



Determinación de la disponibilidad de un sistema de refrigeración industrial para la industria atunera

Determining the availability of an industrial refrigeration system for the tunny industry

Janeth Roxana Zamora-Medina¹, Luis Rene Briones-Rezabala¹, Ángel Rafael Arteaga-Linzán¹,
Pedro A. Rodríguez-Ramos^{11, *}

I. Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.

II. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, CEIM. La Habana, Cuba

*Autor de correspondencia: parr@mecanica.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 5 de enero de 2022

Aceptado: 10 de febrero de 2022

Resumen

Los sistemas de refrigeración en las industrias alimentarias, son de gran relevancia para la conservación de la calidad y estándares de seguridad de las materias primas, por este motivo, el presente trabajo tuvo como objetivo la determinación de la disponibilidad y la etapa de vida operativa de un sistema de refrigeración de una industria atunera. La metodología que se utilizó fue el modelo de distribución de Weibull y el método de Mínimos Cuadrados para la determinación de los parámetros de forma y escala de Weibull. Los resultados del cálculo de los parámetros de Weibull permitieron conocer que la disponibilidad de la cámara 1 y 2 del sistema estudiado eran del 97 % y 90 %

respectivamente, además se identificó mediante el uso de la curva de Davies los valores del parámetro de forma de 0,6936 y 1,0673 lo cual indico que la cámara 1 se encontraba en un periodo de fallos iniciales y la cámara 2 en una etapa de desgaste por envejecimiento. Finalmente, se concluyó que la cámara 1 al encontrarse en una etapa inicial de funcionamiento, no presentaba daños significativos en sus componentes y tenía una mayor disponibilidad operativa.

Palabras claves: sistemas de refrigeración; distribución de Weibull; método de mínimos cuadrados; industria atunera.

Abstract

The refrigeration systems in the food industries are of great relevance for the conservation of the quality and safety standards of the raw materials, for this reason, the present work had as objective the determination of the availability and the operational life stage of a refrigeration system of an tuna industry. The methodology used was the Weibull distribution model and the method of least squares for the determination of the Weibull shape and scale parameters. The results of the calculation of the Weibull parameters allowed us to know that the availability of chamber 1 and 2 of the studied system were

97 % and 90 % respectively, in addition, the values of the shape parameter were identified by using the Davies curve. 0.6936 and 1.0673, which indicated that chamber 1 was in a period of initial failures and chamber 2 in a stage of wear due to aging. Finally, it was concluded that chamber 1, being in an initial stage of operation, did not show significant damage to its components and had greater operational availability.

Key words: refrigeration systems; Weibull distribution; least squares method; tuna industry.

Cómo citar este artículo:

Zamora Medinal JR, Briones Rezabala LR, Arteaga Linzán AR, et al. Determinación de la disponibilidad de un sistema de refrigeración industrial para la industria atunera. Ingeniería Mecánica. 2022;25(2):e642. ISSN 1815-5944.

1. Introducción

Los sistemas de refrigeración son de gran utilidad en el sector alimentario, especialmente en la conservación, manipulación y procesamiento de alimentos perecederos, debido a que, su aplicación no produce alteraciones en las propiedades organolépticas y calidad de los productos [1, 2]. En el caso de las industrias atuneras los sistemas de refrigeración industrial son una herramienta indispensable y eficiente para el transporte, industrialización y comercialización de su materia prima [3, 4]; teniendo en cuenta que el atún es un producto altamente perecedero que necesita ser enfriado desde su recepción en alta mar, para que conserve su frescura

y calidad, antes y después del procesamiento [5, 6]. En este sentido la disponibilidad y buen funcionamiento de los sistemas de refrigeración es una necesidad imperante para la industria del atún.

Es por este motivo, que en los últimos años se han desarrollado e implementado diversas técnicas de mantenimiento con la finalidad de mejorar la eficiencia de las gestiones, de tal forma que se asegure consigo el óptimo y continuo funcionamiento de los sistemas e instalaciones industriales [7, 8]; tal y como se muestra a continuación.

