

**Chiller Carrier: Costos de Aplicación del
Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

**Chiller Carrier: Costs of Applying
Reliability-Centered Maintenance**

Vicente Antonio Sánchez-Ruiz¹
Universidad Técnica de Manabí - Ecuador
vicentesanchezruiz@hotmail.com

Galvin Antonio Toala-Arcentales²
Universidad Técnica de Manabí - Ecuador
galvin.toala@utm.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2023.6.2112

V8-N6 (nov-dic) 2024, pp. 204-213 | Recibido: 28 de agosto del 2023 - Aceptado: 14 de septiembre del 2023 (2 ronda rev.)

1 Estudiante de la maestría en Administración de Empresas de la Universidad de América, o Título en su disciplina, docente principal de la Universidad de América.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8613-2081>

2 Estudiante de la maestría en Administración de Empresas de la Universidad de América, o Título en su disciplina, docente principal de la Universidad de América.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6934-267X>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología precisa y necesaria que contribuye a garantizar el funcionamiento de equipos de climatización como el chiller, muy empleados en ambientes amplios como las instalaciones industriales,

En tanto, el objetivo de este estudio determinó los costos del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) del chiller carrier 30RB110, a partir del estado inicial del equipo. La metodología empleó el enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental a partir del análisis de la situación inicial del equipo, mediante la utilización de equipos de medición y control para lograr el objetivo de investigación.

Se obtuvieron resultados de la situación inicial del equipo con un histórico de 23 fallos y la necesidad de cambio de serpentines para asegurar su operatividad; la disponibilidad del chiller se incrementó en un 4%, reduciéndose los fallos en un 35% y los costos en un 85%, lo cual significa además de mayor funcionalidad del equipo de climatización, un ahorro de dinero para la empresa. Se concluye en la importancia de aplicar la tecnología RCM en el equipo de climatización chiller carrier 30RB110, para la disminución de la tasa de fallos, un ahorro significativo en tiempo y dinero debido a los costos por mantenimiento correctivo y mayor eficiencia del equipo.

Palabras clave: chiller, climatización, confiabilidad, costos, mantenimiento.

ABSTRACT

Reliability-centered maintenance is a precise and necessary methodology that contributes to ensure the operation of air conditioning equipment such as the chiller, widely used in large environments such as industrial facilities.

Therefore, the objective of this study determined the costs of reliability-centered maintenance (RCM) of the chiller carrier 30RB110, from the initial state of the equipment. The methodology used a quantitative approach and a quasi-experimental design based on the analysis of the initial situation of the equipment, through the use of measurement and control equipment to achieve the research objective.

Results were obtained from the initial situation of the equipment with a history of 23 failures and the need to change coils to ensure its operability; the availability of the chiller increased by 4%, reducing failures by 35% and costs by 85%, which means, in addition to greater functionality of the air conditioning equipment, a saving of money for the company. It is concluded in the importance of applying RCM technology in the air conditioning equipment chiller carrier 30RB110, for the decrease of the failure rate, a significant saving in time and money due to the costs for corrective maintenance and greater efficiency of the equipment.

Keywords: chiller, air conditioning, reliability, costs, maintenance.

Introducción

Moubray (2001) en su libro relata que, en la década de 1960 se presentó una cantidad inaceptable de accidentes de aviación, lo cual motivó a un equipo de ejecutivos e ingenieros de alto nivel de United Airlines a desarrollar un proceso para determinar los requerimientos de mantenimiento óptimos de las aeronaves, lo cual dio origen a documentos públicos donde se utilizó por primera vez el término de mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM (Reliability Centered Maintenance). Los estudios demostraron que el supuesto fundamental de los ingenieros de diseño y de los planificadores de mantenimiento era que cada avión y cada componente principal del mismo tenían una “vida útil” específica de servicio confiable, después de ello tenía que ser reemplazado o revisado para así prevenir fallas (Andrade & y Herrera, 2021).

