



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Sistema tribológico para mejorar la confiabilidad de compresores  
de tornillo en plantas de refrigeración industrial**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Abanto Bazán, Ronald Iván (orcid.org/0000-0002-1403-0767)

**ASESORES:**

Dr. Lujan López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas y Planes de Mantenimiento

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

A mi querida familia, por  
la fortaleza que me brinda,  
y en especial a mi hijo que  
me brindó la motivación  
para seguir luchando y  
queriendo salir adelante con  
liderazgo y convicción.

## **Agradecimiento**

A mi familia, ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes, como una meta más conquistada. Orgulloso de haberlos elegido mi familia y que estén a mi lado en este momento tan importante.

Gracias por ser quienes son y por creer en mí

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de Tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Variables y operacionalización.....	12
3.3. Población, muestra y muestreo.....	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.5. Procedimientos .....	14
3.6. Método de análisis de datos.....	15
3.7. Aspectos éticos .....	16
IV. RESULTADOS .....	17
V. DISCUSIÓN .....	32
VI. CONCLUSIONES.....	36
VII. RECOMENDACIONES .....	38
REFERENCIAS.....	39
ANEXOS .....	42

## Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Confiabilidad de equipos año 2020</i> .....	17
Tabla 2 <i>Confiabilidad de equipos año 2021</i> .....	18
Tabla 3 <i>Confiabilidad Promedio anual</i> .....	20
Tabla 4 <i>Elementos del ciclo de tribológico de compresores de tornillo</i> .....	21
Tabla 5 <i>Confiabilidad Promedio anual</i> .....	23
Tabla 6 <i>Costos iniciales asociados a la implantación del sistema Tribológico</i> .....	26
Tabla 7 <i>Beneficios asociados a la implantación del sistema Tribológico</i> .....	27
Tabla 8 <i>Prueba de normalidad</i> .....	30
Tabla 9 <i>Prueba de validación de hipótesis de Wilcoxon</i> .....	30

## Índice de figuras

Ilustración 1 <i>Ciclo de lubricación</i> .....	9
Figura 1 <i>Sistema Tribológico</i> .....	8
Figura 2 <i>Diseño de la investigación</i> .....	12
Figura 3 <i>Confiabilidad de equipos año 2020</i> .....	19
Figura 4 <i>Confiabilidad de equipos año 2021</i> .....	19
Figura 5 <i>Ciclo del sistema tribológico de compresores de tornillo</i> .....	21
Figura 6 <i>Proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo</i> .....	22
Figura 7 <i>Confiabilidad Promedio anual</i> .....	24
Figura 8 <i>Plan de mantenimiento</i> .....	25
Figura 9 <i>Costos asociados a la implantación del sistema Tribológico</i> .....	26
Figura 10 <i>Beneficios asociados a la implantación del sistema Tribológico</i> .....	27
Figura 11 <i>Mejora de la confiabilidad promedio anual por unidad</i> .....	28
Figura 12 <i>Porcentaje de Mejora de la confiabilidad promedio anual por unidad</i> .....	29

## Resumen

¿Cuál es el impacto de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial?

El tipo de investigación fue aplicada, esta investigación se utilizará para determinar e identificar el comportamiento del sistema tribológico e identificar la mejora de la confiabilidad.

El enfoque de la investigación fue cuantitativo ya que se realizó la medición de los datos aportados cuantitativamente por las variables (Hernández, 2018).

El diseño del presente estudio es experimental porque un grupo de factores se mantuvo fijo.

La muestra estuvo conformada por el total de los 10 equipos compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial. El muestreo se consideró no probabilístico por conveniencia; en los métodos de estudio no probabilísticos.

Con relación al objetivo general relativo a evaluar el impacto de la implementación, se muestra incremento de la confiabilidad durante el año 2022, evidenciado una mejora significativa alrededor de valores estables que demuestran la eficacia de la gestión de mantenimiento al incluir el sistema tribológico y el mantenimiento predictivo en los planes y metodología de mantenimiento.

Palabras clave: Confiabilidad, Sistema Tribológico, Mantenimiento

## **Abstract**

What is the impact of the implementation of a tribological system on the reliability of screw compressors in industrial refrigeration plants?

The type of research was applied, this research will be used to determine and identify the behavior of the tribological system and identify the improvement of reliability.

The research approach was quantitative since the measurement of the data provided quantitatively by the variables was carried out (Hernández, 2018).

The design of the present study is experimental because a set of factors remained fixed.

The sample consisted of the total of 10 screw compressor equipment in industrial refrigeration plants. Sampling was considered non-probabilistic for convenience; in non-probabilistic study methods.

In relation to the general objective related to evaluating the impact of the implementation, an increase in reliability is shown during the year 2022, showing a significant improvement around stable values that demonstrate the effectiveness of maintenance management by including the tribological system and maintenance. predictive in maintenance plans and methodology.

**Keywords:** Reliability, Tribological System, Maintenance

## I. INTRODUCCIÓN

La palabra Tribología se utilizó primero en el año 1966 en Inglaterra, utilizándose para nombrar la ciencia que describe el desempeño de cada superficie friccionante, es decir, de cada superficie con movimiento y en contacto entre ellas, el nombre emana de la palabra griega “tribos”, que se refiere a la fricción, y “logos”, que se refiere al estudio, de allí que actualmente el concepto de proceso de lubricación, desgastes y fraccionamiento de un cuerpo en contacto, sea conocido como sistema tribológico. Anteriormente, en la práctica de ingeniería, los procesos de lubricación, desgaste y fricción se analizaban de forma independiente, y la convergencia de estos ciclos en una única disciplina lógica especializada ha contribuido en gran medida últimamente a la mejora de los marcos mecánicos innovadores (Castillo y Toapanta, 2019).

Cada sistema mecánico está caracterizado por generar mermas de energía, permanecer por algún tiempo improductivo, consumir piezas de repuesto y materiales además requerir de altos costos de mantenimiento y reparación; características que necesitan ser atendidas para lograr obtener una industria de vanguardia con altos niveles de productividad (Kuprin et al., 2022).

A nivel internacional, a pesar de lo mucho que se ha logrado con el sistema tribológico, alrededor del 20% de la energía mundial se utiliza todavía para disminuir la fricción, además de otro 3% para refabricar piezas desgastadas y piezas adicionales. A pesar de los avances en materia de lubricación, los revestimientos superficiales DLC (Carbon as-Diamond) están ofreciendo una opción fascinante en contraste con los revestimientos habituales para disminuir adicionalmente el desgaste y la fricción. Además, se utilizan otras técnicas superficiales, por ejemplo, la texturización, que puede hacer que el aceite se almacene en miniatura y se desarrolle aún más, y puede unirse a los revestimientos DLC. Además, la utilización de estrategias como el uso de la inteligencia artificial está ayudando a mejorar los diseños de superficies tribológicas con cada propiedad controlada (Holmberg y Erdemir, 2019).

A nivel nacional, existe un bajo nivel de los mantenimiento predictivo, insuficientes esfuerzos para inspeccionar regularmente las posibles contaminaciones en los sistemas lubricados, las escasas difusiones de conceptos acerca del sistema

tribológico y lubricación, los pocos aprovechamientos de cada beneficio de tener programas que analizan el aceite, no aplicar sistemáticamente cada buena práctica de lubricación, insuficientes conocimientos acerca del modo de falla por lubricación de cada equipo influye de manera negativa en la disponibilidad y confiabilidad de cada equipo, llegando a complicar aún más el nivel de mantenimiento de los equipos (Tello y Espinoza, 2017).

La empresa objeto de esta investigación desarrolla diseños, proyectos e implementa soluciones integrales a la medida para el sector industrial, prestando además servicios de mantenimiento, todo en el área de ingeniería de refrigeración y construcción de plantas para alimentos. Como parte de las soluciones integrales propuesta por la empresa e implementadas en plantas de refrigeración industrial, se emplean compresores de tornillo, caracterizados por su bajo consumo de energía, un 3-5 % menos de potencia eléctrica que otros equipos, funcionan sin bomba de aceite reduciendo aún más el consumo energético y los gastos en repuestos, combinando gran confiabilidad y fácil mantenimiento con una alta eficiencia, cumpliendo con los niveles de exigencia de los clientes, caracterizados por máxima disponibilidad, superior al 98 %, y alta y confiabilidad (cero fallas inesperadas posibles).

Sin embargo, a pesar de las condiciones de diseño consideradas, están presentándose en algunas instalación problemas de confiabilidad, atribuidos inicialmente a problemas de planificación del mantenimiento, pero posteriormente se han identificado problemas de lubricación, desgaste y fricción de los cuerpos en contacto de los compresores de tornillo que han generado retrabajos después de algunas tareas de mantenimiento, ocasionado uso excesivo de horas hombre debido a que no se tienen bien especificadas las actividades de mantenimiento a realizar, además esto conlleva a que se necesiten repuestos adicionales que en ocasiones no se tienen disponibles, provocando retrasos en la puesta en servicio de los equipos.

Se ha considerado como posibles causas que durante el diseño de las soluciones no se han estimado adecuadamente los costos del ciclo de vida de los equipos, determinando que no se consideraron los efectos de la corrosión en los componentes de los compresores, sea en acoples, rodamientos, sellos mecánicos, condiciones que producen fugas de aceite o problemas de circulación de aceite, estos

escenarios producen paradas no programadas de equipos que afectan su confiabilidad. De continuar disminuyendo los índices de confiabilidad de los compresores, ocasionaría pérdidas económicas y afectación de la vida útil de los de los compresores.

Con base al escenario anterior, en la investigación se planteó la siguiente interrogante de investigación, ¿Cuál es el impacto de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial? y también se plantearon las preguntas específicas: ¿Cuál es la confiabilidad actual del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial? ¿Cómo Implementar un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración? ¿Cuál es la confiabilidad del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial posterior a la implementación del sistema tribológico? ¿Cuál sería el costo beneficio de la implementación de un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial?

La presente investigación se justifica teóricamente al profundizar aspectos teóricos sobre los sistemas tribológicos y su impacto en la confiabilidad de los compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial, que permitirán generar conocimiento relativos a mejorar los procesos tribológicos en los equipos y como incrementar su confiabilidad.

La justificación práctica de esta investigación se fundamenta en que aportará mejoras operativas el área de mantenimiento, proporcionado herramientas para el diseño y desarrollo de un programa de tribología centrado en confiabilidad, la que podrá ser implementados en otras plantas y ofrecido como parte de los servicios de mantenimiento de la empresa. Metodológicamente la investigación se justifica al establecer como estándar de servicio de mantenimiento para los compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial un programa de tribología centrado en confiabilidad, y se establecerán procedimientos de diseño que consideren adecuadamente los costos del ciclo de vida de los equipos, considerando los efectos de la lubricación, desgaste y fricción en los componentes de los compresores.

Considerando todo lo expuesto anteriormente se considera como objetivo general: Evaluar el impacto de la implementación de un sistema tribológico en la

confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial; así como también se los siguientes objetivos específicos como: Determinar la confiabilidad actual del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial, Implementar un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración, Determinar la confiabilidad del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial posterior a la implementación del sistema tribológico y Determinar el costo beneficio de la implementación de un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial.

Con base a lo anterior la investigación establece la hipótesis general: Existe un impacto significativo luego de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial.

## II. MARCO TEÓRICO

Inicialmente como antecedente internacional a esta investigación se hace referencia a Holmberg y Erdemir (2019), quienes se plantearon como objetivo determinar el impacto de la tribología en el uso de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial y en motores de combustión y automóviles eléctricos, realizando una investigación mixta, cuantitativa y cualitativa, basada en el análisis documental para describir como la eficiencia energética y el medio ambiente es afectada por las fricciones y cada pérdida por desgastes en alguna pieza o componente mecánico en movimiento de los sistemas de transporte, industriales y residenciales, como instrumento para recolectar datos usó la ficha de registro, aplicada a la documentación relacionada con el tema de investigación. Los resultados indicaron que la tribología podría reducir las pérdidas de energía entre un 18 y un 40 %, principalmente como resultado de la fricción y el desgaste, implicando ahorros de hasta el 8,7% del uso total de energía global y el 1,4% del producto nacional bruto (PNB-USA), igualmente las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían 78 %. El trabajo concluyó que el rol de la tribología es importante y contribuye a la eficiencia energética y con el medio ambiente, pero debemos recordar que cualquier tipo de ineficiencias y las brechas de sustentabilidad aún se deben principalmente a problemas tribológicos.

Couto (2021) tuvo como objetivo desarrollar de un programa para analizar la disponibilidad de los equipos en la industria minero-metalúrgica, utilizando los indicadores del sistema tribológico, empleando *Machine learning* en lenguaje Python, realizando una investigación cualitativa, exploratoria y experimental, basada en análisis bibliográfico, utilizando la ficha de registro de datos como instrumento de recolección de datos. Los resultados arrojaron que el programa desarrollado logra resultados satisfactorios, y demuestra ser eficaz para calcular la disponibilidad de los equipo utilizando datos del sistema tribológico; concluyendo que el programa basado en machine learning contribuye, gráfica y textualmente, con la indicación de la disponibilidad de los equipo por lo tanto, permite la visualización de equipos que cumplen o no cumplen con los requerimiento de disponibilidad, lo que permite una mejor planificación del mantenimiento.

Criollo et al., (2021), tuvieron como objetivo realizar la caracterización

tribológica de varios aceites y aditivos lubricantes en sistemas automotrices, realizando una investigación cuantitativa con base al análisis documental, utilizando la ficha de registro como instrumento de recolección de datos. Los resultados indicaron que la caracterización tribológica permitió identificar la calidad de lubricación y cuando es necesario su renovación; concluyendo que la caracterización tribológica permite establecer la frecuencia de renovación del lubricante y una cantidad adecuada.

En el ámbito nacional, se hace referencia al trabajo de investigación realizado por Patilla (2019), quien tuvo como objetivo general Determinar la influencia del análisis tribológico en el funcionamiento normal del sistema hidráulico del Cowdin CW180 y Komatsu WA470 de la unidad minera Emproyec-Nazca, realizando una investigación cuantitativa, experimental de nivel cuasi experimental, como instrumento para recolectar los datos usó la ficha de observación. Los resultados indicaron que la estructura hidráulica con aceite Shell Tellus 68 trabajó 1 000 horas hasta que el espesor llegó a su consistencia base sugerida; en todo caso, utilizando aceite Spirax S4 Cx 10W trabajó 1 500 horas hasta que el aceite llegó a su consistencia base. El trabajo concluyó que el comportamiento tribológico del aceite entrega información de la fricción, el desgaste y el alcance de la variedad de una base a una más extrema el impacto de las lubricaciones.

Weston (2020), tuvo como objetivo diseñar una máquina especializada para la evaluación de segmentos de brocas diamantadas para perforación de testigos caracterizando el sistema tribológico de desgaste de la broca, realizando una investigación cuantitativa, basado en el análisis documental y utilizando la ficha de registro como instrumento de recolección de datos. Los resultados indicaron es concebible replicar los componentes de desgaste que se conectan en el ciclo durante la penetración, y de esta manera retratar la disposición de desgaste tribológico de la pieza; razonando que la circunstancia de desgaste en los pedazos de joyas se compara con el desgaste erosivo y el desgaste áspero de tres cuerpos, logrando la casualidad entre los resultados adquiridos y las propuestas de los productores de piezas primarias.

