

Gestión de Mantenimiento Basado en Eficiencia Energética y Uso Racional de Energía.

Jhonny Stiven Manrique Sandoval

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Gabriel Ordóñez Plata

Ingeniero Electricista, Doctor en Ingeniería Industrial área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2023

**Dedicatoria**

A la mujer que amo, quería algo que se quede para siempre.

A mis padres por su apoyo y animo brindado en toda mi carrera profesional.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial de Santander y al profesor Gabriel Ordóñez Plata, por toda su colaboración y aportes académicos.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
1. Objetivos .....	12
1.1. Objetivo General .....	12
1.2. Objetivos Específicos.....	12
2. Materiales y métodos.....	13
3. Indicador de desempeño energético IDEn.....	14
3.1. Parámetros de medición para determinar el IDEn .....	17
3.1.1 Metodología propuesta para determinar el IDEn.....	19
3.1.2 Alternativa para obtener LBEn basado en datos históricos energéticos.....	31
3.2. Propuesta para ubicar activos en curva la de bañera.....	34
3.3. Estrategia de sistemas de monitorización para el seguimiento del consumo energético. 37	
4. Integración del IDEn dentro de los indicadores de gestión de mantenimiento.....	40
4.1. Correlación del indicador de disponibilidad con el IDEn.....	41
4.2. Clasificación de indicadores de gestión de mantenimiento.....	44
5. Conclusiones .....	45
6. Recomendaciones .....	47
Referencias Bibliográficas .....	48
Anexo.....	49

### Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Indicadores de desempeño energético IDEn dentro de los procesos</i> .....	15
Tabla 2 <i>Plan de acción de prácticas ineficientes y oportunidades de mejoras</i> .....	16
Tabla 3 <i>Parámetros requeridos de seguimiento de IDEn</i> .....	19
Tabla 4 <i>Tabla propuesta de usos significativos de energía, USE, en planta de tratamiento de agua</i> .....	20
Tabla 5 <i>Análisis del costo pagado de kWh industrial</i> .....	21
Tabla 6 <i>Tabla de datos para el análisis de Pareto</i> .....	22
Tabla 7 <i>Plan de acción sobre equipos críticos de la planta de tratamiento de agua</i> .....	24
Tabla 8 <i>Indicador de desempeño energético aplicando el plan de acción propuesto, manteniendo el tiempo de funcionamiento igual a la LBEEn establecida</i> .....	26
Tabla 9 <i>Indicador de desempeño energético resultante</i> .....	27
Tabla 10 <i>Matriz DOFA de verificación de ciclo PHVA</i> .....	28
Tabla 11 <i>Metodología de las 5S, para implementar eficiencia energética en la gestión de mantenimiento</i> .....	30
Tabla 12 <i>Parámetro m de la Ecuación 1; Relación entre energía y producción en diferentes tipos de empresas</i> .....	32
Tabla 13 <i>Datos de consumo y producción de campo petrolero</i> .....	32
Tabla 14 <i>Datos recolectados en un periodo de 45 días de fallas de bomba de agua de 2 HP</i> .....	41
Tabla 15 <i>Consumo energético de bomba de 2 HP</i> .....	43

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Ciclo PHVA enfocado a la eficiencia energética en el plan de mantenimiento.....</i>	16
Figura 2. <i>Indicador de desempeño energético objetivo en equipo o sistema en conjunto.....</i>	18
Figura 3. <i>Diagrama de Pareto para equipos de la planta de tratamiento de agua.....</i>	23
Figura 4. <i>Etiquetado reglamentario en los activos o equipos, exigido por el RETIQ.....</i>	25
Figura 5. <i>Comparativo de bombeo convencional y bombeo de alta eficiencia, de la empresa ABB. ....</i>	29
Figura 6. <i>Cálculo de ecuación de línea base energética en función de los barriles día producidos.....</i>	33
Figura 7. <i>Curva de la bañera, para ubicación de equipos. ....</i>	35
Figura 8. <i>Diagrama de flujo para determinar zona del activo en curva de la bañera. ....</i>	36
Figura 9. <i>Ubicación de bomba existente y de bomba proyectada, en la curva de la bañera. ....</i>	37
Figura 10. <i>Etapas del ciclo de vida de los activos.....</i>	38
Figura 11. <i>Activos con sensores para la monitorización del consumo energético. ....</i>	39
Figura 12. <i>Estrategia para implementar la Terotecnología. ....</i>	40
Figura 13. <i>Curva de disponibilidad de bomba de 2 HP en periodo de 45 días.....</i>	42
Figura 14. <i>Curva de consumo energético de bomba de 2 HP en periodo de 45 días.....</i>	43

**Lista de Anexo**

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Tabla de ubicación del activo en la curva de la bañera.....	50.49

## Glosario

**IDEn:** Indicador de desempeño energético.

**IoT:** Internet de las cosas

**ISO:** organización de estandarización internacional

**KPIs:** Indicadores clave de desempeño

**KSIs:** Indicadores estratégicos.

**LBE:** líneas de base energética.

**RETIE:** Reglamento técnico de instalaciones eléctricas.

**RETIQ:** Reglamento técnico de etiquetado.

**ROI:** Retorno sobre la inversión

**SGen:** sistema de gestión de la energía.

**USE:** usos significativos de la energía.

## Resumen

**Título:** Gestión de mantenimiento basado en eficiencia energética y uso racional de energía \*

**Autor:** Jhonny Stiven Manrique Sandoval\*\*

**Palabras Clave:** Eficiencia Energética, indicador de desempeño energético, terotecnología

**Descripción:** El presente trabajo tiene como objetivo proponer una alternativa para que las empresas optimicen el recurso energético, basado en la norma ISO 50001, para que los costos por producción se reduzcan. Se presenta una serie de acciones y casos puntuales que se pueden implementar para cualquier tipo de empresa, logrando no solo la disminución del costo por consumo energético, sino también los incentivos tributarios, exclusión de IVA, descuento de renta o deducción de renta. Al implementar estas acciones se logra ser competitivos con respecto a países socios comerciales, según lo señala el organismo supervisor de la inversión en energía y minería del Perú, Colombia es de los primeros cuatro países con el kWh más costoso a nivel de Latinoamérica y donde se evidencia que los países más competitivos son los de menores costos del kWh, ya que desde este punto de vista estos países tienen una primera ventaja comercial en los costos de su producto final.

Se propone integrar el indicador de desempeño energético, para correlacionarlo con el indicador de disponibilidad y así justificar la transición a los activos más eficientes.

Con esta implementación se busca disminuir la huella de carbón y optimizar el uso de los recursos naturales.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Gabriel Ordóñez Plata. Doctor en ingeniería Industrial área Ingeniería Eléctrica.

### Abstract

**Title:** Energy-Efficient Maintenance Management and Rational Energy Use \*

**Author(s):** Jhonny Stiven Manrique Sandoval \*\*

**Key Words:** Energy Efficiency, Energy Performance Indicator, Thermotechnology

#### Description:

Description: The present work aims to propose an alternative for companies to optimize their energy resources based on ISO 50001 standards, in order to reduce production costs. A series of actions and specific cases are presented that can be implemented for any type of company, achieving not only a decrease in energy consumption costs but also tax incentives, VAT exclusion, income tax discount, or deduction. By implementing these actions, competitiveness is achieved with respect to trading partner countries. According to the supervisory body for energy and mining investment in Peru, Colombia ranks among the top four countries with the highest kWh costs in Latin America. It is evident that the most competitive countries are those with lower kWh costs, as they have a commercial advantage in the costs of their final product from this perspective.

It is proposed to integrate the energy performance indicator and correlate it with the availability indicator to justify the transition to more efficient assets.

This implementation aims to reduce carbon footprint and optimize the use of natural resources.

---

\* Degree Work

\*\* School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Gabriel Ordóñez Plata.

## **Introducción**

El propósito de esta monografía es presentar una estrategia para que las empresas de Colombia integren en sus planes de mantenimiento la eficiencia energética, y de esta forma reduzcan sus costos por producción y obtener exenciones tributarias mediante las metodologías que se proponen y que el país optimice el uso de los recursos naturales, para disminuir la huella de carbón.

Colombia presenta una desventaja por su alto costo en el kWh con respecto a sus países socios comerciales. Por lo tanto, se requiere realizar acciones por parte del área de mantenimiento para la reducción del consumo energético, de esta forma se disminuye el costo pagado por concepto energético y el área de mantenimiento ampliaría sus actividades y contribuiría de manera directa en la disminución de los costos de producción. La metodología propuesta tiene como base la norma ISO 50001 la cual sirve de herramienta para cumplir con lo estipulado en el plan de desarrollo nacional 2022-2026 de disminuir el consumo energético como mínimo el 15%.

El desarrollo de la monografía presenta una serie de ejemplos puntuales de la industria petrolera, extracción de crudo y planta de tratamiento de aguas residuales, para presentar la planeación con la cual se debe comenzar a implementar la ISO 50001 y con el valor agregado de estimar la correlación entre el indicador de disponibilidad con respecto al consumo energético para proponer un indicador que respalde ante las juntas directivas el funcionamiento de un equipo o sistema dentro de las compañías.

## **1. Objetivos**

Los objetivos generales y específicos de esta monografía se presentan a continuación.

### **1.1. Objetivo General**

Proponer un esquema de implementación de la normativa ISO 50001 alrededor del uso y eficiencia de la energía en el programa de mantenimiento, para optimizar el consumo de energía y promover la gestión sostenible de los recursos en el ámbito industrial.

### **1.2. Objetivos Específicos**

Mostrar una propuesta de implementación para realizar evaluación energética en el programa de mantenimiento de los activos críticos o de mayor consumo energético, partiendo de un diagnóstico o medición inicial para definir una meta, introduciendo el indicador de uso energético IDEn.