Años más tarde, United Airlines fue patrocinada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para la creación de un libro sobre el RCM, publicado en 1978 en conjunto con un informe de evaluación de Rand Corporation, ambos textos dieron a conocer al RCM al mundo. Este fue uno de los descubrimientos que han revolucionado la disciplina administrativa de la gestión de los activos físicos (Herrera & y Duany, 2016). Algunos de los cambios de paradigma inspirados en RCM fueron el entendimiento de que la mayoría de fallas no están precisamente vinculadas a la edad del activo, la comprensión de la diferencia entre los requisitos de los activos desde la perspectiva del usuario y la confiabilidad del diseño del activo, la comprensión de administrar los activos bajo condición y la vinculación de niveles de riesgo tolerable al desarrollo de la estrategia de mantenimiento (Yavuz, Doğan, Carus, & Görgülü, 2019).

A partir del año 1980 se extiende el uso de la metodología para la industria naval y en la armada, algunos años después se aplicó para la industria nuclear de Estados Unidos. Para 1993 se comenzó a aplicar en Francia (Singh, Rastogi, & Sharma, 2013). Moubray

obtuvo el mayor éxito en su aproximación a la industria con el RCM mediante la creación de la metodología de RCM2, la cual incorporó cuestiones ambientales, precisión de tareas de mantenimiento y la definición de criterios de riesgo cuantitativos (Prabhakar & y Raj, 2014). Fue en el año 1999 donde se normalizó el proceso de RCM2 mediante la normativa SAE JA1011, con el documento “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, el cual establece los criterios mínimos para lo que es, y para lo que no se puede definir como RCM (Díaz et al., (2016).

El estándar es algo decisivo en la evolución continua de la disciplina de la gestión de activos físicos. Antes del desarrollo del estándar, muchos procesos se etiquetaban como RCM, aunque no eran fieles a las intenciones y los principios del informe original que definían el término públicamente (Llamba, 2014). Hoy en día, las compañías pueden usar este estándar para garantizar que los procesos, servicios y software que compran e implementen se ajusten a lo que se define como RCM, lo que garantiza la mejor posibilidad de lograr los muchos beneficios atribuibles a la aplicación rigurosa de RCM (Pérez, 2017).

El mantenimiento centrado en la confiabilidad del inglés reliability centered maintenance, RCM, es “una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial y muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo” (Díaz et al., 2016), así también para grandes equipos de climatización como el chiller, un enfriador industrial de agua, anticongelante muy eficiente para amplias instalaciones (Valenzuela, 2010), utilizado regularmente para producir agua fría en procesos industriales (Mendoza & y Castro, 2015).

Dado que, en la actualidad, sistemas como este no son cuestión de lujo, sino una necesidad que atender ya que de un ambiente climatizado depende en gran porcentaje la productividad industrial o empresarial (Nieto, 2021); en este sentido, el chiller o unidad

generadora de agua helada representa más del 60% del consumo total de todo el sistema de enfriamiento, por tratarse de un equipo que en virtud del principio basado en el ciclo de refrigeración (Nájera, 2021), usa refrigerante como parte fundamental de su operación y cuya eficiencia impacta directamente en las emisiones generadas, convirtiéndose en una alternativa ecoamigable para producir confort térmico en la industria en general (Muñoz & y Macías, 2019).

Dada la funcionalidad de estos equipos de climatización, son muy usados en grandes instalaciones debido a la posibilidad que tienen de enfriar o calentar, según lo requiera el inmueble (Rodas, 2018); además, los expertos en estos equipos señalan que su uso es una excelente opción para aplicaciones de aire acondicionado u otros procesos de enfriamiento (Ortega, 2018). Sin embargo, se requiere conocer a fondo su funcionamiento, composición y requerimientos de mantenimiento para hacer eficiente su uso (Pacheco, Prieto, & Robles, 2021); ya que al ser un refrigerador de líquido, que, como en un sistema de expansión directa, calienta o enfría mediante el intercambio térmico, puede mantener el líquido refrigerado cuando está en función de frío y mantener el líquido calentado cuando está en función de bomba de calor (Andrés, 2017).

