

IMPORTANCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM, PARA DISMINUIR EL TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TBMF) DE LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN PARA MATERIAL BIOLÓGICO (OCTUBRE 2024)

García Morales Oscar Iván ¹, Argumedo Vázquez Karen²

¹ Estudiante de Ingeniería en Industrial

² Docente Investigador de Ingeniería en Industrias Alimentarias
TecNM/Campus Huetamo

¹División de Ingeniería Industrial

²División de Ingeniería en Industrias Alimentarias

¹gamo051193@gmail.com

²argumedokaren08@gmail.com

Resumen – El presente proyecto tuvo a bien desarrollar y ejecutar un plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) que permita predecir, prevenir y corregir fallas eficientemente de las cámaras de refrigeración para material biológico, de manera que esto no implique alterar el funcionamiento del hospital o detener el servicio del mismo.

Utilizando la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar), se definió el problema, identificando que la causa raíz se centraba en la mano de obra, el método de detección y control de fallas principalmente. Analizando las bitácoras de temperatura se encontró que el indicador de Tiempo Medio Entre Fallas (TBMF) se dispara en los meses de marzo a junio donde el aumento de las temperaturas es mayor, obligando a los equipos a trabajar más; sumado a esto, la falta de capacitación y control de la información documental agrava el problema.

La implementación de un TPM (Mantenimiento Productivo Total), permitió estandarizar algunos procedimientos de detección de fallas y las correcciones pertinentes, logrando disminuir el TBMF y aumentando la calidad de las intervenciones que los operarios de mantenimiento.

Índice de Términos – TPM, DMAIC, Mantenimiento, Cámara de refrigeración, TBMF

I. INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de las organizaciones no son capaces de acometer con éxito la implantación del TPM,

pudiendo ser, una de las razones, la no consideración de las causas de fallo presentes durante cada etapa de su desarrollo [5].

El presente proyecto de investigación tiene la finalidad de identificar la causa raíz que genera la problemática identificada, disminuyendo el Tiempo Medio Entre Fallas a través de un plan de mantenimiento TPM que permita aumentar la funcionalidad eficiente de los equipos y la mejora continua de los sistemas de red fría presentes en las instalaciones. El TPM apunta principalmente hacia la mejora de la productividad, calidad, coste, suministro, seguridad y medioambiente.

El tipo de investigación que se llevará a cabo es una investigación aplicada, que por la fuente de datos es de campo, ya que se realizará directamente dentro de la institución gubernamental que presenta el problema a investigar y los datos recaudados serán analizados cuantitativamente para medir la eficacia de las acciones correctivas y estrategias de mejora.

II. OBJETIVOS

A. *Objetivo general*

Determinar la importancia de un plan maestro de mantenimiento, a través de la implementación de TPM, para disminuir el Tiempo Medio Entre Fallas (TBMF) de las cámaras de refrigeración para material biológico.

B. *Objetivos específicos*

- Identificar las áreas de oportunidad para definir el problema, a través de un diagnóstico de la situación actual.
- Evaluar los indicadores de mantenimiento que presentan los equipos de la red fría, a través de herramientas de calidad para medir el problema.
- Identificar la causa raíz del problema, mediante el diagrama de causa- efecto y cinco porqués, para establecer un plan de acción.
- Diseñar e implementar un manual de mantenimiento a través, de los ocho pilares del TPM, para la optimización de los procesos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los equipos de red fría.
- Valorar el impacto generado por el TPM en la red fría, comparando los indicadores de mantenimiento TMBF con los resultados finales, como parte de la mejora.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las cámaras de refrigeración son un espacio físico y se refiere al área de almacenamiento delimitada por paredes, piso y techo de material especial debidamente sellado, provisto de equipo de enfriamiento para proporcionar y mantener la temperatura adecuada en toda el área de forma continua, por lo que debe calibrarse y validarse para funcionar dentro de un intervalo de temperatura determinado (2°C a 8°C). Por el constante uso y falta de capacitación, en muchas ocasiones estos equipos se utilizan rebasando su capacidad de diseño y sumando la falta de un plan de mantenimiento adecuado y las condiciones ambientales, provocan paros no programados de los equipos y por consecuencia pérdida de los insumos que en ellos se resguarda. El no cumplir con estas especificaciones, representa pérdidas económicas importantes en producto como lo son material biológico, medicamentos y material reactivo para laboratorio clínico, pero también afecta directo a las personas, pues esas dosis de vacunación o reactivos clínicos están destinadas a cubrir las necesidades de salud pública de la población.