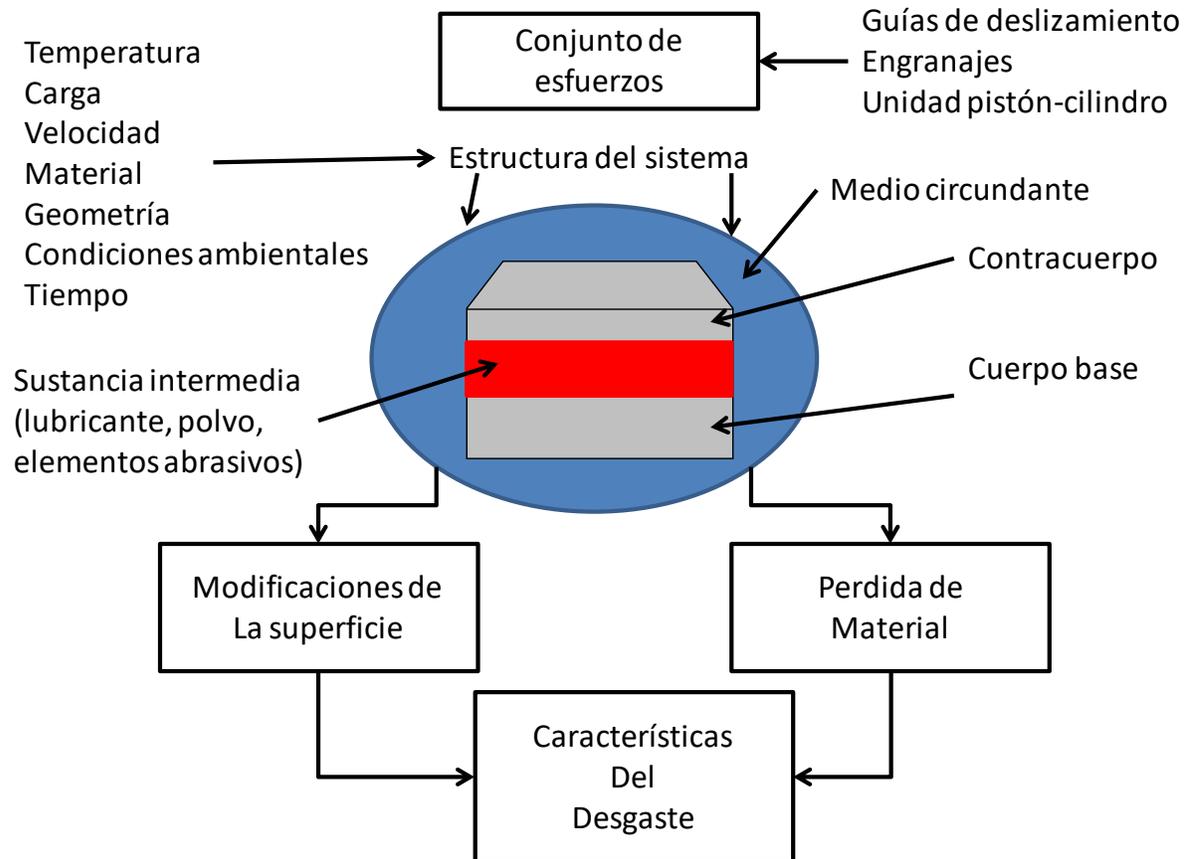
Villafuerte (2019), tuvo como objetivo general seleccionar, mediante el empleo de conocimientos mecánicos y físicos y definiendo el sistema tribológico, el lubricante

adecuado según la función de los componentes mecánicos, realizando una investigación cuantitativa, exploratoria, utilizando la ficha de registro como instrumento de recolección de datos. Los resultados indicaron que una vez identificado el sistema tribológico, se determina la función que cumpla un componente para seleccionar un lubricante adecuado para su correcto funcionamiento; concluyendo que un lubricante debe ser seleccionado una vez identificado su sistema tribológico e identificado su función y posibles fallas.

De acuerdo con Castillo y Toapanta (2019), la tribociencias es una disciplina científica-técnica, la rama de la tribología que realiza estudios imprescindibles de los ciclos que se producen en las superficies en contacto y en movimiento relativo entre ellas (p. 12), y en ella esta investigación fundamenta lo relativo a la variable sistema tribológico. Según Castillo y Toapanta (2019), el sistema tribológico lo constituye los ciclos de roce, desgaste y aceite de los cuerpos en contacto (p. 11). Igualmente, Acuña y Correa (2005) indica que sistema tribológico lo conforma el roce y sus impactos relacionados, como el desgaste, y los componentes de la prevención de los mismos relacionados con los planes y las prácticas petroleras más desarrolladas. También granizo (2010), establece que el sistema tribológico lo conforman los macro y micro procesos que ocurren en las superficies en contacto durante su movimiento general. El sistema tribológico es un sistema particular o grupo funcional en el cual hay varias uniones de rozamiento y que tiene la función de transmitir energía y/o movimiento, puede ser un sistema natural o artificial de elementos materiales; por lo menos dos donde se presenta la fricción y en casos extremos el desgaste. La Figura 1 muestra el Sistema Tribológico, donde el cuerpo base representa el elemento fundamental desde el punto de vista de la fricción y el desgaste y es el generalmente conocido como material antifricción y/o friccionante; la sustancia intermedia o agente contaminante está determinada por el lubricante si estamos en presencia de fricción lubricada, por partículas de polvo y abrasivas presentes en el medio circundante; el medio circundante es el elemento del sistema que con sus importantes propiedades y efectos relativos participa directamente en el proceso de desgaste y caracteriza la estructura del sistema tribológico. El desgaste es el resultado de la combinación de estos elementos con la tecnología de construcción del conjunto de esfuerzos (Castillo y

Toapanta, 2019).

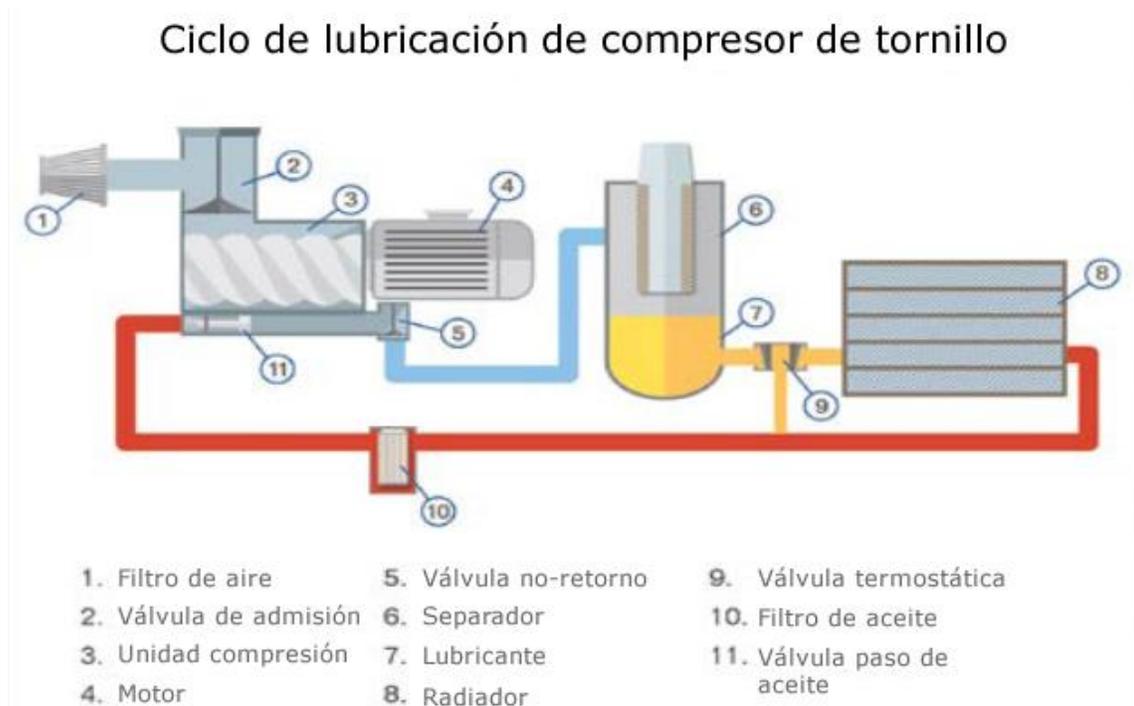
**Figura 1** Sistema Tribológico



Fuente. Castillo y Toapanta (2019)

En el caso específico de los compresores de tornillo, son muchos los componentes críticos involucrados, y el lubricante es de vital importancia en el proceso. Las máquinas de tornillo dependen en gran medida de la lubricación de los rodamientos, la limpieza del sistema, la eliminación de agua, el sellado y también la transferencia de calor. Los lubricantes o aceites funcionan en un entorno muy demandante y deben funcionar bien en circunstancias que normalmente pueden ser considerado extremas en otras aplicaciones de lubricantes. En los compresores de tornillo el sistema tribológico se fundamenta en el ciclo de lubricación.

## Ilustración 1 Ciclo de lubricación



Fuente. <https://tecnocompresion.com/el-sistema-de-lubricacion-en-los-compresores-de-tornillo/>

El cárter de aceite o **tanque separador aire/aceite (6)**, es el depósito donde se almacena el aceite para uso en el sistema, por lo general, se encuentra en la sección inferior de un cilindro en forma de tanque, que también alberga componentes utilizados en el proceso de separación de aire/aceite. Este es normalmente un componente libre de problemas, aunque ciertas condiciones pueden causar fallas prematuras y contaminación. La mayoría de los problemas relacionados con el tanque separador provienen del agua, si se acumula una cantidad de agua en el tanque debido a las bajas temperaturas del aceite, o si el proceso de separación no se vaporiza el agua que proviene del calor de compresión puede continuar afectando negativamente al lubricante durante un largo período de tiempo ().

**El filtro de aceite (10)** está diseñado para un flujo alto y una excelente filtración de partículas. El aceite del tanque separador fluye a través de pequeños pasajes de entrada alrededor de la entrada del filtro y es forzado a través de una abertura cerca

del lado cerrado de la carcasa del filtro, donde pasa a través de medio filtrante, luego sale por el puerto central.

Esta **válvula termostática (9)**, dirige el flujo de lubricante lo direcciona en función de la temperatura, a la unidad compresora si esta frío, o hacia el **radiador (8)** si está muy caliente, para mantener la temperatura adecuada, en estas condiciones óptimas de operación el aceite lubricante para a la unidad de **compresión (3)**, a través de la **válvula de paso (11)** y la **válvula de no retorno (5)**

Castillo y Toapanta (2019), indican que las dimensiones de la variable sistema tribológico son ahorro de energía y ahorro por mantenimiento. Ahorro de energía, según una perspectiva tribológica, los fondos de reserva de energía se logran de dos maneras principales, la primera es una disminución del coeficiente de rejilla y la segunda una expansión de la solidez de los partidos tribológicos. Ahorro por mantenimiento, lo establece fondos de reserva en componentes y materiales no refinados con la disminución del kilometraje de los componentes de las máquinas y perdidas de lubricantes.

La variable confiabilidad la soporta las teorías de mantenimiento de equipos, que establecen que el mantenimiento se refiere al grupo de sistemas y técnicas que admiten pronosticar alguna avería, realizar reparaciones y revisiones de cada equipo para que se evite algún paro imprevisto, creando a su vez alguna norma para buenos funcionamientos para cada usuario de los equipos, buscando alargar de forma rentable la vida útil de los equipos (Castro, 2017).

Castro (2017) define la confiabilidad a las probabilidades de que los equipos o sistemas desempeñen de manera satisfactoria las funciones que se requieren de este, respetando cada condición específica de operación, en el transcurso de tiempo determinado. Igualmente, Mendigure (2021). Indica que la confiabilidad es la probabilidad de que un artefacto cumpla suficientemente la función para la que fue planeado sin decepcionar; y Tello y Espinoza (2017) como la capacidad de un equipo de funcionar sin presentar fallas durante un determinado tiempo.

Castro (2017) indica que las dimensiones de la variable confiabilidad son, accidente, defecto y falla. Accidente, lo constituye eventos de gran magnitud, explosión, fuga, derrame, etc. Defecto, evento ocasionado por problemas de diseño d

equipos o especificación de repuesto. Falla, condición no deseada, que hace que el elemento de un equipo no desempeñe la función para la cual fue diseñado y ocasiona la parada del equipo.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, según Hernández et al. (2014) esta investigación se utilizará para determinar e identificar el comportamiento del sistema tribológico e identificar la mejora de la confiabilidad, generando nuevo conocimiento para la solución de los problemas planteados en las plantas de refrigeración industrial.

El enfoque de la investigación fue cuantitativo ya que se realizó la medición de los datos aportados cuantitativamente por las variables (Hernández, 2018), del mismo modo de nivel explicativo, porque se buscó analizar de qué manera la implementación de un sistema tribológico mejora la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial (Hernández et al., 2014).

##### Diseño de investigación

El diseño del presente estudio es experimental porque un grupo de factores se mantuvo fijo, mientras que el otro grupo de factores se estimó como objeto del análisis, y dentro del diseño experimental se identificó como pre-experimental (Ramos, 2021), ya que existen preprueba (pre test) y postprueba (post test) con un solo grupo de variables, aplicando una prueba previa a la mejora o un tratamiento de prueba, luego se administró el tratamiento y por último se aplicó una prueba posterior a la mejora (Hernández, 2018).

#### Figura 2 *Diseño de la investigación*

GE: O<sub>1</sub>      X      O<sub>2</sub>

Dónde:

GE: Grupo experimental

O<sub>1</sub>: índice de confiabilidad (prepueba)

X: sistema tribológico

O<sub>2</sub>: índice de la confiabilidad (posprueba)

#### 3.2. Variables y operacionalización

### **Variable 1: Sistema Tribológico**

El sistema tribológico lo constituyen cada proceso donde existen fricciones, desgastes y lubricaciones de cada cuerpo en contacto con otro (Castillo y Toapanta, 2019).

### **Variable 2: Confiabilidad**

Capacidades de los equipos de realizar las funciones requeridas, en cada condición establecida en un determinado tiempo (Castro, 2017).

El Anexo 1 muestra la matriz de operacionalización de variables.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población:**

Según Hernández et al. (2014), la población es el conjunto de individuos o datos que presentan rasgos característicos que se desea estudiar, en esta investigación la constituyeron los 10 equipos compresores en plantas de refrigeración industrial que laboran en una empresa industrial de la construcción.

- **Criterios de inclusión:** Equipos compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial.

#### **Muestra:**

Según Hurtado (1998) la muestra medible se compone de un número determinado de percepciones que abordan suficientemente la información de todo tipo. La muestra estuvo conformada por el total de los 10 equipos compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial.

#### **Muestreo:**

El muestreo se consideró no probabilístico por conveniencia; en los métodos de estudio no probabilísticos, la determinación de la prueba de revisión dependerá de las cualidades y modelos que el especialista considere en ese momento (Otzen y Manterola, 2017).

#### **Unidad de análisis:**

Equipo compresor de tornillo de planta de refrigeración industrial.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnicas de recolección de datos**

Se define al conjunto de procedimientos y actividades que admiten a los investigadores recolectar los datos e informaciones necesarias para brindar respuestas a las preguntas del estudio en curso (Mendoza y Ávila, 2020). Para recolectar los datos de las variables se consideró como técnica el análisis documental, donde se analizaron los indicadores del sistema tribológico y la confiabilidad de los equipos compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial.

### **Instrumentos de recolección de datos**

Se define a los recursos para recolectar los datos y la información necesaria para desarrollar una investigación, su característica principal es que extrae datos directos de la variable que se desea investigar (Martínez, 2022). Para recolectar los datos de las variables se consideró como instrumento la ficha de recolección de datos: ficha registro de inspecciones y la ficha de registro de mediciones de indicadores. El Anexo 3 muestra los instrumentos de recolección de datos.

### **3.5. Procedimientos**

En la investigación se procedió de la siguiente manera:

1. Por medio de investigaciones previas se identificaron los elementos esenciales que se utilizaron como guía para la realización de la presente investigación, lo cual permitió establecer el marco teórico y los estudios previos de las variables sistema tribológico y confiabilidad de Compresores de Tornillo en Plantas de Refrigeración Industrial.
2. Se recolectaron, por medio de la ficha de recolección de datos, los datos relacionados al número de inspecciones realizadas durante el periodo de estudio y se identificaron y calcularon los indicadores del sistema tribológico y la confiabilidad.
3. Con los datos e información colectada a través de las fichas de registro de datos, se identificaron la confiabilidad actual del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial.