Definir la forma de evaluación a los activos para ubicarlos en la curva de la bañera y relacionarlo con el equipo en condición normal de operación, para tomar la decisión de realizar o no la transición a un equipo de mejor eficiencia.

Proponer sistemas de monitorización por medio de tecnología IoT, con medidas de las señales de tensión y corriente para realizar el seguimiento del consumo energético en los procesos de operación, considerando el análisis de datos, y con esto identificar desviaciones en el consumo energético y generar una alerta en mantenimiento.

## 2. Materiales y métodos.

Para el desarrollo del trabajo, se requiere el uso de diagramas de Pareto, graficas de control estadístico, matriz de criticidad con criterio de consumo energético, matriz DOFA, y la metodología de las 5S, estableciendo el inventario con los activos que se tienen y generando la línea base energética, y proponer el indicador de desempeño IDEn para comparar con los periodos que se acoten dentro de la compañía.

Se deben asignar las actividades al personal que tiene el área encargada del mantenimiento, llevar el control y un informe diario del registro de desempeño energético, y correlacionarlo con el indicador de desempeño establecido. Al llevar un registro diario se tiene la proyección para el siguiente periodo, y así tener la evaluación del desempeño energético.

Estos registros se pueden tomar con la implementación de la tecnología IoT, cuando no se cuente con esta tecnología, se deben hacer las mediciones de manera presencial con equipos de medición (voltímetro y amperímetro) y con la instalación de medidores de energía, en las áreas de mayor consumo. Además de evaluar los equipos y procesos críticos a los cuales se le puede hacer la instalación de los sensores IoT.

Teniendo los registros de las medidas en tiempo real, se debe correlacionar estas mediciones con los datos nominales de los equipos, y determinar si se está presentando algún incremento energético significativo. Cuando el equipo está teniendo un aumento significativo, este puede estar trabajando en condición de falla y se puede hacer la orden de trabajo para hacer la revisión del equipo y corregir el fallo antes que esta pueda convertirse en una falla crítica que afecte al equipo, el operador y/o el medio ambiente.

Otro aspecto a considerar, es la revisión de las instalaciones eléctricas y activos, determinando si el diseño inicial de estos ha sido dimensionado de acuerdo con lo requerido por el proceso, y realizar las respectivas correcciones, para lograr la mejor implementación del plan de mantenimiento que se requiere establecer y determinar en qué etapa de la *curva de la bañera* se encuentran operando los equipos.

### **3. Indicador de desempeño energético IDEn.**

El indicador de desempeño energético, es un valor propuesto en la norma ISO 50001 que se calcula para realizar el seguimiento energético de un área y con este valor proponer un plan de acción enfocado en la mejora de este indicador.

Tener la medición confiable del IDEn es fundamental para hacer la comparación con la línea base energética, por esto se requiere establecer la metodología de seguimiento de este indicador y anexarlo dentro de los indicadores llevados en los planes de mantenimiento de la compañía.

En la Tabla 1 se establecen los procesos a los cuales se propone la metodología del indicador de desempeño energético IDEn.

**Tabla 1***Indicadores de desempeño energético IDEn dentro de los procesos*

<b>Energía de entrada</b>	<b>Equipos</b>	<b>IDEn</b>	<b>Energía de salida</b>
<b>Energía eléctrica</b>	Motores	Energía mecánica/ Energía eléctrica	Mecánica
	Lámparas	Iluminación metros cuadrados/ Energía eléctrica	Lumínica
	Aires acondicionados	Refrigeración metros cúbicos/ Energía eléctrica	Acondicionamiento térmico
	Vehículos	Kilómetros recorridos/ Energía de entrada	Movilidad

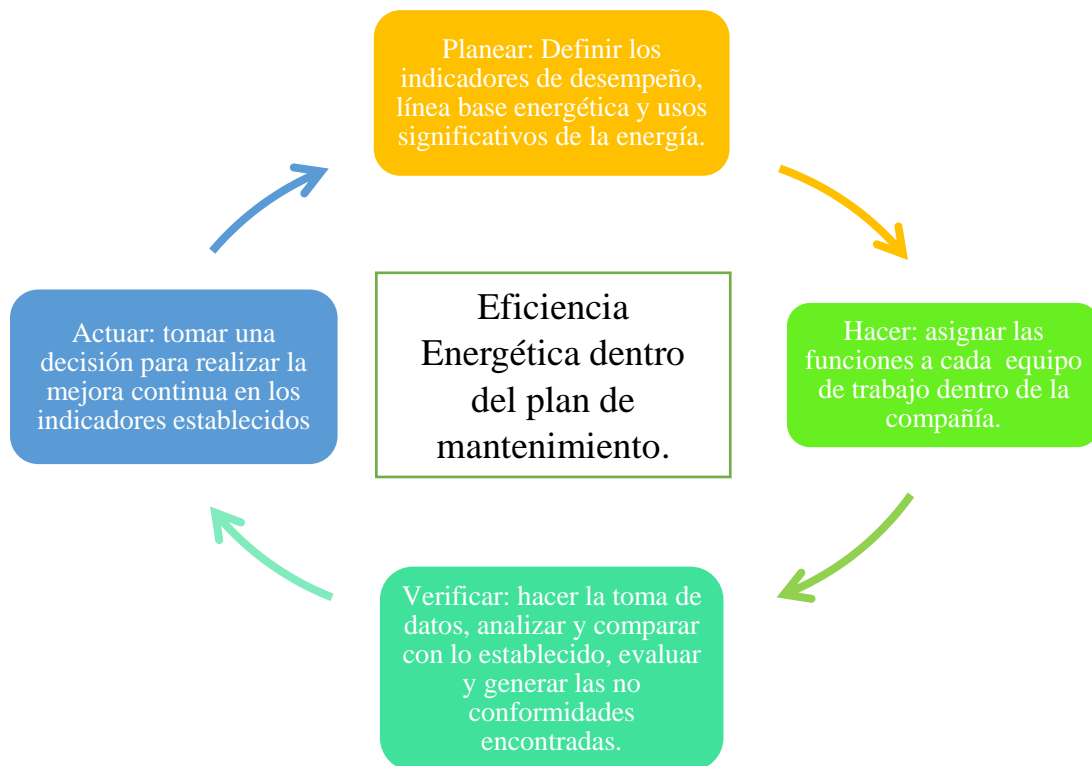
En la Tabla 1 se muestra la importancia de utilizar los equipos a cargas nominales y determinar las pérdidas energéticas durante el proceso. Lo ideal es que la entrada energética debe ser igual a la salida, sin embargo, llegar a que no se presente pérdidas energéticas es imposible, es por esto que se debe lograr al menos aproximarse a tener una diferencia mínima y esto se logra con:

- Dimensionar equipos a la carga nominal y no sobredimensionar las cargas.
- Seleccionar equipos de alta eficiencia encontrados en el mercado.
- Usos de dispositivos para arranque de motores eléctricos, tales como, variadores de velocidad, variadores de frecuencia y arrancadores.

Para hacer seguimiento de desempeño energético, se debe tener el plan de acción y asignar el equipo de trabajo encargado para esta actividad, para esto se aplica el ciclo PHVA que se muestra en la Figura 1.

### Figura 1.

*Ciclo PHVA enfocado a la eficiencia energética en el plan de mantenimiento*



En la Tabla 2 se propone el plan de acción con oportunidades de mejora a realizar en la compañía, para esto se debe identificar las prácticas ineficientes y clasificar en grupos de trabajo.

### Tabla 2

*Plan de acción de prácticas ineficientes y oportunidades de mejoras*

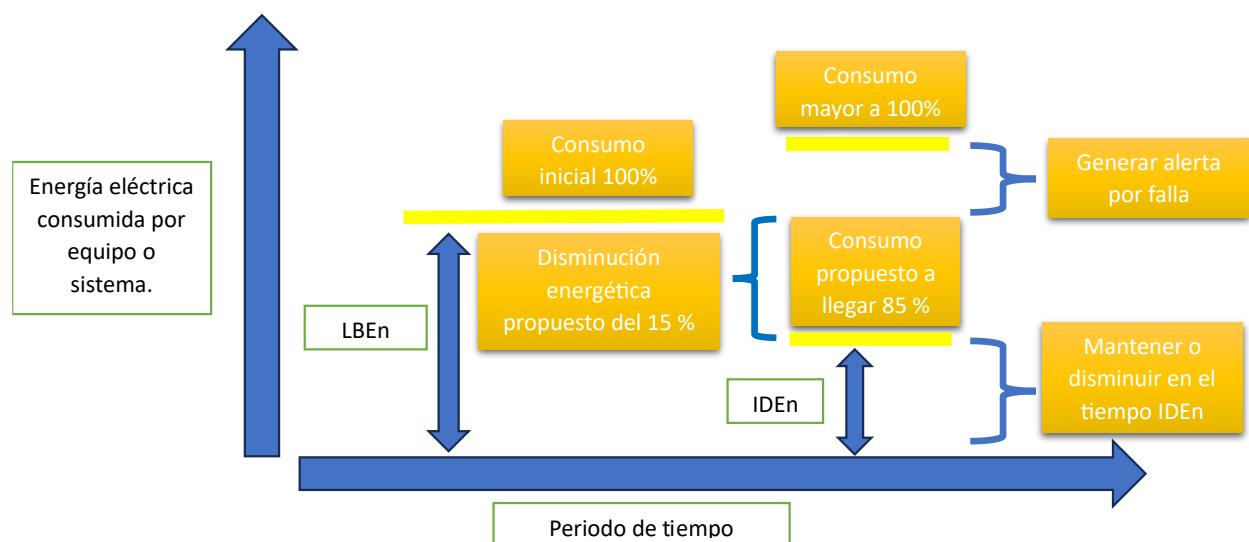
<b>Grupo</b>	<b>Prácticas ineficientes</b>	<b>Oportunidad de mejora</b>
Activos (Maquinas) y locativos	Uso de maquinaria con bajos índices de eficiencia. Maquinarias que ya pasaron la vida útil. Trabajar equipos con porcentajes de cargabilidad en menos del 60 %.	Transición a equipos altos en eficiencia.
	No tener medidas de consumo de cada maquinaria.	Implementar sensores, y medidores, para llevar el consumo en tiempo real.
	En lo locativo, no utilizar la iluminación natural.	Evaluar los sitios locativos, en los cuales se puede usar la iluminación natural.
Operadores y mantenedores	Personal con falta de conocimiento, en temas de uso racional y eficiente de energía. Operar equipos en condición de falla y no realizar reporte de esta condición.	Capacitaciones periódicas a personal, para poner en conocimiento las buenas prácticas de usos energéticos.
	Hacer reparación con repuestos no adecuados, que disminuyan la eficiencia del equipo.	Solicitar a proveedores de equipos los repuestos requeridos.
	No llevar el inventario energético de los activos presentes en la compañía.	Realizar inventarios de equipos con consumo y eficiencia energética.
Gerencia	Ausencia de una política y auditorias de usos energéticos.	Implementar la política de usos energéticos a personal.
	Plan de mantenimiento sin indicador de desempeño energético.	Anexar al plan de mantenimiento el indicador energético de meta a lograr.

