



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Propuesta de mejora para incrementar la disponibilidad en unidades compresoras mediante dos pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Standard Work, en una planta de producción embotelladora de bebidas no alcohólicas

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR(ES)

Terrones Campos, Willy Enrique	0000-0002-0406-3960
Marin Marin, Jose Yoel	0000-0003-1566-5219

ASESOR(ES)

Velásquez Costa, José Antonio	0000-0002-7761-8517
-------------------------------	---------------------

Lima, 15 de noviembre de 2023

Dedicatoria

A Dios, quien nos guía siempre por la senda del bien y nos brinda la fortaleza necesaria para continuar en los momentos complicados de esta larga etapa académica, a la familia, por estar siempre apoyando incondicionalmente en todo momento, a los asesores por brindarnos la sabiduría y vasta experiencia para mejorar siempre, poder prosperar y ser mejores personas en la vida.

RESUMEN

El presente proyecto toma como tema fundamental la mejora de procesos para incrementar la disponibilidad en unidades compresoras de amoníaco a través de dos pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Standard Work, en una compañía dedicada a producción, la distribución y la venta de bebidas no alcohólicas. Dentro de los diversos procesos que tiene la empresa, nos centramos en el proceso productivo de envasado, en el cual se tendrá mayor énfasis la investigación. Se realizaron análisis que nos permitieron diagnosticar cuantitativamente el problema central, así como, los motivos y las causas raíz que lo originan. El diagnóstico nos indica que el exceso de paradas no planificadas y la falta de estandarización en las actividades operativas de mantenimiento causan el problema fundamental de esta investigación, este problema, esta direccionado a ser resuelto por medio de la propuesta de dos pilares del Mantenimiento Preventivo Total (TPM), el mantenimiento preventivo y el de calidad - predictivo, adicionalmente la estandarización de las actividades por medio de la aplicación del Standard Work. Adicionalmente, se desarrollarán los flujos de caja económico, para la viabilidad del proyecto considerando los criterios de evaluación de proyecto, tales como el VAN (Valor Actual Neto), el TIR (Tasa Interna de Retorno), el B/C (Beneficio / Costos), Período de Recuperación de la inversión (Pay Back o PRD). Finalmente, se cierra la investigación con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Palabras clave: Mantenimiento Productivo Total (TPM), Standard Work, Herramientas Lean Manufacturing

ABSTRACT

The main theme of this project is the improvement of processes to increase the availability of ammonia compressor units through two pillars of Total Productive Maintenance (TPM) and Standard Work, in a company dedicated to the production, distribution and sale of non-alcoholic beverages. Within the various processes that the company has, we focus on the packaging production process, in which research will be more emphasized. Analyses were carried out that allowed us to quantitatively diagnose the central problem, as well as the reasons and root causes that originate it. The diagnosis indicates that the excess of unplanned shutdowns and the lack of standardization in the operational maintenance activities cause the fundamental problem of this research, this problem, is aimed at being solved through the proposal of two pillars of Total Preventive Maintenance (TPM), preventive maintenance and quality-predictive maintenance. Additionally, the standardization of activities through the application of Standard Work. Additionally, the economic cash flows will be developed for the viability of the project considering the project evaluation criteria, such as NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return), B/C (Benefit/Costs), Pay Back Period (PRD). Finally, the research closes with conclusions, recommendations, bibliographic references, and appendices.

Keywords: Total Productive Maintenance (TPM), Standard Work, Lean Manufacturing Tools

u201715625_Terrones Campos, Willy Enrique_Propuesta de mejora para incrementar la disponibilidad en unidades compresoras mediante dos pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Standard Work,

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	9 %	2 %	7 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	4 %
2	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1 %
4	www.cien.adexperu.org.pe Fuente de Internet	1 %
5	dspace.udla.edu.ec Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana, UPB,UPB Trabajo del estudiante	<1 %
7	Submitted to University of Melbourne Trabajo del estudiante	<1 %

Tabla de contenido

1. Capítulo I – ANTECEDENTES DEL PROYECTO	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1 La Industria en el Mundo.....	1
1.1.2 La Industria en el Perú.....	2
1.2 Marco Teórico	3
1.2.1 Mantenimiento productivo total TPM	3
1.2.2 Standard Work.....	5
2. Capítulo II – PROBLEMÁTICA DE LA ORGANIZACIÓN	6
2.1 Descripción de la organización.....	6
2.2 Identificación del problema	8
2.3 Análisis de las causas	9
2.4 Planteamiento de objetivos.....	12
3. Capítulo III – PROPUESTA DE INGENIERÍA	13
3.1 Vinculación de causa con la solución.....	13
3.2 Diseño detallado de la solución	14
3.3 Diseño de indicadores:.....	20
3.4 Consideraciones para la implementación:	21
4. Capítulo IV – RESULTADOS DEL PROYECTO	23
4.1 Validación funcional.....	23
4.2 Evaluación del impacto económico.....	26
4.3 Evaluación de impactos no económicos	28
CONCLUSIONES.....	29
RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS	31
Anexos.....	33

Lista de Tablas

Tabla 1	Disponibilidad por compresor y promedio general	8
Tabla 2	Cuadro resumen de tiempos	10
Tabla 3	Confiabilidad de unidad compresora	10
Tabla 4	<i>Cuadro resumen de tiempos - Causa 2</i>	11
Tabla 5	Disponibilidad actual calculada	20
Tabla 6	Métricas de evaluación funcional para la propuesta (AS IS Vs TO BE)	21
Tabla 7	Estructura de inversión del proyecto	21
Tabla 8	Cronograma tentativo de la propuesta	22
Tabla 9	Resultados MTBF después de la mejora	23
Tabla 10	Distribución de resultados indicador MTBF después de la mejora	23
Tabla 11	Resultados MTTR después de la mejora	24
Tabla 12	Distribución de resultados indicador MTTR después de la mejora	24
Tabla 13	Comparación de escenarios AS IS vs TO BE	25
Tabla 14	Cálculo de la tasa de descuento COK	26
Tabla 15	Flujo de caja del proyecto de implementación TPM y Standard Work	27
Tabla 16	Criterios de evaluación del proyecto	27

Lista de Figuras

Figura 1	Ventas del mercado mundial bebidas no alcohólicas (Miles de Mill.US\$)	1
Figura 2	Análisis Financiero por Industria de bebidas carbonatadas - 2021.....	2
Figura 3	Reporte de producción de bebidas no alcohólicas y aguas	2
Figura 4	Pilares fundamentales del TPM	4
Figura 5	Unidad compresora de amoniaco MAYEKAWA.....	6
Figura 6	Mapa de procesos enfoque mantenimiento Continental Lindley	7
Figura 7	Diagrama de entrada y salida del proceso de embotellado	8
Figura 8	Árbol de problemas propuesto	9
Figura 9	Tiempo promedio entre reparación	11
Figura 10	Resultados Prueba Anova - Tukey.....	12
Figura 11	Gráfica de Intervalos de Maquinistas.....	12
Figura 12	Árbol de objetivos.....	13
Figura 13	Distribución de artículos por herramientas de solución.....	14
Figura 14	Esquema del pilar TPM de mantenimiento preventivo.....	15
Figura 15	Implementación de Mantenimiento Predictivo	17
Figura 15	Esquema de Standard Work.....	19
Figura 16	Resultados tiempo estandarizado en lubricación después de la mejora.....	24

Anexos

Anexo 1: Distribución de tiempos por componentes - causa raíz 1	34
Anexo 2: Distribución de tiempos por componentes - causa raíz 2	35
Anexo 3: Distribución de tiempos por maquinista – causa raíz 3	36

1. Capítulo I – ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La industria de bebidas no alcohólicas se caracteriza por una intensa competencia entre las tradicionales bebidas carbonatadas, jugos y nuevas alternativas como el té y las aguas saborizadas. Por otra parte, pese a que existe una mayor conciencia sobre el perjuicio que estas bebidas causan a la salud, se contempla que este hecho no se traduce en una disminución de bebidas en el mundo. A continuación, se realiza una breve reseña en el sector de bebidas no alcohólicas en el mundo y en el Perú.

1.1 Antecedentes

1.1.1 La Industria en el Mundo

El mercado de bebidas no alcohólicas incluye segmentos de refrescos, agua embotellada y jugos. En 2022, las ventas globales de bebidas no alcohólicas alcanzarían los US\$ 1,253 mil millones de dólares, con un crecimiento promedio anual de 8%. Se espera que al 2025 el sector alcance US\$ 1,577 mil millones, con un crecimiento promedio anual de 8% entre 2022 y 2025. (Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales [CIEN], 2022, párr. 1).

Figura 1

Ventas del mercado mundial bebidas no alcohólicas (Miles de Mill.US\$)



Nota. La infografía muestra la tendencia de ventas de bebidas no alcohólicas. De “Reporte de tendencias bebidas no alcohólicas julio 2022”, por CIEN, 2022 ([chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglcfindmkaj/https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2022/08/CIEN_RT_Julio_2022.pdf](https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2022/08/CIEN_RT_Julio_2022.pdf)).

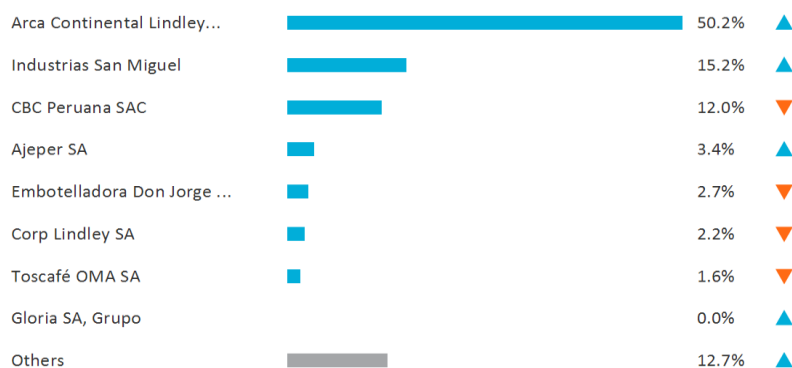
1.1.2 La Industria en el Perú

El sector de bebidas carbonatadas cuenta con crecimiento dentro de la manufactura en el país, la empresa embotelladora de bebidas no alcohólicas es un claro ejemplo de esto, siendo liderado con una empresa y su amplia gama de productos.

