mediante la planeación energética de la Norma Internacional para obtener: Requisitos Legales, Línea Base, Indicadores de Desempeño y Objetivos Energéticos. Se recolecta datos de consumo energético (amperaje, voltaje, energía), producción (caudal) del año 2019, se hace la planeación energética, encontrando que el 13% del consumo eléctrico del proceso de tratamiento de agua potable se da en la estación de bombeo de captación, el índice de consumo del grupo de bombeo uno es de 0,098 kWh/m<sup>3</sup> y de 0,072 kWh/m<sup>3</sup> para la bomba cuatro, siendo el menor y mayor valor encontrado. Se identificó potenciales ahorros de energía en los grupos de bombeo del 18 % en promedio, que representan un monto de USD 54032 al año. El diagrama de dispersión en función de los históricos muestra que los consumos de energía eléctrica con la producción están relacionados directamente con coeficiente de correlación de 0,68. Finalmente se recomienda implementar un Sistema de Gestión de Energía basado en la norma ISO 50001 acorde a las expectativas de la alianza Epam - Veolia y exigencias del Plan Nacional de Eficiencia Energética con horizonte 2019.

***Palabras clave: evaluación energética, revisión energética, línea base energética, indicadores energéticos, estación de bombeo, ISO 50001***

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## ABSTRACT

Energy Planning is the second shackle in the energy management system according to the ISO 50001 Standard, which allows monitoring, measuring the processes and characteristics that determine energy performance, based on this study I have chosen the pumping station Ceibal-Raw Water Catchment in Manta City. The aim of this research work is to carry out the energy evaluation through the energy planning of the International Standard to obtain the following: Legal requirements, Base line, Performance Indicators and, Energy Goals. On this research, the data collection of energy consumption (amperage, voltage, energy), production (flow) of the year 2019 is made actually; and energy planning is also realized, finding that 13% of the electricity consumption of the drinking water treatment process It mostly occurs in the catchment pumping station; the consumption index for pumping group One (1) is 0.098 kWh / m<sup>3</sup> and 0.072 kWh / m<sup>3</sup> for pump Four (4), this being the lowest and highest value found. In addition, potential energy savings were also identified in the pumping groups of 18% on average, representing an amount of USD 54,032 per year. The scatter diagram based on historical data shows that electrical energy consumption with respect to production is directly related to a correlation coefficient of 0.68. Finally, it is recommended to implement an Energy Management System based on the ISO 50001 standard in accordance with the expectations of the Epam-Veolia alliance and the requirements of the National Energy Efficiency Plan for 2019.

***Keywords: energy evaluation, energy review, energy baseline, energy indicators, pump station, ISO 50001***

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## INTRODUCCIÓN

Durante muchos años en Ecuador, el manejo del agua se ha centrado en iniciativas para mejorar el aprovisionamiento en cantidad, no necesariamente en calidad (Terneus-Jácome y Yánez, 2018), solo el 12 % de las aguas que se emplean en el consumo humano recibe un tratamiento adecuado previo a su descarga en ríos y quebradas, según la Secretaría Nacional del Agua (Senagua). En Estados Unidos, se ha estimado que aproximadamente el 4-6 % de la demanda de electricidad se usa para la potabilización y distribución de agua (Longo et ál., 2016).

Entre los 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible publicados en 2015 por Naciones Unidas, en el sexto lugar está incluido el “Abastecimiento y Saneamiento sostenible”. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus siglas en inglés) promueven proyectos como AquaRating a partir de indicadores de desempeño (Baquero-Rodríguez et ál., 2018) para transformar la gestión de las empresas de agua y saneamiento, evaluando su desempeño mediante ocho parámetros, 60 indicadores y más de 340 prácticas de gestión con el uso de estándares internacionales y auditores independiente acreditados. Ciudades como Sao Paulo, Medellín, Chile, Buenos Aires, Uruguay, Córdoba, Almería y Alicante buscaron la certificación AquaRating, la evaluación consiste en desarrollar una plataforma informática que compara la gestión de una empresa modelo, ficticia y perfecta. Se establece una brecha entre la empresa modelo y la real, las cuales deben irse cerrando con planes de acción (Rating, 2017). El Horizonte 2020 es un Programa Marco de investigación e innovación de la Unión Europea para el período 2014-2020 que pretende la reducción del consumo de energía y emisiones, los

## **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

objetivos que se busca para el 2020 son la reducción en un 20 % del consumo energético total de la Unión para este año, fomentando la eficiencia energética y uso de energía procedente de fuentes renovables, por tanto, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 %, esto requiere una significativa inversión en eficiencia energética, crecimiento de las compañías de servicios energéticos (ESCOs, por sus siglas en inglés). Favoreciendo la competencia de entidades privadas en el aumento de la eficiencia energética, por el ahorro energético y beneficio económico asociado (Pavón Maria, 2016).

La norma Internacional ISO 50001, se basa en el ciclo de mejora continua de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (PHVA) que permite la implementación del Sistema de Gestión de Energía (SGEn), contribuyendo a establecer sistemas y procesos para mejorar el desempeño energético, eficiencia energética, uso y consumo de energía (Acoltzi y Pérez, 2011). La experiencia internacional ha demostrado que la implementación de un sistema de gestión energética puede reducir el costo de facturación de energía de una empresa entre el 10 y el 25 %, en un lapso de 1-3 años, con períodos de recuperación de la inversión típicos inferiores a 2 años (Castrillón Mendoza et ál., 2015).

Por otra parte, el documento: “Evolución y Estado Actual de los Procesos de Integración de Energética Regional-El Papel de OLADE”, del 2015, demuestran que la matriz energética mundial y a nivel de Latinoamérica y el caribe que está estructurada principalmente por recursos no renovables.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

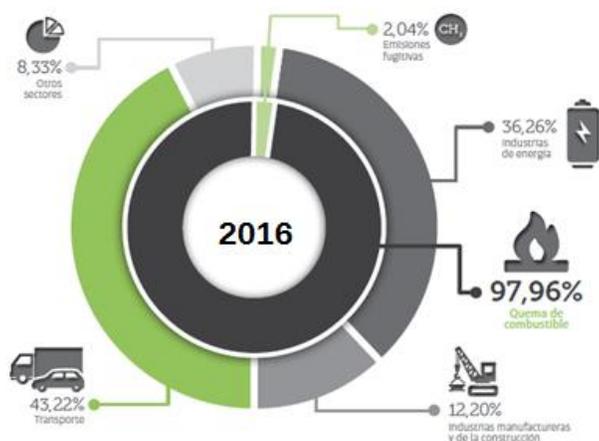


Figura 1. Distribución de emisiones de GEI por sector

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2016

Según estudios sectoriales publicados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), en España el ciclo urbano (captación, transporte, potabilización, distribución, recolección y tratamiento de aguas residuales) del agua supone entre un 2-3 % del consumo energético total. La adopción de tecnologías eficientes y mejores prácticas operacionales de los procesos que aportan de forma significativa en la huella de carbono permitirá contribuir de manera efectiva a la reducción de emisiones (Santos et ál., 2016). La etapa de extracción (captación) puede requerir en promedio el 10 y el 30 %, en la fase de potabilización entre el 1 al 10 % y en la etapa de distribución entre un 69 y un 80% del consumo energético total en la fase de potabilización (Ferro y Lentini, 2015).

Las bombas y los sistemas de aireación son los principales consumidores de energía en un proceso de tratamiento de aguas residuales, estudios de auditoría energética en el

## **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

proceso de tratamiento de aguas residuales concluyeron que las bombas consumían el 79 % de la energía eléctrica utilizada en la depuración de las misma (Zhang et ál., 2016), por lo tanto es importante evaluar e investigar las pérdidas y ahorros de energía de las bombas.

Durante la fase de diseño y construcción de estaciones de bombeo se tienen en cuenta los aspectos técnicos, económicos y culturales, pocas veces se considera la eficiencia energética y modelación dinámica para optimizar los recursos en todas las etapas de la ingeniería de diseño, implementación y operación (Jiménez Cordero et ál., 2018). Un estudio sobre metodología de ahorro energético en la planta de tratamiento de aguas residuales Taboada en Perú demuestra que mediante la implementación de un Sistema de Gestión de Energía (SGE) se logra reducir 35 % en costos de electricidad, 20.3 % del pico de la demanda eléctrica, 5.3 % el índice de consumo energético y un 5.8 % de reducción de la energía eléctrica.

Las estaciones de bombeo son estructuras destinadas a elevar un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor, el fluido es bombeado con el propósito de: ser conducido a lugares distantes, conseguir una cota mayor, iniciar un nuevo tramo de escurrimiento por gravedad. Constan de las siguientes elementos: cámara de succión (cárcamo de bombeo), rejas o cribas, bombas, línea de impulsión, sistema de monitoreo y telecomunicaciones, alimentación eléctrica (Jiménez Cordero et ál., 2018).

Una bomba centrífuga transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en energía cinética y potencial requerida (Pozo Vanessa, 2016). La fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la punta de los álabes o periferia del impulsor

## “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

como de la densidad del líquido. Los parámetros de operación de las bombas centrífugas son: caudal ( $Q$ ), altura dinámica total (TDH, por sus siglas en inglés), potencia ( $P$ ), y eficiencia ( $\eta$ ). Estas variables son influenciadas por la velocidad ( $n$ ), diámetro ( $D$ ) del impulsor y por la variabilidad de las condiciones de operación, entre otras. Dado que las aguas residuales y lluvias contienen partículas en suspensión, las bombas utilizadas en el bombeo de agua cruda tienen impulsores especiales que permitan el paso sólidos de cierto diámetro (inatacable, resistente a corrosión e impactos), algunas cuentan con registros de inspección a la entrada y salida para su limpieza (Correa Ramírez, 2018).

Durante la operación una bomba centrífuga, la energía eléctrica del motor se transforma en energía mecánica en el eje y luego en potencia hidráulica para que el fluido tenga una elevación de presión, posición o velocidad.

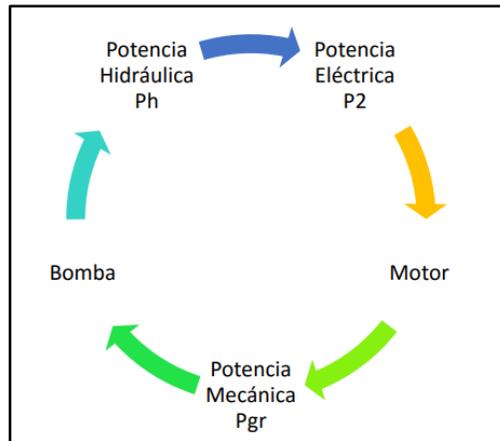


Figura 2. Diagrama de Proceso de transformación de Energía de una Bomba

Fuente: (POZO TAPIA, n.d.)

## “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

La gestión eficiente de energía de la bomba genera beneficios económicos y ambientales, en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) en Alemania se identifican ineficiencias energéticas y soluciones basadas en reducir el consumo de energía de la bomba en un 18.5 % (Dario Torregrossa et ál., 2017). Para un sistema de bombeo y una característica de agua dada el consumo de energía eléctrica es fija, sin embargo, otros factores estructurales afectan el rendimiento y la línea base de consumo energético, como: diseño de la instalación, equipos electromecánicos, criterios de operación, correcto mantenimiento de equipos e instalaciones, sistemas de control implementados (Andreu et ál., 2012) que acarrearán otros problemas como: cavitación, desgaste prematuro, fugas, bloqueos, entre otros.

Estaciones de bombeo de gran capacidad tienen bombas que trabajan en paralelo y su comportamiento hidráulico se rige bajo 3 principios (Martínez Valdés y Riaño Valle, 2018).

1. Para cargas iguales en la tubería común de descarga se suman los gastos de las bombas y así obtener el caudal total de bombeo.
2. La potencia resultante será la suma de las potencias para las cargas iguales correspondiente a cada caudal.
3. Para  $n$  bombas de iguales características, la eficiencia será igual a la bomba original para el punto de la curva de la combinación que signifique doble o triple capacidad.