### 3.1. Parámetros de medición para determinar el IDEN

Los parámetros que el gerente de mantenimiento debe empezar a recopilar son determinados por el sistema o proceso para obtener el IDEn y hacer el seguimiento con respecto a la línea base energética. En la Figura 2 se presenta un esquema que muestra el objetivo de definir la línea base energética con el indicador de desempeño y la disminución energética a la cual se propone como objetivo llegar y determinar la planeación energética para un equipo puntual o un conjunto de equipos. Se propone que el valor a disminuir sea del 15% siguiendo las directrices propuestas dentro del plan nacional de desarrollo de Colombia 2022-2026.

### Figura 2.

*Indicador de desempeño energético objetivo en equipo o sistema en conjunto*



En la Figura 2 se observa que un IDEn deseado debe estar debajo de la línea base energética. Si el IDEn está por encima del valor de la línea base energética se requiere generar una alerta, dado que este valor está indicando una condición anormal de trabajo del equipo o sistema.

El indicador de desempeño energético se obtiene por medio de medidores ubicados en el equipo (internet de las cosas) sensores o en el conjunto de equipos de un área determinada. De no contar con estas herramientas se propone llevar el registro usando la Tabla 3 de forma puntual con voltímetros, amperímetros, pirómetros, y horómetros durante un periodo establecido en el seguimiento.

**Tabla 3**

*Parámetros requeridos de seguimiento de IDEn*

<b>Parámetros para medir</b>	<b>Equipo Requerido para medición</b>
Tiempo de funcionamiento	Horómetro
Tiempo de parada	Horómetro
Voltaje entrada V	Voltímetro
Corriente entrada A	Amperímetro
Frecuencia HZ	Frecuencímetro
Temperatura del equipo °C	Pirómetro
Potencia de salida W	Determinado por la carga

### **3.1.1 Metodología propuesta para determinar el IDEn**

Determinar las cargas de mayor consumo, equipo o conjunto de equipos, realizando un listado de los usos significativos de la energía (USE) con los consumos primordiales para estimar la línea base energética. Identificados los sistemas o los equipos que requieren la reducción del consumo energético, se realiza el diagrama de Pareto para determinar cuáles cargas son el 20 %

que, al disminuir, generarían reducción de 80% de los problemas. En la Tabla 4 se estima el orden para generar inventario de equipos relevantes y clasificar los usos significativos de energía teniendo en cuenta los datos relevantes para determinar la línea base energética, para este caso se propone el proceso químico de una planta de tratamiento de agua, este ejemplo es una experiencia laboral del autor.

**Tabla 4**

*Tabla propuesta de usos significativos de energía, USE, en planta de tratamiento de agua*

Proceso requerido dentro de la empresa	Equipo	Potencia nominal kW	Horas de operación en el mes	Consumo energético kWh mes	% de consumo de equipo sobre total
	Bomba hidróxido de sodio	3,73	60	223,8	0,33
	Bomba clarificadores	74,6	240	17904	<u>26,91</u>
	Motor aeroenfriador	14,92	360	5371,2	8,07
	Bomba lixiviados	7,46	450	3357	5,04
<b>Mecánico</b>	Bomba lodos biológicos	5,595	360	2014,2	3,02
	Bomba lodos aceitosos	11,19	360	4028,4	6,05
	Bomba de doble succión	55,95	240	13428	<u>20,18</u>
	Bomba de inyección carbón activado	1,119	360	402,84	0,60
<b>Iluminación</b>	Lámparas Perimetrales	15	360	5400	8,11
<b>Acondicionamiento térmico</b>	Aire acondicionado en cuarto de control	40	360	14400	<u>21,64</u>
<b>Energía kWh total del área química de la planta</b>				66529,44	

Considerando el consumo energético del área de química de la planta de tratamiento de agua, se cuantifica el valor pagado por el consumo energético al mes para tener el costo base al cual se pretende reducir, sin embargo, si este valor no se logra reducir se debe hacer seguimiento para que no incremente, es decir, tener cuantificado en los indicadores de mantenimiento. La Tabla 5 presenta un análisis del costo pagado en esta planta.

**Tabla 5**

*Análisis del costo pagado de kWh industrial*

<b>Valor kWh</b>	<b>Consumo kWh/ mes</b>	<b>Costo \$ mes</b>	<b>Costo \$ objetivo</b>
\$ 1000 COP	66 529,44	\$ 66 529 440	\$56 550 024

Con la clasificación de los equipos de la planta de tratamiento de agua registrada en la Tabla 4, se requiere hacer el diagrama de Pareto para determinar cuáles equipos están generando mayor consumo energético para empezar a evaluar y generar el plan de acción.

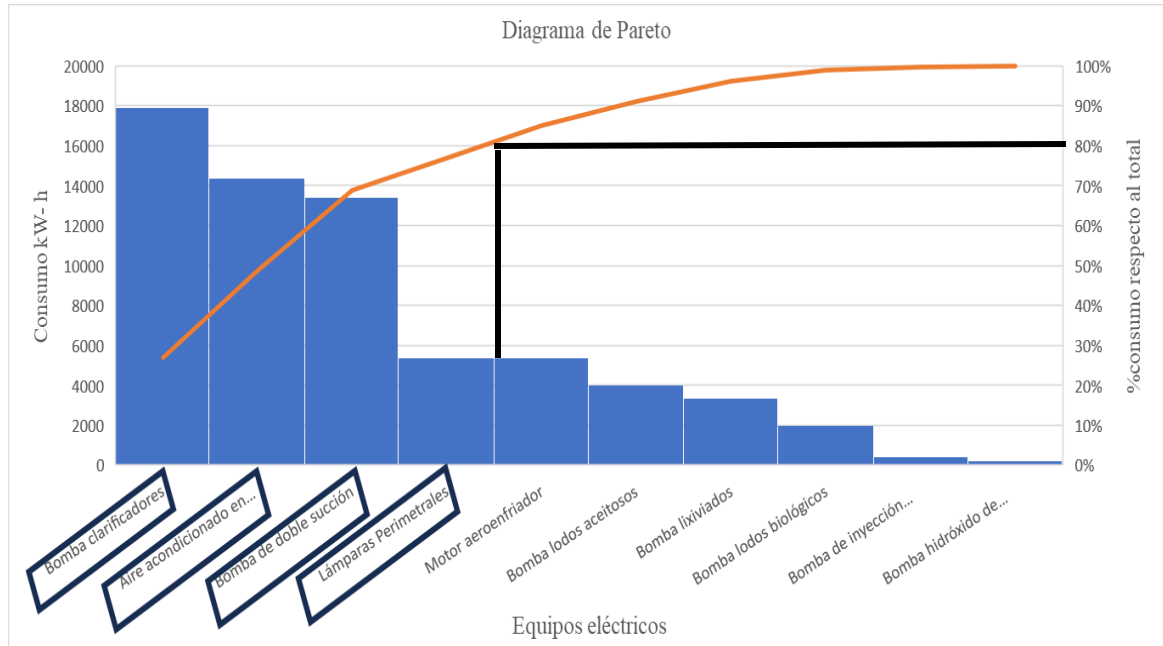
En la Tabla 6 se ordenan los equipos de mayor a menor consumo, para realizar el diagrama de Pareto y en la Figura 3 se muestra el diagrama de Pareto establecido para el caso de ejemplo que se ha propuesto, planta de tratamiento de agua, como modelo para cualquier otro proceso al cual se requiera introducir la eficiencia energética en el plan de mantenimiento, se recomienda que el seguimiento lo realice el equipo de mantenimiento predictivo de no contar con este equipo de trabajo, se asigna a mantenimiento correctivo.