Figura 2

Análisis Financiero por Industria de bebidas carbonatadas - 2021

% de participación (NBO) - Volumen fuera de comercio - 2021

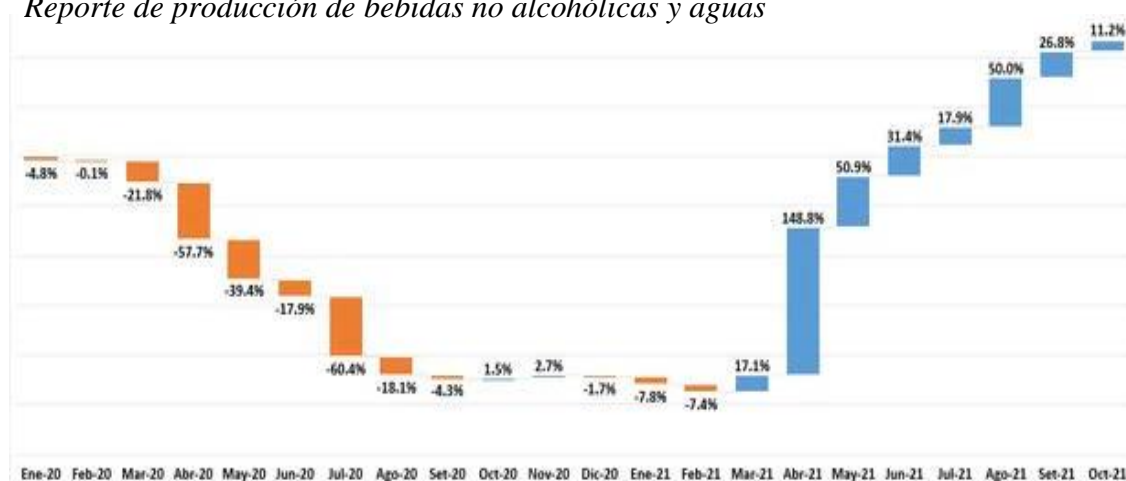


Nota. Información brindada por la empresa Arca Continental – Lindley.

Se puede ver que la producción de bebidas no alcohólicas y de agua, tiene tendencia al crecimiento considerando un 11.2% en la primera mitad del año 2021, y un incremento de enero a octubre del 23% de ese mismo año.

Figura 3

Reporte de producción de bebidas no alcohólicas y aguas



Nota. Indicadores indirectos de la tasa de utilización de la capacidad del sector manufacturero – Manufactura no primaria – Alimentos y bebidas gaseosa y agua. Información brindada por la empresa Arca Continental – Lindley.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Mantenimiento productivo total TPM

El TPM es un método de herramienta encaminado a mantener la maquinaria y equipo utilizado en procesos productivos, tanto de bienes y servicios en óptimas condiciones. Cumplir o superar las expectativas del cliente. Además, se esfuerza por reducir los residuos, reducir el tiempo de reposo de las máquinas para la mejora, se centra en la planificación del mantenimiento de los equipos, optimizando la eficiencia y el rendimiento a por medio de mejora, mantenimiento preventivo y predictivo. En otras palabras, se puede decir que el Mantenimiento productivo total, es la resultante del esfuerzo, el trabajo en conjunto, la comunicación a todo nivel, la tecnología puesta y el conocimiento, sostienen (Díaz-Reza et al., 2019).

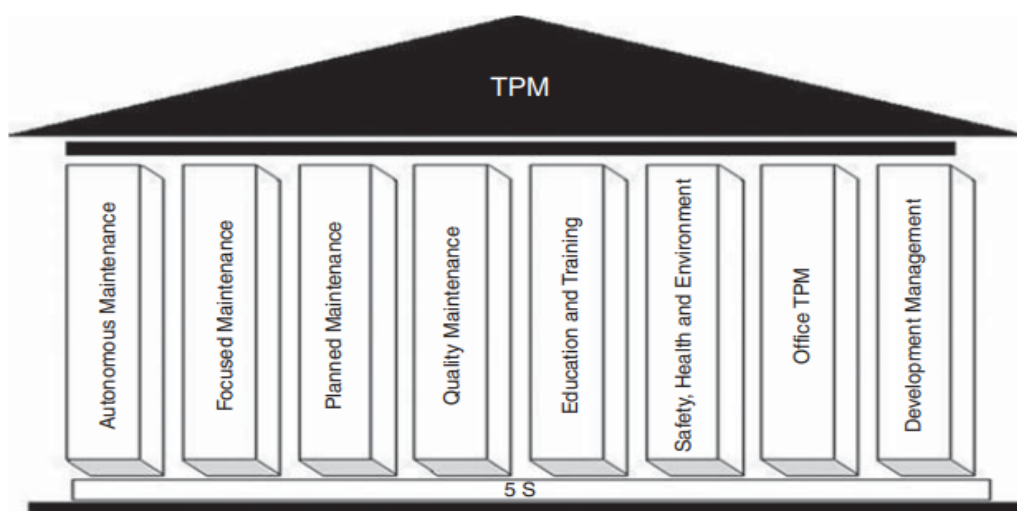
La meta es aminorar a valores mínimos el mantenimiento no planificado y el de emergencia, de acuerdo con Paropate y Sambhe (2020). El Mantenimiento Productivo Total, es un sistema que toma en conjunto a la compañía, que permite mantener, supervisar y mejorar los procesos y todos los activos de las empresas. Es un esfuerzo la inclusión y la participación de todos para construir e incrementar la calidad en el equipo y mejorar el OEE (Gupta & Khanna, 2019).

Pilares del TPM

La metodología de Mantenimiento Productivo Total tiene ocho pilares que se pueden utilizar para mejorar la producción, para conseguir las mejoras del rendimiento para fabricación, incluyen: mantenimiento autónomo, enfocado, planificado, de la calidad, educación y entrenamiento, oficina TPM, gestión del desarrollo, y seguridad salud y medio ambiente. Los ocho pilares del TPM, son presentados por Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM), tal como se muestra en imagen (Singh & Singh, 2019).

Figura 4

Pilares fundamentales del TPM



Nota. De “Justification of TPM pillars for enhancing the performance of manufacturing industry of Northern India”, por Singh & Singh, 2019 (<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-06-2018-0211/full/html>)

Con la base en los estudios previos en la literatura se identifican los ocho pilares de TPM, que incluyen 5S, mantenimiento autónomo (AM), Kaizen (KA), mantenimiento planificado (PM), mantenimiento de calidad (QM), educación y formación (ET), salud y seguridad (HS) y mejora focalizada (FI) (Al-Refaie et al., 2022).

Mantenimiento Preventivo

Es el tercer de los ocho pilares del TPM, el mantenimiento preventivo (PM) se define como un grupo de tareas a realizar en momentos específicos en una cantidad planificada para alargar el periodo de vida del equipo y mantener su desempeño óptimo, mejorar la disponibilidad y confiabilidad general del sistema. Dichas tareas son parte de un plan de mantenimiento elaborado para reducir el riesgo de tiempo de inactividad. El Mantenimiento preventivo incluye realizar actividades básicas por parte del operador, tales como, limpieza, inspección, lubricación de piezas, alineación y reemplazo de componentes de maquinaria y herramientas (Díaz-Reza et al., 2018).

Mantenimiento de calidad – predictivo

Es uno de los ocho pilares de la metodología del TPM, para alargar la vida útil de los equipos es necesario de la planificación del mantenimiento, con la finalidad para tener las condiciones de los equipos en un punto de cero daños o defectos. El mantenimiento predictivo permite mantener las necesidades de mantenimiento y su estado actual del dispositivo en reemplazo de en un cronograma programado. Este tipo de mantenimiento radica en tiempo (Poór et al., 2019a). El mantenimiento predictivo conocido también como Predictivo 4.0 es una técnica que se usa para evitar fallas de activos a través del análisis de datos para detectar posibles anomalías de producción para reconocer patrones y predecir problemas potenciales antes que se tenga el fallo (Poór et al., 2019b).

1.2.2 Standard Work

Es una herramienta que busca tener el mayor desempeño de una actividad o tarea con el mínimo índice de desperdicios. Las mejoras propuestas no se pueden desarrollar sin la estandarización del trabajo (Standard Work), en toda compañía se debe tener junto al mantenimiento continuo y la actualización de estándares a través del ciclo de Deming

PDCA planificar, hacer, verificar y actuar. Los directivos intermedios y supervisores ayudan absolutamente como línea de mando superior en una industria, y la conformación periódica es indispensable. Los procesos homogenizados dan a las empresas una plataforma desde la cual llevar a cabo la mejora continua. El Standard Work, proporciona formas de auditorías, respalda la resolución de los fallos e incluye a los miembros del equipo junto al desarrollo de actividades de Poka-yoke (Mor et al., 2018).

El trabajo estandarizado son tardes sin fecha de término ya que aminoran la variación con mejora de la calidad de los procesos y del producto (Vijay & Prabha, 2021).