4. Con la información colectada a través de la ficha de registro de datos y los cálculos de indicadores y confiabilidad, se colectaron los datos relativos a:
  - Fecha y ocurrencia de accidente, defecto o falla.
  - Gravedad del evento.
  - Equipos afectados.
  - Horas fuera de servicio.
5. Utilizando las fichas de registro se determinó:
  - MTBF
  - MTTR
  - Confiabilidad
  - Ahorro de energía.
  - Ahorro en mantenimiento
6. Con los datos e información colectada a través de la ficha de registro de datos se identificaron la situación actual de la empresa con relación a la confiabilidad.
7. Una vez implementado el sistema tribológico, se utilizaron nuevamente los instrumentos de recolección de datos utilizados en los pasos 2, 3, 4 y 5 para establecer el nuevo estado de las variables de la investigación y se realizaron los análisis comparativos correspondientes.

### **3.6. Método de análisis de datos**

1. Los registros de datos que se colectaron fueron ordenados con ayuda de hojas de cálculo de Microsoft Excel y se generó la estadística descriptiva con el objetivo de organizar y presentar los datos e información para su análisis, tanto en pre-test y post-test. La estadística descriptiva estuvo relacionada con la evolución de los indicadores de las variables y dimensiones.
2. Las variables e indicadores fueron procesados a través de estadística inferencial para la comparación de los datos de la variable dependiente (Confiabilidad) en el pre y post test.

3. Con el análisis estadístico se demostró la variación en las variables e indicadores que confirmaron la aceptación de la hipótesis alternativa planteada.

### **3.7. Aspectos éticos**

En la investigación que se realizó, se consideraron las autorías, haciendo referencia a cada autor en cada pasaje de donde se tomaron los datos. Además, los datos obtenidos no fueron expuestos ya que son privados, excepto parte de ellos que el propietario de la organización o los trabajadores de la organización consideraron conveniente, por lo que el estudio se dirigió a la implementación de un Sistema Tribológico para Mejorar la Confiabilidad de Compresores de Tornillo en Plantas de Refrigeración Industrial. Para elaborar este estudio, se respetaron las normas de la guía para la elaboración de trabajos de investigación de la UCV.

De la misma manera se respetó *la libertad* de los individuos para decidir si desean participar, o no de esta investigación; al igual que el *respeto* a la información suministrada por los trabajadores y empresas participantes de la investigación, garantizándoles que la misma carece de *mala intención o deseos de causar daño moral* a las personas y empresas, garantizando además que la información suministrada no será utilizada con fines particulares, al igual que el manejo imparcial de la misma, actuando con *justicia* y equidad.

#### IV. RESULTADOS

Con relación al **primer objetivo específico, relativo a determinar la confiabilidad actual del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial**, a través de las fichas de registro se colectaron los datos mensuales de Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF), Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) y Confiabilidad, cuyos valores, durante los años 2020 y 2021, se muestran en el Anexo 4. Calculándose como límite inferior 56,25 %, relativo a 7 horas de mantenimiento correctivo a la semana, y como límite superior, 87,5 %, relativos a dos horas de mantenimiento correctivo a la semana.

**Tabla 1** Confiabilidad de equipos año 2020

Año	mes	Lim. Inf.	Confiabilidad										Lim. Sup.
			Código de equipos										
			012012-1	012012-2	012013-1	012013-2	012013-3	012014-1	012014-2	012015-1	012015-2	012016-2	
2020	enero	56,25	43,75	25,00	50,00	43,75	25,00	25,00	43,75	62,50	43,75	62,50	87,5
	febrero	56,25	62,50	50,00	62,50	50,00	50,00	50,00	43,75	50,00	62,50	43,75	87,5
	marzo	56,25	62,50	62,50	62,50	43,75	50,00	75,00	62,50	43,75	25,00	50,00	87,5
	abril	56,25	62,50	43,75	62,50	43,75	62,50	50,00	62,50	50,00	50,00	62,50	87,5
	mayo	56,25	50,00	43,75	43,75	50,00	25,00	50,00	62,50	50,00	62,50	25,00	87,5
	junio	56,25	50,00	43,75	43,75	25,00	62,50	50,00	50,00	25,00	50,00	43,75	87,5
	julio	56,25	50,00	62,50	50,00	50,00	43,75	25,00	43,75	50,00	50,00	62,50	87,5
	agosto	56,25	50,00	25,00	50,00	50,00	62,50	25,00	25,00	50,00	50,00	62,50	87,5
	septiembre	56,25	81,25	62,50	25,00	25,00	50,00	81,25	62,50	25,00	43,75	25,00	87,5
	octubre	56,25	43,75	50,00	25,00	25,00	50,00	25,00	25,00	50,00	43,75	43,75	87,5
	noviembre	56,25	62,50	43,75	62,50	43,75	43,75	25,00	25,00	43,75	50,00	43,75	87,5
	diciembre	56,25	81,25	25,00	43,75	43,75	25,00	81,25	25,00	62,50	43,75	50,00	87,5

Fuente. Elaboración propia

Fuente de datos. Registros mensuales de indicadores de mantenimiento años 2020 y 2021

Lim. Inf.: Límite inferior. Lim. Sup.: Límite superior

**Tabla 2 Confiabilidad de equipos año 2021**

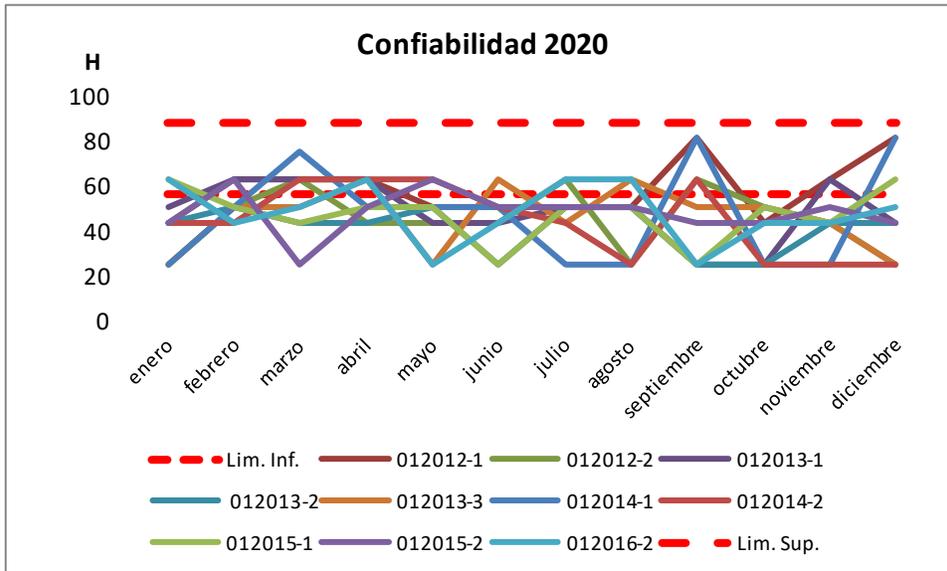
		Confiabilidad											
		Código de equipos											
Año	mes	Lim. Inf.	012012-1	012012-2	012013-1	012013-2	012013-3	012014-1	012014-2	012015-1	012015-2	012016-2	Lim. Sup.
2021	enero	56,25	81,25	43,75	25,00	62,50	50,00	62,50	62,50	62,50	50,00	25,00	87,5
	febrero	56,25	75,00	50,00	25,00	50,00	25,00	50,00	43,75	62,50	43,75	43,75	87,5
	marzo	56,25	75,00	43,75	43,75	43,75	25,00	75,00	25,00	62,50	25,00	50,00	87,5
	abril	56,25	25,00	62,50	25,00	50,00	50,00	50,00	43,75	62,50	25,00	25,00	87,5
	mayo	56,25	62,50	62,50	43,75	25,00	50,00	43,75	62,50	50,00	50,00	25,00	87,5
	junio	56,25	81,25	25,00	62,50	62,50	43,75	75,00	43,75	25,00	25,00	62,50	87,5
	julio	56,25	50,00	25,00	25,00	62,50	50,00	50,00	25,00	62,50	62,50	43,75	87,5
	agosto	56,25	50,00	50,00	50,00	62,50	62,50	50,00	62,50	62,50	25,00	50,00	87,5
	septiembre	56,25	50,00	25,00	25,00	43,75	62,50	43,75	50,00	50,00	50,00	62,50	87,5
	octubre	56,25	50,00	43,75	43,75	43,75	62,50	50,00	62,50	43,75	43,75	25,00	87,5
	noviembre	56,25	62,50	62,50	50,00	43,75	62,50	25,00	25,00	50,00	25,00	43,75	87,5
	diciembre	56,25	62,50	25,00	62,50	50,00	43,75	43,75	25,00	50,00	25,00	62,50	87,5

Fuente. Elaboración propia

Fuente de datos. Registros mensuales de indicadores de mantenimiento años 2020 y 2021

Lim. Inf.: Límite inferior. Lim. Sup.: Límite superior

**Figura 3** Confiabilidad de equipos año 2020

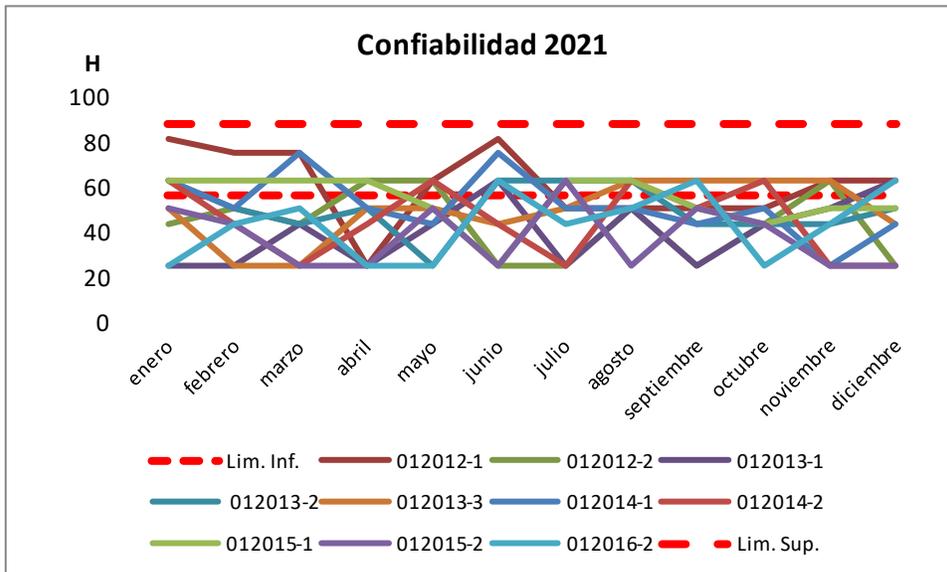


Fuente. Elaboración propia

Fuente de datos. Tabla 1

Lim. Inf.: Límite inferior. Lim. Sup.: Límite superior

**Figura 4** Confiabilidad de equipos año 2021



Fuente. Elaboración propia

Fuente de datos. Tabla 2

Lim. Inf.: Límite inferior. Lim. Sup.: Límite superior

La Tabla 1 y la Figura 2 muestran los datos de confiabilidad de equipos durante el año 2020, evidenciando una baja confiabilidad con valores promedio inferiores al límite inferior, excepto en la unidad 012012-1, como se muestra en la Tabla 3, situación ocasionada por una alta frecuencia de falla, superior a 14 horas/mes (MTBF); a pesar de tener bajos tiempos promedios de reparación, inferiores a 4 horas (MTTR). Los datos mensuales de MTBF y MTTR se muestran en el Anexo 4. Este escenario plantea aumentar el MTBF de las unidades.

La Tabla 2 y la Figura 3 muestran los datos de confiabilidad de equipos durante el año 2021, evidenciando una baja confiabilidad con valores promedio inferiores al límite inferior, excepto en la unidad 012012-1, como se muestra en la Tabla 3, situación ocasionada por una alta frecuencia de falla, superior a 14 horas/mes (MTBF); a pesar de tener bajos tiempos promedios de reparación, inferiores a 4 horas (MTTR). Los datos mensuales de MTBF y MTTR se muestran en el Anexo 4. Este escenario plantea aumentar el MTBF de las unidades.

El análisis de los datos también evidencia inconsistencia en los valores de confiabilidad, en algunos casos la frecuencia de falla disminuye y en otros los tiempos de reparación son más altos, situación que demuestra descontrol en la gestión de mantenimiento que puede deberse a indisponibilidad inmediata de repuestos o personal, y deficiencias en el mantenimiento preventivo.

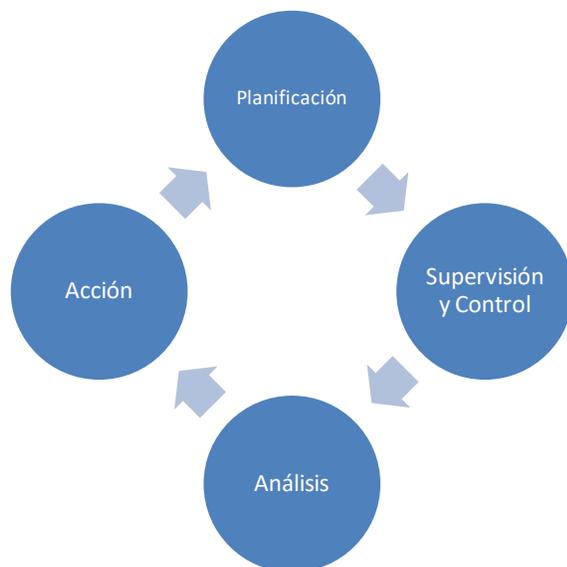
**Tabla 3** *Confiabilidad Promedio anual*

Unidad	Confiabilidad Promedio anual	
	2020	2021
012012-1	58,33	60,42
012012-2	44,79	43,23
012013-1	48,44	40,10
012013-2	41,15	50,00
012013-3	45,83	48,96
012014-1	46,88	51,56
012014-2	44,27	44,27
012015-1	46,88	53,65
012015-2	47,92	37,50
012016-2	47,92	43,23

Fuente. Elaboración propia. Fuente de datos. Tablas 1 y 2

Con relación al **segundo objetivo específico, relativo a implementar un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración**, el cual se realiza con base en el ciclo de lubricación de los compresores de tornillo que se muestra en la Ilustración 1, desarrollándose el ciclo del sistema tribológico que se muestra en la Figura.

**Figura 5** *Ciclo del sistema tribológico de compresores de tornillo*



Fuente. Elaboración propia

Los elementos del ciclo del sistema tribológico de compresores de tornillo se muestran en la Tabla 4.

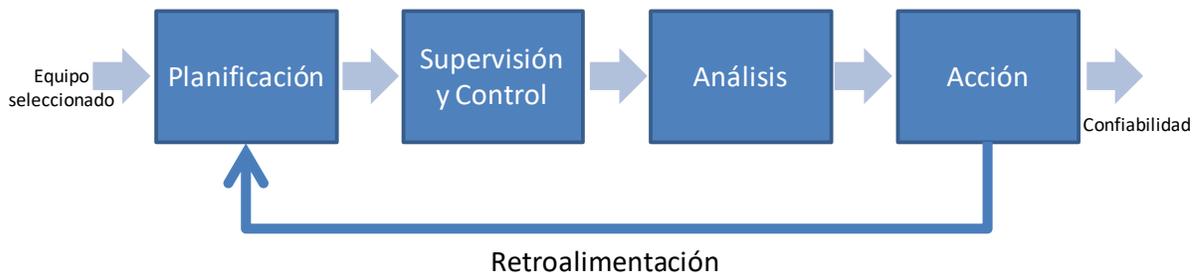
**Tabla 4** *Elementos del ciclo de tribológico de compresores de tornillo*

<b>Elementos del ciclo tribológico de compresores de tornillo</b>	<b>Actividades realizadas</b>
Planificación	Seleccionar equipo a evaluar Identificar pruebas de lubricantes a realizar Elaborar procedimientos de muestreo Identificar dispositivos e muestreo Definir frecuencia de muestreo Establecer puertos de muestreo Definir niveles de precaución y alarma Realizar diagnóstico inicial
Supervisión y control	Realizar toma de muestra Calcular niveles de precaución y alarma
Análisis	Administración de datos Interpretación de datos
Acción	Implementación de acciones de mantenimiento preventivo y correctivo

Fuente. Elaboración propia

La integración del ciclo de lubricación y el ciclo del sistema tribológico de compresores de tornillo, identifican el proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo.