En base a todo lo expuesto, el objetivo del presente trabajo se centró en determinar los costos del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) del chiller carrier 30RB110, a partir del estado inicial del equipo.

Materiales y Métodos

Se aplicó el enfoque cuantitativo de la investigación, mediante el diseño cuasi experimental comprendido e 2 tareas de mantenimiento, el análisis de la situación actual del equipo y la conformación del equipo de trabajo.

La población objeto de estudio comprendió al equipo de climatización del tipo chiller carrier 30RB110, cuya función principal es enfriar el agua a 5°C (45,5°F), con una temperatura medioambiental promedio de

30°C (86°F), la tabla 1 presenta las principales características técnicas en general. Sus especificaciones técnicas se describen en la tabla 1.

Tabla 1
Especificaciones técnicas chiller Carrier 30RB110

Marca	Carrier									
Modelo	30rf1106--ok—3									
Serie	2714q80926									
Compresores							Refrigeración			
Circuito	Canti- dad	Volta- je	Ph	Hz	Rla	Lra	Cir- cuito	Ref	Kg	
A	2	460	3	60	41,6	260	A	410°	43,6	
B	3	460	3	60	327	215	B	410°	48,1	
Ventila- dores	Canti- dad	Volta- je	Ph	Hz	Fla	Hp	Kw			
Exterio- res	6	460	3	60	5,4	3,55	2,65			
Fuente alimentación principal					Máxi- mo	Mini- mo				
Circuito	Volta- je ac	Ph	Hz	Volta- je	Volta- je	Mca	Mocp			
A	460	3	60	506	414	224,1	250			
B	460	3	60	506	414	224,1	250			

Análisis de la situación inicial del equipo

El análisis del chiller carrier 30RB110 comenzó ingresando a la memoria del equipo para visualizar el histórico de datos con los fallos registrados durante el periodo 2019 – 2020. Una vez localizados se procedió con la descarga de la información empleando un instrumento auxiliar denominado *navigator*, el mismo que fue conectado al chiller para recopilar los datos. Conectado el instrumento se escogió la opción de ingresar a la memoria del equipo, apareciendo varias opciones, en la sección alarma se pudo acceder a todo el historial de fallas del equipo, pudiendo observar en pantalla el detalle de la falla registrado con hora y fecha. Se verificaron todas las fallas en esa época y se bajó uno a uno los 23 errores manualmente.

Como las fallas fueron continuas en uno de los subsistemas analizados, se pudo diagnosticar que las fallas fueron ocasionadas por los serpentines del chiller, se cambiaron y se redujeron las fallas al año siguiente.

Cálculo de la tasa de fallos chiller Carrier 30RB110 (2020-2021)

El equipo ha presentado varias fallas en el transcurso de su operación, para la investigación que se realizó se tomaron datos a partir del mes de octubre de 2020 hasta octubre de 2021, los mismos que se encuentran tabulados en la tabla siguiente. Para el cálculo de la tasa de fallas, se empleó la fórmula general de cálculo de acuerdo a la siguiente expresión, indicada en la ecuación 1:

(1)

En donde:

λ : tasa de fallos (fallos/hora)

Tf: número de fallos totales

Tp: periodo total

Cálculo de la tasa de fallos del subsistema de control

Tf = 2 fallos

Tp = 8737 horas

Cálculo de la tasa de fallos del subsistema evaporador

Tf = 3 fallos

Tp = 8737 horas

Cálculo de la tasa de fallos del subsistema condensador

Tf = 18 fallos

Tp = 8737 horas

Cálculo de la tasa de fallos total del chiller Carrier 30RB 110, periodo 2020-2021