IV. MARCO TEÓRICO

DMAIC

Es un método interactivo que sigue un formato estructurado y disciplinado basado en el planteamiento de una hipótesis, la realización de experimentos y su subsecuente evaluación para confirmar o rechazar la hipótesis previamente planteada que sirve para poder realizar mejoras significativas de manera consistente dentro de una organización a través de un método estandarizado de cinco etapas [6]: definir, medir,

analizar, mejorar y controlar (DMAMC, en inglés DMAIC1: Define, Measure, Analyze, Improve and Control) [3].

MANTENIMIENTO.

El Mantenimiento de un equipo, es un conjunto de actividades con el objetivo de suprimir los defectos de calidad producida por averías, eliminar la necesidad de ajustes del equipo, y hacer el trabajo, más agradable y seguro para los operarios [8].

El Mantenimiento Total o Global se define como el conjunto de disposiciones de técnicas, medios y actuaciones que permitan garantizar que las máquinas, instalaciones y organización que conforman un “proceso básico” o línea de producción, puedan desarrollar el trabajo que tiene previsto en un plan de producción en constante evolución para la aplicación de la mejora continua[7].

Desde 1962, Nakajima pudo visitar con cierta frecuencia a las industrias estadounidenses y después desarrollar el Mantenimiento Productivo Total en Japón en el año 1971 [1].

En un proyecto de calidad total, el TPM asume la mejora sobre los tres ejes básicos de la calidad: calidad del producto, costes y plazos [7].

De acuerdo a la referencia [9]:

Un mantenimiento es, seguridad, calidad, rentabilidad y sostenibilidad. También se define como una actividad humana que garantiza la existencia de un servicio, con acciones dentro de una calidad esperada, que tiene como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado, en el cual pueda llevar a cabo una función requerida. El TPM es parte del mantenimiento preventivo de los equipos, combinado con la metodología Mejora Continua (prevención, cero defectos causados por equipo, cero accidentes, cero paros no programados, participación total). Algunas acciones de mantenimiento son:

- Personal calificado
- Herramientas especializadas para el mantenimiento.
- Software y Sistemas de Gestión del Mantenimiento.
- Plan de mantenimiento preventivo.
- Gestión y disponibilidad de refacciones y materiales de mantenimiento.

Los beneficios del mantenimiento van desde eliminar o minimizar condiciones de inseguridad para operarios, eliminar o minimizar defectos en productos, aumentar y mejorar la disponibilidad de los equipos productivos, hasta minimizar los casos asociados al mantenimiento.

Existen diversos tipos de mantenimiento como lo son: Mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, proactivo, reactivo, programado, Mantenimiento Total Productivo (TPM), Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Basado en Condición (MBC) y Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM); sin embargo, el siguiente trabajo se basa en dos tipos de mantenimiento principalmente, el correctivo y el predictivo.

Mantenimiento Correctivo: Su aplicación se realiza cuando un equipo, por motivo de alguna falla, presente un paro completo debido a esa causa. Generalmente, este tipo de mantenimiento es muy costoso por los impactos en la productividad.

Mantenimiento Preventivo: Su aplicación se realiza cuando un equipo por motivo de alguna falla esté trabajando parcialmente. Este tipo de mantenimiento es muy costoso por impactos financieros en refacciones.