**Tabla 6***Tabla de datos para el análisis de Pareto*

<b>Equipos</b>	<b>Consumo kWh</b>	<b>% Consumo respecto al total</b>	<b>% Acumulado</b>
Bomba clarificadores	17904	26,91139441	26,91139441
Aire acondicionado en cuarto			
de control	14400	21,64455315	48,55594756
Bomba de doble succión	13428	20,18354581	68,73949337
Lámparas Perimetrales	5400	8,116707431	76,8562008
Motor aeroenfriador	5371,2	8,073418324	84,92961913
Bomba lodos aceitosos	4028,4	6,055063743	90,98468287
Bomba lixiviados	3357	5,045886453	96,03056932
Bomba lodos biológicos	2014,2	3,027531872	99,0581012
Bomba de inyección carbón			
activado	402,84	0,605506374	99,66360757
Bomba hidróxido de sodio	223,8	0,33639243	100
<b>Total</b>	<b>66529,44</b>		

**Figura 3.**

*Diagrama de Pareto para equipos de la planta de tratamiento de agua*



Teniendo el diagrama de Pareto, se identifican los equipos a los cuales se debe hacer seguimiento para alcanzar la meta del IDEn menor que LBEn. En este ejemplo los equipos que más consumen energía son bombas clarificadoras, aire acondicionado del cuarto de control, bomba de doble succión y lámparas perimetrales. Se aclara que no por ser los equipos de mayor consumo, se deben descartar los demás equipos. Esta clasificación es una herramienta que proporciona la ayuda para identificar equipos con USE y hacer la comparación visual con diagrama de Pareto en el periodo de evaluación según establezca el plan de mantenimiento.

**Tabla 7***Plan de acción sobre equipos críticos de la planta de tratamiento de agua*

<b>Equipo</b>	<b>Plan de Acción</b>
Bombas clarificadoras	Hacer transición a equipo de mayor eficiencia. Implementar sistema de variadores de frecuencia. Verificar el funcionamiento con las vibraciones normales y llevar registro de estas.
Aire acondicionado cuarto de control	Utilizar aires acondicionados inverter. Verificar hermeticidad en el cuarto. Verificar limpieza del aire acondicionado en filtros. Fuente de energía alternativa, energía solar
Bomba de succión	Hacer transición a equipo de mayor eficiencia, menor consumo energético. Implementar sistema de variadores de frecuencia. Verificar el funcionamiento con las vibraciones normales y llevar registro de estas.
Lámparas perimetrales	Evaluar el tipo de lámpara utilizada por medio de la eficiencia. Cambiar a lámparas de menor consumo energético. Hacer limpieza a las lámparas. Verificar que tengan el estudio de RETILAP. Automatización en el encendido. Encender en el momento que se requieran, no dejar encendida toda la noche.

Establecida la línea base energética de la Tabla 4, se evalúa el indicador de desempeño energético IDEn y aplicando el plan de acción de la Tabla 7, se comienza el seguimiento a los equipos críticos. Se debe tener presente que la transición a nuevos equipos o activos, el etiquetado de estos debe ser como se muestra en la Figura 4. Los productos que tienen por fuente de alimentación energía eléctrica y combustibles, deben tener etiquetado el indicador de eficiencia energética, indicador de consumo y cumplir con lo estipulado en el RETIQ.

Los niveles de menor consumo energético se encuentran en A, B, C, y estos son los equipos requeridos para hacer la transición y disminuir el consumo energético.

#### Figura 4.

*Etiquetado reglamentario en los activos o equipos, exigido por el RETIQ*

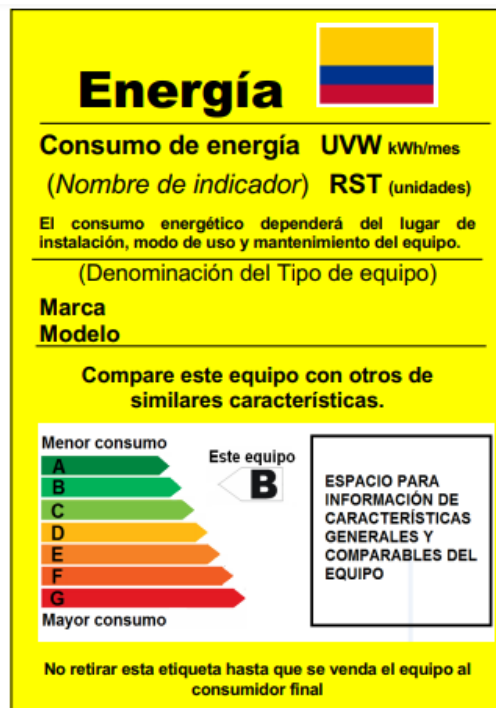


Figura 6.4. Ejemplo de dimensiones, distribución y tipos de letra a usar en la etiqueta (Tamaño A6).

Tomado de: Reglamento técnico de etiquetado RETIQ, página 42

Teniendo establecido la LBE<sub>n</sub> y el plan de acción, se registran los datos del periodo de un mes de aplicado lo planificado, en la Tabla 8 se registran los datos obtenidos.

**Tabla 8**

*Indicador de desempeño energético aplicando el plan de acción propuesto, manteniendo el tiempo de funcionamiento igual a la LBE<sub>n</sub> establecida*

Proceso requerido dentro de la empresa		Equipo	Consumo energético kWh mes medido	Horas de operación en el mes	IDEn Mes (Consumo Actual/LBE <sub>n</sub> )*100
		<u>Bomba hidróxido de sodio</u>	<u>200</u>	<u>60</u>	<u>89,37</u>
		Bomba clarificadores	18000	240	100,54
		Motor aeroenfriador	5440	360	101,28
		<u>Bomba lixiviados</u>	<u>3200</u>	<u>450</u>	<u>95,32</u>
<b>Mecánico</b>		Bomba lodos biológicos	2030,5	360	100,81
		Bomba lodos aceitosos	4028,4	360	100,00
		Bomba de doble succión	13510	240	100,61
		Bomba de inyección carbón activado	402,3	360	99,87
<b>Iluminación</b>		Lámparas Perimetrales	5000	360	92,59
<b>Acondicionamiento térmico</b>	Aire acondicionado en cuarto de control		14400	360	100,00

En la Tabla 9 se muestran los valores obtenidos de IDEn de cada equipo, para verificar que tan efectivo fue el plan que se implementó en la planta de tratamiento de agua.

**Tabla 9***Indicador de desempeño energético resultante*

Proceso requerido dentro de la empresa	Equipo	IDEn mes	Plan de acción para IDEn resultante en periodo evaluado	
			IDEn < 100% equipo en buena condición	IDEn > 100% generar alerta por posible falla
<b>Mecánico</b>	Bomba hidróxido de sodio	89,37	✓	
	Bomba clarificadores	100,54		❖
	Motor aerofriador	101,28		❖
	Bomba lixiviados	95,32	✓	
	Bomba lodos biológicos	100,81		❖
	Bomba lodos aceitosos	100,00	-----	-----
	Bomba de doble succión	100,61		❖
	Bomba de inyección carbón activado	99,87	✓	
<b>Iluminación</b>	Lámparas Perimetrales	92,59	✓	
<b>Acondicionamiento térmico</b>	Aire acondicionado en cuarto de control	100,00	-----	-----

Para verificar el análisis de los resultados obtenidos durante el plan de acción y tener el ciclo completo PHVA para tomar la decisión de Actuar y encontrar el motivo por el cual no se logró disminuir al 15% el consumo energético, se plantea la matriz DOFA de verificación (ver Tabla 10).

**Tabla 10***Matriz DOFA de verificación de ciclo PHVA*

<b>Matriz DOFA Verificación PHVA, Planta de tratamiento de agua.</b>	
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Escasez de equipos de medición de energía para cada equipo.</li> <li>✓ Poca experiencia del personal en la toma de medición de energía eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia a la transición de equipos de mejor eficiencia y tramitología para realizar la compra.</li> <li>✓ Practicas inadecuadas de operación de los equipos, por parte de los operadores.</li> </ul>
<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Compromiso a mediano plazo para implementar las políticas de eficiencia energética en planes de mantenimiento.</li> <li>✓ Buena aceptación del jefe de mantenimiento, para realizar la medición energética de los equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ser pioneros en la implementación de la eficiencia energética dentro del plan de mantenimiento.</li> <li>✓ Generación de nuevos puestos de trabajo, para implementar el plan de eficiencia energética, en el mantenimiento.</li> </ul>

**Actuar:** Con la matriz DOFA se planea la *estrategia* a seguir para que se pueda lograr reducir al 15 % del consumo energético, la cual se basa en conseguir más equipos para la medición de energía eléctrica, realizar análisis del cambio de los equipos ineficientes y generar capacitación de la operación de los equipos. Llevar el proyecto de eficiencia energética ante el gobierno nacional para conseguir apoyo económico, basado en la creación de nuevos puestos de trabajo.

En las amenazas encontradas en la matriz DOFA, se tiene la resistencia a la transición a equipos eficientes. En el artículo especializado: “Alcanzando el acuerdo de Paris el importante papel de los motores y convertidores de alta eficiencia en reducción de consumo energético”,

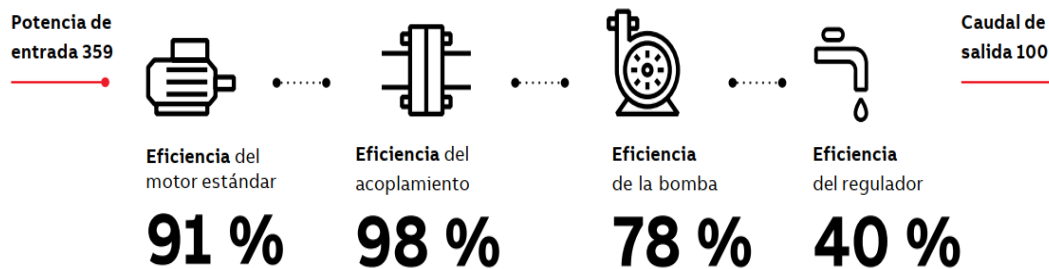
presenta un ejemplo comparativo entre bombeo convencional y bombeo de alta eficiencia, haciendo énfasis en la integración de los convertidores de frecuencia, el cual da la justificación para hacer dicha transición. La Figura 5 muestra una comparación de dos formas diferentes de realizar el bombeo de agua.