En [9], se desarrolló un sistema centrado en la confiabilidad o RCM, con la finalidad de incrementar la disponibilidad operativa de un grupo de motores asincrónicos trifásicos, en donde se elaboró un análisis AMFE, Análisis de modos de fallo y efecto (*Failure Mode Effect Analysis*, FMEA) y de criticidad; que les permitió a los autores rediseñar el plan de mantenimiento priorizando las actividades preventivas y considerando las fallas de los elementos críticos según el número de prioridad de riesgo; alcanzando una disponibilidad que oscilaría en un rango del 85 % a 96,01 %, confiabilidad del 80 % a 93,63 % y mantenibilidad del 4,34 % a 22,93 % de los motores eléctricos. Los autores utilizaron una distribución exponencial para el cálculo de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, considerando una tasa de fallos constante dentro del tiempo de estudio.

En otra investigación en [10], se logró el incremento del 15 % de la disponibilidad (aproximadamente 30 horas de operación) de las maquinarias de una empresa de manufactura, mediante el desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento basado en los principios de TPM y RCM, en donde los autores determinaron que es más eficiente utilizar una gestión de mantenimiento preventivo basado en TPM y RCM que el uso del mantenimiento programado, en el cual basaron su gestión enfocándose en priorizar las fallas de los componentes críticos y en generar corresponsabilidad de todos los miembros de la organización.

A la par en [11], los autores implementaron un modelo de gestión de mantenimiento TPM enfocado en la confiabilidad en donde obtuvieron el aumento de la disponibilidad en maquinarias pesadas del sector de la construcción, mediante una reducción y priorización de las actividades de mantenimiento preventivo, lo que les permitió disminuir costos y tiempos de mantenimiento, además de un incremento de la disponibilidad superior al 85 %, que a su vez repercutía en mayores ingresos.

Por su parte en [12], se estudió el rendimiento de un sistema de refrigeración de una planta procesadora de leche por medio de un análisis de indicadores o RAM, en donde se calculó la disponibilidad de todos los componentes de un sistema de refrigeración por compresión mecánica de vapor (refrigerante amoníaco), donde los autores determinaron que el componente más crítico del sistema, eran las bomba centrífuga generalmente por la presencia de fallos en los sellos y cojinetes reduciendo su disponibilidad hasta en un 12,5 %, razón por la cual determinaron que este componente necesitaba una primordial atención de mantenimiento. Los autores utilizaron el módulo Petri del software GRIF para el cálculo de la disponibilidad, variando los valores de tasas de fallos y reparación previa a la deducción del componente crítico.

Así mismo en [13], los autores determinaron los indicadores de mantenimiento de un grupo de electrógenos prime, en el cual estimaron un tiempo promedio entre fallos de 2405 horas y un tiempo medio de reparación de 10 horas, obtuvieron que estos equipos operaban con una confiabilidad del 88 %, mantenibilidad del 65 % y con una disponibilidad del 99,5 %; por lo que los autores finiquitaban que su gestión era buena debido a que aseguraba que los equipos funciones continuamente, aunque planteaban el rediseño de su gestión, puesto que sus costos de mantenimiento eran altos por lo que debían de reducir las actividades de mantenimiento. Estos autores emplearon el modelo de la distribución de Weibull para el cálculo de los indicadores, puesto que al comprobar la linealidad de los datos entre la distribución exponencial y el de Weibull, el segundo resultado ser un modelo más confiable y adaptable a la dispersión de los datos del análisis.

En vista de lo expuesto, se puede resaltar que las diferentes técnicas de mantenimiento buscan cuantificar, evaluar y controlar la eficiencia en los planes de mantenimiento, teniendo como principal objetivo asegurar buen funcionamiento de los sistemas y especialmente la disponibilidad la misma que es recomendable sea próxima al 90 % para asegurar la continuidad de los procesos productivos [14].

El objetivo de la presente investigación es la determinación de la disponibilidad y la etapa de vida operativa de un sistema de refrigeración de una industria atunera; lo cual se identifica por medio del uso de la curva de bañera de Davies. La metodología utilizada fue la distribución de Weibull y el método de Mínimos Cuadrados para la determinar de los parámetros de forma y escala de Weibull. Los resultados del cálculo de los parámetros de Weibull, lo que permitió conocer que la disponibilidad de la cámara # 1 cuenta con una mayor disponibilidad operativa y que se según el parámetro de forma de Weibull este sistema se encuentra en una etapa de fallos iniciales.