2. 2. Capítulo II – PROBLEMÁTICA DE LA ORGANIZACIÓN

2.1 Descripción de la organización

Descripción del entorno

El sector manufacturero registra cuadros positivos en ventas, dedicada a la producción, almacenamiento con distribución de bebidas gaseosas, aguas, jugos isotónicos y los energizantes, se genera una mega planta embotelladora junto a una mayor inversión ejecutada. Tenemos como principal actuador del trabajo en mención para las unidades de compresoras de tornillo, marca MAYEKAWA. (04 unidades).

Figura 5

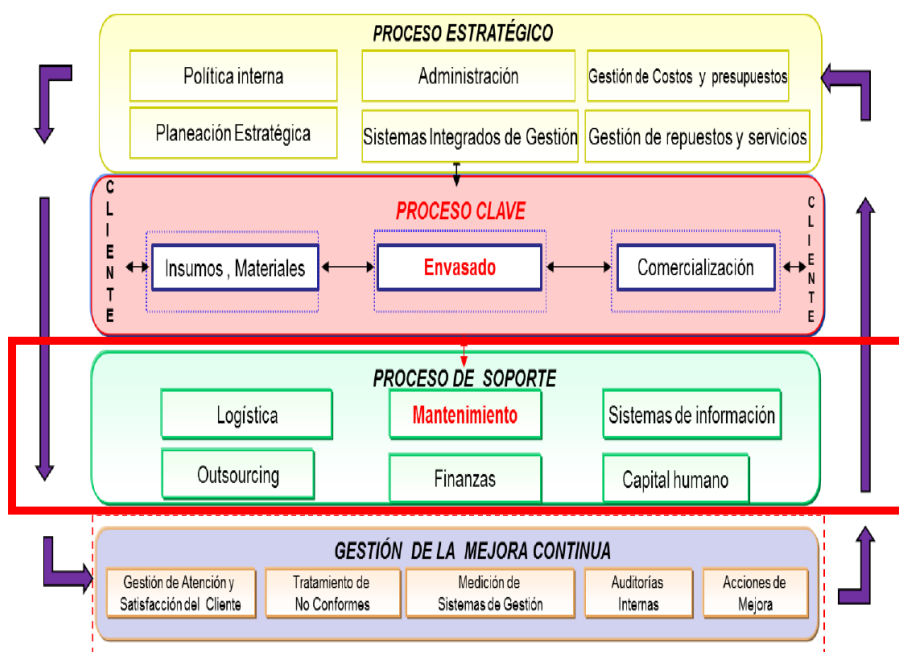
Unidad compresora de amoníaco MAYEKAWA.



Proceso: Los diagramas de procesos definidos en el sistema de gestión integrado basados en los principales pilares de la gestión de seguridad, medio ambiente y calidad constituyen el punto de referencia en gestión de procesos. Los procesos de creación y soporte de valor se estandarizan e implementan con base en el diagrama de flujo de la cadena de valor establecido.

Figura 6

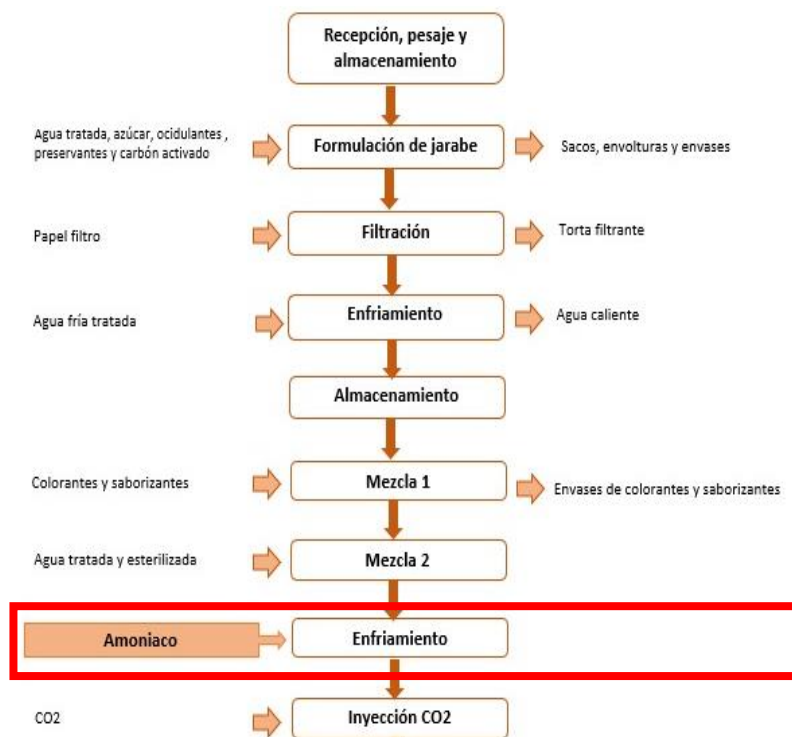
Mapa de procesos enfoque mantenimiento Continental Lindley



Nuestra mejora de propuesta se centra en el proceso de embotellado de bebidas no alcohólicas, específicamente en la etapa del sistema de enfriamiento a través del ingreso del amoníaco por medio de las unidades compresores.

Figura 7

Diagrama de entrada y salida del proceso de embotellado



2.2 Identificación del problema

En la Tabla 1, se presenta el promedio de la disponibilidad calculada actual de los cuatro compresores de amoníaco del área de mantenimiento, para el cálculo se ha considerado el indicador MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (Tiempo medio entre reparaciones).

Tabla 1

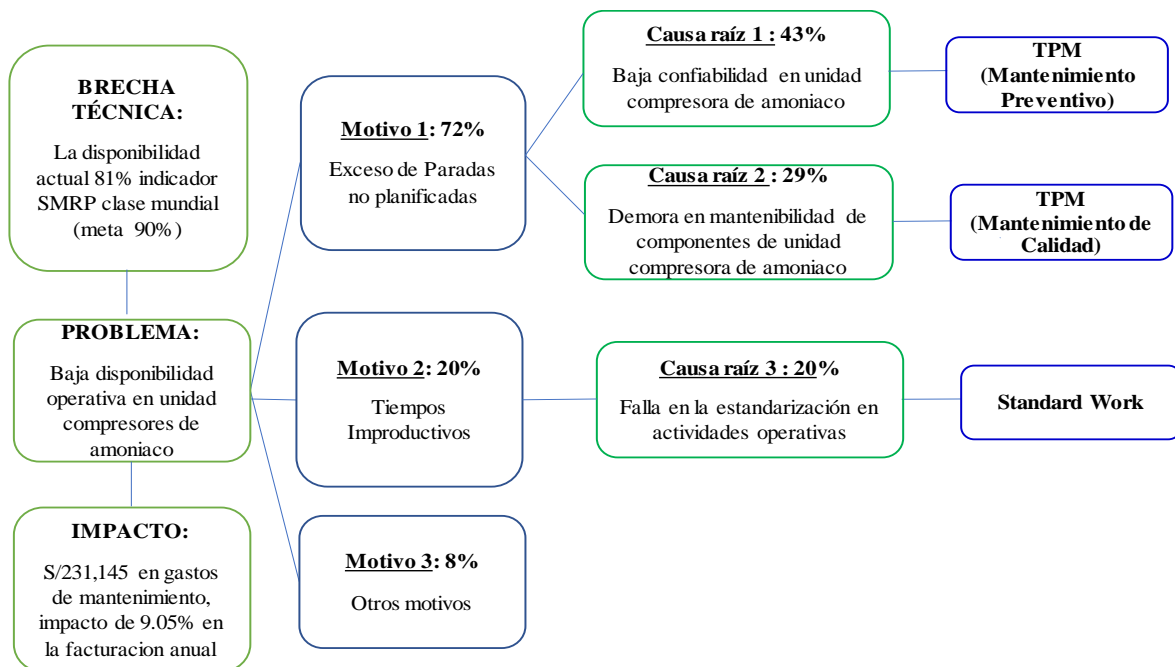
Disponibilidad por compresor y promedio general

EQUIPO COMPRESOR #01	79%
EQUIPO COMPRESOR #02	86%
EQUIPO COMPRESOR #03	82%
EQUIPO COMPRESOR #04	77%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO COMPRESORES	81%

Por lo que se obtiene un 81% comparado con el indicador SMRP de clase mundial con valores superiores al 90%, lo que nos da una brecha técnica de 9% y un impacto económico de S/ 231,145.81 esto representa un 9.05% de la facturación del período 2022.

Figura 8

Árbol de problemas propuesto



2.3 Análisis de las causas

Causa raíz 1: Baja disponibilidad de unidad compresora

Se evalúan los tiempos por componente de compresores de amoniaco (ver anexo 1). Asimismo, los datos del cuadro resumen son ingresados al software Minitab y a través de la distribución de Weibull se obtiene los valores del parámetro Beta ($\beta=6.2948$) con lo que se podrá determinar la confiabilidad por compresora.

Tabla 2*Cuadro resumen de tiempos*

MES	SM	CM	CE	AR
1	23.50	66.27	72.89	85.32
2	18.40	71.73	68.43	83.99
3	25.60	74.14	76.55	90.31
4	22.70	66.02	69.28	83.14
5	28.70	78.95	72.22	87.70
6	30.20	75.82	75.59	90.77
7	28.40	87.73	72.31	83.98
8	27.40	80.03	68.97	90.22
9	35.60	77.17	68.19	82.92
10	33.00	68.28	79.63	87.70
11	32.60	64.96	68.18	92.54
12	37.00	61.38	72.27	86.12
Total	343.10	872.48	864.51	1044.71

Tabla 3*Confiabilidad de unidad compresora*

Tiempo (hrs)	CM	SM	CE	AR	Confiabilidad
1	100%	100%	100%	100%	100%
2	100%	100%	100%	100%	100%
3	100%	100%	100%	100%	100%
4	100%	100%	100%	100%	100%
5	100%	100%	100%	100%	100%
6	80%	100%	100%	100%	80%
7	0%	100%	100%	100%	0%
8	0%	100%	100%	100%	0%
9	0%	100%	100%	100%	0%
10	0%	90%	100%	100%	0%
11	0%	0%	100%	100%	0%
12	0%	0%	100%	100%	0%

Causa raíz 2: Demora en mantenibilidad de componentes de unidad compresora

Se evalúan los tiempos por componente de compresores de amoniaco (**ver anexo 2**).