Debido a que los subsistemas que componen el chiller y que han fallado se encuentran en serie, para lo cual se empleó la fórmula siguiente:

$$\lambda_{\text{chiller}} = \lambda_{\text{subsistema 1}} + \lambda_{\text{subsistema 2}} + \dots + \lambda_{\text{subsistema n}} \quad (2)$$

$$\lambda_{\text{del chiller 2019-2020}} = 0,000228 + 0,000343 + 0,002060$$

$$= 0,002631 \text{ fallos/hora}$$

$$\lambda_{\text{del chiller 2020-2021}} = 23 \text{ fallos/año}$$

Cálculo de la tasa de fallos total del chiller Carrier 30RB110 periodo 2021-2022

Para determinar la tasa de fallos en el periodo 2021-2022 se tomó como base de cálculo 9 284 horas.

$$Tf = 17 \text{ fallos}$$

$$Tp = 9\,284 \text{ horas}$$

$$\lambda = \frac{Tf}{Tp} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{17}{9284} = 0.00183 \text{ fallos/hora}$$

$$\lambda_{\text{del chiller 2021-2022}} = 16 \text{ fallos/año}$$

Determinación de los equipos críticos

Para el análisis de criticidad, se utilizó la metodología cualitativa que es de manejo sencillo, emplea la frecuencia de fallos y los criterios de evaluación que se enfocan en identificar el grado de impacto en las áreas operacionales; verifica si existe flexibilidad operacional, evalúa el impacto en los costos de mantenimiento, así como el impacto en la seguridad humana y al ambiente. El valor de criticidad total se obtuvo del producto entre la frecuencia de la ocurrencia y el valor de la consecuencia. Las fórmulas empleadas fueron las siguientes:

$$\text{Criticidad total} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad (4)$$

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto operacional} \times \text{flexibilidad}) + \text{costos de mantenimiento} + \text{impacto seguridad humana y ambiente} \quad (5)$$

Para evaluar el impacto de la falla, en la tabla 2 se presentan los criterios y la cuantificación correspondiente a cada uno, siendo los valores más altos los que indican que tienen un impacto mayor. Se requiere para la aplicación del análisis de criticidad la información del historial de mantenimiento del equipo, así como el historial de fallas de este.

Tabla 2
Criterios para determinar la criticidad de los equipos

Descripción de los criterios	Cuantificación
Frecuencia de fallos (ff):	
* Mayor a 5 fallos/año	4
* 3-4 fallos/año	3
* 1-2 fallos/año	2
* Mínimo 1 fallo/año	1
Impacto operacional (io):	
* Parada inmediata de todo el chiller	10

* Afecta más del 50% a la producción	7
* Afecta menos del 50% a la producción	4
* No afecta a la producción	1
Flexibilidad operacional (fo):	
* No se dispone de otro equipo igual o similar	4
* El equipo puede seguir funcionando	2
* Función de repuestos disponibles	1
Costo de mantenimiento (cm):	
* Mayor o igual a \$ 3.000,00	2
* Menor a \$ 3.000,00	1
Impacto en la seguridad humana y ambiente (isah):	
* Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	8
* Afecta las instalaciones o personas causando daños severos	6
* Provoca daños menores (accidentes, incidentes)	3
* Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	2
* No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o el medio ambiente	1

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos para el desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad en el equipo de climatización chiller carrier RB30110, muestran el estado inicial del equipo mediante el análisis de criticidad. En la tabla 3 se presenta un resumen del análisis de criticidad de los subsistemas del chiller Carrier 30RB110.

Tabla 3
Resumen de criticidad

Descripción de los sistemas	Criticidad	
Subsistema de control	Crítico	
Subsistema evaporador	Muy crítico	
Subsistema condensador	Muy crítico	

Como se observa en la tabla 3 que contiene el resumen del análisis de criticidad de los subsistemas del chiller Carrier 30RB 110, se puede observar que dos de los subsistemas son muy críticos y un subsistema es crítico.

En la tabla 4 a continuación se detalla el histórico de fallas del análisis de modos de fallos AMEF.