2. Métodos y Materiales

El método a utilizar para el cumplimiento del objetivo es la distribución de Weibull; que es el modelo probabilístico más utilizado en análisis y cálculos de ingeniería, por ser una distribución flexible y capaz de adaptarse a diferentes resultados experimentales.

El método de Weibull es muy utilizado en el análisis y determinación de indicadores de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad), además permite identificar y simular la etapa de transición operativa en el que se encuentran equipos o componentes mecánicos, mediante las tres etapas de vida operativa

representadas en el gráfico de la curva de Davies [15]. La distribución de Weibull se encuentra conformado por tres parámetros que se ajustan y moldean a diferentes resultados experimentales y estos son; el parámetro alfa o de escala (α); beta o de forma (β) y gamma o de localización (γ) el mismo que es considerado ($\gamma = 0$) debido a que es la probabilidad de que no existan fallos en el sistema.

El parámetro de forma posibilita a la distribución de Weibull que se acomode a las tres etapas de vida operativa de un equipo (infancia, vida útil y vejez) mediante el gráfico de la curva de Davies. La distribución de Weibull, también permite el cálculo de indicadores de mantenimiento, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Confiabilidad } R(t): & R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} & (1) \\ \text{Tiempo medio operativo (MTTF):} & \text{MTTF} = \alpha * \Gamma(1 + 1/\beta) & (2) \\ \text{Mantenibilidad } M(t): & M(t) = 1 - \left(e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}\right) & (3) \\ \text{Tiempo medio de reparación} & & \\ \text{(MTTR):} & \text{MTTR} = \alpha * \Gamma(1 + 1/\beta) & (4) \\ \text{Disponibilidad:} & D_i = \text{MTTF} / (\text{MTTF} + \text{MTTR}) & (5) \end{aligned}$$

Donde:

$R(t)$: Confiabilidad.

e : base logaritmo natural.

t : tiempo a evaluar.

α : parámetro de escala.

β : parámetro de forma.

Γ : función Gamma.

MTTF: Tiempo Medio Operativo.

$M(t)$: Mantenibilidad.

MTTR: Tiempo medio de reparación.

D_i : Disponibilidad Inherente.

El estudio de la disponibilidad es de gran relevancia en las industrias, puesto que, como afirma Alavedra Flores [16], la disponibilidad permite asegurar la continuidad operativa de los procesos, además de ser la característica cuantitativa que representa la funcionalidad de un sistema.

Para el cálculo de los parámetros de Weibull, se utilizó el método de Mínimos Cuadrados el mismo que es utilizado para realizar ajustes de parámetros, además es un método simplificado de regresión lineal, que intenta alinear los datos a través de una función continua mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa y se encuentra representado por una recta que se ajusta a la dispersión de los datos.

2.1. Descripción del sistema de refrigeración objeto de estudio

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron los datos operativos de dos cámaras frigoríficas, de las 4 con las que cuenta el sistema de refrigeración de la industria atunera objeto de estudio. Estas cámaras de refrigeración, son utilizadas para almacenar el atún, operan con compresores recíprocos de tipo semihermético accionados por motores eléctricos de 30 de hp y 220 V, trabajan con condensadores de tuberías de cobre enfriadas por aire mediante ventiladores de flujo axial con aspas de aluminio tipo CCW con una potencia de 3/4 hp, y utilizan refrigerante hidrofluorocarbono (HFC) R404A; la cámara # 1 cuenta con 4 unidades de refrigeración de baja temperatura y tiene una capacidad de almacenamiento de 600 toneladas de materia prima, mientras que la cámara # 2 consta de 3 unidades de refrigeración de baja temperatura y sirve para la conservación de 500 toneladas de atún.