**Figura 5.**

*Comparativo de bombeo convencional y bombeo de alta eficiencia, de la empresa ABB.*

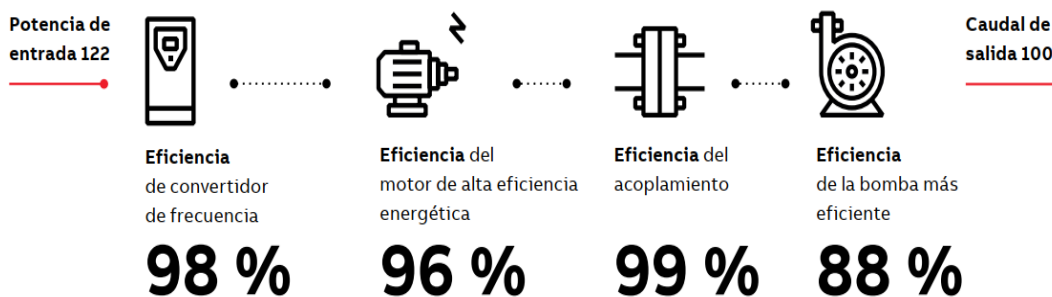
### Sistema de bombeo convencional

Eficiencia del sistema = 28 %



### Sistema de bombeo de alta eficiencia energética

Eficiencia de sistema = 82 %



Tomado de: “Alcanzando el acuerdo de Paris El importante papel de los motores y convertidores de alta eficiencia en reducción de consumo energético” Página 8.

Otra metodología para obtener los resultados requeridos por la organización es la implementación del método de 5S, con la cual se resume de manera puntual el plan de acción

que se debe establecer. La Tabla 11 presenta las actividades requeridas para la implementación de la metodología las 5S.

**Tabla 11**

*Metodología de las 5S, para implementar eficiencia energética en la gestión de mantenimiento*

Etapas	Actividades requeridas.
Seiri (Clasificación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Hacer el listado de USE, ver Tabla 4.</li> <li>✓ Clasificar los equipos con bajo porcentaje de eficiencia.</li> <li>✓ Hacer inventario de repuestos y verificar la eficiencia energética de cada uno de ellos.</li> <li>✓ Clasificar áreas con polución permanente.</li> </ul>
Seiton (Orden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ordenar los equipos de manera que tengan refrigeración natural, sin exposición a rayos solares.</li> <li>✓ A los equipos expuestos a polución se debe considerar reubicación.</li> <li>✓ Identificar los dispositivos de corte de energía de cada equipo y del sistema de iluminación, para desconexión en casos de emergencia o de no operación (señalizar).</li> <li>✓ Evaluar si los equipos están bien distribuidos, es decir, que estén lo más cerca al tablero de distribución, para evitar longitudes prolongadas de conductores eléctricos para reducir las pérdidas de potencia por efecto joule.</li> </ul>
Seiso (Limpieza)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Establecer plan de limpieza del área de trabajo para evitar adherencia de la polución a los equipos.</li> <li>✓ Antes y después de realizar las reparaciones, hacer limpieza al equipo.</li> <li>✓ Hacer limpieza a los filtros, ventiladores y sistema de refrigeración de los equipos.</li> <li>✓ El espacio de trabajo debe estar limpio, sin que se genere polvo o residuos de polución que afecten los equipos.</li> </ul>
Seiketsu (normalización)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Socializar la integración de la eficiencia energética en el plan de mantenimiento y asignar trabajo al área de mantenimiento predictivo y de no tener este equipo, asignar al equipo de mantenimiento correctivo y hacer seguimiento con evaluaciones internas.</li> </ul>
Shitsuke (Disciplina)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Generar conciencia, dentro de la organización, de los beneficios de la reducción de la huella de carbón con estas iniciativas.</li> </ul>

### 3.1.2 Alternativa para obtener LBEn basado en datos históricos energéticos.

Se plantea una alternativa para que el gerente de mantenimiento encuentre la LBEn de un equipo o proceso, basado en datos históricos de los consumos energéticos y de la producción, y con estos datos se hace interpolación para tener una ecuación lineal de energía en función de la producción.

La siguiente es la ecuación de línea base energética a la cual se debe llegar:

$$\text{LBEn} = m \cdot P + E \quad (1)$$

Donde: m es la relación de cambio entre la energía y la producción.

P: Producción del proceso.

E: Energía perdida, independiente del proceso de producción

Con la anterior ecuación se determina un factor que no se cuantifica haciendo el listado de USEs, *las pérdidas energéticas* que son independientes al proceso de productividad, si no hay producción entonces LBEn es igual a E. Esta energía es un valor constante, producto de calentamientos en conductores eléctricos, arranques de motores eléctricos, energía no activa, equipos mal reparados y fugas energéticas. Al aplicar la Ecuación 1, teniendo cuantificado el objetivo de la producción de un periodo determinado, se establece el valor de IDEn que se requiere alcanzar y buscar disminuir el valor E, sin que esto altere los valores de la producción propuesta. En la Tabla 12 se especifica el parámetro m de la Ecuación 1 para diferentes tipos de empresa.

**Tabla 12**

*Parámetro m de la Ecuación 1; Relación entre energía y producción en diferentes tipos de empresas*

<b>Tipo Empresa según su producción</b>	<b>Producción</b>	<b>Relación energética E/P</b>
Industrial de bombeo (Agua, Petróleo)	Extracción de agua o petróleo m3	kWh / m3
De servicios (Hotel)	Metros cuadrados de ocupación.	kWh / ocupación (m2)
Manufacturas	Toneladas de producto específico (Pastas, arroz, cemento, etc)	kWh / Toneladas
Movilidad eléctrica	Transporte	kWh / km recorrido

Para aplicar la Ecuación 1, se realiza un caso de estudio, de un campo de extracción de crudo, con diez pozos, de producción en promedio de 2000 barriles día, con los datos registrados del consumo energético y de la extracción del crudo presentados en la Tabla 13.

**Tabla 13**

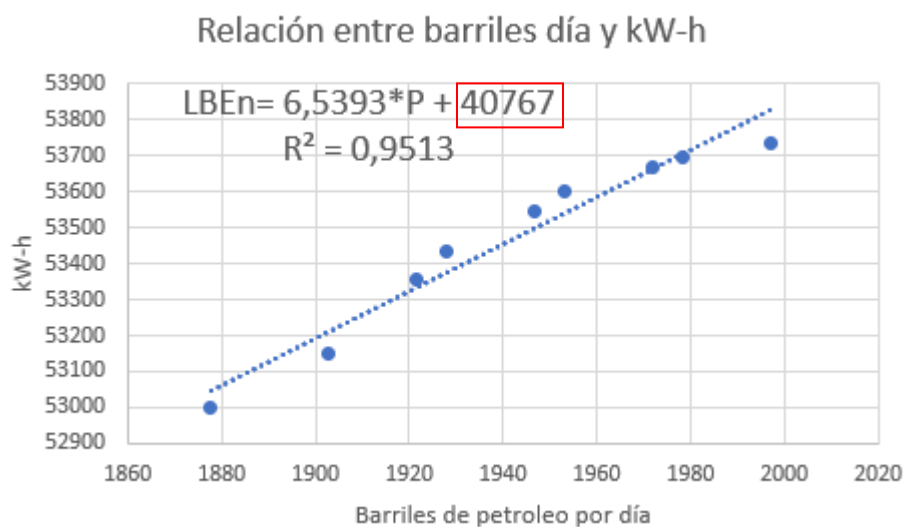
*Datos de consumo y producción de campo petrolero*

<b>Día</b>	<b>Consumo kWh</b>	<b>Barriles día</b>	<b>Extracción de crudo m3</b>
1	53734	1997.04	318
2	53150	1902.84	303
3	53604	1953.08	311
4	53357	1921.68	306
5	53668	1971.92	314
6	52998	1877.72	299
8	53548	1946.8	310
9	53698	1978.2	315
10	53435	1927.96	307

Con los anteriores datos registrados en un periodo de 10 días, se hace el cálculo de la ecuación de línea base energética. La Figura 6 muestra la línea energética de este proceso en función de los barriles producidos cada día.

### Figura 6.

*Cálculo de ecuación de línea base energética en función de los barriles día producidos.*



Al utilizar la ecuación de la línea base energética para producir **2000 barriles en el día** se encuentra un valor de 53845,6 kWh, este es el valor referencia que se debe disminuir. Sin embargo, se debe revisar el tema de valor de 40767 kWh, porque está mostrando unas altas pérdidas, debidas probablemente a: las bombas de extracción de crudo ineficientes, las distorsiones de las señales de tensión y corriente armónicos producidos por los variadores de velocidad, el calentamiento en el transformador y las pérdidas de potencia en los conductores.

Estos datos encontrados son la base para iniciar el plan de acción propuesto en la Tabla 2 y en la Tabla 11. Se recomienda para este tipo de casos donde las pérdidas son altas considerar el estudio de rediseño del sistema.

### **3.2. Propuesta para ubicar activos en curva la de bañera.**

Es necesario llevar la trazabilidad del ciclo de vida de los activos que se encuentran en operación para tener clasificados estos activos por medio de la curva de la bañera, para elaborar el plan de mantenimiento, integrando la eficiencia energética, de acuerdo con la zona en que se encuentre el activo. En el libro *Mantenimiento Planeación, ejecución y control*, Alberto Mora, Alfaomega Grupo editor S. A. México 2009, página 108, presenta el ejemplo de la curva de la bañera (ver Figura 7). Clasificando por zonas y teniendo ubicado el activo se evalúa la necesidad y se da un soporte para realizar la transición a un activo de mejor eficiencia.