Los indicadores de Mantenimiento son metas concretas y se forjan a partir de la alianza de un parámetro como el tiempo de inactividad y un estándar que aporta una medida cuantificable de logro para un objetivo, como reducir los tiempos de inactividad. Algunos ejemplos son:

- **OEE (Eficiencia Total del Equipo):** Es un indicador utilizado para mensurar la eficiencia de los equipos de una industria, se calcula teniendo en cuenta tres parámetros: disponibilidad, rendimiento y calidad.
- **Valor de inventario en refacciones:** Es un indicador que se utiliza para medir la capacidad del almacén de mantenimiento de atender o surtir solicitudes de refacciones consideradas como críticas y requeridas cuando se presentan fallas en los equipos que son vitales para el logro de los objetivos operacionales de la empresa.
- **MTTR (Tiempo Medio entre Reparación):** Este indicador está muy asociado a la mantenibilidad, es decir, a la facilidad de un equipo de mantenimiento encontrar y reubicar un equipo en condiciones de ejecutar sus funciones después de un fallo. En otras palabras, el MTTR indica cuál es el tiempo medio para reparación.
- **MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas):** Consiste en medir el tiempo total de buen funcionamiento medio entre cada fallo de un equipo reparable, convirtiéndose en una herramienta óptima para medir la confiabilidad de la máquina [2].

CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN.

Las cámaras de refrigeración (*Fig. 1.*) como el espacio físico que forma parte integral de los equipos de red de frío, se refiere al área de almacenamiento delimitada por paredes, pisos y techo de material especial, debidamente sellado, provisto de equipo de enfriamiento suficiente para proporcionar y mantener a temperatura adecuada toda el área de forma uniforme. Así mismo, deberá contar con instrumentos internos y externos, que permitan medir y registrar la temperatura en el interior del área y un sistema de

alarma visual y sonora, el cual deberá activarse en caso de ocurrir alguna falla. Además, debe calibrarse y calificarse para funcionar dentro de un intervalo de temperatura determinado (2°C a 8°C) [4].

n
c
l
t
d
n
fi
2
fi
c
fi
b



refrigeración para temperatura y gráfica de tendencia °C en el cual la rriamente los siete es monitoreada gráfica semanal de tros de 25°C a - o cada hora, esta metro analógico el como sonda y un temperatura; están res térmicas en

bimetálicos y gases. Estos dos métodos de registro para la variación de temperatura ayudan a predeterminar las probables fallas mediante la desviación de los límites de control de la temperatura.

V. METODOLOGÍA

De acuerdo con los objetivos planteados y haciendo uso de la metodología DMAIC, el proyecto se desarrolló en cinco etapas:

- 1.- **Definir:** Identificar las áreas de oportunidad para definir el problema, a través de un diagnóstico de la situación actual.
- 2.- **Medir:** A través de los registros de temperaturas existentes de los equipos de refrigeración, se generaron gráficas de control para conocer la situación actual de los equipos, además de evaluar el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) como indicador de mantenimiento.
- 3.- **Analizar:** Se identificó la causa raíz del problema, mediante el diagrama de causa- efecto y cinco porqués, para establecer un plan de acción.
- 4.- **Mejorar:** Diseño e implementación de un manual de mantenimiento a través, de los ocho pilares del TPM, para la optimización de los procesos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los equipos de red fría. La metodología TPM se basa en ocho pilares fundamentales que son clave para el éxito de la implementación; sin embargo, y de acuerdo a la estructura del TPM la primera actividad fue implementar las 5's en cadena de red fría, el área de

mantenimiento y el área administrativa para asegurar la eficiencia de los procesos, reducir accidentes y movimientos innecesarios, así como detectar excedentes de inventario. En seguida de que se aseguró la implementación de 5's, se realizó el anuncio de la Alta Dirección de la decisión de introducir el TPM, esto incluye reunir al personal involucrado. El siguiente paso fue un lanzamiento de la "Campaña Educacional". La finalidad de la educación no solamente consistió en explicar el TPM, sino también elevar la moral y romper la resistencia al cambio, en este caso, el cambio al TPM.