Estos sistemas de refrigeración emplean un software de mantenimiento programado elaborado por la industria objeto de estudio, que sirve para organizar, planificar y controlar las actividades de mantenimiento preventivo en el sistema, mediante los datos e información obtenida del manual del fabricante, registros, ordenes de trabajo, horómetros o bitácoras diarias y especialmente por el número de correctivos presentados en el funcionamiento del sistema dentro de un periodo de tiempo determinado, debido a que estos servirán como guía y sugerencia en la mejora de las actividades preventivas establecidas en la gestión de mantenimiento.

En relación a lo expuesto, para la determinación de los indicadores de mantenimiento. Se trabajó con la base de datos obtenida del software de mantenimiento de las cámaras de refrigeración 1 y 2, utilizando primordialmente los registros de mantenimientos correctivos ocurridos durante el periodo operativo enero a diciembre 2019. A continuación, en la tabla 1 y la tabla 2 se presentan los tiempos de operación y reparación de las cámaras dentro del periodo de estudio establecido.

Tabla 1. Tiempos de operación y de reparación de la cámara 1. Fuente: software de mantenimiento

Fechas	i (N° de fallas)	TTO (h)	TTR (h)	Fallas
25/1/2019	1	585	32	Resistencia tipo U quemada.
28/1/2019	2	40	32	Resistencia tipo U quemada.
23/4/2019	3	2009	8	Reloj de defrost averiado.
23/8/2019	4	2922	32	Resistencia tipo U quemada.
29/8/2019	5	113	8	Rotura en cortina de aire.
4/9/2019	6	136	40	Resistencia quemada y fisuras en bandeja de evaporador.
9/9/2019	7	76	40	Falta de toma 440v para contenedores.
18/10/2019	8	896	32	Resistencia tipo U quemada.
28/11/2019	9	972	12	Fuga de refrigerante en tubería de condensador lado de alta presión.

Nota: TTO time to operation; TTR time to repair

Tabla 2. Tiempos de operación y de reparación de la cámara 2. Fuente: software de mantenimiento

Fechas	i (N° de fallas)	TTO (h)	TTR (h)	Fallas
23/01/2019	1	538	48	Resistencia tipo U quemada.
29/01/2019	2	87	72	Perforación en paredes de la cámara por montacargas.
12/02/2019	3	273	48	Resistencia tipo U quemada.
27/02/2019	4	325	43	Daño del acople de manguera del presostato de baja.
04/03/2019	5	56	36	Resistencia tipo U quemada.
13/03/2019	6	198	48	Resistencia y bandeja de evaporador dañadas.
22/03/2019	7	155	24	Reloj de defrost averiado.
04/04/2019	8	298	24	Fuga en tubería de condensador lado de alta presión
13/04/2019	9	189	24	Cortinas plásticas deterioradas.
17/04/2019	10	75	96	Rasgadura en paneles del techo por montacargas.
12/05/2019	11	494	34	Perdida de refrigerante por serpentín de evaporador
18/05/2019	12	109	24	Perdida de carga en el lado de la succión del compresor.
21/6/2019	13	791	3	Manómetro de alta dañado.
7/10/2019	14	2594	24	Bobina de válvula solenoide de líquido quemada.
19/11/2019	15	1017	12	Reloj de defrost averiado.

Los datos de la tabla 1 y tabla 2, presentan los tiempos operativos (TTO) y los tiempos de reparación de fallos (TTR), los mismos que fueron ineludibles en la determinación de los parámetros de la distribución de Weibull α y β y se calcularon mediante el método de Mínimos Cuadrados.

Como se puede apreciar en la tabla 1 la cámara # 1 presentó menor cantidad de fallos durante el periodo de estudio, representando un total de 7749 horas operativas y 236 horas utilizadas en el mantenimiento correctivo del sistema o tiempos de reparación; mientras que la tabla 2 muestra mayor número de fallos en el sistema de cámara # 2, por lo que se redujo su tiempo operativo a un total de 6793 y su tiempo de reparación aumentó a 560 horas.

Además, como se puede apreciar en la tabla 1 y tabla 2 las principales fallas de los sistemas de refrigeración analizados se sitúan en los evaporadores especialmente en el daño de las resistencias eléctricas utilizadas para el descarche, las mismas que se encuentran adosadas en los evaporadores y bandeja recolectoras de condensado, debido a que estas se sobrecalientan por el contacto con la humedad y variaciones de temperatura de las mismas.