**Figura 7.**

*Curva de la bañera, para ubicación de equipos.*

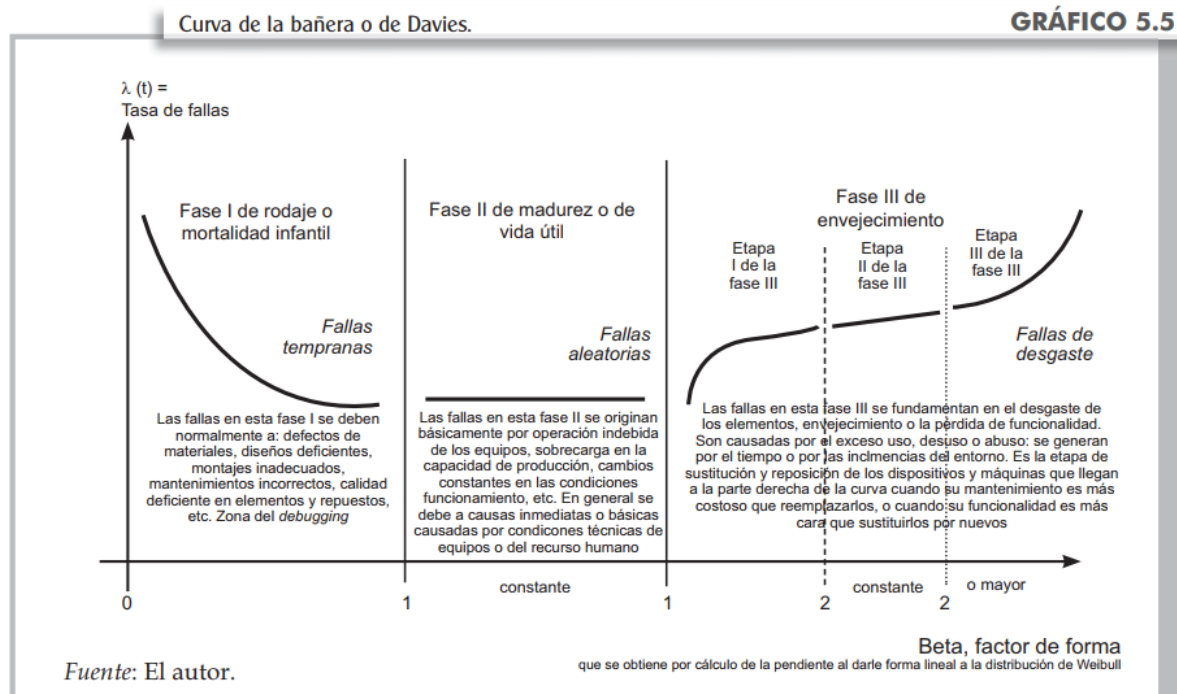


Imagen tomada del en el libro *Mantenimiento Planeación, ejecución y control*, Alberto Mora, Alfaomega Grupo editor S. A. México 2009, página 108

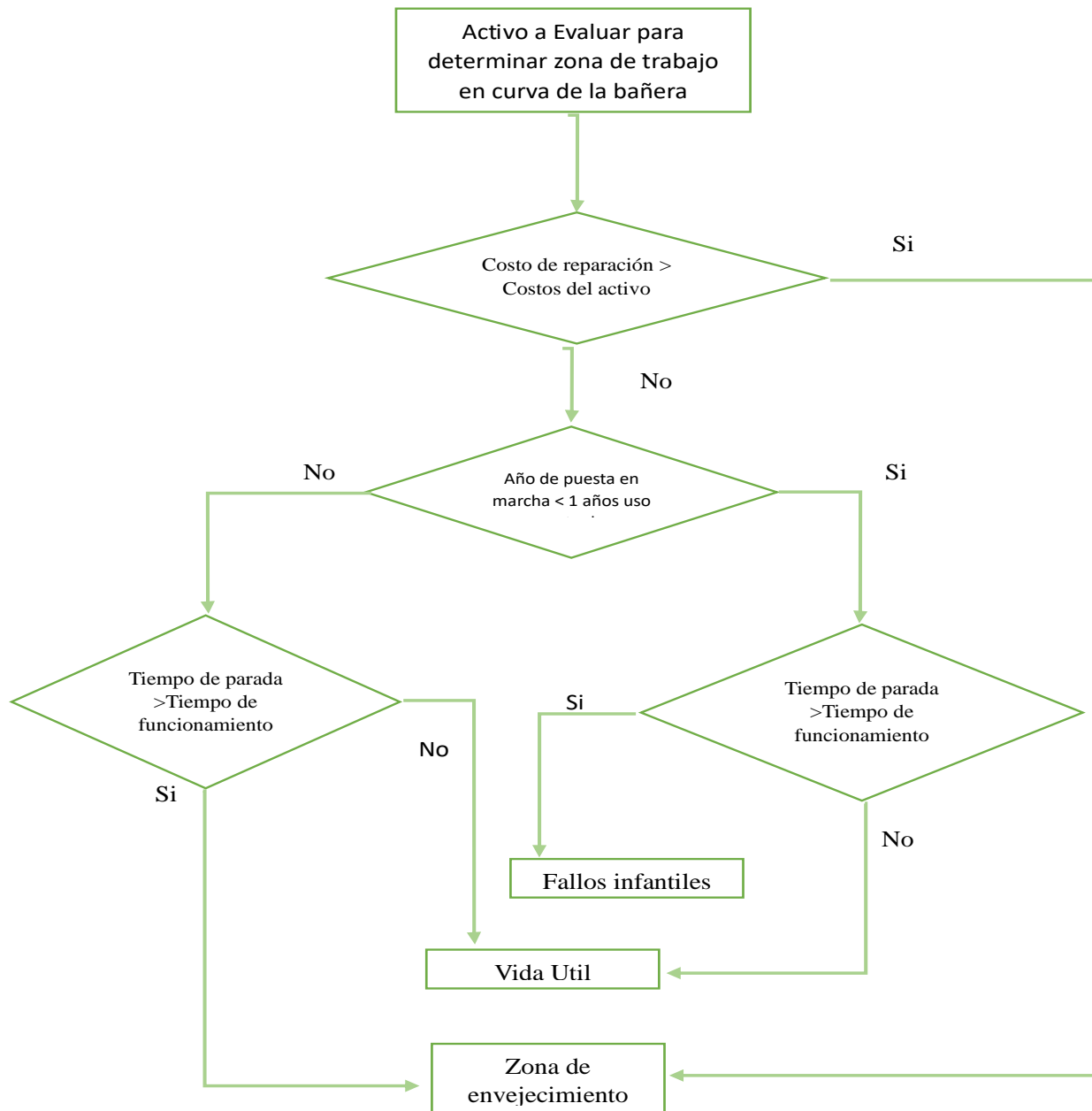
La determinación de la zona en la que se encuentra ubicado el activo lo definen las siguientes variables:

- Tiempo de parada por reparación.
- Costo de reparación (evaluar con respecto a el costo de valor presente del equipo)
- Año de fabricación y puesta en marcha del equipo.

Con las anteriores variables se realiza el diagrama de flujo mostrado en la Figura 8 con las condiciones requeridas para ubicar en las zonas dadas por la curva de la bañera.

**Figura 8.**

*Diagrama de flujo para determinar zona del activo en curva de la bañera.*



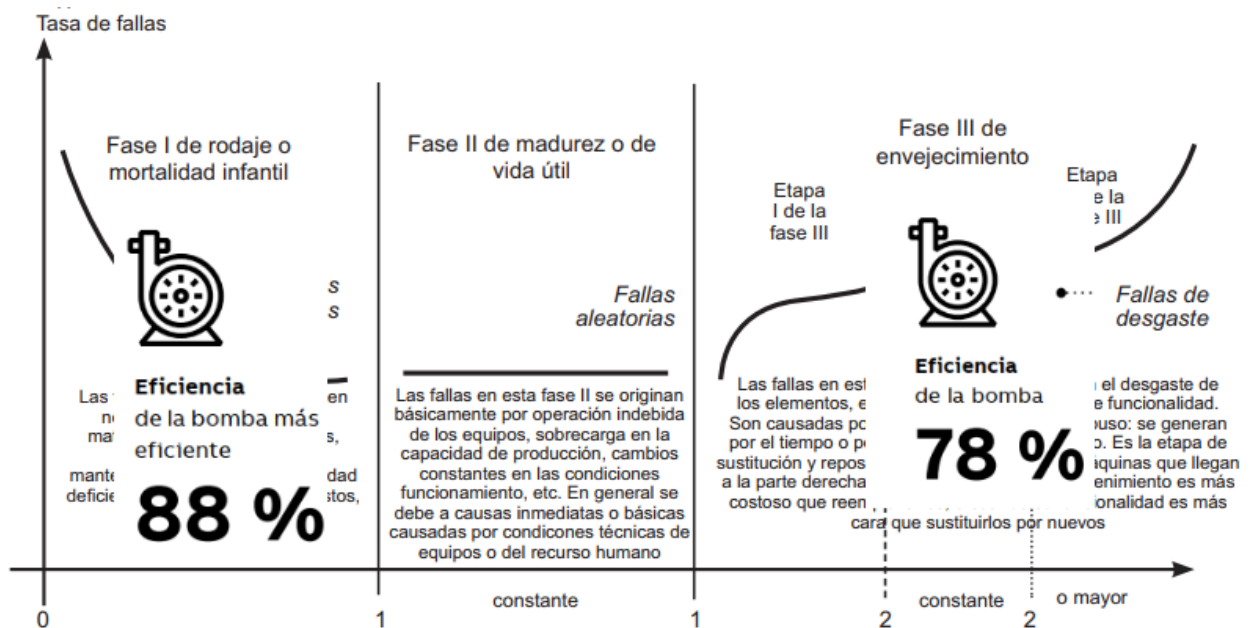
Si bien la curva de Weibull es una herramienta para determinar la ubicación del activo en la curva de la bañera, con el anterior diagrama de flujo se pretende hacer una determinación de manera más simple, con solo datos de tiempos operación, tiempo de reparación, año de

fabricación, costo del activo en valor presente y con esto dar peso al requerimiento de la transición a otro activo con mejor eficiencia energética, es decir, tener la justificación en base a los datos obtenidos. En el **Anexo 1** se muestra la tabla que se deja como opción para llevar esta trazabilidad.