Se formuló un plan maestro para el desarrollo del TPM, con la ayuda de los ocho pilares. Cada pilar del TPM tiene sus propios indicadores de desempeño asociados que fueron integrados en un manual de referencia para el control y mejora continua del mantenimiento. A continuación, se detallan los pilares del TPM y cómo fueron abordados dentro del manual y su aplicación:

I. Mejoras enfocadas: Se diseñó el mapa de cadena de valor para encontrar una oportunidad de mejora dentro del hospital de acuerdo con el sistema para reportar fallas y atención de las mismas. Esta oportunidad debe reducir o eliminar un desperdicio. Se realizó mantenimiento a todos los equipos de red fría, optimizando su funcionamiento para fines de la implementación del TPM.

II. Mantenimiento autónomo: Se diseñaron bitácoras de control y registros de las temperaturas (parámetros) que presentó la red fría, así como un reporte de fallas y se estableció el procedimiento para dicho reporte. Se realizó una capacitación al personal involucrado con la red fría (enfermeras de área de vacunación, personal de farmacia y personal de laboratorio) para el llenado de las bitácoras y el procedimiento oportuno de reporte de fallas.

III. Mantenimiento planificado: Se creó un sistema de recolección y análisis de datos con las bitácoras existentes, los cuales se cargarán en un drive para la consulta eficiente de la información; lo que permitirá monitorear y determinar el estado de los equipos de red fría para luego poder planear los mantenimientos que logran disminuir los costos e incrementar la disponibilidad.

IV. Mantenimiento de Calidad: Se incluyeron los diferentes procesos de mantenimiento de los equipos de red fría detalladamente, para que cualquier operario de conservación pueda consultarlo y seguir los procedimientos descritos mediante un manual de fallas.

V. Prevención del Mantenimiento: Se diseñó un procedimiento para la inserción de equipo de red fría nuevo al hospital, de manera que se describa cada actividad que debe llevarse a cabo, desde la documentación resguardada, capacitación al personal sobre su uso y mantenimiento, actualización de bitácoras de control y análisis del monitoreo, actualización en el sistema para reporte de fallas, etc.

VI. Actividades de Departamentos Administrativos y de Apoyo: Se analizó el proceso para encontrar oportunidades y luego de ello poder mejorar los tiempos y errores que presenta el departamento a la hora de atender las solicitudes de mantenimiento de equipo de red fría.

VII. Formación y Adiestramiento: Se brindaron capacitaciones que la organización consideró pertinentes para promover el TPM, basadas en una matriz multihabilidades que determinó las competencias más fuertes y más débiles que presentaron los operarios de conservación. También se estructuró un plan para agendar capacitaciones y actualización con la finalidad de fortalecer las habilidades de acuerdo con los resultados de la matriz multihabilidades.

VIII. Gestión de Seguridad y Entorno: Este principio resume la influencia de un ambiente cómodo y seguro en el rendimiento de los operarios. La meta es deshacerse de cualquier elemento dañino en el entorno para poder garantizar máxima eficiencia y productividad. Se impartirá una capacitación sobre seguridad laboral a los operarios de mantenimiento.

5.- *Controlar*: Valorar el impacto generado por el TPM en la red fría, comparando los indicadores de mantenimiento iniciales con los resultados finales, como parte de la mejora.

De acuerdo con el sistema de registro que se generó, se realizará una comparación de los gráficos de tendencia de los equipos de la red fría (Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) antes de implementar el TPM y después de implementar el TPM.

Para promover la mejora continua, se aplicó LPP (Lección punto a punto), sobre los procedimientos de mantenimiento más comunes que se realizan a la red fría y que están detalladamente descritos en el manual de TPM, esto con la finalidad de crear una herramienta que facilite la consulta de la información por los operarios de conservación, especialmente los que tienen menos experiencia o en caso de que se integre alguien nuevo al equipo.

Para mantener una comunicación efectiva entre los tres turnos de conservación, se implementará un tablero Kanban para diferenciar las tareas realizadas de las pendientes y mantener un flujo de eficiencia en el proceso de mantenimiento de la red fría.