2.2. Alienación de parámetros por método de Mínimos Cuadrados

En la aplicación del Método de Mínimos Cuadrados primero se ordenaron los datos en forma ascendente, luego se procedió a calcular un estimador no paramétrico referente al orden de las fallas denominado rango de mediana por medio de la ecuación de Bernard, estos valores utilizados en el trazo de la recta representativa del método de mínimos cuadrados; después se transformó la función de distribución acumulativa en una ecuación lineal de regresión, procedimiento representado en la tabla 3 y tabla 4, con los valores de la ecuación de lineal de regresión se determinaron los valores de α y β de las cámaras de refrigeración.

Tabla 3. Alineación de parámetros por el método de Mínimos Cuadrados C1. Fuente: Autores

i (N° fallas)	Tiempo de operación (h)	Tiempo de operación ordenado (h)	Rango de media RM (Ft)	$x = \ln(t)$	$y = \ln(\ln(1/(1-F(t))))$
1	585	40	0,0744	3,6888	-2,5589
2	40	76	0,1809	4,3307	-1,6119
3	2009	113	0,2872	4,7273	-1,0829
4	2922	136	0,3936	4,9126	-0,6926
5	113	585	0,5000	6,3716	-0,3665
6	136	896	0,6063	6,7979	-0,0700
7	76	972	0,7127	6,8793	0,2211
8	896	2009	0,8191	7,6053	0,5365
9	972	2922	0,9255	7,9800	0,9545

Tabla 4. Alineación de parámetros por el método de Mínimos Cuadrados C2. Fuente: Autores

i (N° fallas)	Tiempo de operación (h)	Tiempo entre fallas ordenado (h)	Rango de mediana RM (Ft)	$x = \ln(t)$	$y = \ln(\ln(1/(1-F(t))))$
1	538	56	0,0454	4,0253	-3,0678
2	87	75	0,1103	4,3174	-2,1458
3	273	87	0,1753	4,4659	-1,6463
4	325	109	0,2402	4,6913	-1,2918
5	56	155	0,3051	5,0434	-1,0103
6	198	189	0,3701	5,2417	-0,7716
7	155	198	0,4350	5,2882	-0,5603
8	298	273	0,5000	5,6097	-0,3665
9	189	298	0,5649	5,6971	-0,1836
10	75	325	0,6298	5,7838	-0,0061
11	494	494	0,6948	6,2025	0,1713
12	109	538	0,7597	6,2878	0,3549
13	791	791	0,8246	6,6733	0,5545
14	2194	1011	0,8896	6,9187	0,7902
15	1011	2194	0,9545	7,6935	1,1290

Los datos proporcionados en la tabla 3 y la tabla 4 representan la aplicación del Método de los Mínimos Cuadrados, en donde se calcularon los valores de la abscisa (x) y ordenada (y), de cada tiempo operativo de la cámara #1 y # 2 respectivamente, los mismos que se utilizaron para la representación gráfica del método, figura 1, figura 2

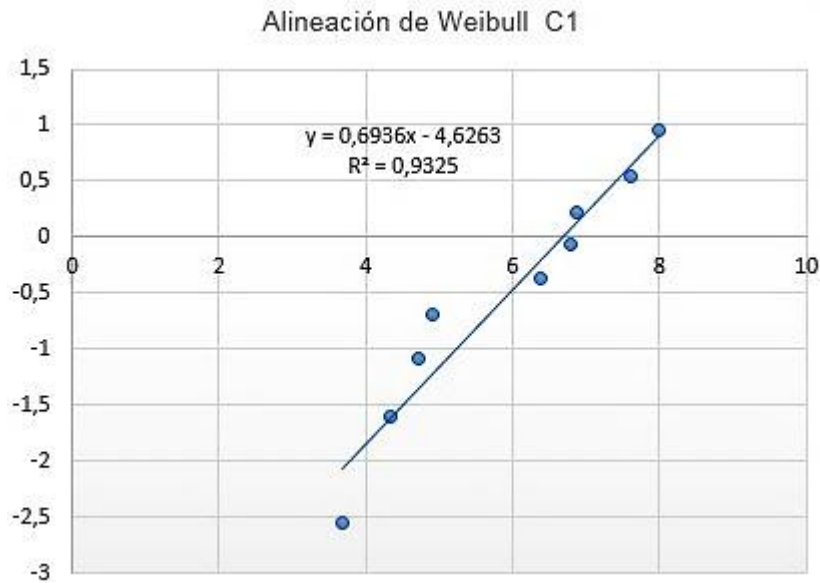


Fig.1. Ecuación lineal de regresión para tiempos operativos de la cámara 1. Fuente: Autores