De manera más gráfica se hace la comparación de activo que requiere transición, basado en la eficiencia energética (ver Figura 9).

**Figura 9.**

*Ubicación de bomba existente y de bomba proyectada, en la curva de la bañera.*



**3.3. Estrategia de sistemas de monitorización para el seguimiento del consumo energético.**

Para tener completo el plan de mantenimiento integrando la eficiencia energética, las empresas deben introducir el concepto de la *Terotecnología*, para tener en tiempo real los datos del consumo energético de los activos y relacionarlos en función de su productividad, de esta manera el área de mantenimiento debe llevar el valor de cada etapa del ciclo de vida de un

activo, porque esta es la base de la Terotecnología, teniendo el valor del ciclo de vida del activo (ver Figura 10).

**Figura 10.**

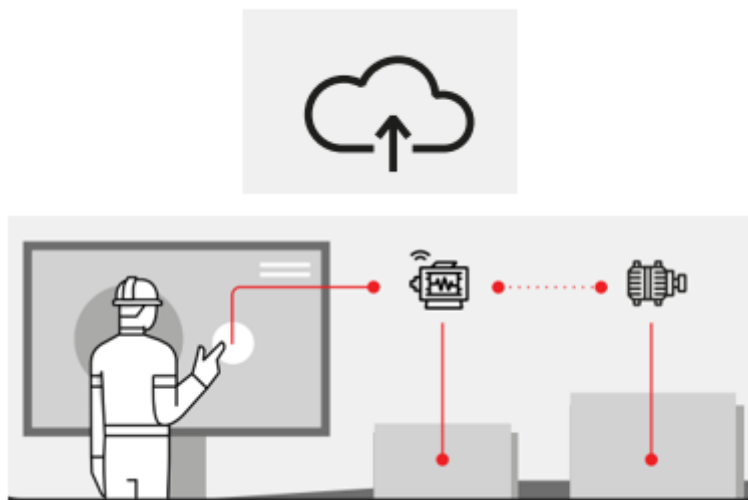
*Etapas del ciclo de vida de los activos.*



Las herramientas para llevar el consumo energético deben ser de tecnología actualizada y tener periódicamente la calibración para tener datos confiables. En ese orden de ideas se debe agregar a cada activo el sensor de consumo energético y llevarlo a la base de datos en tiempo real, incluso creando una aplicación para tenerlos en el teléfono móvil y guardar datos en la nube. En la Figura 11 se presenta un ejemplo de sensores instalados en dos activos para monitorizar su consumo energético.

**Figura 11.**

*Activos con sensores para la monitorización del consumo energético.*

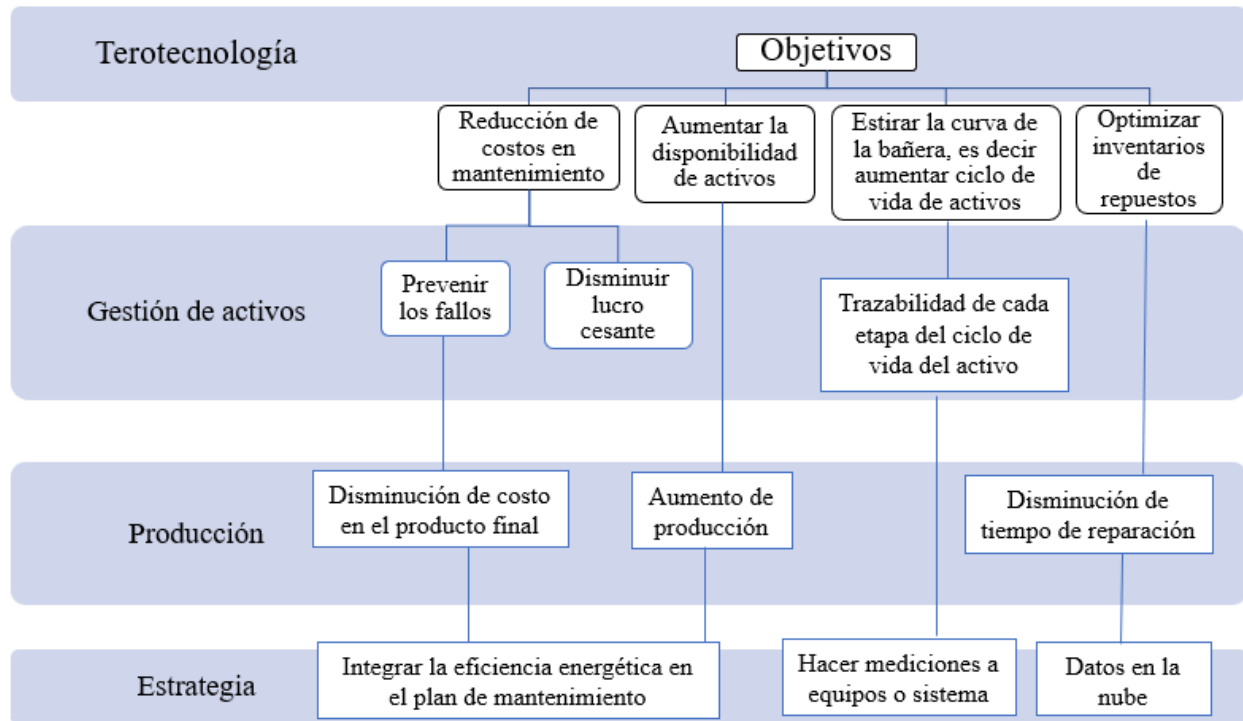


*Figuras tomada del artículo: manual de la eficiencia energética industrial, Reuters Events  
Noviembre de 2022*

En la mayoría de empresas no se lleva el control del uso de la energía, es decir, no tienen el conocimiento del consumo energético de cada uno de sus activos. Integrando internet de las cosas IoT, se puede hacer seguimiento del consumo energético dentro del ciclo de vida de los activos y con estos valores evaluar la operación y para optimizar el recurso energético a partir de la identificación de los activos que están siendo ineficientes en el uso de la energía. En la Figura 11 se observa el sensor integrado al motor. La estrategia para implementar esta tecnología se resume en la Figura 12.

**Figura 12.**

*Estrategia para implementar la Terotecología.*



Al implementar la Terotecología, se busca la rentabilidad de la empresa, en cuanto a su costo de producto final, optimizando los recursos en operación y mantenimiento.

#### **4. Integración del IDEn dentro de los indicadores de gestión de mantenimiento.**

Los indicadores de gestión mantenimiento gestionan datos en cuanto a los tiempos de falla, de disponibilidad, de confiabilidad, tiempo medio de fallas, tiempo medio de reparación. Además de estos datos es necesario integrar el IDEn, para llevar registro del consumo energético de los equipos o del sistema, con esto se verifica la gestión realizada por el área de mantenimiento y con esto se pueden hacer proyecciones que permitan una mejora continua del proceso.

#### 4.1. Correlación del indicador de disponibilidad con el IDEn

Considerar la correlación de la disponibilidad con respecto al consumo energético, para dar peso al indicador de disponibilidad y tener una alternativa de calcular el indicador de disponibilidad en términos de consumo de energía y cambiar el cálculo basado en horas dado un intervalo de tiempo de operación establecido, tal como lo indica la Ecuación 2.

$$Disp = \frac{T_{Funcionamiento} - T_{Parada}}{T_{Funcionamiento}} \quad (2)$$

Aplicando la Ecuación 2, se propone el siguiente ejemplo: se tiene en la planta de tratamiento de agua una bomba de 2 HP la cual se opera 12 horas al día y los datos de tiempos de falla son los obtenidos durante 45 días, se requiere saber cuál fue la disponibilidad de la bomba durante los 45 días. En la Tabla 14 se presentan los datos recolectados durante 45 días de fallas.

Por otra parte, en la Figura 13 se muestra la curva de disponibilidad de la bomba en los 45 días establecidos.