VI. RESULTADOS

Los resultados indican un alza de la temperatura en los meses de marzo, abril, mayo y junio (*Fig. 2.*), correspondientes a los meses en que la temperatura de la zona Tierra Caliente supera los 40°C, motivo por el cual los equipos

trabajan más para poder mantener las temperaturas del material biológico entre 2°C y 8°C.

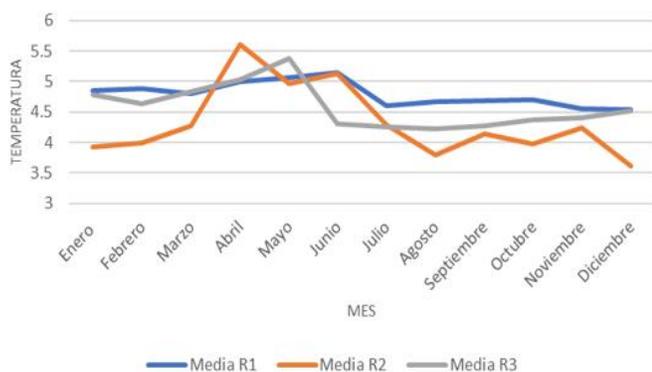


Fig. 2. Gráfico de medias de temperatura 2023 del equipo R1, R2 y R3.

Se utilizó una escala para medir cada causa y el nivel de impacto que genera en las cámaras de red fría. Esta escala va desde una evaluación alta con ocho puntos, media con cinco puntos y baja con 2 puntos. El siguiente gráfico radial (Fig. 3) muestra que los factores causales que más impactan para que los equipos de red fría no operen eficientemente bajo los rangos de temperatura adecuados en orden descendente son: método, mano de obra, máquina, material y ambiente.

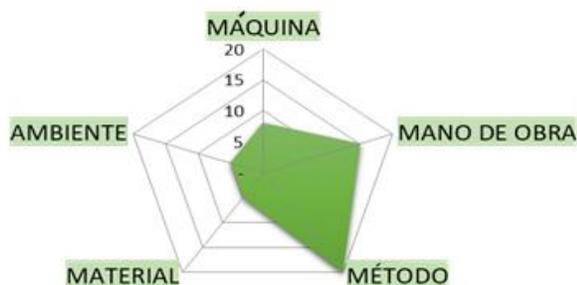


Fig. 3. Gráfico radial de las causas-raíz que provocan las fallas de las cámaras de refrigeración.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de causa-raíz el método es el factor más determinante en las causas que genera que los equipos de red fría no funcionen adecuadamente, es decir, el cómo se hacen las cosas lo que puede direccionar a una causa raíz más específica como lo es la falta de capacitación.

Se aprecia en el siguiente gráfico de Pareto (Fig. 4.) que el 80% del problema de ineficiencia en los equipos de red fría depende directamente del:

- Método: donde se aprecia que no se llevan a cabo los procedimientos de reportes de falla, bitácoras y registros del control de temperaturas.
- Mano de obra: donde se comprueba que la falta de capacitación es la que genera que los procedimientos

no se realicen adecuadamente tanto para realizar mantenimiento preventivo como correctivo.

- Máquina: Debido a que, al ser antigua, ya no está trabajando adecuadamente.

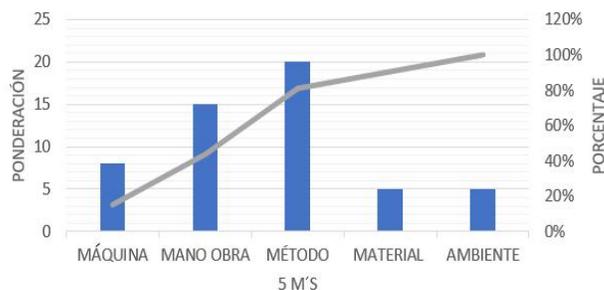


Fig. 4. Diagrama de Pareto de los factores que determinan la causa raíz de las fallas en las cámaras de refrigeración.