Tabla 4
Histórico de fallas, análisis AMEF

Fallas	Fecha y hora	Subsistema	Código de falla	Descripción	Tbf	Ttr	Ut	Costo de la mano de obra	Costo del materiales e insumos	Costo total
1	6/2/2020 18:30	control	Ct,01	Contacto del compresor está anclado	280	48,00	232,00	159,84	850,00	1009,84
2	18/3/2020 14:23	control	P,29	Pérdida de comunicación con el controlador	979	2,00	977,00	6,66		6,66
3	23/3/2020 13:45	condensador	V1.16	Corto circuito ventilador circuito B	119	48,00	71,00	159,84	1540,56	1700,40
4	25/5/2020 0:01	condensador	Sr,05	Alerta de mantenimiento, limpieza serpentín condensador	1252	4,00	1248,00	13,32	50,00	63,32
5	6/6/2020 9:33	sador	P,97	Sensores de temperatura del cooler intercambiador	297	4,00	293,00	13,32		13,32
6	3/8/2020 15:22	evaporador	P,01	Protección anticongelante del cooler	829	3,00	826,00	9,99	556,00	565,99
7	4/8/2020 3:20	radador	A2,03	Interrupción de alta presión del compresor abierto	11	2,00	9,00	6,66	566,00	572,66
8	18/9/2020 18:07	condensador	Sr,02	Pérdida de carga de refrigerante circuito B	1094	2,00	1092,00	6,66	150,00	156,66
9	9/10/2020 21:01	evaporador	P,08	Alto sobrecalentamiento circuito A	506	24,00	482,00	79,92	755,00	834,92
10	12/10/2020 6:59	condensador	Sr,05	Alerta de mantenimiento, limpieza serpentín condensador	57	4,00	53,00	13,32	50,00	63,32
11	13/10/2020 11:26	condensador	B2,06	Bajo voltaje tarjeta SPM compresor B2	28	2,00	26,00	6,66		6,66
12	24/11/2020 2:09	condensador	P,21	Compresor B2 no arranca o la presión está fuera de rango	998	3,00	995,00	9,99	380,00	389,99
13	1/12/2020 4:15	evaporador	Pr,04	Transductor de succión circuito A	170	1,00	169,00	3,33		3,33
14	3/1/2021 9:39	condensador	V0,11	Alta temperatura del termistor de motor ventilador	797	2,00	795,00	6,66	566,00	572,66
15	6/2/2021 23:15	condensador	B2,06	Bajo voltaje tarjeta SPM compresor B2	1333	2,00	1331,00	6,66		6,66

Evaluación del equipo posterior a la aplicación del RCM

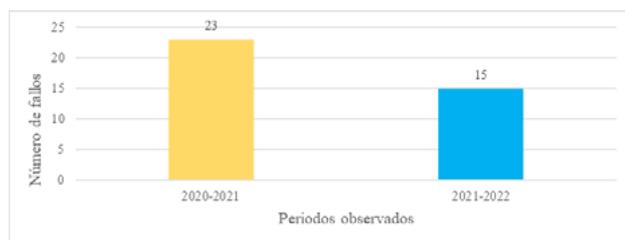
Realizada que fue la situación inicial del equipo chiller Carrier 30RB 110, e implementada la tecnología RCM al equipo por el tiempo de un año, se calculó la tasa de fallos 2020-2021 con la información extraída del controlador Confort Link que posee el equipo, dicha información se ve reflejada en la tabla siguiente, teniendo como base el cálculo de la tasa de fallos chiller Carrier 30RB110 del periodo 2021-2022, en 9284 horas y 17 fallos, teniendo 0,00183 fallos/hora (ver cálculo en capítulo II, Metodología).

Comparación número de fallos

En la figura se puede observar gráficamente los fallos registrados en los dos periodos analizados el periodo 2020-2021es previo a la aplicación del RCM, en dicho periodo se presentaron 23 fallos mientras que en el periodo 2021-2022 los mismos se redujeron a 15; esto representa una reducción de 34% de fallos.