Asimismo, los datos del cuadro resumen son ingresados al software Minitab y a través de la distribución de Weibull se obtiene los valores del parámetro Beta ($\beta=0.4952$) con lo que se podrá determinar el tiempo promedio entre reparación.

Tabla 4*Cuadro resumen de tiempos - Causa 2*

MES	SM	CM	CE	AR
1	2.50	268.80	18.40	26.00
2	2.50	25.50	18.50	28.10
3	2.70	27.50	18.40	28.00
4	2.30	140.90	17.50	28.40
5	2.00	27.70	17.80	32.10
6	2.60	26.10	19.10	22.80
7	180.00	27.60	17.90	22.20
8	2.50	27.00	19.50	23.80
9	2.00	26.30	19.60	20.70
10	2.50	134.90	18.90	18.30
11	2.00	140.60	18.60	17.50
12	180.00	24.30	20.20	15.20
Total	383.60	897.20	224.40	283.10

Figura 9*Tiempo promedio entre reparación*

Tiempo (h)	SM	CM	CE	AR
3	100%	100%	0%	0%
6	100%	100%	0%	100%
9	100%	100%	0%	100%
12	100%	100%	0%	100%
15	100%	100%	0%	100%
18	100%	100%	0%	100%
21	100%	100%	4%	100%
24	100%	100%	38%	100%
27	100%	100%	99%	100%
30	100%	100%	100%	100%
33	100%	100%	100%	100%
36	100%	100%	100%	100%

Nota. Se observa que toma alrededor de 30h para tener el 100% de una reparación.

Causa raíz 3: Falla en la estandarización en actividades operativas

Para esta causa raíz se hace uso de la herramienta de ANOVA TUKEY del software Minitab, con el propósito de evidenciar la falta de similitud en los tiempos de trabajos de mantenimiento, para esto serán evaluados los tiempos por actividades del área considerando cinco maquinistas (**ver anexo 3**).

Figura 10

Resultados Prueba Anova - Tukey

ANOVA unidireccional: Maquinista 1; Maquinista 2; Maquinista 3; Maquinista 4; Maquinista 5

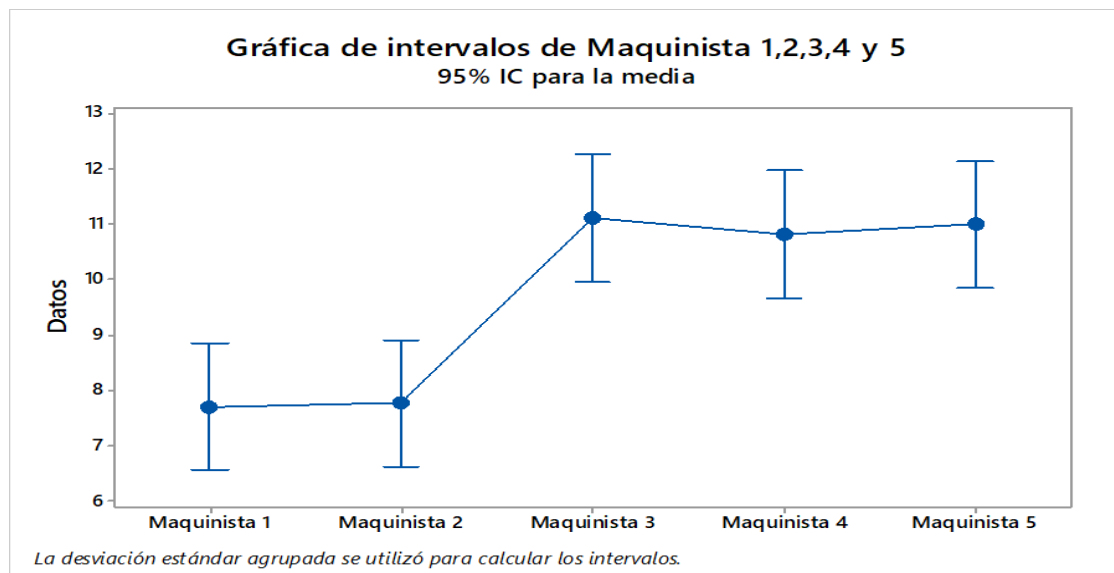
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	215.6	53.900	9.48	0.000
Error	80	454.8	5.685		
Total	84	670.4			

En la **Figura 11**, se muestra el gráfico de tiempos de los maquinistas por actividades, estos no son homogéneos, lo que fundamenta el problema identificado

Figura 11

Gráfica de Intervalos de Maquinistas



2.4 Planteamiento de objetivos

Objetivo General

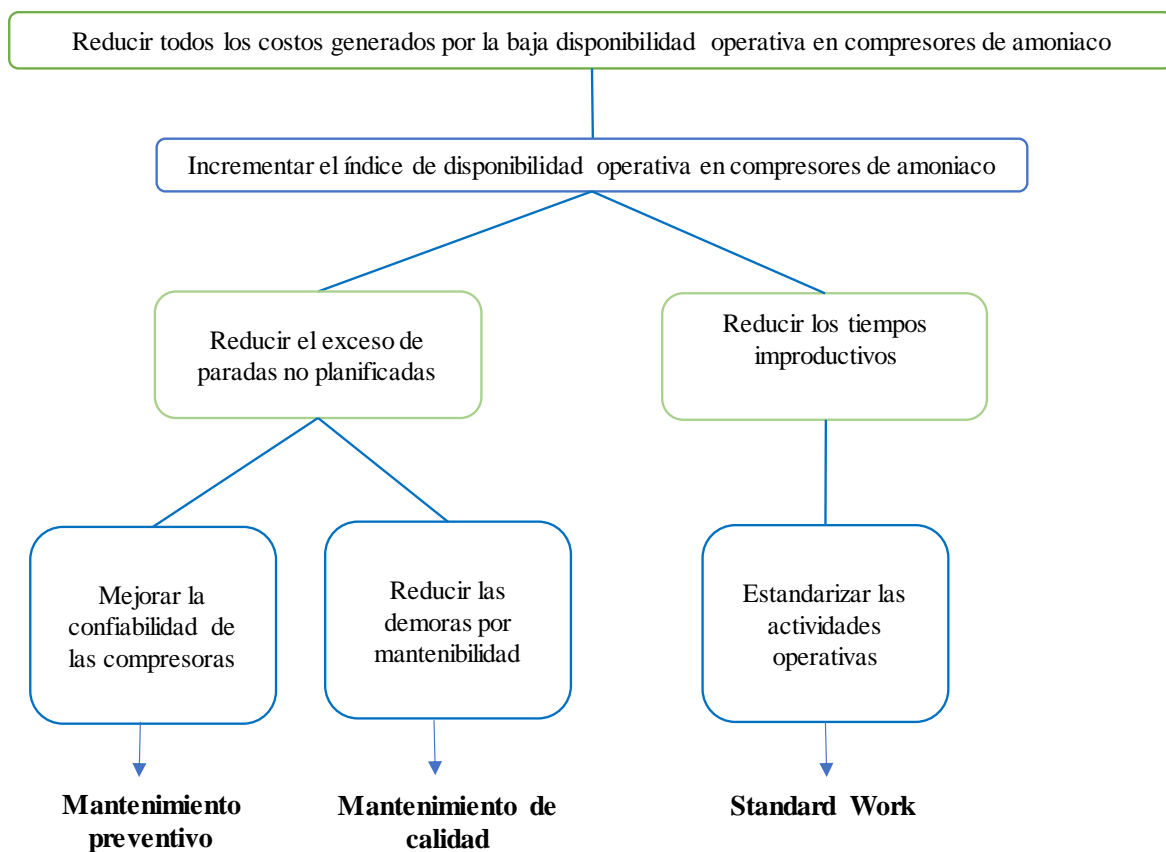
Implementar dos pilares del TPM y standard work, para incrementar la disponibilidad en unidades compresoras del sistema de refrigeración, con la finalidad de evitar sobrecostos asociados a las paradas no planificadas y tiempos improductivos

Objetivos Específicos

- Incrementar la confiabilidad de unidades compresoras de amoniaco
- Reducir los tiempos de mantenibilidad de componentes de unidad compresora de amoniaco
- Mejorar la estandarización de trabajo en actividades operativas del área de mantenimiento.