La eficiencia de una bomba no solo está determinada por el consumo de energía, sino también, por la altura total, la cual depende, del comportamiento de la curva del

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

sistema (cabeza geodésica y las pérdidas). Por lo tanto, las características del sistema de tuberías siempre deben incluirse para realizar el análisis de energía. El rendimiento de la bomba a una velocidad de rotor se describe por: la tasa de flujo suministrada, el aumento de presión alcanzado, la potencia absorbida en el acoplamiento, la eficiencia y cabeza neta de succión positiva (NPSH, por sus siglas en inglés) (Pozo Vanessa, 2016). Por otra parte, la eficiencia energética es una relación cuantitativa entre una salida de rendimiento, bienes o energía, y una entrada de energía (Imel et ál., 2015), como se muestra en la Figura 3.

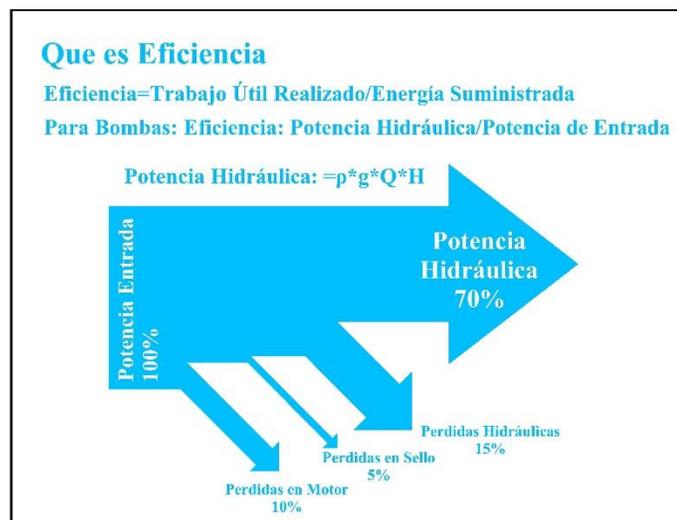


Figura 3. Balance de potencia de una bomba centrífuga.

Fuente: Modificado de Hyypiä, 2016

Estudios sobre la Energía Cinética de la Turbulencia (TKE, por sus siglas en inglés) analizan el régimen de turbulencia en la interface del impeler (zona de alta velocidad), el difusor y la voluta (zona de baja o menor velocidad) respecto al rendimiento de las bombas centrífugas, mediante el análisis paramétrico, Dinámica de Fluido Computacional (CFD) y modelos de pérdida de energía. El estudio sobre optimización de bombas centrífugas

## **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

(Conrado et ál., 2020), concluyo que el factor que mayor influencia tiene en la turbulencia y la eficiencia fue el aumento del espesor de salida de los alabes del impeler, con un aumento de eficiencia de 4,71 % y reducción de la TKE en 4,24 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> respecto a la bomba original.

El punto de partida para el Sistema de Gestión de Energía (SGEn) es la planificación energética, uso y consumos de la energía para ello hay que responder a lo siguiente: ¿Cuántos y que tipo de energéticos se están utilizando?, ¿Dónde estoy utilizando la energía?, ¿Cuáles son los procesos, maquinarias o equipos que usan más energía?, ¿Qué determina el consumo de energía en los procesos, maquinarias o equipos identificados?, ¿Qué factores influyen en el mayor o menor consumo de energía?, ¿Existen oportunidades de mejora para reducir el consumo de energía?, ¿Cuál sería el consumo de energía futuro? y ¿Qué requisitos legales se relacionan con el uso de la energía? (Ruiz Andrade, 2017).

La planificación energética consiste en: Requisitos legales y otros requisitos, revisión de energía, línea de base energética (EnBs, por sus siglas en inglés), Indicadores de rendimiento o eficiencia energética (EnPIs, por sus siglas en inglés), Objetivos energéticos, Metas y planes de acción energéticos (Ruiz Andrade, 2017), para lograr la mejora del desempeño energético de acuerdo con la política energética de la institución ya que las organización necesita saber cómo se utiliza y cuanto se consume de energía en el tiempo. EnPIs y EnBs son dos elementos clave que permiten la medición y gestión de la eficiencia energética en una organización.

## “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

La Línea Base representa una ecuación lineal que relaciona el consumo de energía y la producción asociada a esa energía, donde se considera a la producción como la variable determinante, permite comparar los consumos actuales y futuros para evidenciar una mejora o desmejora en la utilización de los recursos energéticos durante el proceso de verificación, la línea base se obtiene de un diagrama de dispersión entre la energía y la variable determinante del mayor o menor consumo, mediante el método de regresión se obtiene la ecuación de la recta  $Y = mX + b$  (Ruiz Andrade, 2017). En donde el término **Y** es la variable dependiente o de respuesta y representa el consumo energético, por ejemplo, en una EDAR (López y de Dios, 2020), en estudio sobre línea base en un hospital público (Izaguirre et al., n.d.). El término **b** es el estimador de la ordenada en el origen (Izaguirre et al., n.d.) y representa la cantidad de energía no asociada a la producción la cual debe ser reducido al mínimo (Ruiz Andrade, 2017)., el término **m** representa la tasa de cambio de la energía respecto a la producción y es el estimador de la pendiente de la recta., **X** es la variable independiente que representa la producción por ejemplo: el número de habitante equivalentes tratados, toneladas de producción de vapor, unidades físicas equivalente (Correa Soto et ál., 2014) y este caso de estudio los metros cúbicos de agua.

Para valorar esta relación se utiliza el coeficiente de determinación  $R^2$  y el coeficiente de correlación **r**. En la relación entre la producción y la energía el valor  $R^2$  indica cuan representativo es el modelo matemático encontrado que determina el proceso, mientras este valor se acerca a 1, el modelo describe mejor el proceso y todas las variaciones de la variable de respuesta son explicadas por el modelo de regresión estimado (Lara Izaguirre et ál., 2019).

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

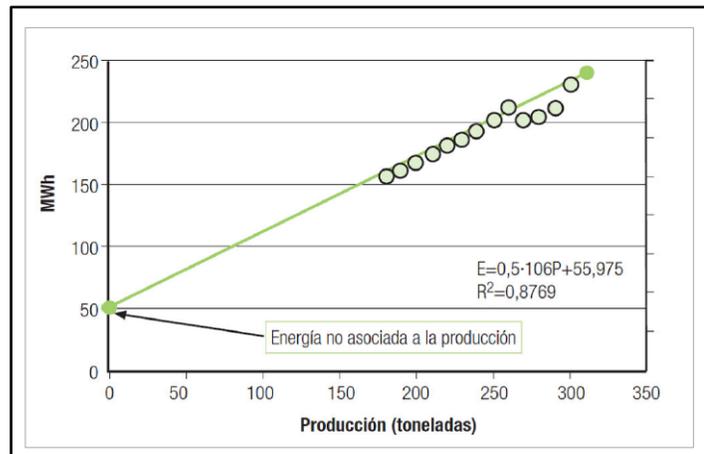


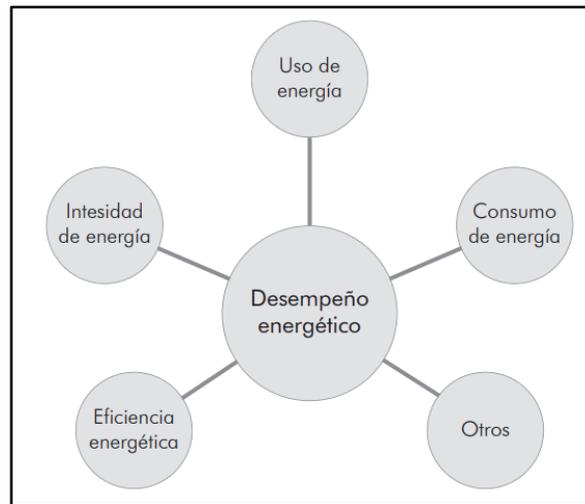
Figura 4. Línea base Energética, consumo de electricidad respecto a la producción

Fuente: (Ruiz Andrade, 2017)

El desempeño energético incluye el inventariado de instalaciones con influencia en la energía y sus equipos, por una parte, y de tipologías de consumos energéticos (combustibles, energía térmica, energía eléctrica, etc.) por otra. Asimismo, incluye indicadores de desempeño, uno de los cuales, la eficiencia energética, se encuentra explícitamente citado en la definición de desempeño; otros, como la intensidad energética u otros que la organización estime adecuados, quedan contemplados en la Figura 5. Los cambios en el desempeño energético deben medirse en relación con la línea de base energética (Fernandez Marta, 2019).

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---



*Figura 5.* Concepto de Desempeño Energético

Fuente: ISO 50001:2011 (Peña y Sánchez, 2012)

En varias ocasiones, los indicadores de desempeño coinciden con los indicadores de los procesos energéticos de la organización, en algunos casos se los denomina Indicadores Claves de Desempeño (KPI, por sus siglas en inglés), ejemplos de este tipo de indicadores son los siguientes: Energía eléctrica consumida/unidad producida, Energía térmica consumida/horas trabajadas, Energía producida/energía primaria consumida, Energía consumida/kilómetros recorrido, entre otros (Peña y Sánchez, 2012), en el caso de estudio propuesto es: Consumo de Energía/volumen producido (kWh/m<sup>3</sup>).

Sistemas de energía en línea (EOS, por sus siglas en inglés) actualmente calcula un conjunto de 54 KPI. Este conjunto incluye 20 indicadores de energía (energía por volumen, energía por carga, entre otros) y 34 indicadores de proceso (eficiencia de remoción de contaminantes, relación comida-microorganismo (F/M, por sus siglas en inglés), entre

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

otros). En EOS, la evaluación comparativa de los KPI de proceso se realiza en paralelo, porque EOS tiene como objetivo ahorrar energía mientras se mantiene el rendimiento del proceso (D. Torregrossa et ál., 2016).

Los indicadores o índices de consumo de energía (IC), representan la cantidad empleada o usada de un determinado energético en un proceso productivo (Pérez & Méndez, 2011) y se define como la relación del consumo de la energía y la producción obtenida. En la

Figura 6 se presenta un gráfico en la que se observa la influencia de la producción sobre el índice de consumo de la empresa Tecnoesa.

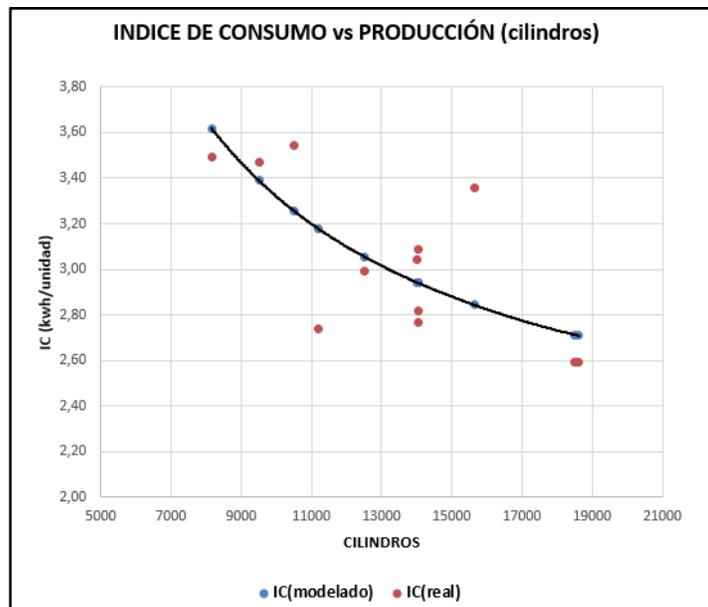


Figura 6. Variación del índice de consumo con respecto a la producción

Fuente: (Patajalo Luis, 2020)

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## *OBJETIVO GENERAL*

- Revisión energética de la estación de bombeo Ceibal-Captación Agua Cruda de la Ciudad de Manta mediante la metodología de la ISO 50001 que contribuya a la mejora de la eficiencia energética de la estación para la toma de decisiones.

## *ESPECÍFICOS*

- Analizar el uso y consumo de la energía respecto al volumen de agua bombeado con datos diarios del año 2019 de los grupos de bombeo para el levantamiento de la Línea Base Energética y Usos Significativos de la Energía de la estación.
- Evaluar el comportamiento energético pasado y presente usando Líneas Bases de Energía para la obtención de los Indicadores de Desempeño Energético de los grupos de bombeo de la estación.
- Identificar las oportunidades de mejora del rendimiento energético de los grupos de bombeo mediante el uso de los Indicadores de Desempeño Energético obtenidos para la implementación de objetivos y metas de ahorro de energía de la estación.