**Figura 6** *Proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo*



La ejecución del proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo permitió, de acuerdo con las pruebas realizadas:

- Identificar tipos y niveles de desgates (abrasión, corrosión, erosión o adhesión).
- Identificar eficiencia del tipo de aceite.
- Identificar niveles de operación, por temperatura o vibraciones.
- Establecer necesidad de mantenimiento correctivo.
- Identificar eficacia del mantenimiento preventivo.

Los resultados del proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo crean valor agregado a los usuarios, al retardar el proceso de envejecimiento de los equipos, disminuir los tiempos de parada por mantenimiento preventivo y correctivo (tiempo improductivo), factores que mejoran los indicadores de mantenimiento MTBF y MTTR y con ello la confiabilidad de los equipos, disminuyendo además los costos de mantenimiento. Estos resultados también implican el desarrollo de un proceso de innovación relacionado con la selección de mejores lubricantes, equipos de control y la identificación de nuevas pruebas de aceite.

Con relación al **tercer objetivo específico, relativo a determinar la confiabilidad del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial posterior a la implementación del sistema tribológico**, utilizando un modelo de regresión lineal con base a los datos anteriores de los indicadores de mantenimiento MTBF y MTTR se realizó la predicción para el año 2022 del comportamiento de la confiabilidad de los equipos de la muestra en estudio, determinándose con ello los resultados de la

confiabilidad del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial posterior a la implementación del sistema tribológico.

Las referencias del modelo se realizaron con base a un MTBF de 119,8 H a la semana, obtenido en base al límite superior de confiabilidad 74,1 % para 832 horas de operación anual para el año 2022 y la siguiente ecuación:

$$R = e^{-t/MTBF}$$

Con esta información y utilizando el lenguaje de programación estadística R, se obtuvo el siguiente modelo de predicción a través de un modelo de regresión lineal. La fórmula de pronóstico empleada para determinar los valores de confiabilidad es la siguientes:

$$R = 59,6655 + 0,1504 * R_{2020} + 0,1371 * R_{2021}$$

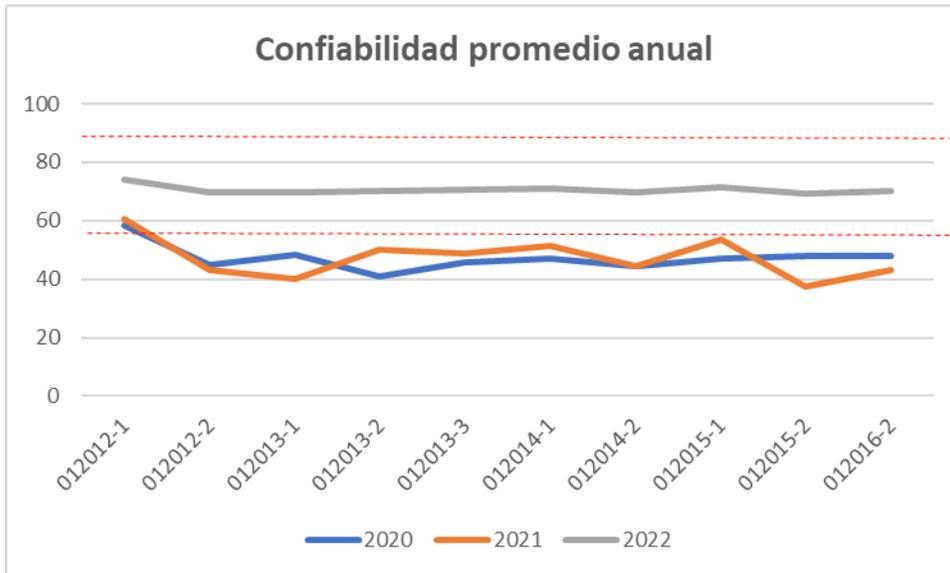
Luego la predicción de valores de confiabilidad para el año 2022 por equipos se evalúa con la formula anterior donde R2020 y R2021 .es la confiabilidad de los años 2020 y 2021, respectivamente.

**Tabla 5 Confiabilidad Promedio anual**

<b>Unidad</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
012012-1	58.33	60.42	74.05
012012-2	44.79	43.23	69.65
012013-1	48.44	40.1	69.77
012013-2	41.15	50	70.03
012013-3	45.83	48.96	70.60
012014-1	46.88	51.56	71.11
012014-2	44.27	44.27	69.72
012015-1	46.88	53.65	71.40
012015-2	47.92	37.5	69.34
012016-2	47.92	43.23	70.12

Fuente. Elaboración propia.

**Figura 7** Confiabilidad Promedio anual



Fuente. Elaboración propia.

La Tabla 5 y la Figura 7 muestran el incremento de la confiabilidad promedio de los compresores de tornillo durante el año 2022, colocándose esta dentro de la banda establecida por los límites inferior y superior de confiabilidad, obteniéndose una mejora promedio del 70,6 % con respecto a ambos años; evidenciándose una mejora con la implementación del sistema tribológico.

Con relación al **cuarto objetivo específico relativo a determinar el costo beneficio de la implementación de un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial**, el análisis costo beneficio inicia con la identificación del impacto en el Plan de Mantenimiento y los costos de mantenimiento. A continuación, la Figura 8 muestra el impacto de la implementación del sistema tribológico en el Plan de Mantenimiento; donde se ve afectados los programas de mantenimiento que ahora incluye el mantenimiento predictivo y como actividad principal el análisis de aceite y la capacitación del personal, que ahora debe incluir entrenamiento en las áreas temática de mantenimiento predictivo y de tribología. Las modificaciones al Plan de Mantenimiento tienen costos asociados contratación de empresas para el análisis de aceite, adquisición de insumo relacionado con la

preparación, toma y transporte de muestra de aceite. y los cursos de capacitación del personal de mantenimiento.

**Figura 8** Plan de mantenimiento

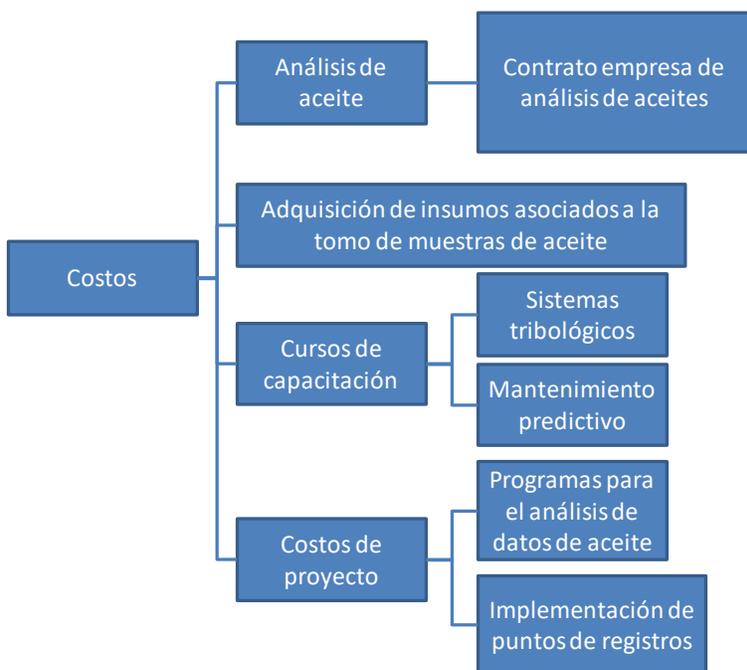


Fuente. Elaboración propia.

Igualmente, el proyecto del sistema tribológico trae costos asociados la adquisición de programas de análisis, implementación de puntos de registro de aceite en los compresores de tornillo.

Con relación a los beneficios, al determinarse el estado del aceite y los niveles de abrasión de las piezas de los compresores de tornillo, se puede disminuir la frecuencia de cambio y reposición, implicando ahorros en la compra de insumos y cambios de piezas de repuestos, incluyendo además el aumento de vida útil de los compresores. Desde el punto de vista de mantenimiento al incrementar el MTBF y disminuir el MTTR disminuyen los costos por indisponibilidad de equipos, asociados a producción diferida.

**Figura 9** Costos asociados a la implantación del sistema Tribológico



Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 6** Costos iniciales asociados a la implantación del sistema Tribológico

Concepto		Monto (S/.)
Contratación empresa para análisis de aceite <sup>1</sup>		23.276,00 12 muestras/equipo
Adquisición de insumos asociados a la toma de muestras de aceite <sup>1</sup>		2.167,00
Cursos de capacitación <sup>2</sup>	Sistema Tribológico	6.780,00
	Mantenimiento predictivo	2.450,00
Costos de proyecto	Programa para el análisis de datos de aceite <sup>3</sup>	2.278,00
	Implementación de puntos de registro <sup>3</sup>	2.240,00
<b>TOTAL</b>		<b>39.191,00</b>

Nota 1: Fuente Empresa CSTGROUP <https://www.cstgroup.pe/analisis-de-lubricantes>

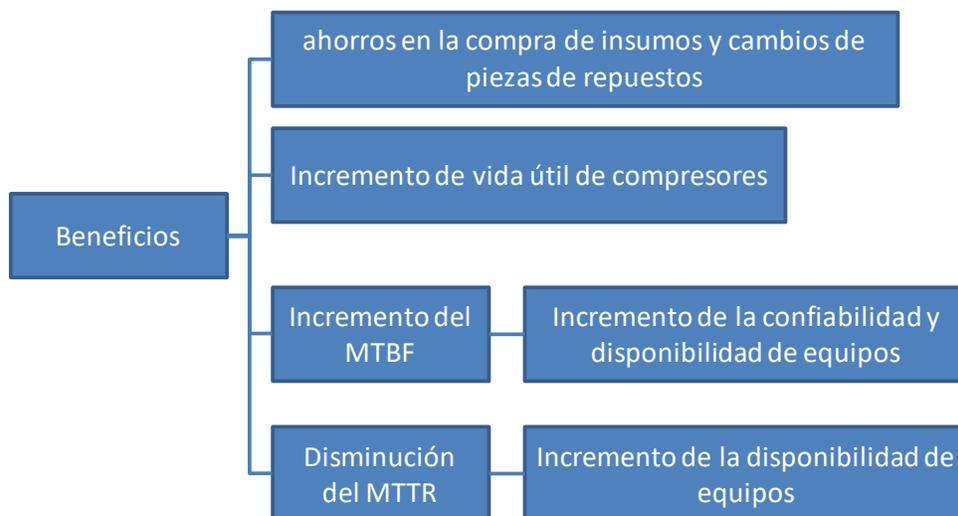
Nota2: Fuente Empresa TECSUP <https://www.tecsup.edu.pe/programas-academicos>

Nota 3: Fuente Empresa INTERTEK <https://www.intertek.com.pe/>

La Figura 9 y la Tabla 6 muestran los costos asociados a la implantación del sistema tribológico, donde el mayor de los costos está asociado a la contratación de la empresa de análisis de aceite, que es un monto anual por 12 muestra anuales por equipo; le

siguen los cursos de capacitación, que es una inversión inicial del primer año de implementación del proyecto. Al segundo año únicamente se mantendrán los costos de contratación de la empresa de análisis de aceite y adquisición de insumos asociados a la toma de muestras de aceite; disminuyendo los costos en un 35,07 % a partir del segundo año de implementación del proyecto.

**Figura 10** Beneficios asociados a la implantación del sistema Tribológico



Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 7** Beneficios asociados a la implantación del sistema Tribológico

Concepto		Monto (S/.)
Ahorro en la compra de aceite de reposición y repuestos <sup>1</sup>		31.840,
Incremento de vida útil de compresores <sup>1,2</sup>		90.483,72
Incremento del MTBF	Incremento en disponibilidad de equipos Incremento en la confiabilidad de equipos	Incremento de producción
Disminución del MTR	Incremento en la disponibilidad de equipos	
<b>TOTAL</b>		<b>122.323,72</b>

Nota 1: Empresa Shanghai Screw Compressor Co., Ltd. <https://shscrew.en.made-in-china.com/product-list-1.html>

Nota 2: Reposición o overhaul

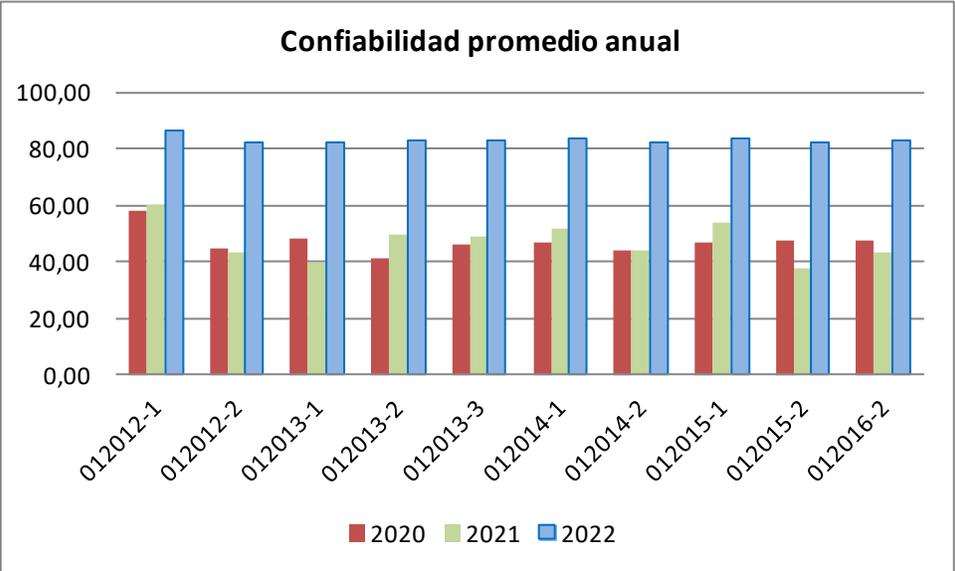
La Figura 10 y la Tabla 7 muestran los beneficios asociados a la implantación del sistema tribológico, donde el mayor beneficio proviene del ahorro en costos de

reposición, mantenimientos mayores, reposición de aceite y adquisición de piezas de repuestos, 122.323,72 S/.

Al realizar la comparación entre costos y beneficios de la implantación del sistema tribológico se determina que el primer año, únicamente considerando los beneficios asociados al Ahorro en la compra de aceite de reposición y repuestos hay una diferencia del 18,76 %, significativa y causada por los costos iniciales del proyecto, sin embargo, a partir del segundo año el beneficio es del 25,14 % anual.