Fig. 5. Comparación de Tiempo Medio Entre Fallas de las cámaras de refrigeración R1, R2 y R3 en 2023.

El Tiempo Medio Entre Fallas varía de un mes a otro por la diferencia de días en cada mes, pero se mantiene entre 600 a 750 horas de trabajo continuo, los resultados muestran una baja muy significativa en los meses de marzo, abril, mayo y junio, pues los equipos de refrigeración en esos meses presentan menos de la mitad de trabajo continuo que debieron presentar debido a paros por fallas no programadas (Fig. 5).

Después de atender las causas relacionadas con la ineficiencia (método y mano de obra) de las cámaras de refrigeración, con la ayuda de la implementación de un TPM que incluye capacitación, procedimientos de uso, manejo y control de fallas, con un plan de mantenimiento preventivo y correctivo se obtuvieron las siguientes mejoras:

El diagrama que se muestra (Fig. 6.) es una herramienta para dirigir a los operarios de mantenimiento en la dirección y hallazgo de fallas en la red fría, con la finalidad de que sea más eficiente el proceso de detección.

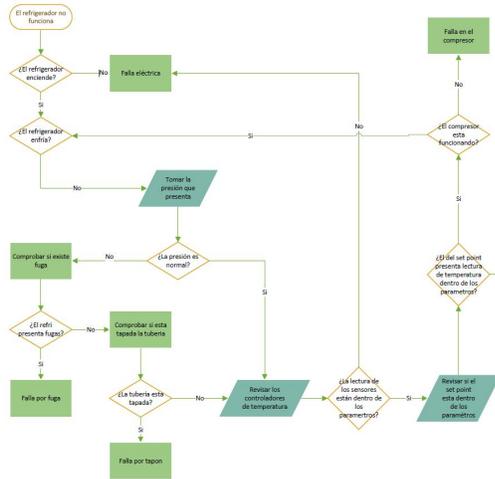


Fig. 6. Diagrama de flujo de detección de fallas en las cámaras de refrigeración.

Los datos graficados de las medias de temperatura mensual que se registraron en el año 2024 (Fig. 7.), donde se observa una significativa mejora en las medias de los meses de marzo a junio, comparados con el 2023, se puede apreciar que existe menos variabilidad entre los datos, manteniéndose entre 3.5°C y 4.5°C las medias de temperaturas.

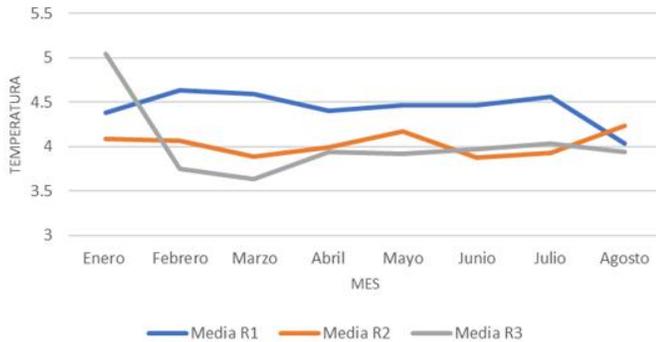


Fig. 7. Gráfico de medias de temperatura 2024 del equipo R1, R2 y R3

En cuanto al Tiempo Medio Entre Fallas, si se observan los datos arrojados en 2024 (Fig. 8.), el tiempo de trabajo continuo se mantiene dentro del trabajo real esperado por cada una de las cámaras de refrigeración, salvo en el mes de mayo, donde la cámara dos presentó fallas y se llevó a mantenimiento externo, esta diferencia radica en que la cámara de refrigeración dos es una marca distinta y mayor capacidad, por lo que suele utilizarse más y en ocasiones sobrecargarse.