*HIPÓTESIS: Si se realiza una evaluación energética de la estación de bombeo Ceibal-Captación Agua Cruda de la Ciudad de Manta, entonces se obtiene la planeación energética (requisitos legales, revisión energética, línea base energética, indicadores de desempeño energético, objetivos y meta) para la implementación de un sistema de gestión.*

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *ZONA DE ESTUDIO*

La Empresa Pública Aguas de Manta EPAM E.P., está ubicada en la provincia de Manabí, cantón Manta, cuenta con infraestructura para el manejo integral del ciclo del agua (captación, tratamiento, transporte, distribución de agua potable, recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales). Su principal razón comercial es proveer el servicio de agua potable y alcantarillado sanitario a la población rural y urbana. Su visión para el 2021 es ser la empresa referente de impulso al desarrollo estratégico de la región con la prestación de servicios hidrosanitarios sostenibles, basados en la responsabilidad social, cuidado de las fuentes hídricas y competitividad.

En el año 2017 la Multinacional Veolia y Empresa Publica Aguas de Manta EPAM E.P. suscribieron una alianza estratégica con miras de proveer agua potable las 24 horas los 7 días de la semana y se propone implementar un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), permitiendo en tiempo real la supervisión y control de las estaciones de manera remota, el sistema SCADA tiene las siguientes capacidades: monitorear y controlar de manera remota las estaciones por medio de una arquitectura de comunicación basada en telemetría, transformar los datos de campo en información de negocios, sistema con la capacidad de obtener informes y reportes gerenciales con indicadores KPI y datos de eficiencia.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

## METODOLOGÍA DE CAMPO

Para el desarrollo del proyecto nos basamos en el capítulo sobre Revisión Energética de la Norma ISO 50001, cuyas fases se muestra en la Figura 7, estas son: conocer el consumo diario de energía eléctrica; visitas a la estación de bombeo para observar y conocer el proceso de operación, selección de equipos donde se da el mayor consumo de la energía con el fin de recopilar la información de consumo de energía y producción diaria del año 2019.

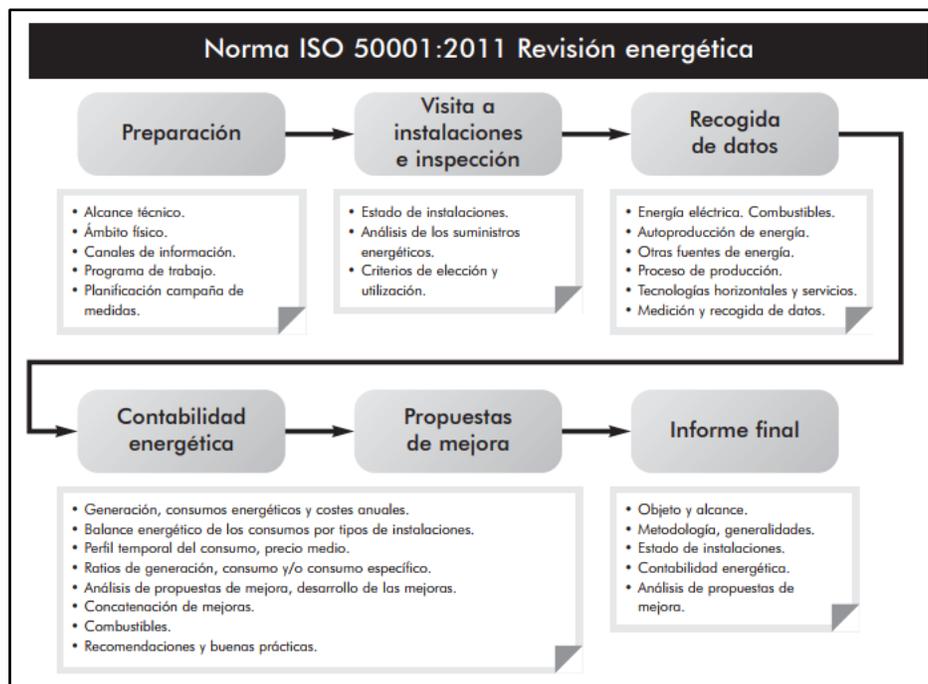


Figura 7. Evolución de Actividades de una Revisión Energética.

Fuente: ISO 50001:2011, (Peña y Sánchez, 2012)

# **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

## **Visita a las instalaciones**

El propósito es hacer un diagnóstico energético preliminar mediante una visita inicial, trabajo de campo y trabajo de gabinete para verificar el estado de las instalaciones, obtener evidencia y evaluarla de manera objetiva cuáles son los recursos energéticos utilizados para la producción.

## **Recolección de datos y cálculos**

Para obtener los datos históricos de consumo energéticos (amperaje, voltaje), producción (caudal), se usó la base de datos de la EPAM. Para el cálculo de las potencias se usa los criterios de la norma ISO 9906:2012 (Pozo Vanessa, 2016), y las ecuaciones de la Tabla 1, así como también, se usó datos de placa e información del motor dadas por el fabricante.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

Tabla 1

Ecuaciones para cálculo de Potencias, TDH y rendimiento

Descripción	Formula	Criterio, Referencia	Eq.
Ley de Continuidad	$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$	(Vega Rocio, 2020)	(1)
Potencia Eléctrica (W)	$P_1 = V * I * \sqrt{3} * \cos \phi$	121 kW, datos del fabricante	(2)
Potencia Adsorbida (W)	$P_2 = 0.1047 nM$ $P_2 = P_1 * n_e$	$P_2 = 112 \text{ kW}$ , $n = 1185 \text{ rpm}$ , $M = 900 \text{ Nm}$ , $n_e = 92,5 \%$	(3) (4)
TDH (m)	$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{(C_2^2 - C_1^2)}{2 * g}$ $+ \sum h_{p1-2}$	24 Psi (17 m), datos obtenido del manómetro del punto de aforo en la tubería de descarga común	(5)
Pérdidas por fricción (m)	$h_{roz} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$	Darcy-Weisbach (Zamora et ál., 2020), para tuberías circulares	(6)
Número de Reynolds	$Re = \frac{VD}{\nu}$	Numero adimensional para cuantificar y diferenciar el tipo de régimen	(7)
	$Re = \frac{4Q}{\pi D \nu}$		(8)
Factor de fricción <sup>1</sup>	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Ecuación de Poiseuille, $Re < 2.000$ , flujo laminar	(9)
	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{K}{3,71D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$	Ecuación de Colebrook-White <sup>2</sup> , $Re > 2.000$ (TFB–Flyft, 2004)	(10)
Perdidas de Carga secundarias (m)	$h_{loc} = \zeta \frac{V^2}{2g}$	Para cambios de sección y dirección de la corriente, contracciones, ensanchamientos, codos, diafragmas, válvulas, entre otras	(11)
Potencia hidráulica (kW)	$P_h = \rho * g * Q * H$	102 (factor de conversión)	(12)
	$P_h = (\gamma * Q * H) / 102$		(13)
	$P_h = P_2 * \eta_{bomba}$		(14)
Rendimiento total de la bomba (%)	$\eta_T = \frac{P_h}{P_2} * 100\%$		(15)

<sup>1</sup> En sistemas de distribución de agua, el factor de fricción debe calcularse para los tres estados de flujo: laminar, transición y turbulento (Alfaro-Guerra et al., 2019).

<sup>2</sup> Esta expresión es la combinación de las leyes de Von Karman y Prandtl aplicable a todo el régimen turbulento, con el inconveniente de que  $\lambda$  no aparece de manera explícita y es necesario iterar para obtenerla, sin embargo, Moody desarrollo con la ecuación de Colebrook y White el diagrama de Moody para encontrar el valor, otras expresiones permiten encontrar el coeficiente de fricción de manera explícita y se ajustan bastante bien a Colebrook-White (Marigorta et al., 1994).

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

De donde:

$P_1$ : Potencia Eléctrica de Entrada en Vatios (W), es igual

$V$ : Voltaje o diferencia de potencial eléctrico en voltios (V)

$I$ : Amperaje o intensidad de corriente en amperios (A)

$\cos \varnothing$ : Angulo de desfase entre los vectores  $V$  y  $I$ , igual a 0,8 según datos de placa

$P_2$ : Potencia Absorbida o Potencia en el Eje en Vatios (W)

$n$ : Velocidad del motor (rpm)

$M$ : Torque del motor en Newton-metro (Nm)

$n_e$ : Rendimiento eléctrico (%)

$\frac{P_2 - P_1}{\gamma}$ : Energía de presión o cabezas de presión estática, medibles en la boquilla de succión o descarga (Gulich, 2020), habitualmente se considera el valor de la presión atmosférica

$(Z_2 - Z_1)$ : Energía potencial

$\frac{(C_2^2 - C_1^2)}{2 * g}$ : Energía cinética o cabezas de velocidad, en instalaciones de agua este término

suele ser despreciable

$\sum h_{p_{1-2}}$ : Pérdidas totales de energía por fricción y localizadas.

$\lambda$ : Coeficiente de rozamiento hidráulico o resistencia hidráulica (adimensional).

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

L: Longitud de la tubería (m)

V: Velocidad del movimiento del líquido ( $\text{m s}^{-1}$ )

D: Diámetro de la tubería (m)

g; Aceleración de la gravedad, igual  $9.81 \text{ m s}^{-2}$

$\nu$ : Viscosidad Cinemática del fluido ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ )

K: Rugosidad absoluta, es un parámetro crítico, de ser posible, debe obtenerse información del fabricante (en metros o milímetro)

K/D: Rugosidad relativa (rugosidad absoluta dividida por el diámetro de la tubería)

$\zeta$ : Coeficiente adimensional que depende del tipo d accesorio y están tabulados para diferentes ángulos, diámetros, entre otros.

$P_h$ : potencia Hidráulica en Vatios (kW)

$\rho$ : Densidad del agua, igual a  $1000 \text{ kg/m}^3$

$\gamma$ : Peso específico del agua, igual a  $1000 \text{ kgf/m}^3$

Q: Caudal, flujo volumétrico en  $\text{m}^3/\text{s}$ , mediante caudalímetro en la tubería (Giner González et al., 2020) de impulsión

$\eta_{bomba}$ : Rendimiento de la bomba

$\eta_T$ : Rendimiento total de la bomba

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

H: Altura dinámica total en metros de columna de agua (m.c.a), mediante manómetro

(Giner González et ál., 2020) en el colector de descarga

$P_h$ : Potencia Hidráulica en Vatios (W)

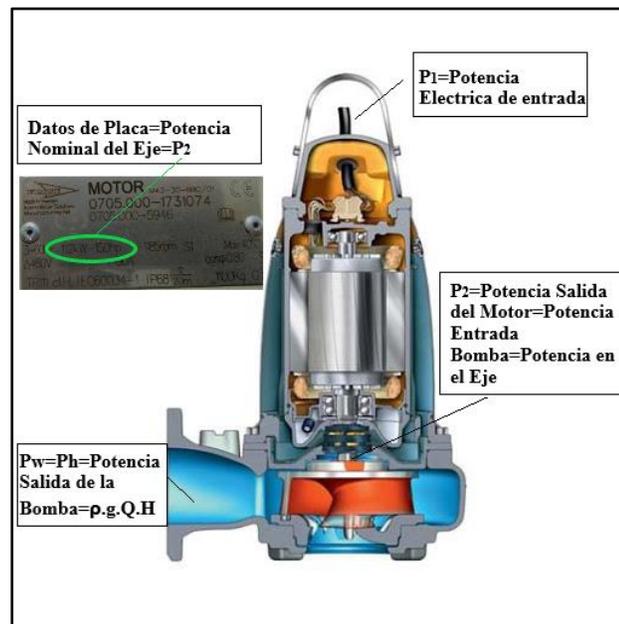


Figura 8. Potencia de Entrada, Potencia en el Eje y Potencia Hidráulica

Fuente: Modificado de bombas sumergibles y estaciones de bombeo Flygt, Pág. 121

Consumo de Energía Específica (SEC, por sus siglas en inglés), el SEC es considerado como un indicador clave de rendimiento energético (e-KPI) debido a la importancia creciente de monitorear la eficiencia industrial, se calcula como la relación de energía utilizada para producir un producto (Lawrence et ál., 2019), el uso de la Energía Específica (Es) sirve para determinar el consumo de energía respecto al volumen de agua suministrado o bombeado, el valor de energía específica tiene en cuenta todas las partes de