Con relación al **objetivo general relativo a evaluar el impacto de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial,**

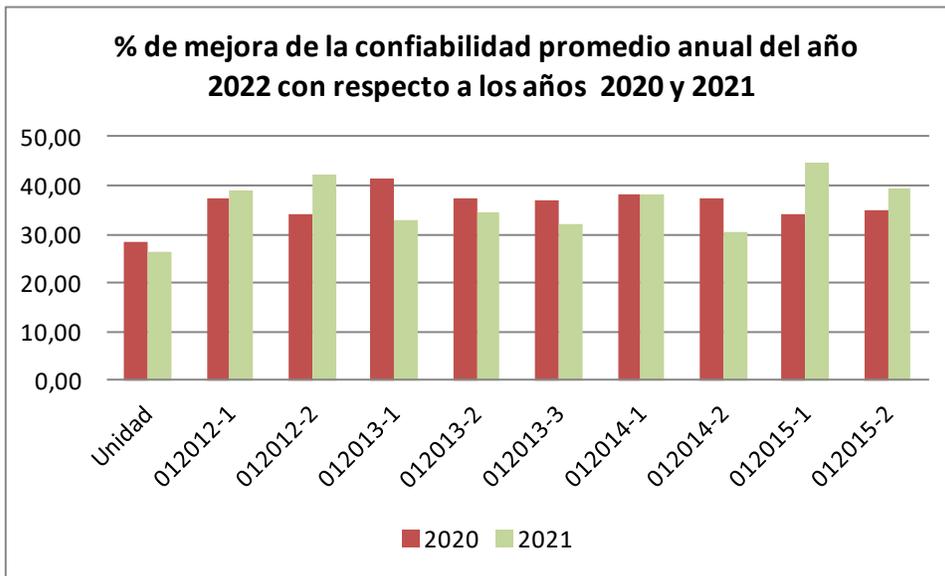
**Figura 11** Mejora de la confiabilidad promedio anual por unidad



Fuente. Elaboración propia.

La Tabla 5 y la Figura 11 muestran el incremento de la confiabilidad durante el año 2022, evidenciado una mejora significativa alrededor de valores estables que demuestran la eficacia de la gestión de mantenimiento al incluir el sistema tribológico y el mantenimiento predictivo en los planes y metodología de mantenimiento.

**Figura 12** *Porcentaje de Mejora de la confiabilidad promedio anual por unidad*



Fuente. Elaboración propia.

La Tabla 5 y la Figura 12 muestran el porcentaje de mejora de la confiabilidad durante el año 2022, con respecto a los años 2020 y 2021, evidenciado una mejora significativa que demuestran la eficacia de la gestión de mantenimiento al incluir el sistema tribológico y el mantenimiento predictivo en los planes y metodología de mantenimiento.

### **Validación de hipótesis**

Para la validación de las hipótesis de la investigación se determinó primero si los datos de confiabilidad (Pre Test y Pos Test) evidencian un comportamiento de distribución normal. Considerando el número de muestras, para la prueba de normalidad se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, considerando como hipótesis nula que la distribución de los datos tiene una distribución normal. Los datos se muestran en las Tabla 5, siendo los datos de los años 2020 y 2021 los pre test y los del año 2022 los post test y resultados se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8 Prueba de normalidad**

Datos	Prueba de Shapiro-Wilk		
	W <sup>1</sup>	p-value <sup>2</sup>	$\alpha^3$
<b>Pre Test 2020</b>	0.82314	0.02765	
<b>Pos Test 2021</b>	0.96706	0.8623	0,05
<b>Pos Test 2022</b>	0.96438	0.8344	

Nota 1. Estadístico de prueba

Nota 2: valor de probabilidad de la prueba de Shapiro-Wilk

Nota 3: nivel de significancia

Nota: La prueba de Shapiro-Wilk se realizó utilizando el lenguaje de programación estadística R

La Tabla 8 muestra que para los valores Pre Test año 2020, la probabilidad (p-value) es menor al nivel de significancia elegido ( $\alpha = 0,05$ ), por lo que se rechaza la hipótesis nula, y la distribución de los datos no es normal; para los valores Pre Test año 2021 y Post Test año 2022, la probabilidad (p-value) es mucho mayor al nivel de significancia elegido ( $\alpha = 0,05$ ), por lo que se rechaza la hipótesis nula, y la distribución de los datos es normal.

Considerando la no normalidad de los datos Pre Test 2020, la validación de la hipótesis de investigación se realizará utilizando la prueba de Wilcoxon. La prueba de rango con signo de Wilcoxon de una muestra es una alternativa no paramétrica a una prueba t de una muestra cuando no se puede suponer que los datos estén distribuidos normalmente.

**Tabla 9 Prueba de validación de hipótesis de Wilcoxon**

Datos (PreTest/Post test)	Prueba de Wilcoxon		
	W <sup>1</sup>	p-value <sup>2</sup>	$\alpha^3$
Año 2020/2022	0,0	0.0001756	0,05
Año 2021/2022	0,0	0.0001766	

Nota 1. Estadístico de prueba

Nota 2: valor de probabilidad de la prueba de Wilcoxon

Nota 3: nivel de significancia

Nota: La prueba de Wilcoxon se realizó utilizando el lenguaje de programación estadística R

La Tabla 9 muestra que para los valores Pre Test año 2020 y 2021 y su comparación con los datos 2022, en ambos casos la probabilidad (p-value) es mucho menor al nivel de significancia elegido ( $\alpha = 0,05$ ), por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se considera confirma la hipótesis alterna, que es la hipótesis de investigación que indica que existe un impacto significativo luego de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial.

## V. DISCUSIÓN

La confiabilidad es la probabilidad de que los equipos o sistemas desempeñen de manera satisfactoria las funciones que se requieren de este, respetando cada condición específica de operación, en el transcurso de tiempo determinado, luego con relación al primer objetivo específico determinar la confiabilidad actual del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial, durante los años 2020 y 2021 se evidenció un baja confiabilidad de los equipos con valores promedio inferiores al límite inferior, situación ocasionada por una alta frecuencia de falla, superior a 14 horas/mes (MTBF); a pesar de tener bajos tiempos promedios de reparación, inferiores a 4 horas (MTTR). Esta situación demuestra inconsistencia en los valores de confiabilidad, en algunos casos la frecuencia de falla disminuye y en otros los tiempos de reparación son más altos, situación que demuestra descontrol en la gestión de mantenimiento que puede deberse a indisponibilidad inmediata de repuestos o personal, y deficiencias en el mantenimiento preventivo.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Mendigure (2021), quien indica que los equipos no son capaces de funcionar sin presentar fallas debido a deficiencias en la gestión de mantenimiento ocasionado por estrategias inadecuadas de prevención de fallas, ante situación similar Holmberg y Erdemir (2019), deciden emprender nuevas estrategias relativas a determinar el impacto de la tribología en el mantenimiento de equipos con motores de combustión y automóviles eléctricos, al igual que Couto (2021), quien decide analizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en la industria minero-metalúrgica, utilizando los indicadores del sistema tribológico.

Las fallas en lo equipos traen repercusiones negativas tanto a nivel producción como a nivel financiero. Luego al identificar condiciones de baja confiabilidad y disponibilidad, es necesario evaluar la gestión de mantenimiento y analizar nuevas estrategias que permitan realizar acciones y aplicar técnicas con el objetivo de anticiparse a las fallas.

El mantenimiento predictivo es una técnica que utiliza herramientas y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en

los equipos y procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevengan las fallas, entre estas técnicas de análisis de datos están los sistemas tribológicos que permiten evaluar la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y las soluciones para evitar el desgaste y controlar la fricción y mejorar la lubricación, luego con relación al segundo objetivo específico relativo a implementar un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración, se parte del ciclo de lubricación de los compresores de tornillo para identificar los elementos del ciclo tribológico y establecer el proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo.

El proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo crea valor agregado a los usuarios, al retardar el proceso de envejecimiento de los equipos, disminuir los tiempos de parada por mantenimiento preventivo y correctivo (tiempo improductivo), factores que mejoran los indicadores de mantenimiento MTBF y MTTR y con ello la confiabilidad de los equipos, disminuyendo además los costos de mantenimiento. Estos resultados también implican el desarrollo de un proceso de innovación relacionado con la selección de mejores lubricantes, equipos de control y la identificación de nuevas pruebas de aceite.

Acciones similares realizaron Criollo et al., (2021), quienes caracterizaron los sistemas tribológicos de equipos automotrices, indicando que la caracterización tribológica permitió identificar la calidad de lubricación y cuando es necesario su renovación; concluyendo que la caracterización tribológica permite establecer la frecuencia de renovación del lubricante y la cantidad adecuada.

La identificación del ciclo de lubricación de los compresores de tornillo y la identificación de los elementos del ciclo tribológico y establecer del proceso del sistema tribológico de compresores de permite optimizar el funcionamiento (fricción y desgaste) de sistemas móviles.

Con relación al tercer objetivo específico relativo a determinar la confiabilidad del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial posterior a la implementación del sistema tribológico, se incrementó la confiabilidad promedio de los

compresores de tornillo durante el año 2022, colocándose esta dentro de la banda establecida por los límites inferior y superior de confiabilidad, obteniéndose una mejora promedio del 70.6% con respecto a ambos años de estudio; evidenciándose una mejora con la implementación del sistema tribológico. Igual resultado encontró Couto (2021) al implementar un sistema tribológico en donde aumentaron los indicadores de confiabilidad y disponibilidad. Luego la tribología aporta al sector industrial la prevención de fallos asociado a fenómenos de fricción y desgaste en diferentes equipos.

Con relación al cuarto objetivo específico relativo a determinar el costo beneficio de la implementación de un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial, se identificaron los costos y beneficios económicos de implementar un sistema tribológico en un compresor de tornillo, identificándose una reducción de los costos en un 35,07 % a partir del segundo año de implementación del proyecto y un beneficio del 18,76 %, significativo y causado por los costos iniciales del proyecto, sin embargo a partir del segundo año el beneficio es del 25,14 % anual.

Al igual que en esta investigación Criollo et al., (2021) y Patilla (2019), lograron identificar los beneficios económicos que lograron con la implantación de los sistemas tribológicos, al identificar la calidad de lubricación y cuando es necesario su renovación.

Los sistemas tribológicos mejoran la rentabilidad de las empresas al mejorar el comportamiento de cualquier sistema mecánico, estático o dinámico, que esté expuesto a fricción y desgaste, estableciendo nuevos parámetros de frecuencias de mantenimiento, máxima utilización de lubricantes y reducción de desgastes que implica ampliar la frecuencia de reposición de equipos y partes, condiciones que traen reducción de costos y ahorros en la adquisición de lubricantes y partes de equipos.

Con relación al objetivo general relativo a evaluar el impacto de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial, se identificó una mejora significativa en la confiabilidad que demuestran la eficacia de la gestión de mantenimiento al incluir el sistema tribológico

y el mantenimiento predictivo en los planes y metodología de mantenimiento. Impactos similares en sus evaluaciones identificaron Weston (2020) y Patilla (2019), quienes determinaron que el comportamiento tribológico del aceite entrega información de la fricción, el desgaste y el alcance de la variedad de una base a una más extrema, mejorando las condiciones de confiabilidad de los equipos.

## **VI. CONCLUSIONES:**

- 1.** Durante los años 2020 y 2021 se evidenció una baja confiabilidad de los equipos con valores promedio inferiores al límite inferior, situación ocasionada por una alta frecuencia de falla, superior a 14 horas/mes (MTBF); a pesar de tener bajos tiempos promedios de reparación, inferiores a 4 horas (MTTR). Esta situación demuestra inconsistencia en los valores de confiabilidad, en algunos casos la frecuencia de falla disminuye y en otros los tiempos de reparación son más altos, situación que demuestra descontrol en la gestión de mantenimiento que puede deberse a indisponibilidad inmediata de repuestos o personal, y deficiencias en el mantenimiento preventivo.
- 2.** El diseño de un sistema tribológico de los compresores de tornillo debe partir de la identificación ciclo de lubricación, identificando los elementos del ciclo tribológico y estableciendo el proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo. El proceso del sistema tribológico de compresores de tornillo crea valor agregado al retardar el proceso de envejecimiento de los equipos, disminuir los tiempos de parada por mantenimiento preventivo y correctivo (tiempo improductivo), factores que mejoran los indicadores de mantenimiento MTBF y MTTR y con ello la confiabilidad de los equipos, disminuyendo además los costos de mantenimiento. Estos resultados también implican el desarrollo de un proceso de innovación relacionado con la selección de mejores lubricantes, equipos de control y la identificación de nuevas pruebas de aceite.
- 3.** Al implantar un sistema tribológico mejoran los indicadores de confiabilidad, MTBF, MTTR y la disponibilidad de los compresores de tornillo, al aportar la prevención de fallos asociado a fenómenos de fricción y desgaste en diferentes equipos.
- 4.** Los sistemas tribológicos mejoran la rentabilidad de la empresa al mejorar el comportamiento de cualquier sistema mecánico, estático o dinámico, que esté expuesto a fricción y desgaste, estableciendo nuevos parámetros de frecuencias de mantenimiento, máxima utilización de lubricantes y reducción de desgastes que implica ampliar la frecuencia de reposición de equipos y partes, condiciones que traen reducción de costos y ahorros en la adquisición de lubricantes y partes de

equipos. Los sistemas Tribológicos mejoran la eficacia de la gestión de mantenimiento y el mantenimiento predictivo, agregando nuevos parámetros de evaluación relativos fenómenos de fricción y desgaste innovando en los planes y metodología de mantenimiento.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Lograr el desarrollo innovador de la tribología en las plantas de refrigeración y su aporte práctico en la industria, estableciendo estrategias innovadoras de investigación y desarrollo que contribuyan a la eficiencia energética y reducción de costos.
2. Lograr estrategias que permitan identificar que porcentajes del consumo energético industrial se deben a la fricción, como es que los sistemas tribológicos contribuyen a la disminución del consumo de energía, identificar los costos por reposición de partes y repuestos de maquinaria y sustitución temprana de aceites lubricantes.

## REFERENCIAS

ACUÑA MESTRE, Roberto Carlos y CORREA ACOSTA, José. *Metodología tribológica para grupos de equipos aplicable a pequeñas y medianas industrias*. [En Línea]. Tesis de grado. Universidad. Tecnológica de Bolívar. Cartagena, Colombia. 2005. [Consultado 30 junio 2022].

<https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/633>

CASTILLO HERRERA, Willan Pablo y TOAPANTA CUNALATA, Oscar Gabriel. 2019. *Principios de Tribología Aplicados en la Ingeniería Mecánica*. [En Línea]. 1<sup>ra</sup> Edición. Alcoy (Alicante), España. Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L. [Consultado 30 de Junio de 2022]. ISBN 978-84-121167-2-4. <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2019/12/PRINCIPIOS-DE-TRIBOLOG%C3%8DA-APLICADOS-EN-LA-INGENIER%C3%8DA-MEC%C3%81NICA.pdf>

CASTRO VALDIVIEZO, Carlos Francisco. (2017). *Mantenimiento productivo total (TPM) para incrementar la confiabilidad de los equipos de alquiler Caterpillar de la empresa Unimaqsa-2017*. [En Línea]. Tesis de grado. Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú. 2017. [Consultado 30 junio 2022].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25906>

COUTO OLIVEIRA, Thais Costa. *Machine learning: programa para análise da disponibilidade física dos equipamentos da indústria minero-metalúrgica por meio de indicadores do sistema tribológico*. [En Línea]. Tesis de grado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Brasil. 2021 [Consultado 30 junio 2022]

<http://monografias.ufop.br/handle/35400000/3187>

CRIOLLO YANCHATIPAN, Luís Patricio, GUASUMBA MAILA, Jairo Edison, ÑATO LOACHAMIN, José Fausto y SEGARRA PLAZA, Edison. Javier. *Caracterización tribológica en combinación con varios aceites y aditivos lubricantes en sistemas automotrices*. *Dominio de las Ciencias*, [En Línea]. 2021. 7(4), 4. [Consultado 30 de Junio de 2022]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383890>

GRANIZO, José La Tribología y sus aplicaciones en la industria. *Revista Ciencia Unemi* [En Línea]. 2010, 3(4), 64-71 [Consultado 30 de Junio de 2022]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582663869009>

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA Pilar. *Metodología de la Investigación*. México DF: 2014. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.. ISBN: 978-1-4562-2396-0

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto. *Metodología de la Investigación: Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. México DF 2018. McGraw Hill México. ISBN: 978-1-4562-6096-5

HURTADO DE BARRERA, Jaqueline. *Metodología de la investigación holística*. Caracas. 1998Fundacite–SYPAL. ISBN 980-6306-06-6

HOLMBERG Kenneth, y ERDEMIR Ali. The impact of tribology on energy use and CO<sub>2</sub> emission globally and in combustion engine and electric cars. *Tribology International* [En Línea]. 2019. 135, 389-396. [Consultado 30 de Junio de 2022]. [.https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X19301446](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X19301446)

KUPRIN. A. S., OVCHARENKO, V.D., GILEWICZ, A., TOLMACHOVA, G.N., KOLODIY. I. V., VASILENKO, R. L., KUZNETSOVA, T. TLAPITSKAYA, V. y WARCHOLINSKI, B. Structural, mechanical and tribological properties of Cr-V-N coatings deposited by cathodic arc evaporation. *Tribology International*. [En Línea]. 2022. Vol. 165, Article 107246. [Consultado 30 de Junio de 2022]. <https://www.sciencedirect.com/journal/tribology-international/vol/165/suppl/C>

MENDIGURE PUMACHARA, Michael (2021). Propuesta de un plan de análisis del desgaste mecánico por abrasión en rotores de bombas centrifugas sumergibles para reducir costos de mantenimiento en la Empresa Moliplast SRL Arequipa 2020. <http://repositorio.uasf.edu.pe/handle/UASF/413>

OTZEN, Tamara., y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International journal of morphology*, [En Línea]. 2017. 35(1), 227-232. [Consultado 29 junio 2022].