**Tabla 14**

*Datos recolectados en un periodo de 45 días de fallas de bomba de agua de 2 HP*

No Fallas	Horas de parada
1	24
2	15
3	10
4	8
5	15
6	20
<b>Total horas de parada</b>	<b>92</b>
<b>Total horas de funcionamiento 45 días</b>	<b>540</b>
<b>Disponibilidad</b>	<b>83 %</b>

**Figura 13.**

*Curva de disponibilidad de bomba de 2 HP en periodo de 45 días*



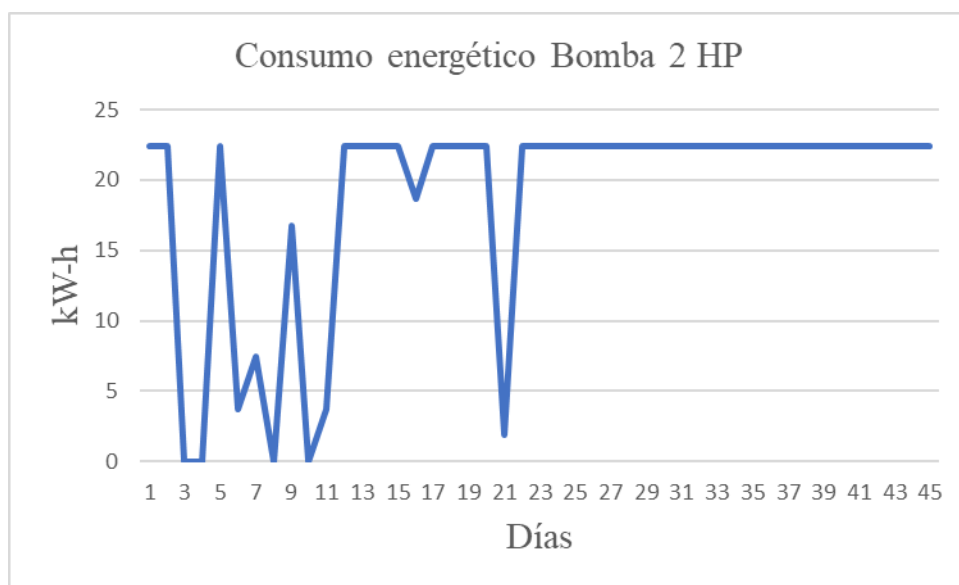
Se encuentra que la disponibilidad de la bomba fue de 83% durante el periodo de los 45 días, para este mismo ejemplo se calcula la disponibilidad de la bomba de 2 HP basado en datos de las mediciones de consumo energético dentro del mismo periodo de 45 días, utilizando la Ecuación 3.

$$Disp = \frac{E_{consumida}}{E_{Nominal\ sin\ fallas}} \quad (3)$$

En la Tabla 15 se presentan los datos del consumo energético de la bomba y en la Figura 14 la curva correspondiente a este consumo.

**Tabla 15***Consumo energético de bomba de 2 HP*

Descripción	Energía kWh
Consumo total si no se presentan fallas	1007,1
Consumo total registrado en el periodo de 45 días	835,52
Disponibilidad	<b>83%</b>

**Figura 14.***Curva de consumo energético de bomba de 2 HP en periodo de 45 días*

El resultado obtenido con este ejemplo, muestra que el cálculo de la disponibilidad de la bomba se puede obtener en términos de consumos energéticos, de manera más práctica, en este caso se tenía una bomba que las fallas presentadas eran ajenas al sistema eléctrico, sin embargo, esta se puede utilizar y obtener un indicador de disponibilidad muy cercano al calculado y apoyado con la gráfica se tendrían gráficas de forma correlacionada.

#### **4.2. Clasificación de indicadores de gestión de mantenimiento.**

Los indicadores de gestión de mantenimiento presentes en las organizaciones se clasifican en tres grupos: los indicadores de actividades o las ordenes de trabajo (KAIs), indicadores de desempeño (KPIs) y los indicadores estratégicos (KSIs). Cada uno de estos indicadores son utilizados por grupos dentro de las organizaciones, es decir:

- Grupo operacional: KAIs
- Grupo Táctico: KPIs
- Grupo estratégico: KSIs

La anterior clasificación permite ubicar al IDEn en el grupo táctico, es decir, se agregaría a los indicadores de desempeño KPIs y permite dar el manejo táctico por parte del encargado del área de mantenimiento, para correlacionar con el indicador de disponibilidad, y no solo correlacionar, también tener proyecciones de consumos y de fallas en los equipos o sistemas.

## 5. Conclusiones

Se propuso un caso de implementación para realizar evaluación energética en la planta de tratamiento de agua, partiendo de un diagnóstico con los activos críticos, para encontrar el indicador de desempeño energético, si bien no se logró disminuir en el 15% el consumo energético de todo el conjunto con el plan propuesto, se pudo evidenciar que en la bomba de hidróxido de sodio se logró disminuir el 11% aplicando el plan de utilizarla a carga nominal, al igual que las lámparas perimetrales donde se logró una reducción del 7%, es decir de manera individual se empezaron a identificar disminuciones significativas.

En el seguimiento realizado a los equipos de la planta de tratamiento de agua se observó que ninguno equipo presento aumento significativo por encima de 100 % en su consumo energético, por lo tanto, se concluye que los activos durante el periodo de seguimiento no presentaron fallas, lo cual es un indicador de buena energía para el proceso.

Al verificar que no se logró cumplir la meta de disminuir el consumo al 15% propuesto para la planta de tratamiento de agua, se hace una retroalimentación, con la metodología de matriz DOFA y metodología de 5S.

Como cálculo alternativo de la LBE<sub>n</sub>, al conocer los valores de consumo energético en función de la producción, se propone la ecuación de la recta  $Y = mX + b$ , donde se deja como objetivo disminuir el valor de  $b$ , es decir es una forma alterna de ver las pérdidas eléctricas que se tienen en producción, estas pueden ser por un diseño inicial mal dimensionado.

Se deja propuesto el diagrama de flujo como herramienta para evaluar los activos en la curva de la bañera y determinar la etapa en la que se encuentra el activo y tener la justificación para realizar la transición en caso de ser requerido.

Se pueden encontrar ciertas dudas por parte de los directivos empresariales en aplicar la eficiencia energética en la gestión del mantenimiento, por el costo que tienen realizar esta transición y hacer uso de los activos con mejor eficiencia energética.

Introducir el concepto de la terotecnología en las empresas es necesario para estimar el valor del ciclo de vida del activo, lo cual implica tener el costo pagado por gasto energético.

Con el consumo energético se tiene un método alternativo para el cálculo del indicador de disponibilidad y se puede tener un valor para comparar con el cálculo de disponibilidad basado en tiempos de paradas, sin embargo, si se logra hacer un gráfico del consumo energético y de la disponibilidad, estas gráficas deben estar correlacionadas, es decir su forma deben ser similares.

Al tener el indicador de desempeño energético IDEn, se puede generar una orden de trabajo para intervenir un equipo por alto consumo energético, haciendo que el área de mantenimiento tenga una alerta con este indicador y se realice la respectiva investigación y encontrar la causa de este incremento energético.

Con el consumo energético introducido dentro de los KPIs como parte de la gestión del mantenimiento, se busca que el consumo energético llegue a ser un indicador estratégico (KSIs) y tenga la relevancia a nivel gerencial.

## 6. Recomendaciones

Empezar a implementar la eficiencia energética dentro de las compañías asignando las funciones al área de mantenimiento para hacer la respectiva medición, tiene como valor agregado, la trazabilidad del consumo energético dentro del ciclo de vida del activo.

Mantener áreas de trabajo con limpieza, orden y aseo es de las primeras acciones que se pueden implementar dentro de las organizaciones, sin que esto le genere a la empresa un gasto significativo.

Se debe tener en cuenta hasta el equipo de más bajo consumo energético dentro de los inventarios y los usos significativos de energía.

La propuesta para disminuir los costos pagados por energía eléctrica implica la transición a equipos con eficiencia energética alta, estos deben llevar análisis de costo beneficio para que se pueda verificar el ROI y se justifique el cambio que se quiere implementar.

Para obtener óptimos resultados se recomienda empezar a establecer una meta alcanzable y realizable. Una vez lograda esta meta, proponer la siguiente, de esta manera se puede ir subiendo el grado de complejidad hasta alcanzar la disminución proyectada.

Es aconsejable que el área de mantenimiento se encargue de llevar los consumos energéticos y que sean los encargados de dar los vistos buenos a los repuestos que se cambien o reemplacen en los equipos.

Se debe verificar que los diseños de equipos no estén sobredimensionados ni subdimensionados. De presentarse alguna de estas dos condiciones se requiere un rediseño.

## Referencias Bibliográficas

Alberto Mora. Mantenimiento planeación, ejecución y control, Alfaomega Grupo editor S.A

.México 2009

Manual del ingeniero de mantenimiento: Gestión moderna del mantenimiento.

Santiago García Garrido. Organización y gestión integral de mantenimiento, Manual práctico

para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial,

Ediciones Diaz de Santos, SA, España 2003

Rodolfo Faloh Bejerano. Gestión de la Innovación, una visión actualizada para el contexto

iberoamericano, Editorial Academia 2005.

Duffuaa Raouf Dixon, Sistemas de Mantenimiento planeación, y control, Editorial Limusa.

Julián Jaramillo, Mantenimiento Predictivo, Filosofía, gestión tecnológica y teoría de la

predicción, 30 de enero de 2019

María I. Cubillo Sagúes, Daniel Gordaliza Lozoya y Juan Manuel García, Gestión de la

eficiencia energética en el sector industrial, AENOR Internacional SAU 2020

Plan nacional de desarrollo periodo 2022-2024

Informe encuesta de eficiencia energética diciembre 2020, ANDI

El triángulo de la gestión energética en la empresa: optimización de compras, mantenimiento y

eficiencia energética.

Norma técnica colombiana NTC-ISO 50001 2019-01-30: Sistemas de gestión de energía.

Requisitos con orientación para uso.

Implementación de un sistema de gestión de la energía guía con base en la norma ISO

50001:2018, segunda edición, red colombiana de conocimiento en eficiencia energética-

RECIEE.

**Anexo****Anexo 1.** Tabla para la ubicación del activo en la curva de la bañera.

Parametros	Datos		Años							
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Activo	Bomba 20 Hp	Tiempo de parada Horas								
Año de fabricacion	2016	Tiempo de funcionamiento horas								
Costo Activo valor presente	\$ 1.000.000,00	Costo reparación \$								
Año puesta en marcha	2016	Costo Activo valor comercial \$								
	Zona en curva de la bañera	Envejecimiento								
		Vida util								
		Fallas infantiles								

En los datos se dejan estos valores como ejemplo, se debe buscar el valor del activo comercial del año que se requiere evaluar y con estos datos determinar la zona de ubicación del activo evaluado.