Figura 12

Árbol de objetivos



3. Capítulo III – PROPUESTA DE INGENIERÍA

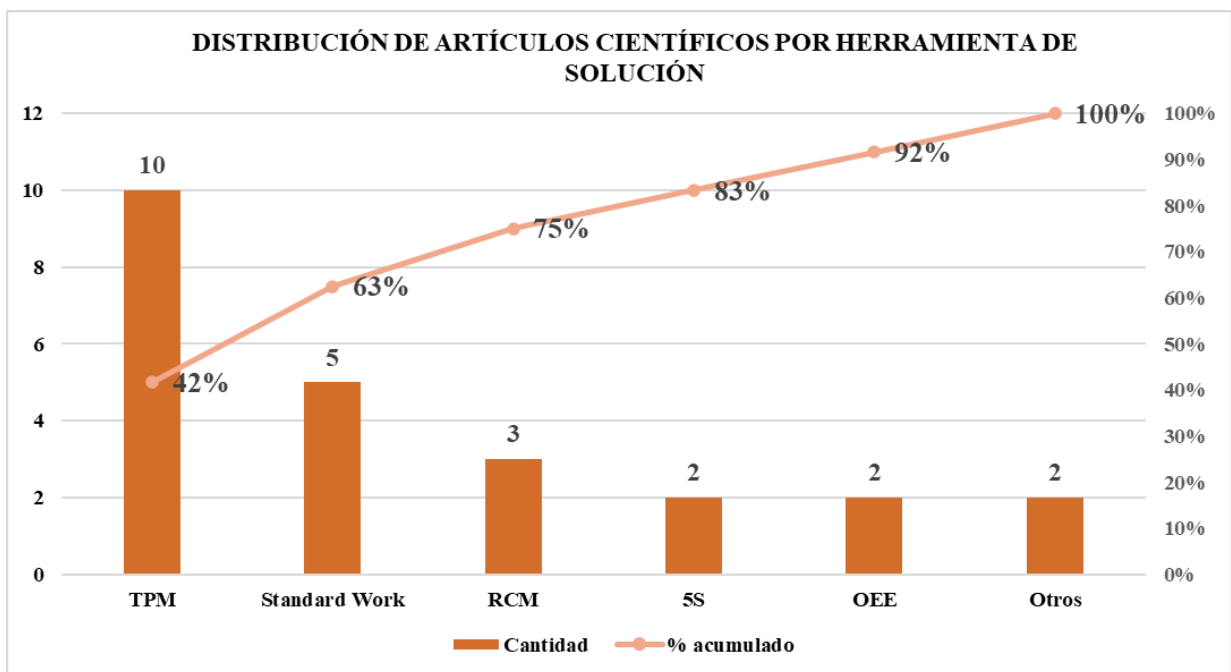
3.1. Vinculación de causa con la solución.

De acuerdo con la investigación el principal problema de la empresa se encuentra en la baja disponibilidad operativa de unidad compresores de amoniaco, con un valor de 81% en la disponibilidad calculada y se espera llegar a valores superiores al 90%. En la

revisión de la literatura se establece la separación de los artículos que tienen como principal problema la mejora de la disponibilidad a través de la reducción de las paradas no planificadas y la reducción de tiempos improductivos. Por lo que se ha priorizado los artículos científicos (papers) que tengan la aplicación del TPM y Standard Work en proceso e industrias similares. En la siguiente figura se ha distribuido los artículos por herramientas de solución, TPM y Standard Work, entre otros.

Figura 13

Distribución de artículos por herramientas de solución



3.2. Diseño detallado de la solución

3.2.1 Implementación del pilar de mantenimiento preventivo

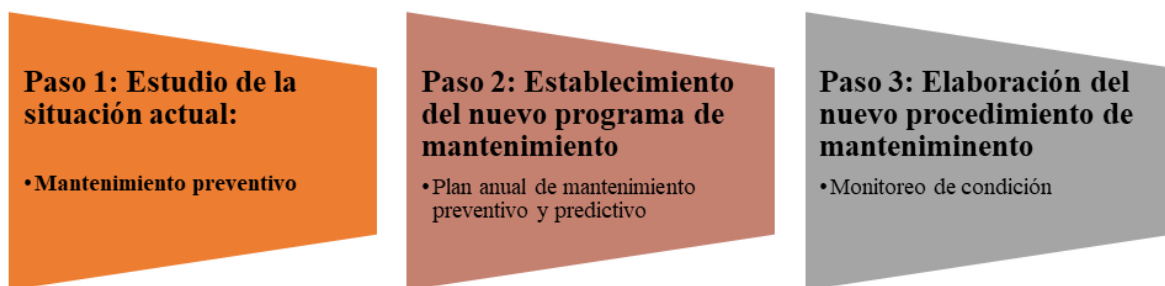
Se procede a ejecutar el mantenimiento preventivo, en base a las inspecciones y mantenimiento sistemático de averías en las unidades compresoras (manual de fabricante y ejecuciones de técnicas predictivas). Se implementa las inversiones logística y

capacitaciones del personal referente a técnicas predictivas, que permiten obtener el incremento de disponibilidad de unidades compresoras, con la finalidad de anticiparnos a las fallas prematuramente y no esperar que el evento suceda, sin afectar la parada de líneas de producción al no tener amoniaco disponible para envasado de bebidas no alcohólicas.

Los pasos del modelo propuesto son:

Figura 14

Esquema del pilar TPM de mantenimiento preventivo



3.2.2 Implementación del Mantenimiento Predictivo

Se procede a implementar el mantenimiento predictivo como la solución a la coyuntura, mencionar que se labora en detectar y prevenir las fallas repentinas y disruptivas del equipo. Se procede en las aplicaciones predictivas de técnicas siguientes:

Análisis de vibraciones: Se implementa mediciones vibraciones con equipo analizador SKF Microlog, tomando las amplitudes vibraciones en velocidad, envolvente de aceleración y su establecimiento de los Niveles de Alarma según normas de vibración vigente ISO 10816-3. Se controla amplitudes de 3 mm/s en operatividad promedio de motores y compresores de amoniaco, esto se realiza con el equipo operando en condiciones normales de carga.

Termografía Infrarroja: Se implementa las evaluaciones por termografía, usando equipo FLIR E40, el cual permite determinar la temperatura de una superficie con precisión,

usando el espectro infrarrojo, con valores de temperatura promedio en 90°C en zona descarga de unidad compresora.

Análisis dinámico de motores eléctricos: Se realiza mediciones dinámicas operativas a motores eléctricos con equipamiento Baker Dinamic, logrando determinar defectos como envejecimiento térmico, la contaminación química, los esfuerzos mecánicos durante los arranques, paradas, el uso de variadores de velocidad, desbalance de voltajes en la alimentación o presencia de armónicos en operatividad de equipamientos.

Análisis estático de motores eléctricos: Se realiza evaluación a los motores eléctricos sin operatividad (desconectados) con equipamiento de medición Baker Static durante la parada de planta, para determinar valores siguientes: prueba de resistencia óhmica, comparación con impulso de alto voltaje (Surge Testing), el desbalance entre fases por diferencia en número de vueltas y conexiones de contactos débiles en el alambre del motor.

Análisis de aceite lubricante: Se ejecuta en lubricación el muestreo de aceite a cada unidad compresora (4), enviando las muestras de aceite al laboratorio SGS, el cual bajo normas internacionales determina parámetros de calidad del aceite lubricante determinando: Análisis de las Propiedades de los fluidos (salud del lubricante), análisis de contaminación (del lubricante) y análisis de partículas de desgaste (de la máquina).

Alineamiento láser de ejes: Se realiza actividades de alineamiento al conjunto motor-compresor, para abordar los trabajos de alineación rotativa y geométrica más complejos, con equipamiento SKF TKSA 80. Asegurando y controlando un defecto común en equipamiento como el desalineamiento mecánico.

Inspección por videoscopia: Se procede a la revisión mediante técnica videos copia para evaluar zonas internas contaminadas y/o desgaste de motores eléctricos y compresora. Esta técnica se realiza con vides copio SKF TKES 10. La inspección se realiza a través de una

sonda de fibra óptica, que es introducida en el componente a inspeccionar, a través de una cavidad de difícil acceso.

Figura 15

Implementación de Mantenimiento Predictivo



3.2.3 Implementación del pilar del mantenimiento de la calidad

El pilar de mantenimiento de calidad tiene como objetivo asegurar condiciones de cero defectos. Esto nos permite evaluar las interacciones del proceso entre el material, las máquinas, la mano de obra y los métodos que podrían permitir que ocurran defectos. Aquí nos basamos en controlar los defectos de las reparaciones que se brindan, asegurando la

calidad de los repuestos y mano de obra en reparaciones. En la siguiente figura se muestra el esquema del pilar TPM de mantenimiento de la calidad, se consideran 4 pasos para la ejecución:

- **Paso 1:** Identificación de los defectos causados por la compresora
- **Paso 2** Control de parámetros de máquinas
- **Paso 3:** Estandarización de actividades claves
- **Paso 4:** Capacitación del personal en la máquina compresora

A continuación, se presenta el desarrollo de los pasos de este pilar:

Paso 1: Identificación de los defectos causados por la compresora: Se genera un análisis de Pareto de los defectos en causados por el mal funcionamiento de las compresoras, que son formas estructuradas de llegar a la verdadera razón por la que ocurre el problema. Todos participan en la generación desde la jefatura hasta operaciones en el sistema de refrigeración de amoniaco.

Paso 2 Control de parámetros de máquinas: Los parámetros de las máquinas, por otro lado, se controlan regularmente. En cada turno inicial, el maquinista tiene que verificar un conjunto completo y predeterminado de parámetros para cada estación de trabajo en su línea de producción. Los datos se registran meticulosamente, pero nadie pudo responder si los números alguna vez habían sido útiles en un análisis o para probar que las máquinas funcionaban en su forma habitual cuando surgían problemas de calidad.

Paso 3: Capacitación del personal en la máquina compresora: Cada línea tiene asignado un grupo de empleados con grupos que tiene la responsabilidad de su línea y un supervisor. Los supervisores tienen la responsabilidad absoluta de las líneas, por lo que

actualmente apoyan a los maquinistas en sus nuevas tareas. Tienen la tarea de educar hasta el punto de que luego puedan transmitir el conocimiento a los otros miembros de la empresa.