[https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000100037&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000100037&script=sci_arttext&tlng=pt)

PATILLA GARCÍA, Miguel Ángel. *Influencia del análisis tribológico en el funcionamiento normal del sistema hidráulico del Cowdin180 y Komatsu WA470: Unidad Minera Emproyec-Nazca* [En Línea]. Tesis de grado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. 2019. [Consultado 30 junio 2022].

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6676>

RAMOS-GALARZA, Carlos. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, [En Línea] 2021 10(1), 1-7. [Consultado 29 junio 2022].

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7890336>

TELLO CASTRO, Guadalupe. Esmeralda y ESPINOZA VILLAORDUÑA, Edwin Jonathan (2017). *Implementación del programa de tribología centrada en la confiabilidad para mejorar la productividad de las palas PC4000 en la minera Miski Mayo*. [En Línea]. Tesis de grado. Universidad Privada del Norte. Lima, Perú. 2017. [Consultado 30 junio 2022]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11179>

VILLAFUERTE ARAOZ, José Carlos. *Selección de lubricantes según la función de componentes mecánicos*. [En Línea]. Tesis de grado. Universidad Continental. Arequipa, Perú. 2019. [Consultado 30 junio 2022].

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7195>

WESTON TEULLET, Alejandro. *Diseño de una máquina para ensayos de desgaste en brocas de perforación de testigos diamantinas*. [En Línea]. Tesis de grado. Universidad de Ingeniería y Tecnología UTEC. Lima, Perú. 2020. [Consultado 30 junio 2022]

<https://repositorio.utec.edu.pe/handle/20.500.12815/148>

## ANEXOS

### Anexo 1 – Matriz de operacionalización

**Tabla 12** *Matriz de operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento Escala de medición
<b>Sistema Tribológicos</b>	El sistema tribológico lo constituyen los procesos de fricción, desgaste y lubricación de los cuerpos en contacto. Castillo y Toapanta (2019).	El sistema tribológico comprende las dimensiones energía y mantenimiento medidas a través de sus indicadores y registradas en la ficha de recolección de datos.	Ahorro Energía	Consumo de energía Eficiencia energética	Ficha de recolección de datos, Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP) y Diagrama Analítico del Proceso (DAP). Ordinal
			Ahorro Mantenimiento	Costos del mantenimiento Cantidad de materiales Cantidad de repuestos	
<b>Confiabilidad</b>	Capacidad de un equipo de desempeñar la función requerida, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado. Castro (2017).	La confiabilidad comprende las dimensiones accidentes, defectos y fallas medidas a través de sus indicadores y registradas en la ficha de recolección de datos.	Accidente		
			Defecto	MTBT (Tiempo Medio entre fallas)	
			Falla	MTTR (Tiempo medio para reparación)	

Fuente. Elaboración propia

Anexo 2 – Matriz de consistencia

**Tabla 13** Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGIA
<p><b>General</b> ¿Cuál es el impacto de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial?</p> <p><b>Específicos</b> ¿Cuál es la confiabilidad actual del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial? ¿Cómo Implementar un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración? ¿Cuál es la confiabilidad del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial posterior a la implementación del sistema tribológico? ¿Cuál sería el costo beneficio de la implementación de un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial?</p>	<p><b>General</b> Evaluar el impacto de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial.</p> <p><b>Específicos</b> Determinar la confiabilidad actual del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial. Implementar un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración. Determinar la confiabilidad del compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial posterior a la implementación del sistema tribológico. Determinar el costo beneficio de la implementación de un sistema tribológico en un compresor de tornillo usado en plantas de refrigeración industrial.</p>	<p><b>General</b> Existe un impacto significativo luego de la implementación de un sistema tribológico en la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial.</p>	<p><b>Variable 1</b> Sistema Tribológico</p> <p><b>Variable 2</b> Confiabilidad</p>	<p>Ahorro Energía Ahorro Mantenimiento</p> <p>Accidente Defecto Falla</p>	<p><b>ENFOQUE</b> Cuantitativo</p> <p><b>MÉTODO</b> Inductivo</p> <p><b>TIPO</b> Aplicada</p> <p><b>DISEÑO</b> Pre-experimental</p> <p><b>TÉCNICA</b> Análisis documental</p> <p><b>INSTRUMENTO</b> Ficha de registro de datos</p> <p><b>POBLACIÓN</b> 10 equipos compresores en plantas de refrigeración industrial</p> <p><b>MUESTRA</b> 10 equipos compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial</p> <p><b>DISEÑO MUESTRAL</b> No probabilístico</p>

Anexo 3 – Instrumentos de recolección de datos

**FICHA DE INSPECCIÓN**  
**MANTENIMIENTO CORRECTIVO**  
**SEMANA:**

<b>IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO:</b>				
Tiempo programado de disponibilidad:				
Fecha Evento	Tipo de Evento	Tiempo de reparación	Tiempo total de mantenimiento correctivo	Observación

Número de reparaciones:

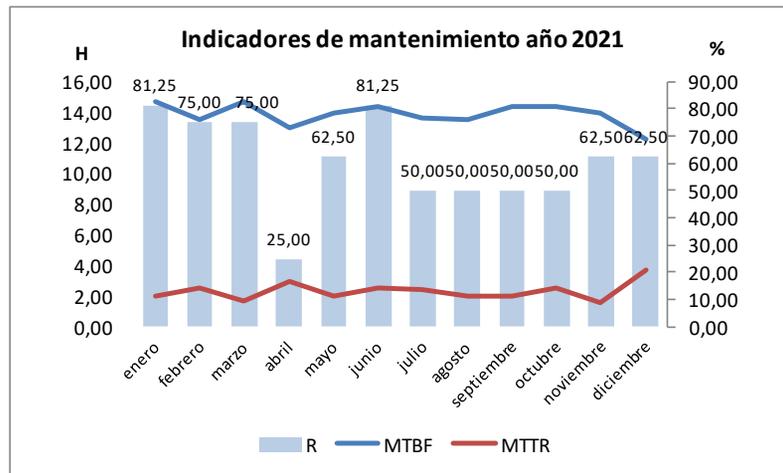
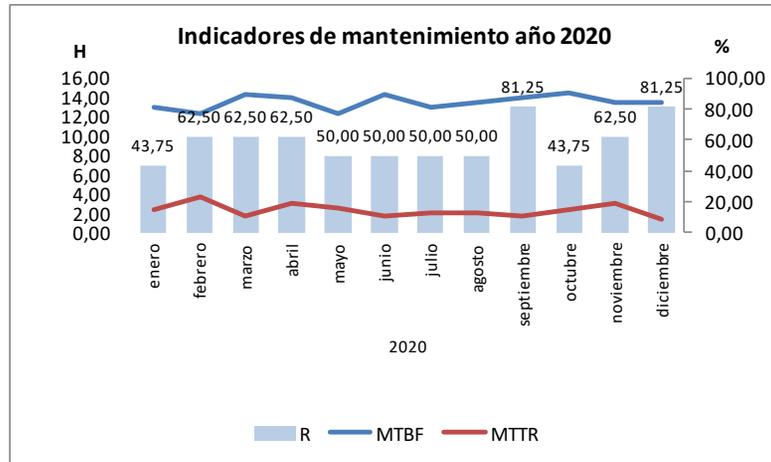
Tiempo total de inactividad por mantenimiento correctivo:

## FICHA DE REGISTRO DE MEDICIÓN DE INDICADORES

**SEMANA:**

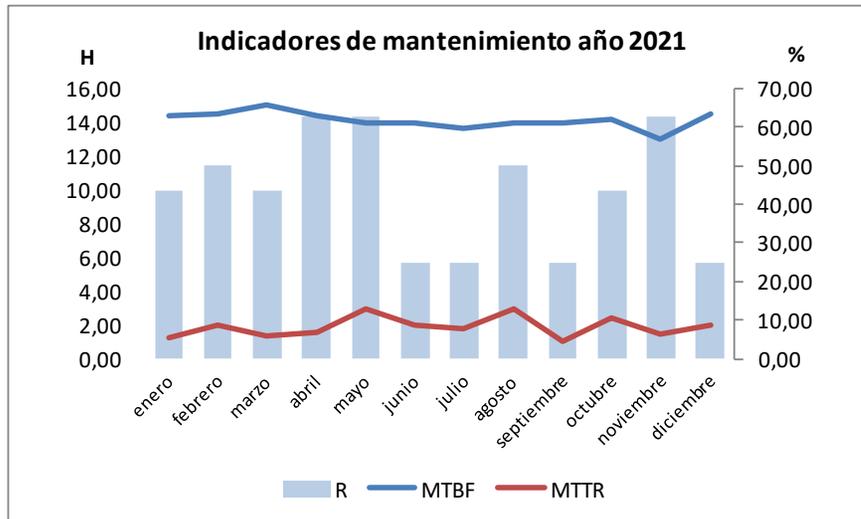
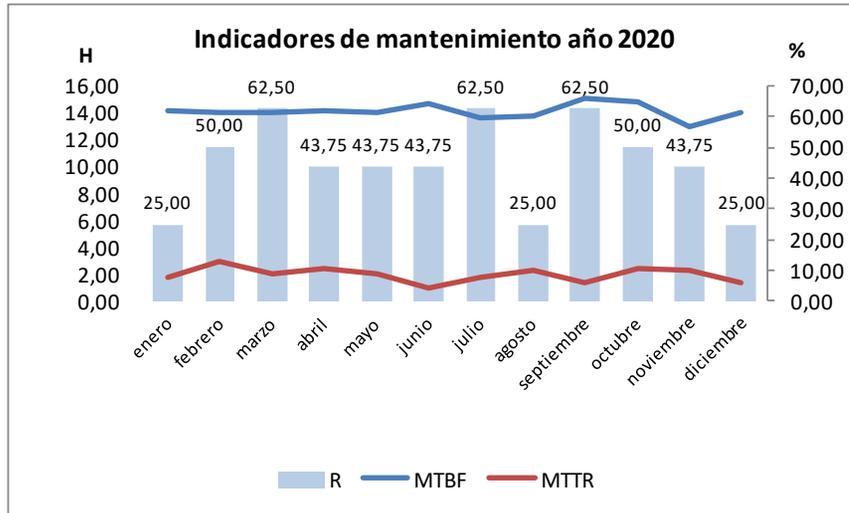
<b>IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO:</b>		
Lectura inicial de consumo de energía (kwh):		
Lectura final de consumo de energía (kwh):		
Consumo de Energía (kwh):		Consumo acumulado (kwh):
Consumo semana anterior (kwh):		Ahorro Energético (kwh):
Eficiencia energética (Horas totales de producción/kwh):		
Indicador	Formula	Valor
MTBF	$MTBF = \frac{(Tiempo\ total\ disponible - Tiempo\ de\ inactividad\ por\ mtto.\ correctivo)}{Número\ de\ paradas\ por\ mtto.\ correctivo}$	
MTTR	$MTTR = \frac{(Tiempo\ total\ de\ mtto.\ correctivo)}{Número\ de\ paradas\ por\ mtto.\ correctivo}$	
Confiabilidad	$R = \frac{(Horas\ de\ disponibilidad\ total - Horas\ total\ de\ mtto.\ correctivo)}{Horas\ de\ disponibilidad\ total} * 100$	

## Anexo 4 – Datos de Equipos



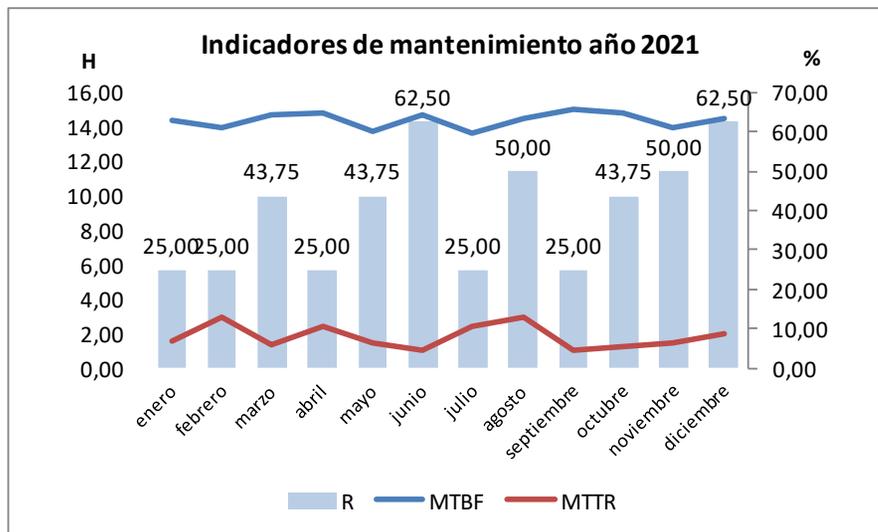
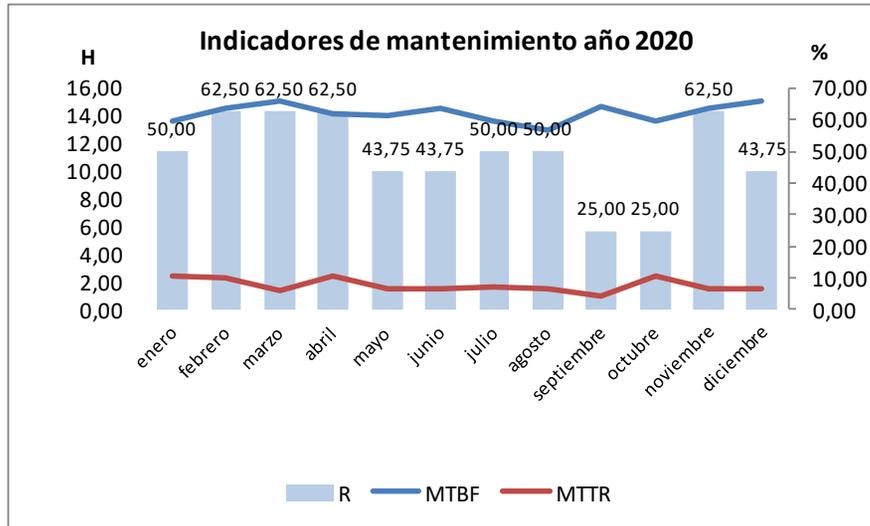
### Equipo: Compresor de tornillo 012012-1

Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	13,00	2,40	43,75
	febrero	12,25	3,75	62,50
	marzo	14,33	1,67	62,50
	abril	14,00	3,00	62,50
	mayo	12,25	2,50	50,00
	junio	14,33	1,67	50,00
	julio	13,00	2,00	50,00
	agosto	13,50	2,00	50,00
	septiembre	14,00	1,67	81,25
	octubre	14,40	2,40	43,75
	noviembre	13,50	3,00	62,50
	diciembre	13,50	1,33	81,25
2021	enero	14,67	2,00	81,25
	febrero	13,50	2,50	75,00
	marzo	14,67	1,67	75,00
	abril	13,00	3,00	25,00
	mayo	14,00	2,00	62,50
	junio	14,33	2,50	81,25
	julio	13,60	2,40	50,00
	agosto	13,50	2,00	50,00
	septiembre	14,40	2,00	50,00
	octubre	14,33	2,50	50,00
	noviembre	14,00	1,60	62,50
	diciembre	12,25	3,75	62,50

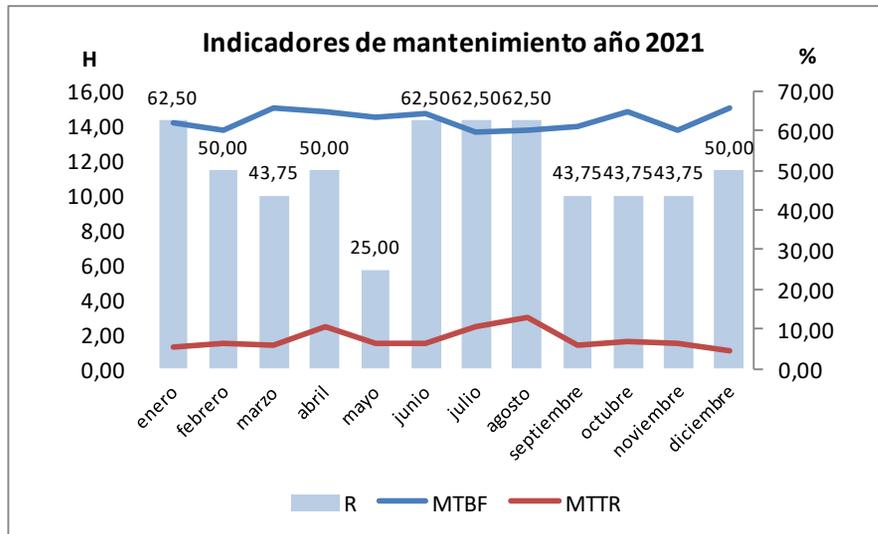
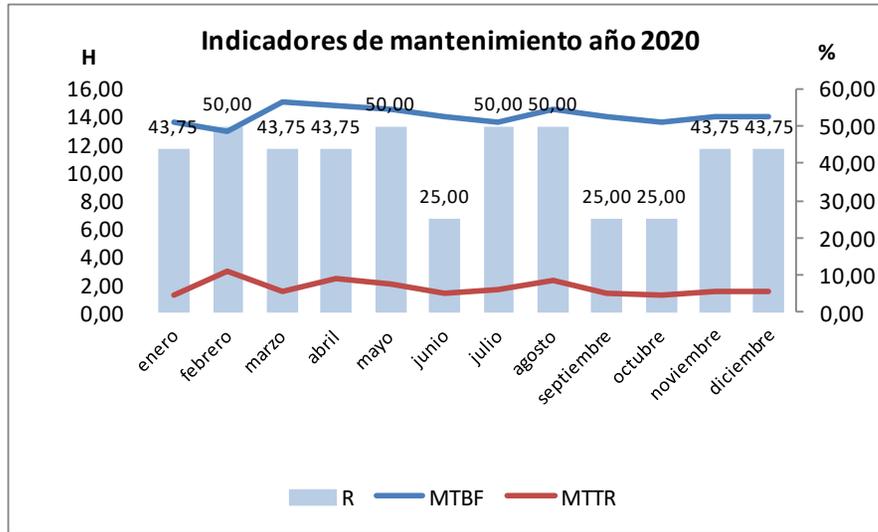


**Equipo: Compresor de tornillo 012012-2**

Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	14,20	1,80	25,00
	febrero	14,00	3,00	50,00
	marzo	14,00	2,00	62,50
	abril	14,20	2,40	43,75
	mayo	14,00	2,00	43,75
	junio	14,67	1,00	43,75
	julio	13,60	1,80	62,50
	agosto	13,75	2,25	25,00
	septiembre	15,00	1,33	62,50
	octubre	14,80	2,40	50,00
	noviembre	13,00	2,25	43,75
	diciembre	14,00	1,33	25,00
2021	enero	14,40	1,20	43,75
	febrero	14,50	2,00	50,00
	marzo	15,00	1,33	43,75
	abril	14,40	1,60	62,50
	mayo	14,00	3,00	62,50
	junio	14,00	2,00	25,00
	julio	13,60	1,80	25,00
	agosto	14,00	3,00	50,00
	septiembre	14,00	1,00	25,00
	octubre	14,20	2,40	43,75
	noviembre	13,00	1,50	62,50
	diciembre	14,50	2,00	25,00

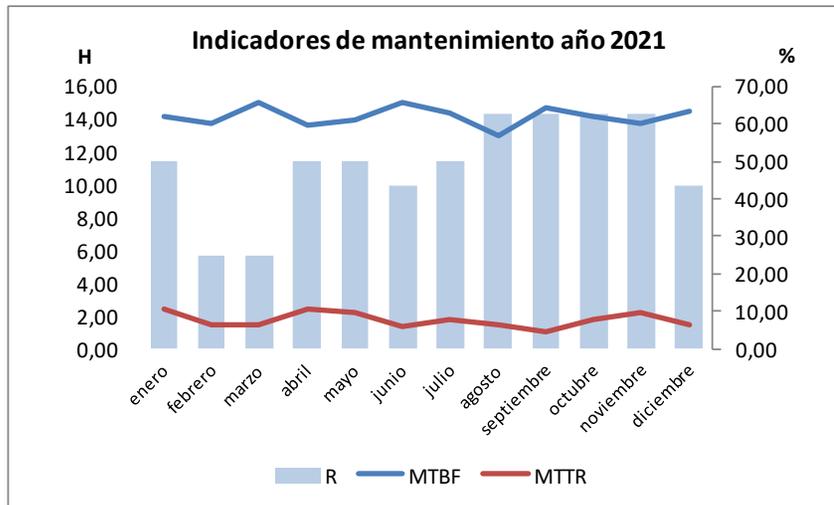
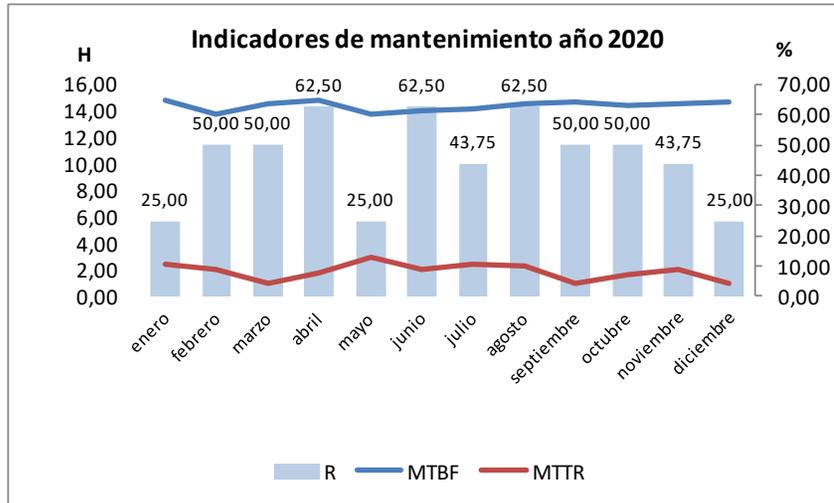


Equipo: Compresor de tornillo 012013-1				
Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	13,60	2,40	50,00
	febrero	14,50	2,25	62,50
	marzo	15,00	1,33	62,50
	abril	14,20	2,40	62,50
	mayo	14,00	1,50	43,75
	junio	14,50	1,50	43,75
	julio	13,60	1,60	50,00
	agosto	13,00	1,50	50,00
	septiembre	14,67	1,00	25,00
	octubre	13,60	2,40	25,00
	noviembre	14,50	1,50	62,50
	diciembre	15,00	1,50	43,75
2021	enero	14,40	1,60	25,00
	febrero	14,00	3,00	25,00
	marzo	14,67	1,33	43,75
	abril	14,80	2,40	25,00
	mayo	13,75	1,50	43,75
	junio	14,67	1,00	62,50
	julio	13,60	2,40	25,00
	agosto	14,50	3,00	50,00
	septiembre	15,00	1,00	25,00
	octubre	14,80	1,20	43,75
	noviembre	14,00	1,50	50,00
	diciembre	14,50	2,00	62,50



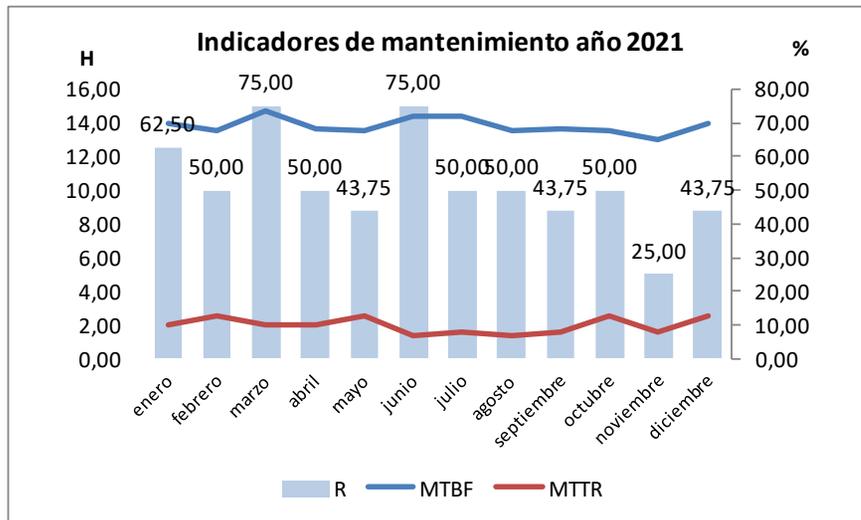
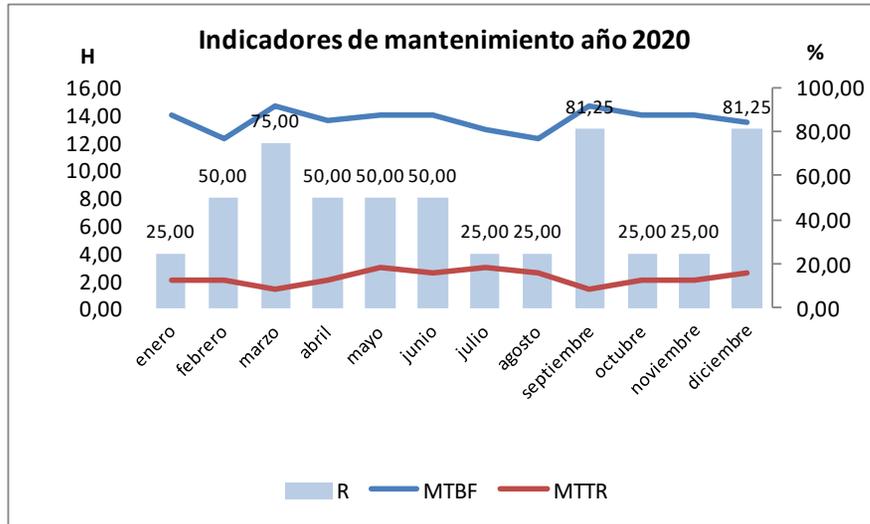
#### Equipo: Compresor de tornillo 012013-2

Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	13,60	1,20	43,75
	febrero	13,00	3,00	50,00
	marzo	15,00	1,50	43,75
	abril	14,80	2,40	43,75
	mayo	14,50	2,00	50,00
	junio	14,00	1,33	25,00
	julio	13,60	1,60	50,00
	agosto	14,50	2,25	50,00
	septiembre	14,00	1,33	25,00
	octubre	13,60	1,20	25,00
	noviembre	14,00	1,50	43,75
	diciembre	14,00	1,50	43,75
2021	enero	14,20	1,20	62,50
	febrero	13,75	1,50	50,00
	marzo	15,00	1,33	43,75
	abril	14,80	2,40	50,00
	mayo	14,50	1,50	25,00
	junio	14,67	1,50	62,50
	julio	13,60	2,40	62,50
	agosto	13,75	3,00	62,50
	septiembre	14,00	1,33	43,75
	octubre	14,80	1,60	43,75
	noviembre	13,75	1,50	43,75
	diciembre	15,00	1,00	50,00



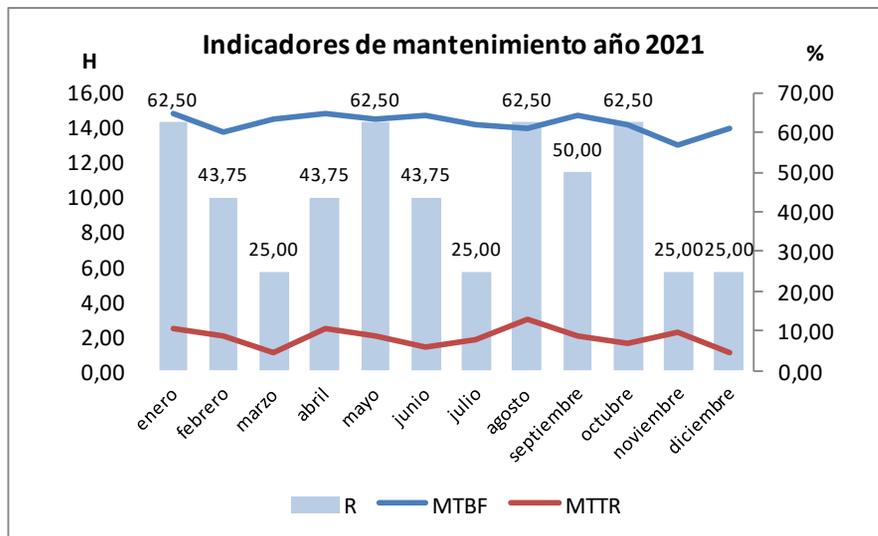
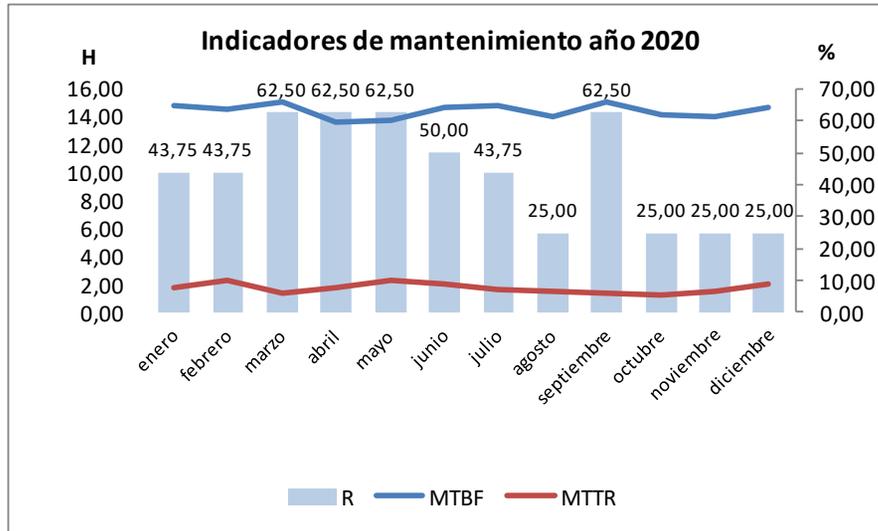
**Equipo: Compresor de tornillo 012013-3**