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

un sistema de bomba, es decir, eficiencias eléctricas, mecánicas e hidráulicas, incluidas las pérdidas en el sistema de tuberías y está definida por la siguiente expresión matemática:

$$SEC = \frac{ENERGIA}{PRODUCCIÓN} \quad (16)$$

$$Es = \frac{E}{V} \quad (17)$$

$$Es = \frac{Q * H * \gamma * g * t}{\eta_T * Q * t} \quad (18)$$

$$Es = k * \frac{H}{\eta_T} * \frac{1}{3600000} \quad (19)$$

Donde:

Es: Energía específica (kWh/m<sup>3</sup>)

k: Constante, igual a  $\gamma * g$  (kgf/m<sup>3</sup>)

E: Energía (kWh)

V: Volumen (m<sup>3</sup>)

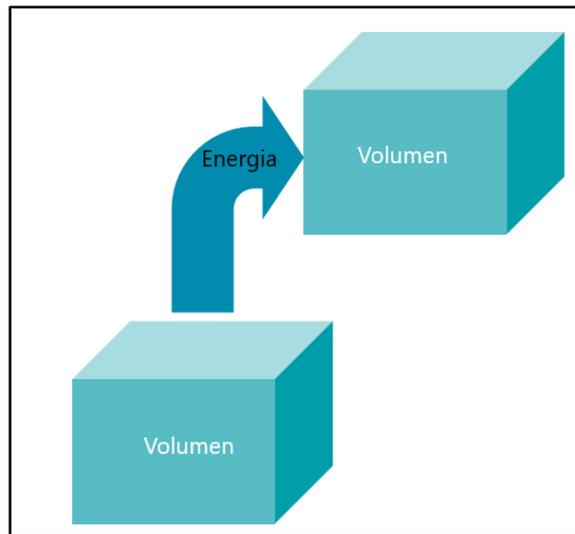
$\eta_T$ : Rendimiento total de la bomba

H: Altura dinámica total (m)

t: Tiempo (h)

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---



*Figura 9.* Energía específica, energía requerida para mover 1 m<sup>3</sup> de líquido

Fuente: Modificado bombeo de aguas residuales de velocidad variable, Pág. 5

## **Revisión energética**

Para evaluar los cambios en la eficiencia energética se utilizan dos indicadores básicos; la intensidad energética (consumo total de energía primaria y producción mercantil expresada en valores) y el consumo específico de energía o índice de consumo. La revisión energética se realiza basándose en la Norma ISO 50001-2011 en la cual establece que la organización debe:

1) Analizar el uso y el consumo de la energía basándose en mediciones y otro tipo de datos, es decir: identificar las fuentes de energía actuales; evaluar el uso y consumo pasados y presentes de la energía y se utilizarán las siguientes herramientas:

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

**Línea base:** Se recopila en un documento los datos de producción y consumo de energía del año 2019 y crear una base de datos de la estación, y mediante regresión lineal se obtiene la línea base, y se obtiene una ecuación lineal de la siguiente forma:

$$E = c + m_p x_e \quad (20)$$

Donde:

E: Consumo de energía en el periodo seleccionado

$m_p$ : Factor tecnológico de consumo energético equivalente

$x_e$ : Producción equivalente en el periodo seleccionado

c: Energía no asociada a la producción

**Índice de consumo:** Para calcular el índice de consumo se lo hace a partir de la línea base mediante la fórmula:

$$IC = \frac{c + m_p x_e}{x_e} \quad (21)$$

2) basándose en el análisis del uso y el consumo de la energía, identificamos los equipos de uso significativo de la energía, es decir: identificar el o los grupos de bombeo, y procesos de operación (lógica de operación) que afecten significativamente al uso y al consumo de la energía; identificamos la o las variables relevantes que afectan al uso significativo de la energía de la estación, para esto se acude a la Ley de Pareto 80-20, que

## **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

identifica el 20% de las causas que provocan el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

3) Identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar el desempeño energético.

En este punto se debe determinar el desempeño energético de la planta con indicadores de desempeño energético como:

- Energía eléctrica consumida/volumen de agua bombeado
- Eficiencia energética/NTU
- Energía eléctrica consumida/NTU

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## RESULTADOS

### *PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*

El proceso de tratamiento de agua potable de la Ciudad de Manta inicia en la estación de bombeo de captación de agua cruda del Rio Portoviejo en el sitio Ceibal con el uso de 4 bombas sumergibles marca Flygt de 927 m<sup>3</sup>/h a 16 m.c.a. y 150 hp, esta agua es impulsada a la planta de tratamiento a 1500 metros en la Vía Crucita-Manta, el caudal y volumen se mide a la salida de la captación y al ingreso a la planta de tratamiento, a partir de ahí se da inicio al proceso de tratamiento con la inyección de aire, sulfato de aluminio, cloro y lechada de cal al ingreso de la planta de tratamiento en el mezclador, posterior a ello se distribuye a dos decantadores con inyección previa de polielectrolito completando el proceso físico-químico del sistema de tratamiento.

A continuación, pasa a 6 filtros para la obtención de agua filtrada que se almacena y luego bombeada al sistema de cloración para su desinfección, finalmente se almacena en los tanques de agua tratada para ser impulsada por 4 bombas de carcasa partida de 1260 m<sup>3</sup>/h a 176 m.c.a. y 1250 hp, el sistema de impulsión alimenta a estaciones y subestaciones de bombeo que abastecen del líquido vital a la Ciudad de Manta y Zonas aledañas, ver diagrama de la Figura 10.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

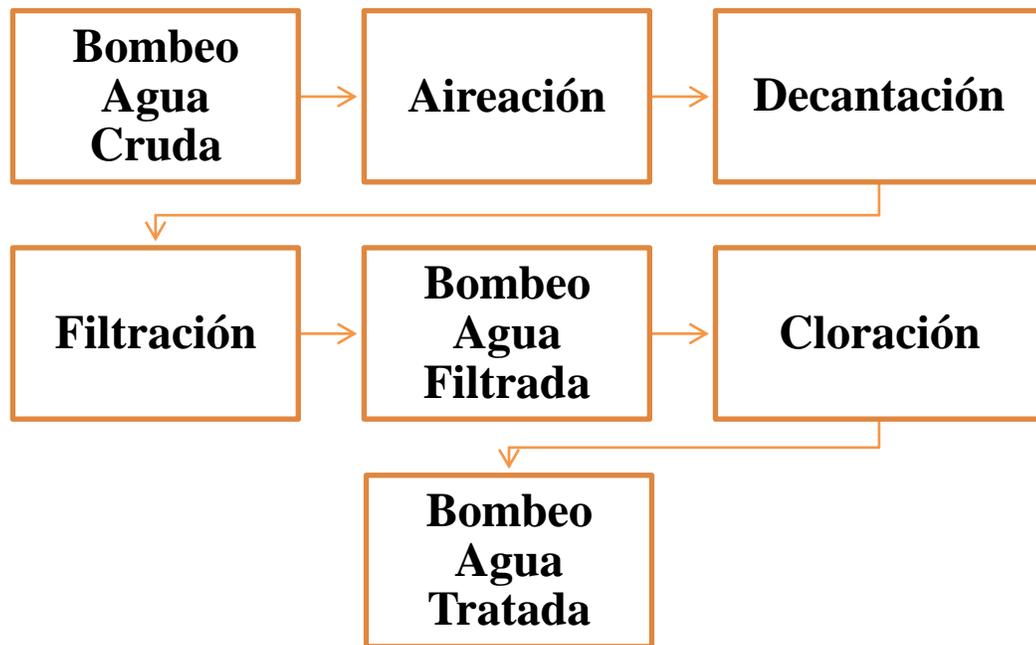


Figura 10 Diagrama de los procesos de tratamiento de agua potable

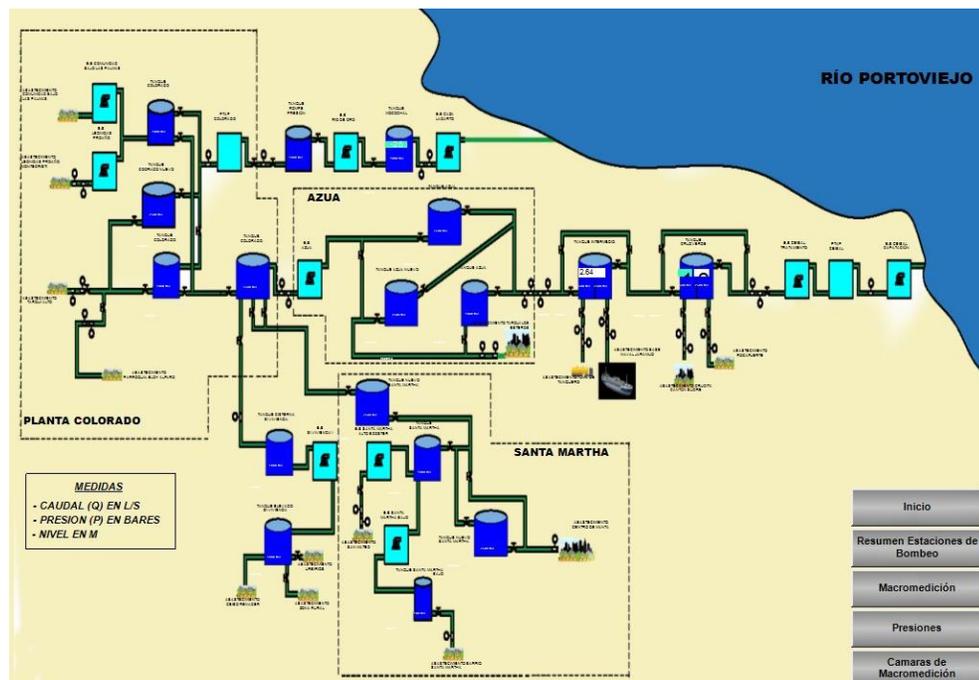


Figura 11 Plano del proceso de tratamiento y distribución de agua potable

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”



Figura 12 Estación de bombeo de agua cruda el ceibal

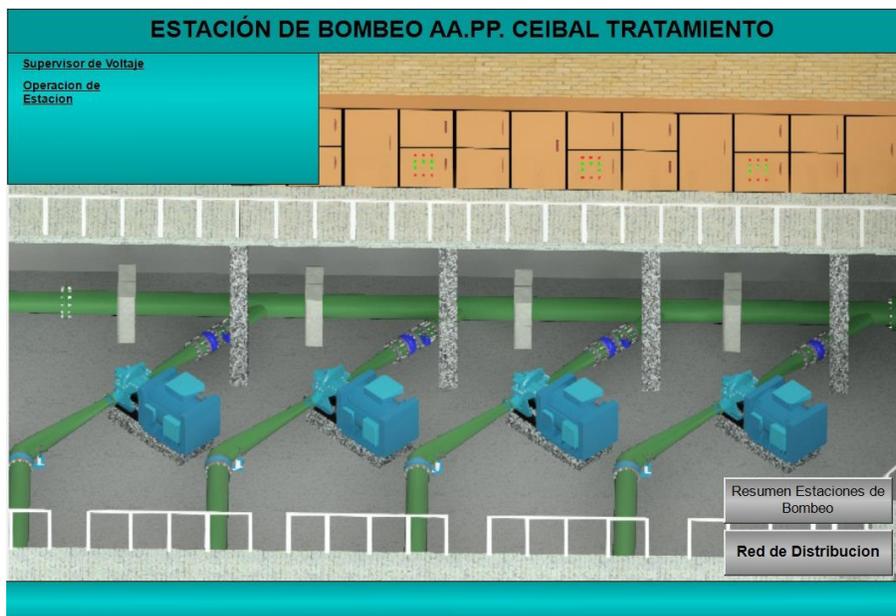


Figura 13 Estación de bombeo de agua potable en planta de tratamiento de agua potable