3.2.3 Implementación del Standard Work

Para la elaboración de la última herramienta se presenta en la siguiente figura el esquema para su elaboración:

Figura 16

Esquema de Standard Work

	Paso 1: Identificación de los parámetros actuales del proceso
Standard Work	Paso 2: Priorización de causas de fallas
	Paso 3: Estandarización de los procesos claves

Paso 1: Identificación de los parámetros actuales del proceso: La empresa cuenta con 10 líneas de producción. El Standard Work se desarrolla como una herramienta tanto para archivar las cifras digitalmente como para proporcionar cálculos y análisis con un esfuerzo adicional al usar los mismos estímulos visuales que en la producción para permitir una fácil evaluación. Al seguir el estándar anterior, los errores se informarán correctamente y se tendrá la oportunidad de desarrollar soluciones para la recurrencia cero de problemas importantes.

Paso 2: Priorización de causas de fallas: Para realizar la priorización de las causas de las fallas e identificar las necesidades de estandarización se realiza una inspección de las compresoras a través de la ejecución de la siguiente secuencia:

- Lubricación inadecuada de rodamientos y partes móviles.

- Inspección de oxidación y corrosión en estructura de componentes
- Evaluación de conexión flojo o con desgaste
- Evaluación de correas sueltas y con desgaste
- Inspección de filtros de aire, limpieza y control de cambio
- Evaluar fugas y altas temperaturas, sumado a ruido o vibración

Paso 3: Estandarización de los procesos claves: La compresora funciona con lubricante original y proporcionado por fabricante. Sin embargo, hay muchos tipos de compresores y es probable que cada fabricante recomiende lubricantes que se hayan usado en un banco de pruebas y en instalaciones de usuario controladas.

3.3 Diseño de indicadores:

En este estudio se han aplicado la preparación, se trabaja en eliminar el deterioro forzado y mantener las condiciones básicas con mantenimiento preventivo.

Se evalúa los tiempos entre medio de fallas (MTBF) y los tiempos entre medio de reparaciones (MTTR) de cada unidad compresora. Bajo la formulación de disponibilidad se permite evaluar el indicador previo a mejoras en concepto de las 04 unidades compresoras de amoniaco.

Tabla 5

Disponibilidad actual calculada

CALCULO DE DISPONIBILIDAD DE COMPRESOR DE AMONIACO	
EQUIPO COMPRESOR 01	88%
EQUIPO COMPRESOR 02	94%
EQUIPO COMPRESOR 03	93%
EQUIPO COMPRESOR 04	92%

DISPONIBILIDAD PROMEDIO

81%

La *disponibilidad* se considera como un importante indicador clave de rendimiento en las fábricas. El objetivo es obtener una forma coherente de medir la eficacia del modelo y otras iniciativas al proporcionar un marco general para medir la eficiencia de la producción. La disponibilidad se calculó para un turno en el escenario inicial o AS IS y en el escenario propuesto o TO BE.

Los resultados posteriores a implementación fueron canalizados por datos de SM (Componente motor), CM (Componentes mecánicos), CE (Componentes eléctricos) y AR (Accesorios y repuestos). Estas métricas son procesadas en software minitab para base de distribución Weibull. Se tiene valores siguientes a posterior implementación:

Tabla 6

Métricas de evaluación funcional para la propuesta (AS IS Vs TO BE)

Factor medido	AS IS	TO BE
Disponibilidad	81%	91%

3.4. Consideraciones para la implementación:

3.4.1 Presupuesto de la solución: Gestión de recursos

La implementación requerirá que la empresa cuente con personas y recursos para ejecución de la implementación TPM y Standard Work. En la siguiente **Tabla 7**, se muestra el detalle de la estructura de la inversión.

Tabla 7

Estructura de inversión del proyecto

Herramienta	Equipos / Actividad	Costo
--------------------	----------------------------	--------------

	Colector de vibraciones SKF	S/7,987.00
	Cámara termográfica Flir	S/7,758.00
	Alineador de ejes laser	S/7,329.00
	Endoscopio Ominscan	S/8,065.00
TPM Mantenimiento Preventivo-Predictivo	Análisis de aceite	S/278.00
	Herramientas de lubricación	S/4,209.00
	Herramientas de mantenimiento	S/4,736.00
	Elaboración de procedimientos	S/2,876.00
	Personal técnico predictivo	S/3,278.00
	Capacitación externa MAYEKAWA	S/3,500.00
TPM Mantenimiento de la Calidad	Herramientas de precisión	S/3,785.00
	Elaboración de procedimientos	S/2,500.00
	Insumos generales	S/1,000.00
	Capacitación externa MAYEKAWA	S/3,492.00
Standard Work	Elaboración de procedimientos	S/2,305.00
	Insumos generales	S/1,132.00
TOTAL INVERSIÓN DE LA MEJORA PROPUESTA		S/64,230.00

3.4.2 Cronograma de desarrollo: Gestión del tiempo

Tabla 8

Cronograma tentativo de la propuesta

Pilar	Descripción de Actividad		Periodo de Tiempo del Cronograma											
			Jul-23	Ago-23	Set-23	Oct-23	Nov-23	Dic-23	Ene-24	Feb-24	Mar-24	Abr-24	May-24	Jun-24
Fase I Diagnóstico	Paso 1: Gráficos de control de procesos del mantenimiento	Control de indicadores MTBF - MTTR - Tiempo Standard	█	█	█	█								
		Definición weibull en software minitab	█	█	█	█								
	Paso 2: Cálculo de confiabilidad en unidades compresoras	Entrega de resultados a Gerencia de Planta			█	█	█							
		Capacitación de mantenimiento predictivo			█	█	█							
	Paso 3: Implementación del mantenimiento predictivo	Capacitación de mantenimiento predictivo			█	█	█	█	█					
		Inducción y visita proveedores			█	█								
Fase II Implementación	Pilar del mantenimiento Preventivo (Predictivo)	Adquisición de equipamientos			█	█	█							
		Capacitación y entrenamiento personal tecnico predictivo				█	█							
	Pilar de mantenimiento de Calidad	Capacitación externa pilar Mantenimiento Calidad				█	█							
		Ejecución de planes y acciones resultantes					█	█						
	Implementación Standard Work	Definición de procesos a estandarizar					█	█						
		Ejecución de Procedimiento de trabajo seguro						█	█					
Fase III Mejora Continua	Procesos de mantenimiento preventivo SAP y monitoreo de condición en campo (vibraciones, termografía, análisis de aceite)	Control de resultados en pruebas predictivas						█	█					
		Generar tendencia en software Ireliability				█	█	█	█	█	█	█	█	
	Gestión de calidad en mantenibilidad de unidades compresoras	Control mantenimiento y logistica				█	█	█	█	█	█	█	█	
		Colocar cartillas y procedimientos en zona de trabajo				█	█							
	Instructivos de actividades en unidades compresoras	Capacitación a supervisión y personal mantenimiento operaciones				█	█							
		Aprobación gerencial en procedimientos				█	█							

4. 4. Capítulo IV – RESULTADOS DEL PROYECTO

4.1. Validación funcional

Baja confiabilidad en unidad compresora de amoniaco: Como evidencia referida a causa raíz 1 (MTBF), se presenta los tiempos evaluados tras implementación de mejoras en un periodo de 4 meses a posterior de implementación:

Tabla 9

Resultados MTBF después de la mejora

MESES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4
PRE-IMPLEMENTACION	247.9	242.5	266.6	241.1
POST-IMPLEMENTACION	86	110.47	100	86
VALOR % VARIABLE	34.7	45.6	37.5	35.7

Tabla 10

Distribución de resultados indicador MTBF después de la mejora

MTBF (Tempo Medio Entre Fallas) Hrs			
	AS IS	TO BE	
	AR-SM	343.1	805.2
CÓDIGO	AR-CM	872.5	1797
	AR-CE	864.5	1118
	AR-AR	1044.7	1353.8
	TOTAL, DE HORAS	3124.8	5074

Se logra incrementar el tiempo medio entre fallas en un 61.5%, con la aplicación de mantenimiento preventivo – predictivo en sistema de refrigeración (unidades compresoras de amoniaco).

Demora en mantenibilidad de componentes de unidad compresora de amoniaco: Como evidencia referida a causa raíz 2 (MTTR), se presenta los tiempos evaluados tras implementación de mejoras en un periodo de 4 meses a posterior de implementación:

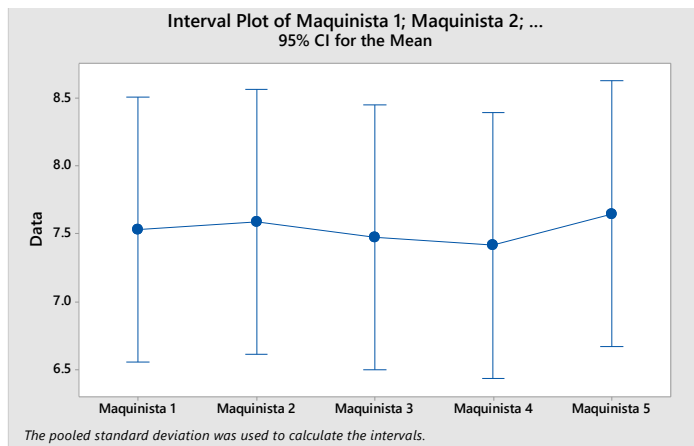
Tabla 11*Resultados MTTR después de la mejora*

MES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4
PRE-IMPLEMENTACION	315.7	74.6	76.6	189.1
POST-IMPLEMENTACION	55.8	58.7	60.7	68.1
VALOR % VARIABLE	17.7	78.7	79.2	36

Tabla 12*Distribución de resultados indicador MTTR después de la mejora*

MTTR (Tiempo Medio entre Reparaciones) Hrs			
		AS IS	TO BE
CÓDIGO	AR-SM	383.6	123.4
	AR-CM	897.2	379.3
	AR-CE	224.4	109.4
	AR-AR	283.1	155
TOTAL DE HORAS		1788.3	767.1

Falla en la estandarización en actividades operativas - Como evidencia referida a causa raíz 3, se presenta los tiempos evaluados tras implementación de mejoras en maquinista tras aplicaciones de procedimientos, entrenamientos y capacitaciones. En resultado por evaluación ANOVA TUKEY:

Figura 17*Resultados tiempo estandarizado en lubricación después de la mejora*

Este diseño también trabaja sobre los defectos de calidad producido en la compresora, las probabilidades de riesgo de defectos y sus rangos, que han sido eliminados por la implementación del pilar de mantenimiento de la calidad, antes de comenzar con los pasos del modelo, se determinaron un total de 3 puntos de riesgos en los pasos de preparación.