En la figura 1 se puede observar la comparación gráfica.

Figura 1
Comparación de fallos periodos observados



El análisis de la situación actual del chiller carrier refleja la situación real del equipo al inicio del análisis previo al desarrollo de la tecnología de mantenimiento RCM, empleando instrumentos y herramientas de apoyo como el microprocesador incorporado al chiller, las fichas técnicas de mantenimiento y las bitácoras de trabajo.

Costos del antes y después de implementación de la propuesta

Como puede apreciarse en las tablas 5, 6 y 7 siguientes, se muestran los costos totales por tareas de mantenimiento por subsistemas de control, condensador y evaporador.

Tabla 5
Costos subsistema de control

Subsistema	Código de falla	Tbf	Ttr	Ut	Costo de la mano de obra	Costo materiales e insumos	Costo total
Control	FC.1	380,00	15,00	365,00	49,95		49,95
Control	FC.1	519,00	10,00	509,00	33,30		33,30
Control	Ct,01	280	48,00	232,00	159,84	850,00	1009,84
Control	P,29	979	2,00	977,00	6,66		6,66
							\$ 1.099,75

Tabla 6
Costos subsistema condensador

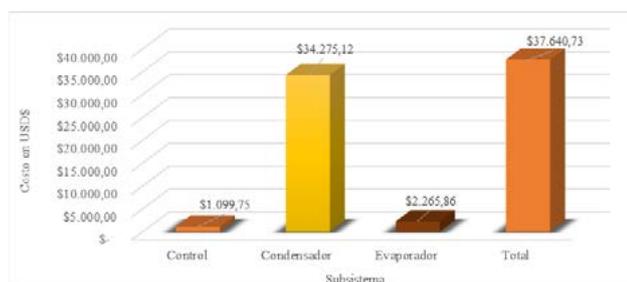
Subsistema	Código de falla	Tbf	Ttr	Ut	Costo de la mano de obra	Costo materiales e insumos	Costo total	
Condensador	P.16	159,00	24,00	135,00	1500,00	4850,00	6350,00	
	P.37	267,00	2,50	264,50	8,33		8,33	
	P.37	200,00	2,50	197,50	8,33		8,33	
	FC.6	524,00	3,00	521,00	9,99	530,00	539,99	
	Sr.01	284,00	4,00	280,00	13,32	150,00	163,32	
	Vo.14	426,00	6,00	400,00	250,00	1540,56	1790,56	
	P.37	115,00	2,50	112,50	8,33		8,33	
	B3.04	556,00	2,50	553,50	8,33	150,00	158,33	
	P.37	275,00	1,50	273,50	5,00		5,00	
	Co.F1	529,00	1,00	528,00	3,33		3,33	
	Th.18	920,00	1,00	919,00	3,33		3,33	
	Sr.02	391,00	30,00	361,00	1500,00	750,00	2250,00	
	P.38	38,00	2,50	35,50	8,33		8,33	
	A3.06	427,00	1,50	425,50	5,00		5,00	
	Sr.02	691,00	4,50	686,50	14,99	150,00	164,99	
	P.38	1233,00	1,00	1292,00	3,33		3,33	
	P.37	21,00	1,00	20,00	3,33		3,33	
		283,00	144,00	139,00	2970,00	16299,00	19269,00	
	V1.16	119	48,00	71,00	159,84	1540,56	1700,40	
	Sr,05	1252	4,00	1248,00	13,32	50,00	63,32	
	A2,03	11	2,00	9,00	6,66	566,00	572,66	
	Sr,02	1094	2,00	1092,00	6,66	150,00	156,66	
	Sr,05	57	4,00	53,00	13,32	50,00	63,32	
	B2,06	28	2,00	26,00	6,66		6,66	
	P.21	998	3,00	995,00	9,99	380,00	389,99	
	V0,11	797	2,00	795,00	6,66	566,00	572,66	
	B2,06	1333	2,00	1331,00	6,66		6,66	
								\$ 34.275,12