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

Tabla 2

Inventario de la estación de bombeo de Captación

<b>DESCRIPCIÓN</b>
MOTOR IZAJE DE CARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL KITO CORP
TRANSFORMADOR DE SERVICIOS PLANTA CAPTACION CEIBAL ELECTROINDUSTRIE AT-DEM
SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERNA PLANTA CAPTACION CEIBAL BOMBILLOS
TRANSFORMADOR PRINCIPAL PLANTA CAPTACION CEIBAL INATRA 750 KVA REFRIGERACION NATURAL
SISTEMA DE TUBERIAS DE DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL
BOMBA SUMERGIBLE 1 PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT 3356/705 1731073
BOMBA SUMERGIBLE 2 PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT 3356/705 1731074
BOMBA SUMERGIBLE 3 PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT 3356/705 1731077
BOMBA SUMERGIBLE 4 PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT 3356/705 1731078
TABLERO ELÉCTRICO PRINCIPAL PLANTA CAPTACION CEIBAL BEAUCUP
VARIADOR FRECUENCIA 1 PLANTA CAPTACION CEIBAL SIEMENS SINAMICS G120 XAF316-002281, C01-4.70
VARIADOR FRECUENCIA 2 PLANTA CAPTACION CEIBAL SIEMENS SINAMICS G120 XAF302-000213, C01-4.70
VARIADOR FRECUENCIA 3 PLANTA CAPTACION CEIBAL SIEMENS SINAMICS G120 XAF503-000382, C01-4.70
VARIADOR FRECUENCIA 4 PLANTA CAPTACION CEIBAL SIEMENS SINAMICS G120 XAJ813-000039
SISTEMA PUESTA A TIERRA PLANTA CAPTACION CEIBAL
CONTROLADOR PROGRAMABLE PLANTA CAPTACION CEIBAL ADVANTECH APAX-5620
HMI PLANTA CAPTACION CEIBAL ADVANTECH OPERATOR PANEL WOP-2070T KSCOO29692
CONTROL DE BOMBA 1 PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT MAS 711 P.40 501140 - 17483
CONTROL DE BOMBA 2 PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT MAS 711 P.40 501140 - 17562
CONTROL DE BOMBA 3 PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT MAS 711 P.40 501140 - 17513
CONTROL DE BOMBA 4 PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT MAS 711 P.40 501140 - 17485
TX NIVEL HIDROSTATICO PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT LTU601 171145
TX NIVEL HIDROSTATICO PLANTA CAPTACION CEIBAL FLYGT LTU601 168663
MEDIDOR DE PARÁMETROS 1 PLANTA CAPTACION CEIBAL SIEMENS SENTRON PAC3100 LQN 1716
MEDIDOR DE PARÁMETROS 2 PLANTA CAPTACION CEIBAL SIEMENS SENTRON PAC3100 LQN 1716
MEDIDOR DE PARÁMETROS 3 PLANTA CAPTACION CEIBAL SIEMENS SENTRON PAC3100 LQN 1716
MEDIDOR DE PARÁMETROS 4 PLANTA CAPTACION CEIBAL SIEMENS SENTRON PAC3100 LQN 1716
SISTEMA DE ILUMINACIÓN EXTERNA PLANTA CAPTACION CEIBAL TIPO COBRA
VALVULA CHECK G1 DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL WAFER { MN-AACC-PCCE-VCH-000-D1 }
VALVULA CHECK G2 DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL WAFER { MN-AACC-PCCE-VCH-000-D2 }
VALVULA CHECK G3 DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL WAFER { MN-AACC-PCCE-VCH-000-D3 }
VALVULA CHECK G4 DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL WAFER { MN-AACC-PCCE-VCH-000-D4 }
VALVULA COMPUERTA DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL ANRI DN400/R110
VALVULA MARIPOSA B1 DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL PRATT WW
VALVULA MARIPOSA B2 DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL PRATT WW
VALVULA MARIPOSA B3 DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL PRATT WW
VALVULA MARIPOSA B4 DESCARGA PLANTA CAPTACION CEIBAL PRATT WW
RADIO TRIO PLANTA CAPTACION CEIBAL SCHNEIDER ELECTRIC JR900 417368
CAUDALIMETRO PLANTA CAPTACION CEIBAL ENDRESS HAUSSER PROSONIC FLOW 91

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## *REQUISITOS LEGALES*

Según el pliego tarifario del año 2020 de la resolución Nro. ARCONEL-035/19 (23 de diciembre del 2019), la EMPAN se encuentra dentro de la Categoría General, literal c) como una instalación de bombeo de agua (incluye oficinas administrativa y guardianía), para el servicio público de agua potable y/o al tratamiento de aguas servidas y se aplica una tarifa de alto voltaje uno (AV1) cuyo voltaje de suministro en el punto de entrega esta entre 40 kilovoltios (kV) y 138 kV que dispone de un registrador de demanda horaria que permite identificar la demanda de potencia y consumos de energía en los periodos de punta, media y base,

Para esta categoría la empresa de agua potables Aguas de Manta debe pagar:

- a) Un cargo por comercialización.
- b) Un cargo por demanda por cada kW de demanda mensual facturable.
- c) Un cargo de energía en función del periodo de demanda media que es de lunes a viernes de 08:00 a 18:00 horas.
- d) Un cargo de energía en función del periodo de demanda punta que es de lunes a viernes de 18:00 a 22:00 horas.
- e) Un cargo de energía en función del periodo de demanda base que es de lunes a viernes de 22:00 a 08:00 horas incluyendo sábados, domingos y feriados de 22:00 a 18:00.
- f) Un cargo de energía de la energía consumida en el periodo de 18:00 a 22:00 de los días sábados, domingos y feriados.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

El nivel tarifario se indica en la *Figura 14*.

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
08:00 hasta 22:00 horas	4,400	0,089	
22:00 hasta 08:00 horas		0,081	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,400	0,065	
22:00 hasta 08:00 horas		0,059	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,400	0,055	
22:00 hasta 08:00 horas		0,049	
	<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	3,000	0,065	
22:00 hasta 08:00 horas		0,054	

*Figura 14* Cargos tarifarios únicos

La Alianza público – privada EPAM Aguas de Manta – VEOLIA Proactiva, permite inversión destinada a la ejecución del proyecto de mejora de la Gestión Técnica, Comercial, Administrativa y Financiera de la Epam, Veolia tiene las certificaciones de Gestión de Calidad (ISO 9001), Gestión Medioambiental (ISO 14001), Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (OHSAS 18001) y Gestión Energética (ISO 50001) la contraparte no ha dado el salto para seguir el procesos de certificación e implementación, por otra parte, la Ley Orgánica de Eficiencia Energética del Ecuador que está vigente desde marzo del 2019, obliga al sector público al cumplimiento del Plan Nacional de Eficiencia Energética (PNEE) con horizonte de 10 años, además, categoriza a los consumidores de los sectores públicos, industrial, comercial, turístico y recreativo, como grandes, medianos y pequeños

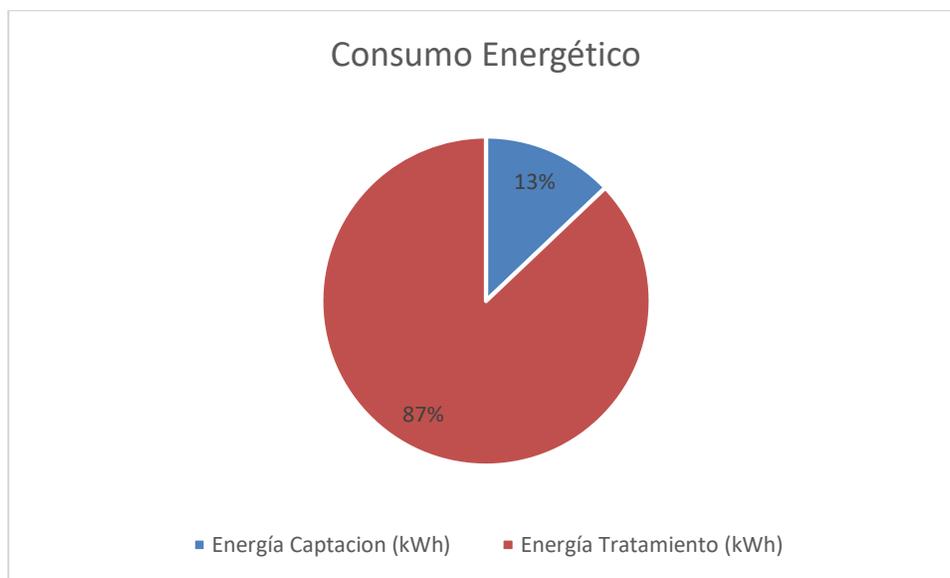
# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

consumidores de energía, bajo el amparo de la Ley la empresa pública Aguas de Manta esta categorizada como gran consumidora de energía y tendrá que cumplir con el PNEE con horizonte al 2029.

## *ESTRATIFICACIÓN*

El principal y único portador energético que consume el sistema de tratamiento de agua potable de la EPAM en sus procesos es la electricidad, principalmente en el bombeo de agua cruda y agua potable.

En la Figura 15, se observan los gastos de electricidad durante el año 2019, se hace una distinción entre el consumo eléctrico de captación de 4682403 kWh y el sistema del tratamiento (Aireación, Decantación, Filtración, Bombeo de agua filtrada, cloración y bombeo de agua potable) de 31600981 kWh.



*Figura 15* Diagrama costo energético de electricidad

## “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

Las influencias de los gastos de energía de captación y tratamiento respecto a los ingresos por metro cubico de agua entregado por la planta, se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3

Influencias de los gastos energéticos respecto a los ingresos del año 2019

INDICADORES	USD
INGRESOS	23179447
GASTOS EN ELECTRICIDAD CAPTACIÓN	309039
GASTOS EN ELECTRICIDAD TRATAMIENTO	2085665

En el diagrama de la Figura 16, muestra los costos del consumo energéticos en captación y tratamiento respecto a los ingresos por concepto de agua potable suministrada, con un valor de USD 23179447,00.

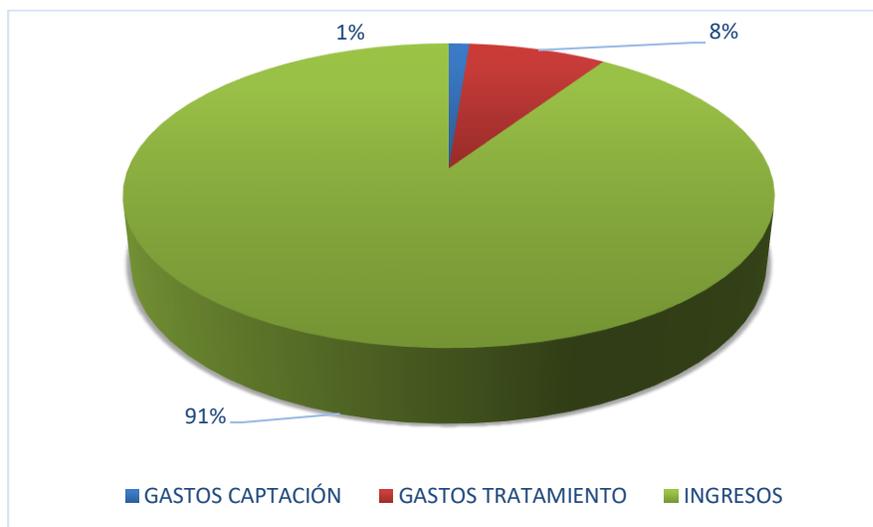


Figura 16 Diagrama de gastos de electricidad versus los ingresos

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

## GRÁFICAS DE CONTROL

La Tabla 4, muestra la producción de agua cruda captada en el año 2019, así como también, los límites de control, desviación estándar y promedio del volumen suministrado por la estación de bombeo de captación en el periodo en cuestión.