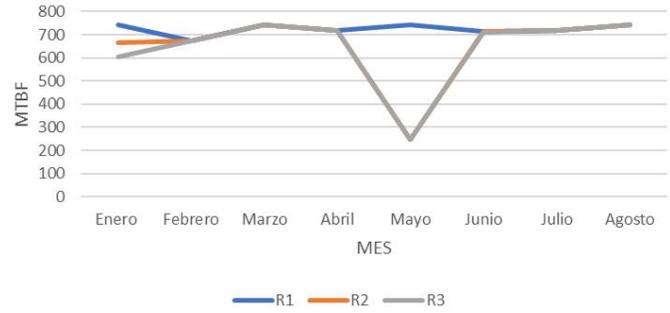


Fig. 8. Comparación de Tiempo Medio Entre Fallas de las cámaras de refrigeración R1, R2 y R3 en 2024.

VII. CONCLUSIONES

Durante el proceso de esta investigación se descubrió que la temperatura ambiental cumple un papel determinante en la eficiencia del control de temperatura de las cámaras de refrigeración, siendo los meses de marzo a julio donde las temperaturas en Tierra Caliente aumentan considerablemente, llegando a rebasar los 40°C cuando existe un mayor trabajo en los equipos de refrigeración para mantener el rango de temperatura entre 2°C a 8°C, por lo que se recomienda que la atención se origine en torno a este lapso de tiempo.

Después de analizar y comparar el comportamiento de la temperatura de tres equipos de refrigeración para material biológico antes y después de la implementación de un TPM, se puede argumentar que si existe una diferencia significativa que permitió controlar la variabilidad de las temperaturas originadas por fallas en el equipo, a su vez, los indicadores de fallas (MTBF) también respaldan la importancia de implementación del plan de mantenimiento para un óptimo funcionamiento de las cámaras de refrigeración, pues los resultados presentaron una disminución de tiempo en fallas muy impactante de 2023 a 2024.

VIII. RECOMENDACIONES

Se sugiere darles seguimiento a los indicadores de mantenimiento, pues si bien se mejoró la variabilidad de la temperatura y el Tiempo Medio Entre Fallas, el proceso de mejora continua sugiere seguir trabajando en busca de la máxima optimización de los procesos. También es importante tomar a consideración el tiempo de vida útil que presentan las cámaras de refrigeración, pues en tal caso la causa raíz pudiera indicar como principal factor detonante de falla el equipo, lo que obstaculizaría disminuir la variabilidad eficientemente.

IX. REFERENCIAS

- [1] E. Dounce, “Enfoque Analítico del Mantenimiento Industrial” 1era ed. Ed. México: CECSA 2006, pág. 177.
- [2] S. Duffuaa, et-al, “Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control” Ed. LIMUSA WILEY, 2008, pág. 277-363.
- [3] H. Gutiérrez, “Calidad y productividad Total” 3era ed. Ed. Mc Graw Hill, 2010, pág.284.
- [4] Instituto Mexicano del Seguro Social, “Norma para el Manejo de Medicamentos y Demás Insumos para la Salud en la Red de Frio del Instituto Mexicano del Seguro Social”, México, IMSS, 2021, pág. 6-7. (Online): <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/pdf/manualesynormas/1000-B01-028.pdf>
- [5] M. Martínez, “Causas de fallo en la implantación del TPM y modelo de puesta en marcha integrador”, WPMO Vol. 1, No. 1 (12-17). ISSN: 1989-9068. (Online) <https://doi.org/10.4995/wpom.v1i1.792>
- [6] J. Ocampo & A. Pavón, “Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim”: LACCEI, 2012, No. 147, pág. 1-3, (Online): <https://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP147.pdf>
- [7] F. Rey, “Mantenimiento Total de la Producción” 1era ed, Ed. FC, 2001, pág. 59-62.
- [8] K. Shirose, “TPM para Mandos Intermedios de Fabrica”, PRODUCTIVITY PRESS, pág. 13, (Online): <https://es.scribd.com/document/525340598/TPM-Para-Mandos-Intermedios-de-Fabrica>.
- [9] Copyright Desarrollo Profesional, “Mantenimiento Productivo Total”, 2022. [Video] SyS. <https://academy.dpsys.com.mx/courses/tpm-mantenimiento-total-preventivo/>