Tabla 13

Comparación de escenarios AS IS vs TO BE

Variables por comparar	AS IS	TO BE
Paradas no planificadas	2416	1143
Tiempo total de mantenimiento	2979	1255
Disponibilidad	81.11%	91.06%

De la tabla resumen mostrada, se tiene la propuesta de implementación, y el impacto positivo que posee, se puede evidenciar la variación positiva con el incremento de la disponibilidad actual reduciendo las paradas no planificadas en los compresores del área, nuestra cercanía de resultados en ambos escenarios, con la situación real es positiva. Consideramos estos resultados, que nuestra propuesta en la realidad nos brindaría resultados cercanos a los resultados obtenidos en la simulación lo que se vería reflejado en impactos económicos para la compañía. En los siguientes puntos se evalúa los contenidos económicos y financieros del proyecto de investigación.

4.2. Evaluación del impacto económico

Desarrollo de los flujos económico

En este punto del proyecto se desarrolla el flujo de caja económico, lo que nos va a permitir tomar decisiones de viabilidad considerando los criterios de evaluación de proyecto, tales como el VAN (Valor Actual Neto), el TIR (Tasa Interna de Retorno), B/C (Beneficio / Costos), Período de Recuperación de la inversión (PayBack o PRD). Este flujo esta enfocados en el margen de ganancias de la propuesta de mejora en comparación del escenario actual. Para desarrollarlo se necesitan datos para los cálculos matemáticos tales como: Margen de cantidad producida, Inversión de la implementación, costo operacional, precio de venta, y cálculo de la tasa de descuento, como se puede ver a continuación.

$$COK: Rf + B (Rm - Rf) + PRP$$

Rf: Tasa libre de riesgo (T-bond)

B: factor de riesgo (beta)

Rm: Tasa de riesgo de mercado (S&P 500).

PRP: Prima de riesgo país (BCRP, EMBIG Perú).

Para nuestro caso, calculamos la tasa de descuento COK, considerando los siguientes datos:

Tabla 14

Cálculo de la tasa de descuento COK

Cálculo CAPM - COK		
Rf	Tasa libre de riesgo	4.70%
β	Beta no apalancada	3.05
	Beta apalancada	
	T	29.50%
	D/C	2.45
Rm	Prima de riesgo	5.82%
Rpaís	Riesgo país	2.06%
COK		10.18%

Tabla 15*Flujo de caja del proyecto de implementación TPM y Standard Work*

Periodo	Año 0	Año 2023	Año 2024	Año 2025	Año 2026	Año 2027
Ingresos		0	0	0	0	0
Ahorros		38884	40167	41332	42448	43509
Costos fijos		10270	10270	10270	10270	10270
Costos variables		0	0	0	0	0
Depreciación		-12846	-12846	-12846	-12846	-12846
Utilidad Operativa		15768	17051	18216	19332	20393
Participaciones de utilidades		3034	2762	2878	2990	3096
Utilidad antes de impuestos		18802	19813	21094	22322	23489
Impuesto a la Renta		8054	7333	7642	7938	8220
(+) Depreciación		12846	12846	12846	12846	12846
Flujo Efectivo Neto		23594	25326	26298	27230	28115
Inversión de la propuesta	-64230					
Flujo Inversiones	-64230					64230
Flujo Efectivo Libre	-64230	23594	25326	26298	27230	92345

En base a estos cálculos, se calculan los criterios de evaluación de proyecto, como VAN, el TIR, el Beneficio/ Costo (B/C), Payback (PRD), con estos valores nos permitirá la toma de decisiones:

Tabla 16*Criterios de evaluación del proyecto*

VAN	S/73,057.05
TIR	40%
Beneficio/ Costo	S/2.14
Payback (PRD)	2.60 años
Decisión	Se Acepta

De los cálculos, se obtuvo un VAN equivalente a S/ 73,057.05 una TIR de 40%, también un Beneficio / Costo de S/2.14 y un Payback de 2.60 años. Con estos valores positivos se acepta la propuesta del proyecto y se procede con la ejecución.

4.3. Evaluación de impactos no económicos

En este punto, comenzamos a evaluar los diversos impactos no económicos que la implementación puede causar.

- **Entorno tecnológico:**

La implementación del proyecto permite a la empresa la aplicación en alta dirección, línea de mando y medio; así como también en la mano de obra, el interés y conocimiento de nuevas tecnologías modernas aplicadas al sector y/o soluciones de ingeniería. Asimismo, la implementación del TPM genera nuevas herramientas y equipos actualizados para estar constantemente en la mejora continua – Kaizen.

- **Entorno socio cultural**

La empresa cuenta con una gestión de sustentabilidad, cuya estrategia se basa en desarrollo sostenible, con los aspectos económicos, ambientales y sociales en conjunto, permitiendo generar valor a los grupos de interés. Presenta un Sistema Integrado de Gestión (SIG) y en la Política de Sustentabilidad generan desarrollo

- **Entorno Político – Legal**

La inversión en cualquiera de sus formas genera desarrollo para el país, logrando incrementar el Producto Bruto Interno (PBI). Asimismo, velar por el cumplimiento de las normativas legales en seguridad. En cumplimiento de la Ley 29783; Ley Seguridad y Salud en el Trabajo. La identificación de peligros, evaluación de riesgos y sus controles se deben de exhibir. Para lo cual las sedes deben de colocar puntos de consulta accesibles a las zonas de trabajo. Es por ello por lo que se procede a generar los controles relacionado a seguridad, los cuales se basan en generar una matriz IPERC relacionado a la actividad de lubricación.

5. CONCLUSIONES

- Se concluye que el impacto de la mejora propuesta fue positivo en los cambios que se tuvo después de la implementación, sobre todo, en el indicador general de nuestra problemática. La disponibilidad promedio de los compresores de amoníaco mejoró en un 10.4%, pasando de un 81% en promedio a un 91.4%.
- En el primero punto, se aplicó el mantenimiento preventivo – predictivo en los equipos con baja confiabilidad en unidad compresora de amoníaco. La implementación de este pilar del TPM mejoró el indicador MTBF en un 39%, incrementando el tiempo medio entre fallas de los equipos de 3124.8 a 5074.0 horas
- En el segundo punto, se aplicó el mantenimiento de calidad, enfocado a la mejora del problema demora en mantenibilidad de componentes de unidad compresora de amoníaco, con la reducción del tiempo medio entre reparaciones de los componentes del equipo. Se mejoró el indicador MTTR en un 42%, reduciendo los tiempos medios entre reparaciones de 1788.3horas a 767.1 horas.
- En el tercer punto, se implementó el Standard Work en el área de mantenimiento en el proceso de lubricación que atacaría directamente a la causa raíz 3, falla en la estandarización en actividades operativas. Después de esta implementación se redujeron los tiempos en un 23% de 164.6 a 128 horas con esto logramos homogenizar los tiempos de la actividad de lubricación.
- La validación económica de los flujos de la propuesta son positivo, ya que se tiene un VAN calculado equivalente a S/ 73,057.05 una TIR de 40%, un Beneficio / Costo de S/2.14 y un periodo de recuperación de 2.60 años. Con estos valores se considera la viabilidad del proyecto y se procede con la ejecución de este.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda replicar el proceso de solución propuesta por baja disponibilidad en las áreas restantes de planta. Esto conlleva a incrementar la disponibilidad total de equipamientos en el proceso productivo.
- Las causas que generan la baja disponibilidad se comparten con las diversas plantas de la corporación a nivel nacional, por ello se recomienda a la alta Gerencia unificar y unir esfuerzos conjuntos en el área de mantenimiento, a consideración de la implementación de los dos pilares y del Standard Work a nivel nacional.
- La implementación del pilar de mantenimiento preventivo tiene como punto preponderante la tecnología que propone el mantenimiento predictivo, es recomendable capacitar al personal técnico con la apertura de nuevos procesos de tecnología en la industria 4.0
- Referido al pilar de mantenimiento de calidad, se recomienda ampliar el performance en las diversas áreas de la empresa, acción continua con producción y logística referido a repuestos y procesos de reparaciones.
- Por el proceso de standard work, se recomienda la expansión de modelo en los diversos procesos de planta, conllevando a unificar los tiempos de mantenimiento en procesos de ejecuciones planeadas.
- Continuar y mejorar con los impactos no económicos en la sociedad nacional. Ello permite el desarrollo conjunto de la empresa y su medio ambiente.