Tabla 4

Producción y límites de control

Mes	Agua Cruda (m <sup>3</sup> )	Promedio	Desviación Estándar	LCS	LCI
<b>Ene-19</b>	1824161,00	1867371,75	90090,33	2137642,75	1597100,75
<b>Feb-19</b>	1648026,00				
<b>Mar-19</b>	1935115,00				
<b>Abr-19</b>	1738554,00				
<b>May-19</b>	1896902,00				
<b>Jun-19</b>	1891635,00				
<b>Jul-19</b>	1916805,00				
<b>Ago-19</b>	1872166,00				
<b>Sep-19</b>	1904416,00				
<b>Oct-19</b>	1917170,00				
<b>Nov-19</b>	1899771,00				
<b>Dic-19</b>	1963740,00				

La Figura 17, muestra la gráfica de control de la producción de volumen captado, con límite superior de 2137643, límite inferior de 1597101, desviación estándar de 90090 y promedio de 1867372 m<sup>3</sup>.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

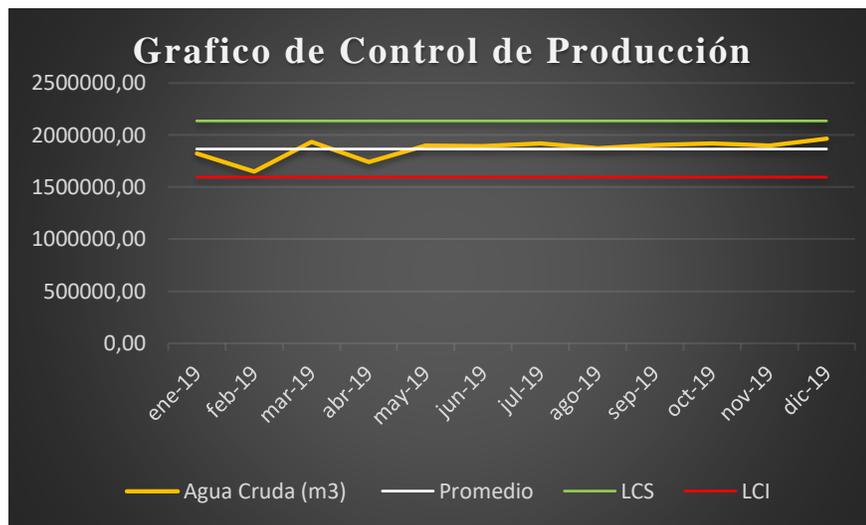


Figura 17 Grafico de Control Producción

La energía consumida en el año 2019, se muestra en la Tabla 5

Tabla 5

Consumo de electricidad y límites de control

Mes	Energía Captación (kWh)	Promedio	Desviación Estándar	LCS	LCI
<b>Ene-19</b>	183460,23	183734,48	10173,67	214255,47	153213,48
<b>Feb-19</b>	165752,89				
<b>Mar-19</b>	184620,57				
<b>Abr-19</b>	168096,02				
<b>May-19</b>	178036,58				
<b>Jun-19</b>	183452,44				
<b>Jul-19</b>	197480,40				
<b>Ago-19</b>	180525,06				
<b>Sep-19</b>	191004,70				
<b>Oct-19</b>	195787,63				
<b>Nov-19</b>	181291,98				
<b>Dic-19</b>	195305,23				

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

La Figura 18, muestra la gráfica de control del consumo energético, con límite superior de 214256, límite inferior de 153214, desviación estándar de 10174 y promedio de 183735 kWh.

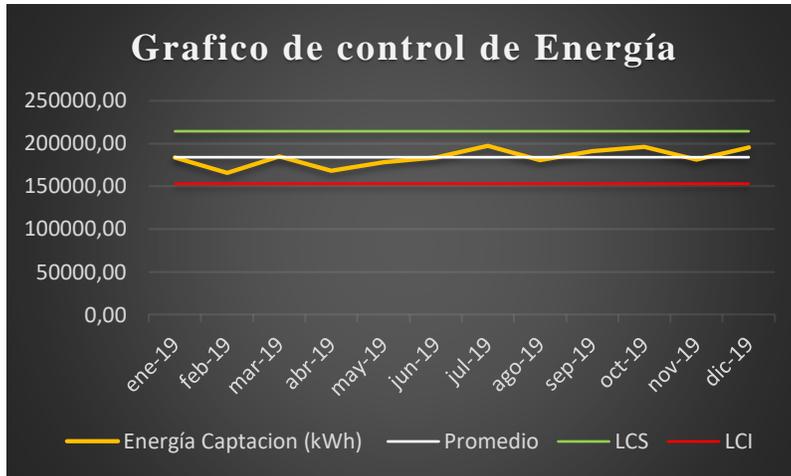


Figura 18 Gráfico de Control de consumo de electricidad

La Figura 19 Muestra la evolución del consumo de electricidad y producción del periodo en análisis.

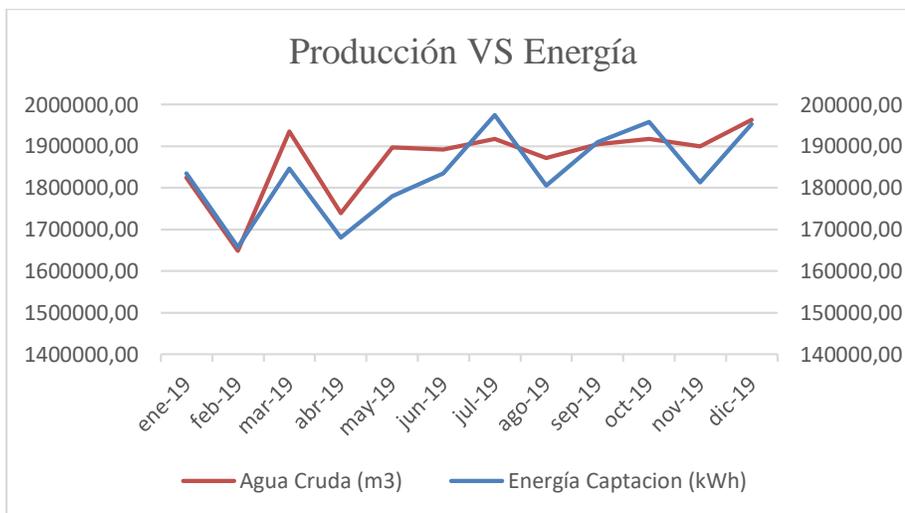


Figura 19 Energía y producción año 2019

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

## Línea Base

La línea base energética de la Figura 20, muestra la ecuación de la recta y coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,7.

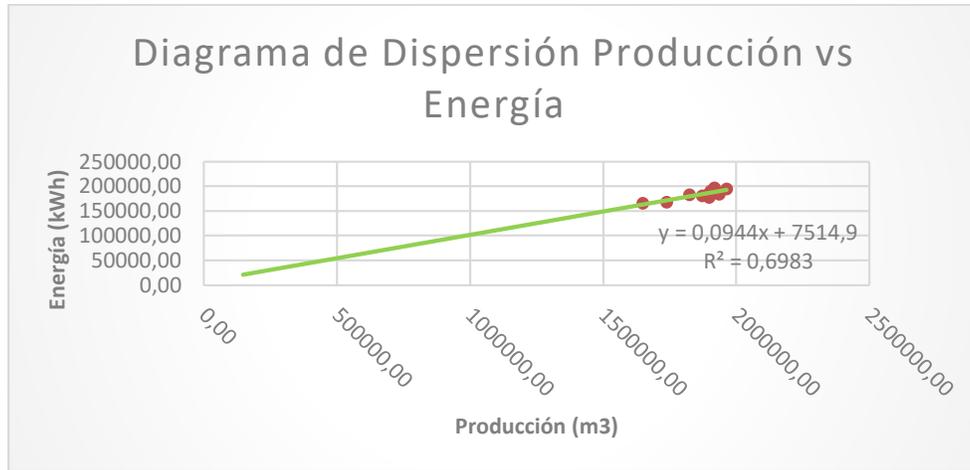


Figura 20 Línea Base Energética

## Índice de consumo energético

La Figura 21, muestra la variación del índice de consumo real y modelado respecto a la producción.

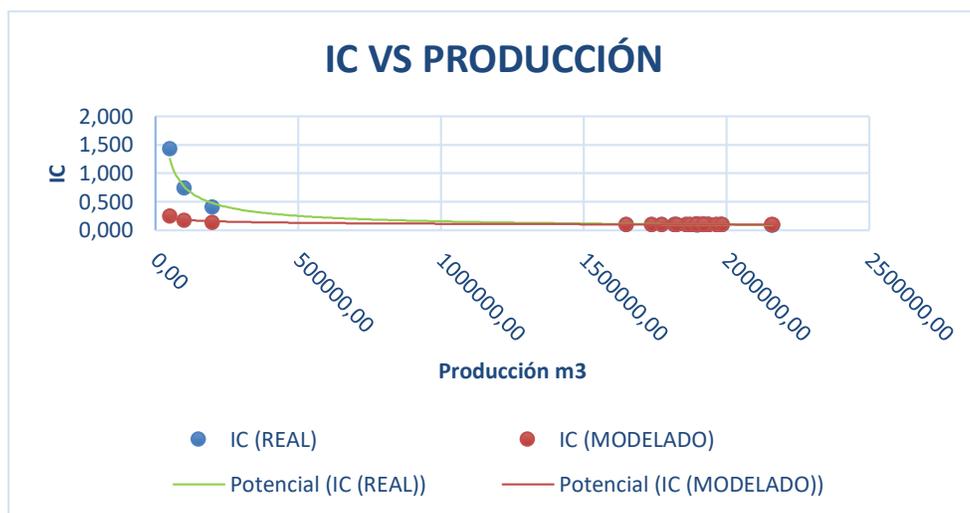


Figura 21 Índice de consumo real y modelado respecto a la producción.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

## Usos Significativos de la energía (USEs)

En la Tabla 6, muestra la energía usada en el primer semestre del año 2020, estos datos permiten modelar el indicador de base 100 y determinar las sumas acumuladas con la ecuación del modelo obtenida con los datos del año 2019.

Tabla 6

Consumo energético y producción del 2020

AÑO 2020	ENERGÍA (KWH)	PRODUCCIÓN (M <sup>3</sup> )	MODELO $Y = 0,0944X + 7514,9$	SUMACUM	ÍNDICE BASE 100
Ene-20	180992,71	1894254,00	186332,48	-5339,77	98,37
Feb-20	195709,67	974990,00	99553,96	90815,95	102,11
Mar-20	187361,63	905400,00	92984,66	185192,92	102,70
Abr-20	187361,63	1985794,00	194973,85	177580,69	98,18
May-20	199540,57	2157624,00	211194,61	165926,66	97,88
Jun-20	199289,29	1919313,00	188698,05	176517,90	98,32