Tabla 7
Costos subsistema evaporador

Subsistema	Código de falla	Tbf	Ttr	Ut	Costo de la mano de obra	Costo materiales e insumos	Costo total
Evaporador	Co.E1	208,00	1,50	206,50	5,00	30,00	35,00
	P.05	373,00	8,00	265,00	26,64	530,00	556,64
	P.32	298,00	2,00	26,00	6,66	250,00	256,66
	P.97	297	4,00	293,00	13,32		13,32
	P.01	829	3,00	826,00	9,99	556,00	565,99
	P.08	506	24,00	482,00	79,92	755,00	834,92
	Pr.04	170	1,00	169,00	3,33		3,33
							\$ 2.265,86

En la figura 2 siguiente se detalla el resumen de los costos de las tareas de mantenimiento por subsistema de control, condensador y evaporador.

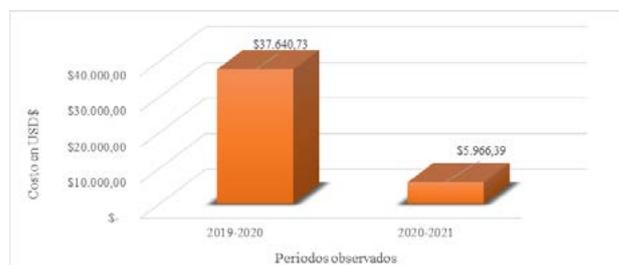
Figura 2
Resumen de costos anuales de mantenimiento



De conformidad con la figura, los costos más altos corresponden al subsistema condensador y los más bajos al subsistema de control, mientras el subsistema evaporador duplica en costos al de control.

En cuanto a los costos de mantenimiento en los dos periodos estudiados, la figura 3 siguiente muestra una comparación gráfica de estos en los dos periodos.

Figura 3
Comparación costos de mantenimiento periodos observados



En la figura 3 se puede observar una sustancial reducción de los costos de mantenimiento ya que anteriormente solo se limitaba a reparar al equipo en el momento que este fallaba, esta fue la reducción más significativa de los tres parámetros comparados disminuyendo en un 80% el valor de los costos de mantenimiento.

Es preciso entonces contrastar los resultados obtenidos con otros estudios inherentes al objeto de estudio, en tal razón, Campos et al., (2019) desarrollaron una metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad considerando la norma ISO 14224, el análisis de modos de fallos, la evaluación de los efectos de fallos considerando NPR o números de prioridad de riesgo, así como una base de datos, logrando implementar el plan de mantenimiento y la medición del desempeño. Con el análisis de modos y causas de falla presentado aseguraron un análisis estructurado que contempló las causas-raíz para aplicar de manera adecuada los diagramas de decisión de la norma; la evaluación de los efectos de falla con NPR les proporciona una visión rápida y clara de los efectos más importantes relacionados a las fallas del equipo, esto también se comprobó con el caso de aplicación, ya que se identificaron rápidamente los efectos de falla más importantes.

En el presente estudio, a partir del diagnóstico de la condición del chiller carrier RB110, se detectó la necesidad de implementar un método confiable de mantenibilidad como el sistema RCM, a partir del cual, la tasa de fallos tuviese una tendencia decreciente en el siguiente periodo de análisis, resultando en una

disminución significativa al compararse ambos periodos.

Raffo(2016)ensuinvestigacióndeterminó la conveniencia económica de implementación de un sistema basado en la confiabilidad RCM y de todas las tareas que involucra, al comparar el costo anual de aplicarlas con los costos de ineficiencia y de reparación estimados en caso de no realizarse ningún tipo de mantenimiento preventivo. El análisis efectuado determinó que todas las tareas propuestas eran económicamente convenientes, puesto que el costo de aplicarlas estimado fue inferior a los costos de ineficiencia y reparación esperados en caso de no realizarlas.