Año	Mes	MTBF	MTRR	R
2020	enero	14,80	2,40	25,00
	febrero	13,75	2,00	50,00
	marzo	14,50	1,00	50,00
	abril	14,80	1,80	62,50
	mayo	13,75	3,00	25,00
	junio	14,00	2,00	62,50
	julio	14,20	2,40	43,75
	agosto	14,50	2,25	62,50
	septiembre	14,67	1,00	50,00
	octubre	14,40	1,60	50,00
	noviembre	14,50	2,00	43,75
	diciembre	14,67	1,00	25,00
2021	enero	14,20	2,40	50,00
	febrero	13,75	1,50	25,00
	marzo	15,00	1,50	25,00
	abril	13,60	2,40	50,00
	mayo	14,00	2,25	50,00
	junio	15,00	1,33	43,75
	julio	14,40	1,80	50,00
	agosto	13,00	1,50	62,50
	septiembre	14,67	1,00	62,50
	octubre	14,20	1,80	62,50
	noviembre	13,75	2,25	62,50
	diciembre	14,50	1,50	43,75



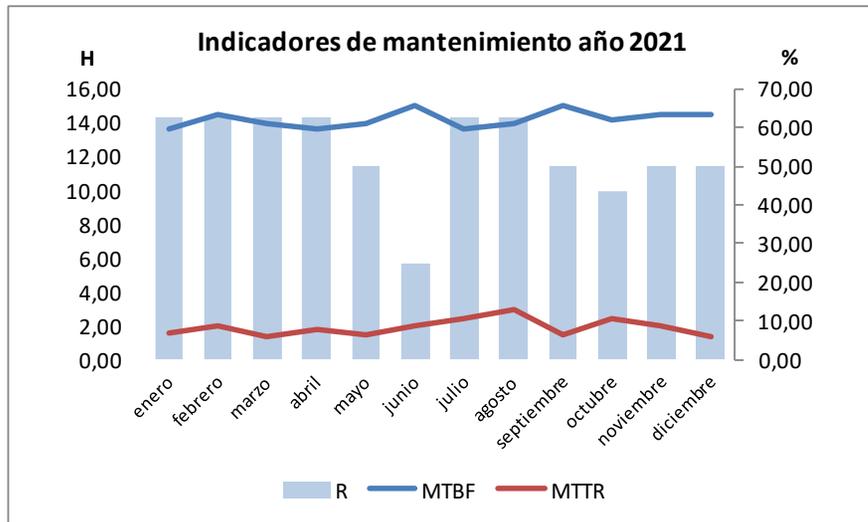
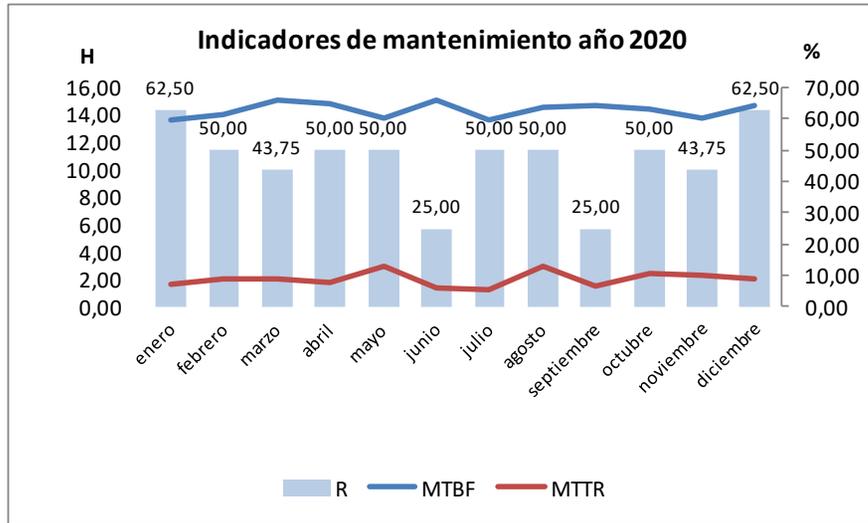
#### Equipo: Compresor de tornillo 012014-1

Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	14,00	2,00	25,00
	febrero	12,25	2,00	50,00
	marzo	14,67	1,33	75,00
	abril	13,60	2,00	50,00
	mayo	14,00	3,00	50,00
	junio	14,00	2,50	50,00
	julio	13,00	3,00	25,00
	agosto	12,25	2,50	25,00
	septiembre	14,67	1,33	81,25
	octubre	14,00	2,00	25,00
	noviembre	14,00	2,00	25,00
	diciembre	13,50	2,50	81,25
2021	enero	14,00	2,00	62,50
	febrero	13,50	2,50	50,00
	marzo	14,67	2,00	75,00
	abril	13,60	2,00	50,00
	mayo	13,50	2,50	43,75
	junio	14,33	1,33	75,00
	julio	14,40	1,60	50,00
	agosto	13,50	1,33	50,00
	septiembre	13,60	1,60	43,75
	octubre	13,50	2,50	50,00
	noviembre	13,00	1,60	25,00
	diciembre	14,00	2,50	43,75



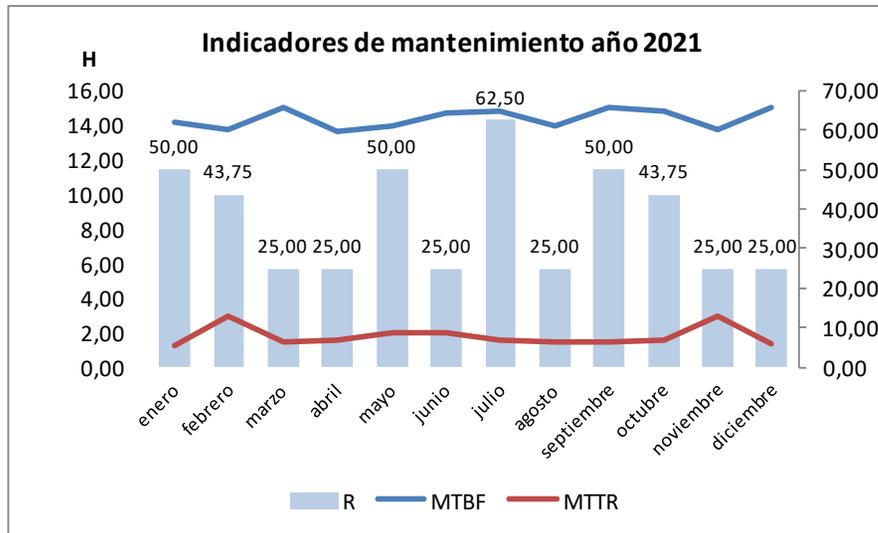
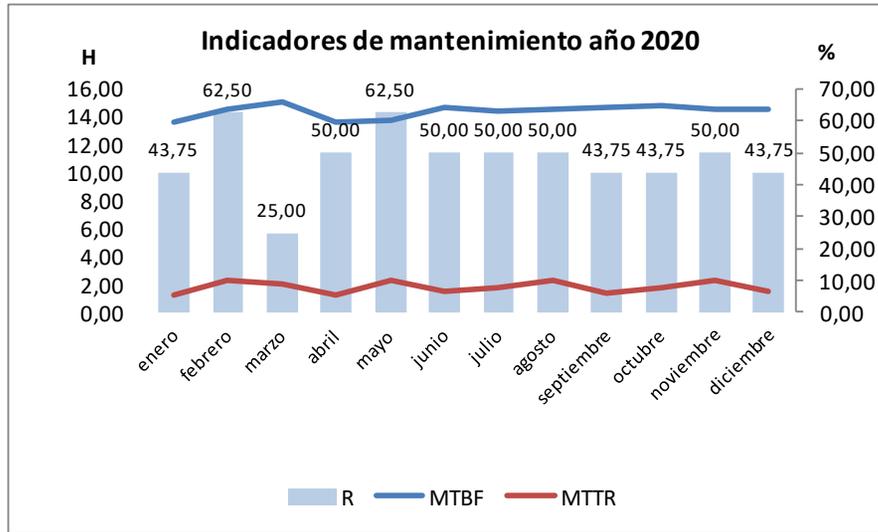
**Equipo: Compresor de tornillo 012014-2**

Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	14,80	1,80	43,75
	febrero	14,50	2,25	43,75
	marzo	15,00	1,33	62,50
	abril	13,60	1,80	62,50
	mayo	13,75	2,25	62,50
	junio	14,67	2,00	50,00
	julio	14,80	1,60	43,75
	agosto	14,00	1,50	25,00
	septiembre	15,00	1,33	62,50
	octubre	14,20	1,20	25,00
	noviembre	14,00	1,50	25,00
	diciembre	14,67	2,00	25,00
2021	enero	14,80	2,40	62,50
	febrero	13,75	2,00	43,75
	marzo	14,50	1,00	25,00
	abril	14,80	2,40	43,75
	mayo	14,50	2,00	62,50
	junio	14,67	1,33	43,75
	julio	14,20	1,80	25,00
	agosto	14,00	3,00	62,50
	septiembre	14,67	2,00	50,00
	octubre	14,20	1,60	62,50
	noviembre	13,00	2,25	25,00
	diciembre	14,00	1,00	25,00

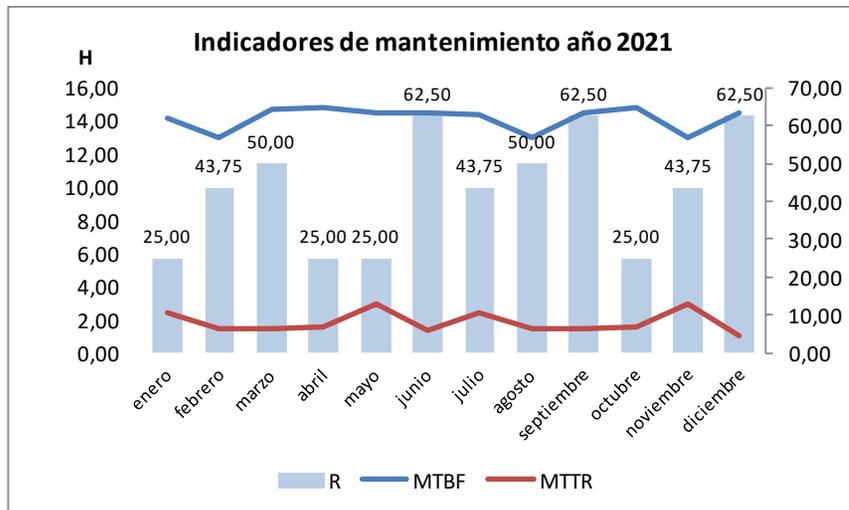
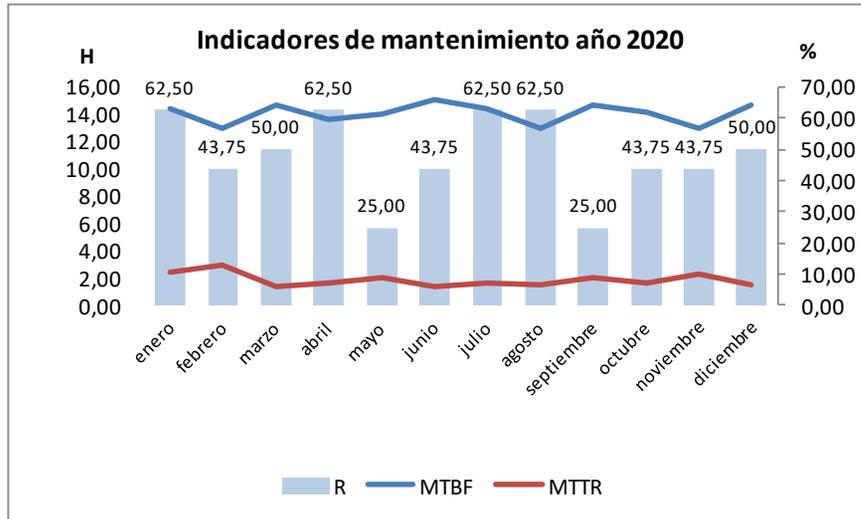


**Equipo: Compresor de tornillo 012015-1**

Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	13,60	1,60	62,50
	febrero	14,00	2,00	50,00
	marzo	15,00	2,00	43,75
	abril	14,80	1,80	50,00
	mayo	13,75	3,00	50,00
	junio	15,00	1,33	25,00
	julio	13,60	1,20	50,00
	agosto	14,50	3,00	50,00
	septiembre	14,67	1,50	25,00
	octubre	14,40	2,40	50,00
	noviembre	13,75	2,25	43,75
	diciembre	14,67	2,00	62,50
2021	enero	13,60	1,60	62,50
	febrero	14,50	2,00	62,50
	marzo	14,00	1,33	62,50
	abril	13,60	1,80	62,50
	mayo	14,00	1,50	50,00
	junio	15,00	2,00	25,00
	julio	13,60	2,40	62,50
	agosto	14,00	3,00	62,50
	septiembre	15,00	1,50	50,00
	octubre	14,20	2,40	43,75
	noviembre	14,50	2,00	50,00
	diciembre	14,50	1,33	50,00



Equipo: Compresor de tornillo 012015-2				
Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	13,60	1,20	43,75
	febrero	14,50	2,25	62,50
	marzo	15,00	2,00	25,00
	abril	13,60	1,20	50,00
	mayo	13,75	2,25	62,50
	junio	14,67	1,50	50,00
	julio	14,40	1,80	50,00
	agosto	14,50	2,25	50,00
	septiembre	14,67	1,33	43,75
	octubre	14,80	1,80	43,75
	noviembre	14,50	2,25	50,00
	diciembre	14,50	1,50	43,75
2021	enero	14,20	1,20	50,00
	febrero	13,75	3,00	43,75
	marzo	15,00	1,50	25,00
	abril	13,60	1,60	25,00
	mayo	14,00	2,00	50,00
	junio	14,67	2,00	25,00
	julio	14,80	1,60	62,50
	agosto	14,00	1,50	25,00
	septiembre	15,00	1,50	50,00
	octubre	14,80	1,60	43,75
	noviembre	13,75	3,00	25,00
	diciembre	15,00	1,33	25,00



#### Equipo: Compresor de tornillo 012016-2

Año	Mes	MTBF	MTTR	R
2020	enero	14,40	2,40	62,50
	febrero	13,00	3,00	43,75
	marzo	14,67	1,33	50,00
	abril	13,60	1,60	62,50
	mayo	14,00	2,00	25,00
	junio	15,00	1,33	43,75
	julio	14,40	1,60	62,50
	agosto	13,00	1,50	62,50
	septiembre	14,67	2,00	25,00
	octubre	14,20	1,60	43,75
	noviembre	13,00	2,25	43,75
	diciembre	14,67	1,50	50,00
2021	enero	14,20	2,40	25,00
	febrero	13,00	1,50	43,75
	marzo	14,67	1,50	50,00
	abril	14,80	1,60	25,00
	mayo	14,50	3,00	25,00
	junio	14,50	1,33	62,50
	julio	14,40	2,40	43,75
	agosto	13,00	1,50	50,00
	septiembre	14,50	1,50	62,50
	octubre	14,80	1,60	25,00
	noviembre	13,00	3,00	43,75
	diciembre	14,50	1,00	62,50



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Sistema tribológico para mejorar la confiabilidad de compresores de tornillo en plantas de refrigeración industrial.", cuyo autor es ABANTO BAZAN RONALD IVAN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 06 de Diciembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO <b>DNI:</b> 17897692 <b>ORCID:</b> 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 15-12- 2022 08:32:06

Código documento Trilce: TRI - 0475489