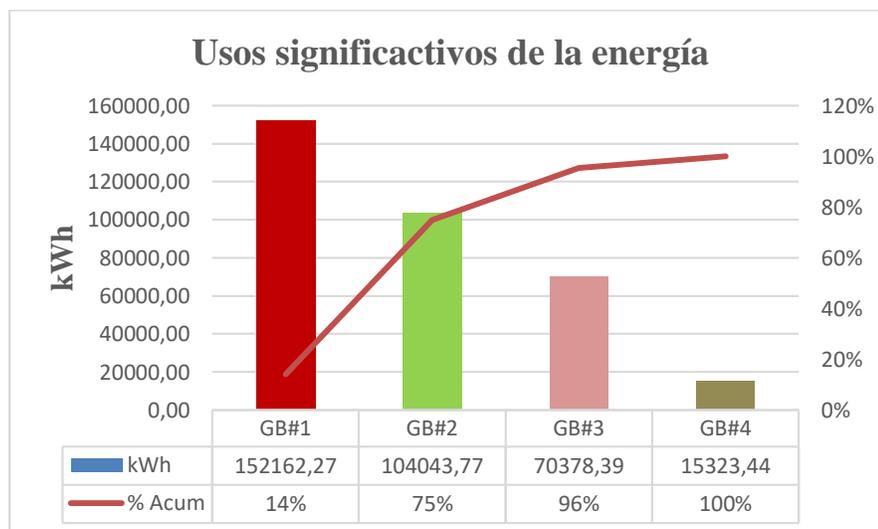


Figura 22 Diagrama de Pareto de los equipos de usos significativo de la energía

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

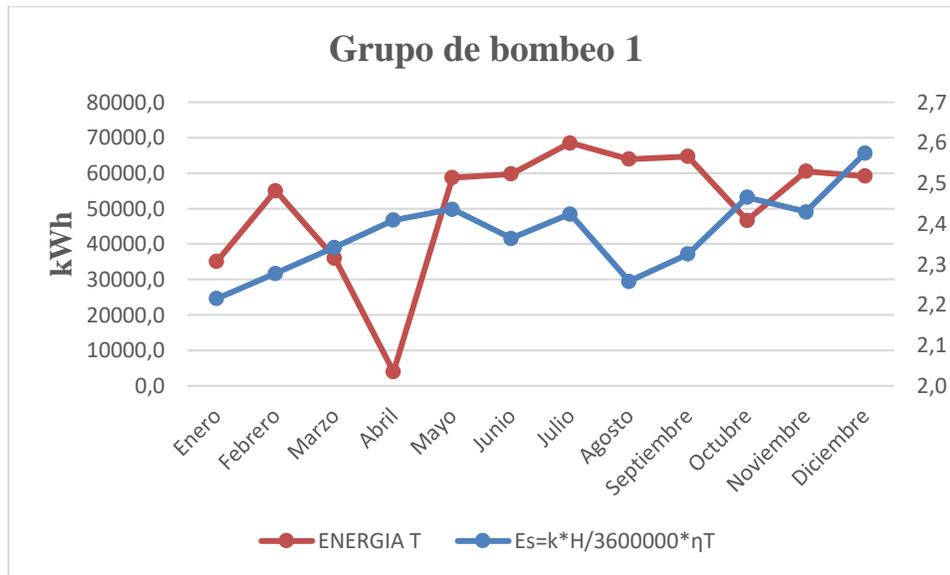


Figura 23 Diagrama de energía total y energía específica de bomba uno

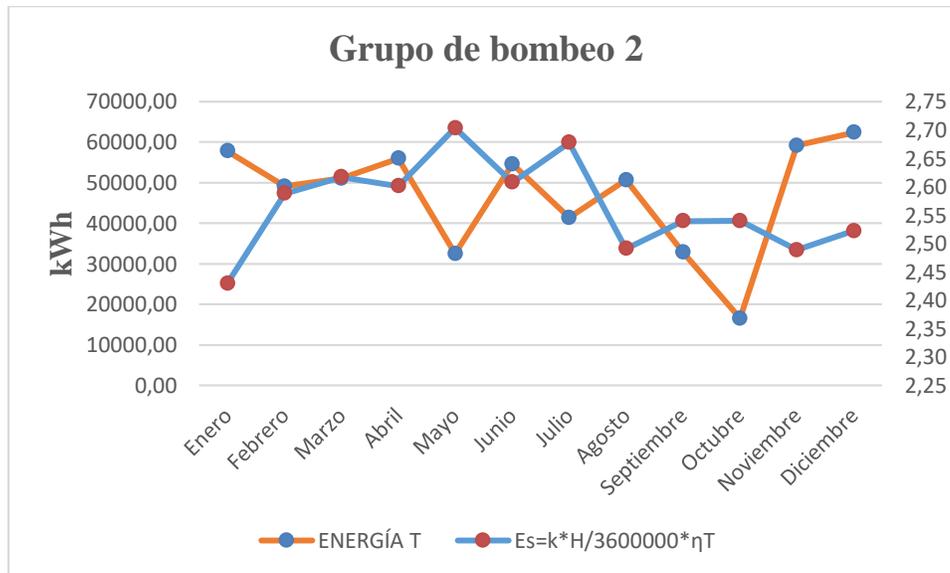


Figura 24 Diagrama de energía total y energía específica de bomba dos

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

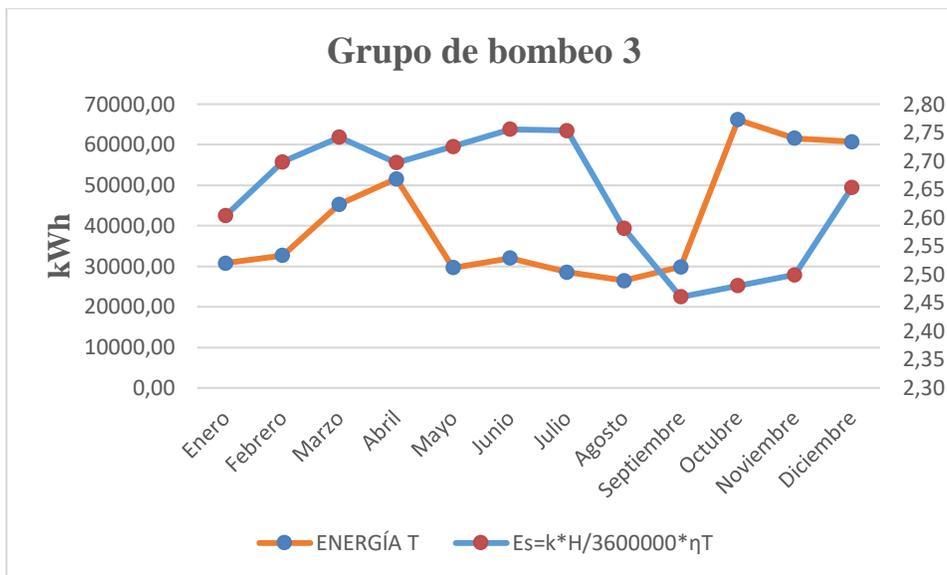


Figura 25 Diagrama de energía total y energía específica de bomba tres

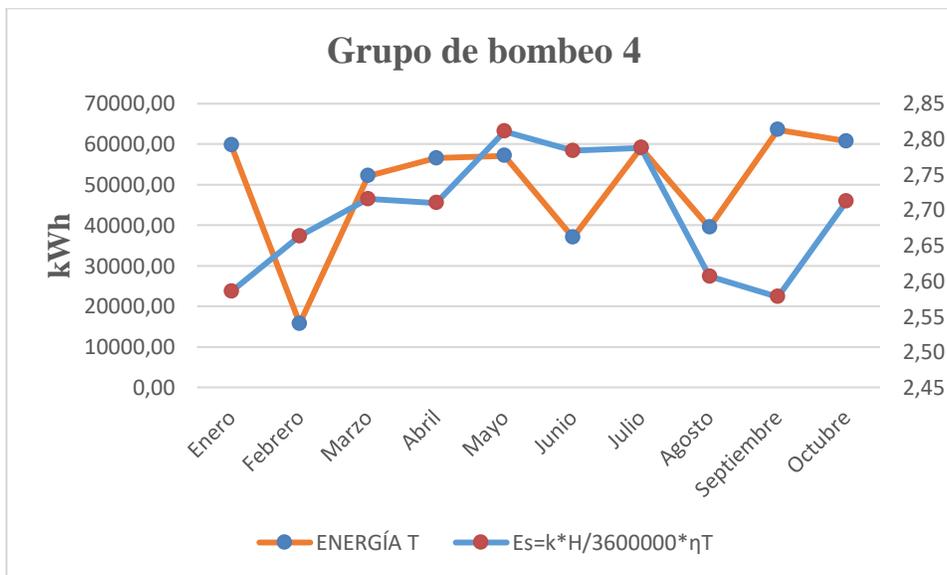


Figura 26 Diagrama de energía total y energía específica de bomba cuatro

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

Tabla 7

Eficiencia total, energía específica y energía de los grupos de bombeo

Año	Grupo Bombeo 1			Grupo Bombeo 2			Grupo Bombeo 3			Grupo Bombeo 4		
	$\eta T$	Es	kWh									
<b>Año 2019</b>												
<b>Enero</b>	48	2,2	35086	53	2,4	57821	56	2,6	30768	56	2,6	59785
<b>Febrero</b>	49	2,3	55078	56	2,6	49108	58	2,7	32645	58	2,7	15772
<b>Marzo</b>	51	2,3	36045	57	2,6	51055	59	2,7	45315	59	2,7	52206
<b>Abril</b>	52	2,4	3994	56	2,6	55989	58	2,7	51545	59	2,7	56568
<b>Mayo</b>	53	2,4	58681	58	2,7	32500	59	2,7	29685	61	2,8	57170
<b>Junio</b>	51	2,4	59792	56	2,6	54605	60	2,8	32042	60	2,8	37013
<b>Julio</b>	52	2,4	68507	58	2,7	41365	59	2,8	28532	60	2,8	59077
<b>Agosto</b>	49	2,3	63932	54	2,5	50681	56	2,6	26436	56	2,6	39476
<b>Septiembre</b>	50	2,3	64707	55	2,5	32857	53	2,5	29887	56	2,6	63553
<b>Octubre</b>	53	2,5	46698	55	2,5	16505	54	2,5	66158	59	2,7	60760
<b>Noviembre</b>	52	2,4	60505	54	2,5	59179	54	2,5	61608	-	-	-
<b>Diciembre</b>	56	2,6	59137	55	2,5	62379	57	2,7	60703	-	-	-
<b>Promedio</b>	51	2,4	51014	55	2,6	47004	57	2,6	41277	58	2,7	41782

## OBJETIVOS ENERGETICOS

Reducir la energía no asociada a la producción de la estación en el orden del 2 al 5 %, mediante la recuperación de la eficiencia nominal de los grupos de bombeo, correcto mantenimiento de los equipos e instalaciones, implementación de cambios operacionales y mejora de la infraestructura civil, mecánica, eléctrica e instrumentación.

Integración de la estación al sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA, por sus siglas en ingles) que permite a supervisores y personal de mantenimiento controlar variables críticas del proceso (voltaje, amperaje, factor de potencia, caudal, niveles de rio, turbidez, demanda del sistema, modos de operación, entre otros), con el fin de contribuir a la mejora del rendimiento energético del sistema de tratamiento de agua potable de la Ciudad de Manta.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La figura 15, muestra que se gasta en energía eléctrica en captación 4682403, tratamiento e impulsión (distribución) 31600981, lo cual representa un 13 % y 87 % respectivamente, este resultado es similar al análisis obtenido por Ferro y Lentini (2015) en donde el consumo energético en la extracción del agua cruda esta entre el 10 y el 30 %, mientras que para la distribución es del 69 al 80 % en promedio, para este caso se deduce que el costo de potabilización (aireación, decantación, filtración, bombeo agua filtrada, cloración) es de alrededor del 7 %, por otra parte, el 9 % de los ingresos representan los costos de electricidad en el proceso de tratamiento de agua potable (captación, tratamiento y distribución) del Ceibal según figura 16.

El diagrama de control de la producción de la figura 17, nos indica que el promedio de la producción del 2019 fue de 1867372 m<sup>3</sup>, mientras que febrero fue el mes con más baja producción con 1648026 m<sup>3</sup> que presenta un ingreso de USD 791001, seguido por el mes de abril. El mes de diciembre registró la más alta producción con 1963740 m<sup>3</sup> e ingreso por USD 957749 seguido por el mes de marzo con mayor producción del periodo en análisis.

El diagrama de control de energía de la figura 18 muestra que los consumos de todos los meses están dentro de los límites de control, sin embargo, febrero registra el menor consumo energético con 165753 kWh, seguido por el mes de abril con 168096 kWh. Julio fue el mes con mayor consumo energético con 197480 kWh, seguido por el mes de octubre con 195788 kWh del periodo en análisis.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

La figura 20 nos indica la energía no asociada a la producción de 7515 kWh y coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,7 aproximado al obtenido por Villalta, P., & Stalin, L. (2020) en su estudio sobre Análisis de necesidad para la implementación de un sistema de gestión energética en la Empresa Tecnoesa-Ecuador, que para la energía eléctrica fue de 0,78.

Tabla 8

Desempeño energético de la estación de bombeo de captación

<b>DESEMPEÑO ENERGÉTICO</b>				
<b>Consumo total de energía eléctrica (kwh) 4682403</b>				
		Línea base	Línea base meta	Potencial ahorro
	Energía no asociada a la producción (kWh)	7515	29925	-22410
	Factor de correlación	0,6983	0,951	-
	Índice de consumo (kWh/m <sup>3</sup> )	0,101	Producción	1824161
		0,095		1899771
<b>Electricidad</b>	Enero-Febrero	Base 100	2%	Ineficiente
	Febrero-Marzo		3%	Ineficiente
	Febrero-Marzo	SUMACUM	94377	Ineficiente
	Abril-Mayo		-11654	Ineficiente
<b>INDICADORES</b>				
	<b>Equipo</b>	kWh	kWh/m <sup>3</sup>	
	Grupo de Bombeo 1	612162	0,098	
	Grupo de Bombeo 2	564044	0,090	
	Grupo de Bombeo 3	495323	0,088	
	Grupo de Bombeo 4	501378	0,072	

Yanes, José, Gaitan, y Geovany (2015), indican que al disminuir la producción disminuye la energía utilizada pero el índice de consumo aumenta por el peso relativo de la

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

energía no asociada a la producción según figura 21, que se muestra en la tabla 8 con índices de consumo de  $0,101 \text{ kWh/m}^3$  y  $0,095 \text{ kWh/m}^3$ , con su correspondiente producción de  $1824161 \text{ m}^3$  y  $1899771 \text{ m}^3$ .

La figura 27 muestra el índice de consumo específico de cada grupo de bombeo y expresa la relación entre el consumo de energía y la producción, donde la bomba uno es el equipo con mayor consumo específico con  $0,098 \text{ kWh/m}^3$ , mientras que la bomba cuatro es el equipo con el menor índice de consumo de  $0,072 \text{ kWh/m}^3$  que concuerda con el diagrama de Pareto de la figura 22.