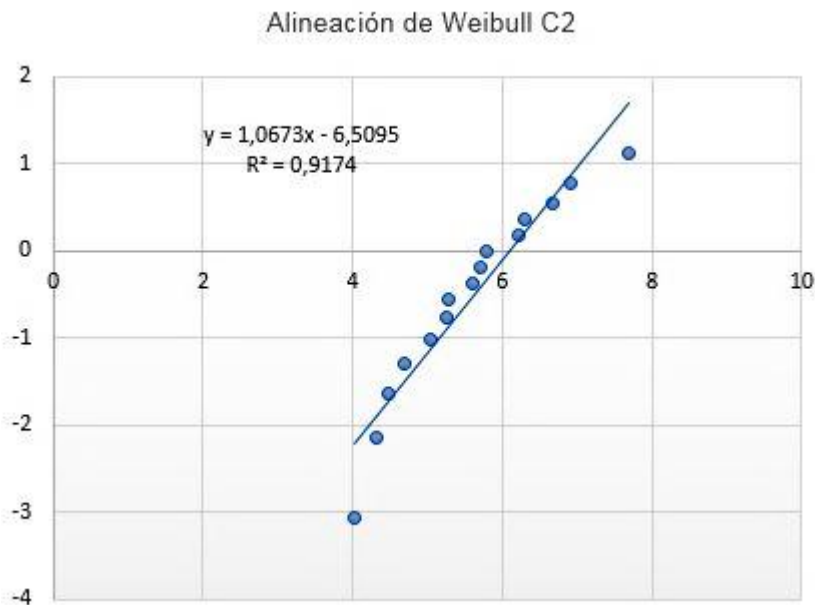


Fig. 2. Ecuación lineal de regresión para tiempos operativos de la cámara 2. Fuente: Autores

En las figuras 1 y 2, se representó el comportamiento de los datos (tiempos operativos) de las cámaras de refrigeración, y la alineación de los mismos mediante la recta del método de los mínimos cuadrados, además de la ecuación lineal que representa al conjunto los datos y el r^2 que representa el grado de linealidad de los datos.

3. Resultados y Discusión

Los datos presentados en la ecuación de regresión lineal de cada gráfica (ver Fig. 1), (ver Fig. 2), fueron utilizados para el cálculo de los parámetros de forma y escala, los mismos presentados en la siguiente tabla.

Tabla 5. Parámetros de la Distribución de Weibull. Fuente: autores

Cálculos de los parámetros: α y β		
Parámetro	Cámara 1	Cámara 2
α	686,082	445,428
β	0,6936	1,0673

Los valores encontrados del parámetro de forma β de 0,6936 y 1,0673 de las cámaras 1 y 2 respectivamente presentados en la tabla 5; permitieron identificar el periodo de vida operativa en la que se encontraban los sistemas mediante la utilización de la curva de Davies, lo que indicó que la cámara # 1 se localizaba en un periodo de mortalidad infantil lo mismo que fue respaldado con los datos de la tabla 1, debido a que, se presentaron un menor número de fallas en este sistema; mientras que la cámara # 2 se situaba en una etapa de desgaste por envejecimiento en donde las fallas eran más frecuentes.