7. REFERENCIAS

- Al-Refaie, A., Lepkova, N., & Camlibel, M. E. (2022). The Relationships between the Pillars of TPM and TQM and Manufacturing Performance Using Structural Equation Modeling. *Sustainability*, 14(3), 1497. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1497>
- Centro de Investigación de Economía y Negocios Globales. (2022, Julio). *Reporte de tendencias bebidas no alcohólicas julio 2022*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2022/08/CIEN_RT_Julio_2022.pdf
- Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., Avelar-Sosa, L., Mendoza-Fong, J. R., Sáenz Diez-Muro, J. C., & Blanco-Fernández, J. (2018). The role of managerial commitment and TPM implementation strategies in productivity benefits. *Applied Sciences*, 8(7), 1153. <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/7/1153/htm>
- Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., & Martínez-Loya, V. (2019). Impact Analysis of Total Productive Maintenance. *Springer International Publishing*, 41(17) <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-01725-5>
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-01725-5>
- Gupta, A., & Khanna, I. K. (2019). An analysis of barriers and enablers for effective implementation of total productive maintenance (TPM) in small and medium enterprises (SMEs) in India: literature review. *International Journal of Modern Engineering & Management Research*, 7(4), 41-61. <http://www.ijmemr.org/Publication/V7I4/IJMEMR-V7I4-005.pdf>
- Mor, R. S., Bhardwaj, A., Singh, S., & Sachdeva, A. (2018). Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 14(2). <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-07-2017-0151/full/html>
- Paropate, R. V., & Sambhe, R. U. (2020). *A Review on Total Productive Maintenance*. <https://ijsrset.com/PDF.php?pid=6341&v=7&i=2&y=2020&m=March-April>
- Poór, P., Basl, J., & Zenisek, D. (2019a, Marzo). Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development. En *2019 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)* (pp. 245-253). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8842659/>
- Poór, P., Ženíšek, D., & Basl, J. (2019b, Julio). Historical overview of maintenance management strategies: Development from breakdown maintenance to predictive maintenance in

accordance with four industrial revolutions. En *Proceedings of the international conference on industrial engineering and operations management, Pilsen, Czech Republic* (pp. 23-26). <http://ieomsociety.org/pilsen2019/papers/135.pdf>

Singh, J., & Singh, H. (2019). Justification of TPM pillars for enhancing the performance of manufacturing industry of Northern India. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69 (1). <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-06-2018-0211/full/html>

Vijay, S., & Prabha, M. G. (2021). Work standardization and line balancing in a windmill gearbox manufacturing cell: a case study. *Materials Today: Proceedings*, 46, 9721-9729.

8. Anexos

- 1.- Distribución de tiempos por componentes - causa raíz 1
- 2.- Distribución de tiempos por componentes - causa raíz 2
- 3.- Distribución de tiempos por maquinista – causa raíz 3

Anexo 1: Distribución de tiempos por componentes - causa raíz 1

PROCESO DE REFRIGERACIÓN		mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10	mes 11	mes 12	Año 2022
ITEM	MAQUINA COMPRESORA	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)
SM	Sistema de motores	23.50	18.40	25.60	22.70	28.70	30.20	28.40	27.40	35.60	33.00	32.60	37.00	343.10
	Trifásicos WEG (400HP - 5HP)	23.50	18.40	25.60	22.70	28.70	30.20	28.40	27.40	35.60	33.00	32.60	37.00	
	Trifásicos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
CM	Componentes Mecánicos	66.27	71.73	74.14	66.02	78.95	75.82	87.73	80.03	77.17	68.28	64.96	61.38	872.48
	Compresores	22.00	24.00	20.89	18.89	21.12	19.53	25.00	20.12	24.00	20.89	19.65	20.00	
	Bombas de aceite	20.00	22.00	25.00	15.00	20.00	18.00	22.00	19.00	20.00	18.00	18.00	17.00	
	Electroválvulas	8.63	9.47	11.26	12.50	17.40	16.70	16.50	17.30	18.40	11.36	10.01	8.14	
	Intercambiadores	5.84	6.83	7.63	11.00	11.00	12.80	15.60	15.30	5.84	9.40	8.70	7.50	
	Otros	9.80	9.43	9.36	8.63	9.43	8.79	8.63	8.31	8.93	8.63	8.60	8.74	
CE	Componentes Electricos	72.89	68.43	76.55	69.28	72.22	75.59	72.31	68.97	68.19	79.63	68.18	72.27	864.51
	PLC's	19.46	19.35	22.45	17.63	19.35	22.45	19.46	21.12	19.46	22.63	17.65	18.63	
	Arrancadores	17.63	18.46	19.45	17.23	17.45	21.02	17.23	15.56	17.63	18.35	15.96	16.32	
	Conmutadores	15.00	13.50	14.20	15.30	14.30	13.00	14.50	14.00	11.00	16.00	13.00	15.00	
	Terminales	11.00	8.00	12.00	11.00	12.00	11.00	13.00	9.50	10.30	14.20	12.60	14.20	
	Otros	9.80	9.12	8.45	8.12	9.12	8.12	8.12	8.79	9.80	8.45	8.97	8.12	
AR	Accesorios y Repuestos	85.32	83.99	90.31	83.14	87.70	90.77	83.98	90.22	82.92	87.70	92.54	86.12	1044.71
	Lubricantes	30.46	32.43	34.63	29.23	32.36	32.63	29.48	31.23	28.63	26.13	31.21	31.69	
	Amoniaco	32.42	31.41	33.13	31.01	31.41	32.59	31.33	34.78	30.23	36.46	35.43	32.63	
	Solenoides	12.94	12.85	13.65	11.94	12.81	12.99	12.03	12.89	13.04	12.65	13.48	11.34	
	Otros	9.50	7.30	8.90	10.96	11.12	12.56	11.14	11.32	11.02	12.46	12.42	10.46	
Total		247.98	242.55	266.60	241.14	267.57	272.38	272.42	266.62	263.88	268.61	258.28	256.77	3124.80

Anexo 2: Distribución de tiempos por componentes - causa raíz 2

PROCESO DE REFRIGERACIÓN		mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10	mes 11	mes 12	Año 2022
ITEM	MAQUINA COMPRESORA	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)	Tiempo (hrs)
SM	Sistema de motores	2.50	2.50	2.70	2.30	2.00	2.60	180.00	2.50	2.00	2.50	2.00	180.00	383.60
	Trifásicos WEG (400HP - 5HP)	2.50	2.50	2.70	2.30	2.00	2.60	180.00	2.50	2.00	2.50	2.00	180.00	
	Trifásicos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
CM	Componentes Mecánicos	268.80	25.50	27.50	140.90	27.70	26.10	27.60	27.00	26.30	134.90	140.60	24.30	897.20
	Compresores	250.00	7.40	7.10	120.00	7.10	7.40	7.10	7.00	7.00	115.00	120.00	7.30	
	Bombas de aceite	6.30	6.00	6.90	6.30	6.80	6.00	6.50	6.00	6.30	6.10	6.00	5.90	
	Electroválvulas	5.40	5.00	5.80	5.50	5.90	5.20	5.90	5.30	5.30	5.80	5.90	4.00	
	Intercambiadores	4.10	4.60	4.70	4.10	4.40	4.40	4.80	4.90	4.20	4.80	4.80	3.80	
	Otros	3.00	2.50	3.00	5.00	3.50	3.10	3.30	3.80	3.50	3.20	3.90	3.30	
CE	Componentes eléctricos	18.40	18.50	18.40	17.50	17.80	19.10	17.90	19.50	19.60	18.90	18.60	20.20	224.40
	PLC's	5.00	5.50	5.80	5.20	5.50	5.70	5.20	5.50	5.70	5.20	5.50	5.90	
	Arrancadores	4.90	4.20	4.00	4.20	4.70	4.00	4.10	4.70	4.50	4.70	4.40	4.20	
	Conmutadores	3.50	3.60	3.20	3.30	3.80	3.80	3.70	3.60	4.10	4.20	4.20	4.00	
	Terminales	3.00	3.10	2.80	2.50	2.00	2.90	2.50	2.90	3.00	3.00	2.50	3.20	
	Otros	2.00	2.10	2.60	2.30	1.80	2.70	2.40	2.80	2.30	1.80	2.00	2.90	
AR	Accesorios y Repuestos	26.00	28.10	28.00	28.40	32.10	22.80	22.20	23.80	20.70	18.30	17.50	15.20	283.10
	Lubricantes	10.00	11.00	12.00	11.40	12.20	10.00	8.00	9.20	8.20	7.00	7.20	6.00	
	Amoniaco	8.00	8.50	9.00	9.30	7.40	5.60	6.30	6.70	6.30	5.20	5.00	3.40	
	Solenoides	5.00	5.20	5.00	5.20	6.50	4.00	4.20	4.70	4.20	3.60	3.30	3.20	
	Otros	3.00	3.40	2.00	2.50	6.00	3.20	3.70	3.20	2.00	2.50	2.00	2.60	
	Total	315.70	74.60	76.60	189.10	79.60	70.60	247.70	72.80	68.60	174.60	178.70	239.70	1788.30

Anexo 3: Distribución de tiempos por maquinista – causa raíz 3

N°	DESCRIPCIÓN DE TAREA	Maquinista	Maquinista	Maquinista	Maquinista	Maquinista
		1	2	3	4	5
1	Inspección inicial	7	8	10	13	12
2	Cambios en los moldes	11	8	10	11	12
3	Mantenimiento de arrancador	7	5	10	7	7
4	Cambio de lubricantes en la base	10	9	13	10	9
5	Mantenimiento en los sistemas	6	10	9	9	7
8	Mantenimiento en componentes mecánicos	11	9	14	14	9
9	Cambios y ajustes en componentes mecánicos	8	10	12	9	11
10	Limpieza de componentes mecánicos	4	4	7	14	14
11	Mantenimiento en componentes eléctricos	12	11	10	14	10
12	Cambios y ajustes en componentes eléctricos	5	12	13	10	11
13	Limpieza de componentes eléctricos	9	4	11	9	13
14	Mantenimiento referente a los accesorios	11	6	14	14	13
15	Cambios y ajustes de accesorios	6	6	11	10	14
16	Mantenimiento referente a los repuestos	4	7	9	8	11
17	Cambios y ajustes de accesorios	8	4	8	11	13
18	Alineamiento final	6	10	14	12	12
19	Limpieza general	6	9	14	9	9