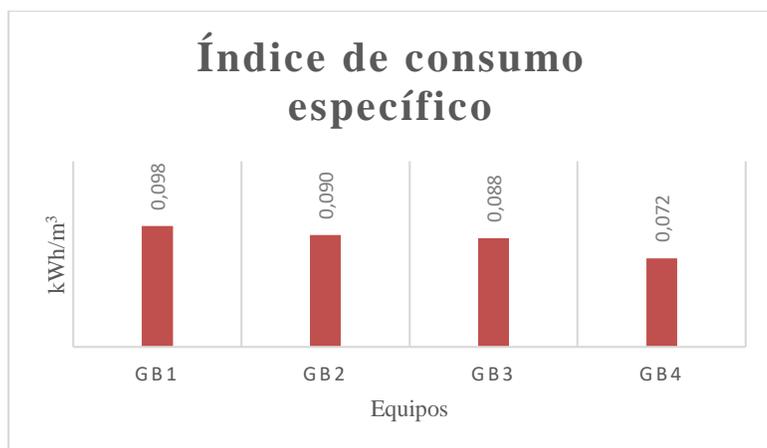


Figura 27 Indicador de consumo específico

Las figuras 23, 24, 25 y 26 muestran el comportamiento en el tiempo de la energía específica y la energía total de los equipos, la energía específica es inversamente proporcional a la eficiencia total que se muestra en la tabla 6, según los valores existe discrepancia en los resultados obtenidos ya que la eficiencia total depende de la potencia hidráulica y de la potencia en el eje, a su vez la potencia en el eje depende de la potencia

## **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

eléctrica como lo expresa Pozo Tapia en el diagrama del proceso de transformación de la energía de una bomba. La potencia eléctrica fue calculada de los datos de voltaje y amperaje de los registros diarios que tiene la empresa de agua potable, los mismos que pueden ser erróneos, ya que para un sistema de bombeo el consumo de energía eléctrica es fijo, pero se ve afectado por el diseño de la instalación, equipos electromecánicos, criterios de operación, correcto mantenimiento de equipos e instalaciones y sistemas de control implementados, según Andreu et ál (2012).

En la tabla 7, muestra el rendimiento total de los grupos de bombeo, siendo la bomba cuatro de mayor rendimiento con el 58 % y la bomba uno con menor rendimiento del 51 %, según fabricante el rendimiento total de las bombas es del 73 %, con lo cual podemos identificar ahorros potenciales de energía entre el 15-22 %, similar a la ineficiencia del 19 % encontradas en estaciones de bombeo en Alemania según Dario Terregrossa et ál (2017).

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## CONCLUSIONES

El único portador energético usado en la producción de agua cruda, tratamiento de agua potable, distribución de agua potable es la electricidad, el gasto de energía eléctrica representa un coste bajo respecto a los ingresos, energéticamente hablando se tiene que el 9 % de los ingresos corresponden a gastos de electricidad y el 13% del consumo en electricidad corresponden a la estación de bombeo de captación.

El diagrama de dispersión de la figura 20 muestra que el consumo de energía eléctrica con la producción está relacionado directamente con cierto grado de incertidumbre a falta de datos, como se vio en la discusión de los resultados se obtuvo un coeficiente de correlación aceptable, por otra parte, el ahorro promedio anual por ineficiencia de los equipos de bombeo asciende a USD 54032.

El sistema de control de la estación y enlace radial se encuentran funcionando, sin embargo, no hay comunicación entre la estación y sala de control por incompatibilidad del protocolo de comunicación de la radio y el PLC, por ende, no se lleva un registro de datos en el sistema centralizado SCADA, dificultando generar reportes y data que corroboren los registros manuales de los operadores respecto a la producción y consumo energéticos del sistema de tratamiento de agua potable.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## RECOMENDACIONES

Con el potencial ahorro energético se puede invertir en; mantenimiento preventivo y correctivo de la estación y bombas, integración de la estación al sistema SCADA e implementación de un Sistema de Gestión de Energía basado en la Norma ISO 50001, que permita comparar el nivel de desempeño energético en el tiempo, identificar ineficiencias, implementar cambios operacionales y cambios tecnológicos como plan de acción para mejorar el desempeño energéticos de la estación.

Mejorar la infraestructura civil, eléctrica, mecánica e instrumentación de la estación para monitorear en línea las variables de control del proceso (caudal, nivel de río, turbidez, demanda del sistema, modos de operación) sin que afecte la operación y producción planta de tratamiento de agua potable.

Realizar la planeación energética de la planta de tratamiento (proceso de aireación, decantación, filtración, bombeo de agua filtrada y cloración) y a la estación de bombeo de agua potable para determinar los indicadores de consumo energético, líneas bases y calcular el potencial de ahorro energético para cerrar la brecha del ciclo de tratamiento de agua potable del Ceibal-Manta.

# **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

## **AGRADECIMIENTO**

- Msc. Jefferson Rubio
- A la Empresa Aguas de Manta y al Ing. Lister Posligua por las facilidades dadas en el desarrollo del estudio.
- A la Empresa Hydriapac y a sus colaboradores por facilitarme toda la información de las estaciones repotenciadas y del sistema SCADA de la Ciudad de Manta, así como también, darme cobijó durante la etapa más dura de la Pandemia del COVID-19.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

## REFERENCIAS

- Acoltzi, H., & Pérez, H. (2011). ISO 50001, Gestión de energía. *Boletín IIE*, 114.
- Alfaro-Guerra, M., Guerra-Rojas, R., & Olivares-Gallardo, A. (2019). Evaluación experimental de la solución analítica exacta de la ecuación de Colebrook-White. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 20(2), 0.
- Andreu, P. S., Mifsut, C. L., & Soler, M. A. (2012). Optimización energética en edar de la Región de Murcia. *Ingeniería Civil*, 168, 93–112.
- Baquero-Rodríguez, G. A., Lara-Borrero, J. A., Nolasco, D., & Rosso, D. (2018). A Critical Review of the Factors Affecting Modeling Oxygen Transfer by Fine-Pore Diffusers in Activated Sludge. *Water Environment Research*, 90(5), 431–441.
- Castrillón Mendoza, R. P., Monteagudo Yanes, J. P., Borroto Nordelo, A., & Quispe Oqueña, E. C. (2015). Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos. *El Hombre y La Máquina*, 46.
- Conrado, C. A. F., Arrieta, R. P., & Forero, J. D. (2020). Optimización energética de bombas centrífugas a través de un análisis paramétrico en CFD y modelos de pérdida de energía. *INGE CUC*, 16(1).
- Correa Ramírez, A. C. (2018). *Diseño de una herramienta de análisis para la optimización en la programación operacional y reducción de los costos energéticos de un sistema de bombeo. Caso aplicado a la estación de bombeo de Navarro-Emcali.*

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

Correa Soto, J., Borroto Nordelo, A. E., González Álvarez, R., Curbelo Martínez, M., &

Díaz Rodríguez, A. M. (2014). Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001: 2011. *Ingeniería Energética*, 35(1), 38–47.

FERNANDEZ PONCE, M. D. E. L. R. (2019). *PROPUESTA DE MODELO DE INTEGRACION DE LOS SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL ISO 14001: 2015 Y GESTION DE LA ENERGIA ISO 50001: 2011*.

Ferro, G., & Lentini, E. (2015). *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado*.

Giner González, C., Gómez Pajares, P., SANZ TARREGA, F., García-Serra García, J., & Soriano Olivares, J. (2020). *Auditoría Energética de estaciones de bombeo. Caso de Estudio*.

Gulich, J. F. (2020). Pump Testing. In *Centrifugal Pumps* (pp. 1205–1230). Springer.

Hyypiä, J. (2016). *Hydraulic energy recovery by replacing a control valve with a centrifugal pump used as a turbine*.

Imel, M. R., Gastesi, R., & Stone, R. (2015). Monroe County, Florida A case study in sustainable energy management. *Energy Engineering*, 112(1), 47–66.

Izaguirre, B. I. L., Pintor, D. C. A., Aguilar, C. R., & Becerra, E. V. (n.d.). LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA: ESTUDIO EN HOSPITAL PÚBLICO. *Revista de*

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

*Divulgación Científica y Tecnológica. ISSN, 2444, 4944.*

Jiménez Cordero, W. G., Pacheco, P., & Pilar, J. (2018). *Análisis y Diseño de una estación de bombeo para aguas servidas en el sector Cristo del Consuelo Cooperativa las Ranas*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil.

Lara Izaguirre, B. I., Acosta Pintor, D. C., Ramírez Aguilar, C., & Vidal Becerra, E. (2019). Línea de base energética: Estudio en hospital público. *TECTZAPIC*, 2.

Lawrence, A., Thollander, P., Andrei, M., & Karlsson, M. (2019). Specific energy consumption/use (SEC) in energy management for improving energy efficiency in industry: Meaning, usage and differences. *Energies*, 12(2), 247.

Longo, S., d'Antoni, B. M., Bongards, M., Chaparro, A., Cronrath, A., Fatone, F., Lema, J. M., Mauricio-Iglesias, M., Soares, A., & Hospido, A. (2016). Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. A state of the art and proposals for improvement. *Applied Energy*, 179, 1251–1268.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.043>

López, G., & de Dios, J. (2020). *Estudio del consumo energético en depuradoras de aguas residuales de la Comunidad Valenciana*.

Marigorta, E. B., Suárez, S. V., & Francos, J. F. (1994). *Sistemas de bombeo*. E. Blanco Marigorta.

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

- Martínez Valdés, Y., & Riaño Valle, F. (2018). Deducción analítica de las curvas características de las bombas rotodinámicas en paralelo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 112–126.
- Pavón Moreno, M. del C. (2016). *Obtención de líneas base: Aplicación a edificios de oficinas y sedes judiciales*. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/50927>
- Peña, A. C., & Sánchez, J. M. G. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. AENOR.
- Pérez, C. A., & Méndez, F. V. (2011). Indicadores de gestión enfocados al ahorro energético para la industria de beneficio de feldespato. *Scientia et Technica*, 16(49), 72–77.
- POZO TAPIA, V. (n.d.). *DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA*.
- Ruiz Andrade, P. M. (2017). *Diseño e implementación de un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) basado en la norma NTE INEN-ISO 50001: 2012, aplicado a la empresa Enkador SA*. Quito, 2017.
- Santos, S. N., Ivorra, A. G., Gil, E. M., & Garcia, M. C. (2016). Cálculo de la huella de carbono del ciclo urbano del agua. La experiencia de Emuasa. *Tecnoagua*, 19, 58–65.
- Terneus-Jácome, E., & Yáñez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en

# “PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”

---

Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de La Vida*, 27(1), 36–50.

TFB–Flyft, S. A. (2004). *Bombas Sumergibles y Estaciones de Bombeo*. Madrid.

Torregrossa, D., Schutz, G., Cornelissen, A., Hernández-Sancho, F., & Hansen, J. (2016).

Energy saving in WWTP: Daily benchmarking under uncertainty and data availability limitations. *Environmental Research*, 148, 330–337.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2016.04.010>

Torregrossa, Dario, Hernández-Sancho, F., Hansen, J., Cornelissen, A., Popov, T., &

Schutz, G. (2017). Energy saving in wastewater treatment plants: A plant-generic cooperative decision support system. *Journal of Cleaner Production*, 167, 601–609.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.181>

VEGA TELLES, R. (2020). *APUNTES DE SISTEMAS E INSTALACIONES*

*HIDRAÚLICAS*.

Villalta, P., & Stalin, L. (2020). *Análisis de necesidad para la implementación de un*

*sistema de gestión energética en la Empresa Tecnoesa-Ecuador*.

Zamora, R. R., Manrique, O. B., & Balbón, P. L. (2020). EL BALANCE ENERGÉTICO

EN TUBERIAS SIMPLES APLICADO A LA INGENIERÍA

HIDRÁULICA/ENERGY BALANCE IN SIMPLE PIPES APPLIED TO THE

HYDRAULIC ENGINEERING. *Universidad&Ciencia*, 9(2), 175–186.

Zhang, Z., Kusiak, A., Zeng, Y., & Wei, X. (2016). Modeling and optimization of a

# **“PLANEACIÓN ENERGÉTICA ESTACIÓN DE BOMBEO AGUA CRUDA MANTA-ECUADOR, BAJO NORMA ISO 50001”**

---

wastewater pumping system with data-mining methods. *Applied Energy*, 164, 303–311. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2015.11.061>

**Notas de autor**

**Enlace alternativo**