Una vez obtenidos los parámetros de la distribución de Weibull, se determinó la confiabilidad, mantenibilidad y esencialmente la disponibilidad de las cámaras de refrigeración 1 y 2, datos representados en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados del cálculo de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de las cámaras de refrigeración. Fuente: Autores

Sistema	i (N° de fallas)	Confiabilidad (%) (t = 665 h)	Mantenibilidad (%) (t = 24 h)	MTTF (h)	MTTR (h)	Disponibilidad (%)
Cámara 1	9	37,58	57,15	876,173	25,462	97,18
Cámara 2	15	21,57	38,58	434,274	47,560	90,13

Según los datos presentados en la tabla 6 se pudo observar que la confiabilidad dentro de un periodo operativo de 665 horas (1 mes) en la cámara # 1 alcanzó un valor del 38 % y la cámara # 2 del 22 %; además se determinó la mantenibilidad considerando la posibilidad de que el sistema fuera devuelto en funcionamiento antes de cumplir 24 h a partir la presencia de un fallo, en donde la cámara #1 tuvo una mantenibilidad del 57 %, mientras que la cámara # 2 del 39 %.

Una vez obtenidos los valores de los parámetros de forma y escala de los tiempos operativos y reparación presentados en la tabla 5, se calcularon los tiempos promedio de operación y reparación con el uso de las ecuaciones 2 y 4 respectivamente, que permitieron el cálculo de la disponibilidad adecuada para el análisis, mediante la utilización de la ecuación 5 de la disponibilidad inherente.

Conforme los valores determinados de disponibilidad presentados en la tabla 6, se determinó que la cámara # 1 contaba con una disponibilidad del 97 % y la cámara # 2 del 90 %; lo que significaba que la cámara # 1 tenía una mayor disponibilidad, esto debido a que se encontraba en una etapa de fallos iniciales como se dedujo en función del parámetro de forma identificado en la curva de Davies, además de presentar un menor número de fallos como se representó en la tabla 1.

Mientras que la cámara # 2 por el contrario presentó una mayor incidencia de fallos y su disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad fueron menores, esto debido a que se encontraba en una etapa de desgaste o envejecimiento del equipo. Se consideró que las fallas en el sistema de estudio en su mayoría se debieron al daño presentado en las resistencias eléctricas adosadas en los tubos y bandejas de los evaporadores, esto en relación a los datos históricos obtenidos de software de mantenimiento del sistema estudiado.

Por otra parte, se pudo demostrar que la gestión de mantenimiento de estas dos cámaras de refrigeración no es tan eficiente, porque a pesar que la disponibilidad es mayor que el valor recomendado por autores; su confiabilidad de operación es muy baja y mantenibilidad alta; por lo que sería recomendable rediseñar la gestión mantenimiento actual, priorizando las actividades preventivas según las fallas de los elementos críticos mediante la aplicación de un análisis AMEF y de criticidad o implementar un mantenimiento basado en la confiabilidad.

Conclusiones

Una vez aplicada la metodología de distribución de Weibull conjuntamente con el método de Mínimos Cuadrados, se pudo determinar la disponibilidad y la etapa de vida operativa de un sistema de refrigeración de una industria atunera ecuatoriana. Resultando que, la cámara # 1 tiene un parámetro de forma de 0,6936, una confiabilidad del 38 %, mantenibilidad del 57 % y su disponibilidad es del 97 %, por lo que se concluye que la cámara #1 es más fiable y disponible que la cámara #2 y esto se debe a que el sistema #1 presenta menor número de fallos y se encuentra en una etapa de vida operativa de fallos iniciales. Asimismo, se puede concluir que el estudio y conocimiento de indicadores es muy útil para el control y evaluación de las gestiones de mantenimiento dentro industrias, debido a que su utilización permitirá establecer criterios que aporten mejoras a la gestión que a su vez asegurará la operatividad y eficiencia de los sistemas, además de la calidad en los productos.

Referencias

1. Par Gramajo MG. Aplicación de los métodos de conservación de alimentos. *Revista Ingeniería y Ciencia*. 2019; 1: p. 1-15.
2. Lailossa W. The new paradigm of cold chain management systems and it's logistics on Tuna fishery sector in, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 2015; 8(3).
3. Goycochea, Pieroni, Gómez, Basika, Parodi V, Iglesias D. Escorboidosis: intoxicación alimentaria. A propósito de un caso clínico. *Archivos de Pediatría del Uruguay*. 2020; 91(6): p. 370-374.
4. Neira LM, Agustinelli SP, Ruseckaite RA, Martucci JF. Shelf life extension of refrigerated breaded hake medallions packed into active edible fish gelatin films. *Packaging Technology and Science*. 2019; 32(9): p. 471-480.
5. Kang T, Shafel Lee D, Lee CJ, Lee SH. Quality Retention of Fresh Tuna Stored Using Supercooling Technology. *Foods*. 2020; 9(10): p. 1356.
6. Cuaical A BA, Buenaño Moyano LF, Moreno Pinduisaca L. Análisis de indicadores de gestión CMD en el desarrollo de software de mantenimiento para vehículos livianos. *Revista Científica FIPCAEC*. 2019; 4(4): p. 145-170.
7. Cárcel Carrasco FJ, Grau Carrión J, Pascual Guillamón M. Elementos del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial. *Final. Mantenimiento en Latinoamérica*. 2016; 8(1): p. 9-14.
8. Murugan R, Ramasamy R. Understanding the power transformer component failures for health index-based maintenance planning in electric utilities. *Engineering Failure Analysis*. 2019; 96: p. 274-288.
9. Idrogo Cruzado WF. Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S. A. Trujillo. *Tecnología y Desarrollo*. 2016; 14(1): p. 83-96.
10. Matos P. RE. Desarrollo de un programa de Mantenimiento Productivo Total (MPT) en el área de mezclas especiales de una empresa molinera. *Revista Ingeniería UC*. 2012; 19(3): p. 66-76.
11. Azid NAA, Shamsudin SNA, Yusoff MS, Samat HA. Conceptual analysis and survey of total productive maintenance (TPM) and reliability centered maintenance (RCM) relationship. In *IOP Conference series: materials science and engineering*. IOP Publishing. 2019; 530(1): p. 012050.
12. Kumar N, Tewari PC, Sachdeva A. Performance modeling and analysis of refrigeration system of a milk processing plant using Petri nets. *International Journal of Performability Engineering*. 2019; 15(7): p. 1751-1759.
13. Gallegos Londoño CM, Viscaíno Cuzco MA, Villacrés Parra SR. Estudio de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aplicado a grupos electrógenos Prime. *Conciencia Digital*. 2020; 3(3): p. 44-61. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1266>
14. Zegarra M. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y desarrollo*. 2016; 19(1): p. 25-37.
15. Salazar Moreno, Fitz Rodríguez E, López Cruz I, Rojano Aguilar A. Confiabilidad y Análisis de Fallas Utilizando la Distribución Weibull. In: *Sexto congreso internacional de investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas*. Texcoco Chapingo, México: INIFAP; 2017 p. 5-16. [Citado el: 10 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2018/05/MEMORIA_MESA_1A_CONGRESO2_017.pdf
16. Alavedra Flores C, Gastelu Pinedo, Méndez Orellana G, Minaya Luna C, Pineda Ocas, Prieto Gilio K, et al. Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería industrial*. 2016;(30): p. 11-26.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Janeth Roxana Zamora-Medina. <https://orcid.org/0000-0002-8667-7527>

Participó en el diseño de la investigación y en la revisión del estado del arte. Trabajó en la recolección y el procesamiento de los datos recogidos para el estudio. Realizó contribuciones en los cálculos, el análisis e interpretación de los datos y en el análisis de los resultados. Trabajó en la revisión crítica de su contenido así como en la redacción y aprobación del trabajo final.

Luis Rene Briones-Rezabala. <https://orcid.org/0000-0002-3741-3103>

Trabajó en la recolección y el procesamiento de los datos para el estudio. Realizó contribuciones en los cálculos, el análisis e interpretación de los datos y de los resultados. Participó en la revisión crítica de su contenido así como en la redacción y aprobación del trabajo final.

Ángel Arteaga Linzán. <https://orcid.org/0000-0002-3589-5866>

Participó en diseño de la investigación, el análisis de los resultados y en la revisión crítica de su contenido así como en la redacción y aprobación del trabajo final.

Pedro A. Rodríguez Ramos. <https://orcid.org/0000-0003-2862-0984>

Trabajó en: el diseño de la investigación, el análisis de los resultados, y en la revisión crítica de su contenido así como en la redacción y aprobación del trabajo final.