En cuanto a los costos de mantenimiento, es preciso enfatizar en la reducción progresiva que se ha tenido, sobre todo en el requerimiento de mano de obra e insumos de mantenimiento, así como también del consumo de energía eléctrica que fue disminuyendo, dada la funcionalidad actual del equipo.

Conclusiones

De acuerdo a la literatura revisada sobre la técnica de mantenimiento RCM y los sistemas de enfriamiento tipo chiller, se puede concluir que, el análisis RCM alude a la experiencia del profesional a cargo del mantenimiento de los equipos de climatización como el chiller, considerando que es una metodología sistemática y lógica, tiene numerosas formas de ser aplicada, sin embargo requiere tener en cuenta los efectos y causas de las fallas en el sistema, sus frecuencias y modos de presentarse, para poder garantizar la confiabilidad operacional buscada, sobre todo, cuando la productividad equivale además al confort laboral integral en la planta de producción.

Los costos de mantenimiento se reducen con la implementación del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM, su reducción consistió en un 84%, producto del cual también se disminuyeron considerablemente la tasa de fallos lo que representa una disminución en gastos adicionales de reparaciones, contratación de técnicos externos, logística para adquisición

de repuestos, teniendo como resultante un significativo ahorro de recursos económicos al hotel. La comparación de costos de mantenimiento en los dos periodos analizados demostró la conveniencia de implementación de la tecnología RCM en el equipo de climatización chiller carrier para el hotel Oro Verde Manta.

Es necesario que esta tecnología del RCM se pueda emplear como una herramienta de análisis del riesgo en el chiller carrier determinando los componentes necesarios para proporcionar el mantenimiento en el tiempo oportuno, además del uso como mecanismo de identificación de las tareas de mantenimiento establecidas para el equipo.

Referencias Bibliográficas

- Andrade, C., & y Herrera, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Revista Científica "INGENIAR": Ingeniería, Tecnología e Investigación.*, 4(8), 1-17. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/31/43>
- Andrés, C. (2017). Chillers, aspectos técnicos. *Cero Grados*, 1-8. <https://0grados.com/chillers-aspectos-tecnicos/>
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Díaz, A., Villar, L., Cabrera, J., Gil, A., Mata, R., & Rodríguez, A. (2016). Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. *Ingeniería Mecánica*, 19 (3), 137-142. <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225147535003.pdf>
- Herrera, M., & y Duany, Y. (2016). Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento. *Ingeniería Industrial*, 37(1), 2-13.
- Llamba, W. (2014). *Elaboración del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) de la central hidráulica Illuchi N° 2*. Latacunga:

- Escuela Superior Politécnica del Ejército, Sede Latacunga. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/8443/AC-ESPEL-EMI-0256.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendoza, C., & y Castro, C. (2015). *Cálculo y selección de un enfriador Chiller en la planta de hormigón GEO1*. Manta: Universidad Laica Eloy Alfaro. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1027/1/ULEAM-IMN-0001.pdf>
- Moubray, J. (2001). *RCM II: Reliability Centered Maintenance*. USA: Predictiva21. Obtenido de <https://predictiva21.com/libro-rcm-moubray/>
- Muñoz, R., & y Macías, T. (2019). Design and construction of a cold production simulator system: chiller. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 3(3), 31-40. https://www.researchgate.net/profile/Telly-Yarita-Macias-Zambrano/publication/337528526_Design_and_construction_of_a_cold_production_simulator_system_chiller/links/609c4c544585158bf0a3af59/Design-and-construction-of-a-cold-production-simulator-system-chil
- Nájera, K. (2021 de 2021). Cuidando el ambiente con chiller y refrigerantes con bajo GWP. *Revista digital HVACR*, 16-21. <https://www.mundohvacr.com.mx/2021/12/revista-digital-mundo-hvacr-diciembre-2021/>
- Nieto, A. (diciembre de 2021). *Mantenimiento en sistemas de climatización*. mundohvacr.com: <https://www.mundohvacr.com.mx/2012/01/mantenimiento-en-sistemas-de-climatizacion/>
- Ortega, A. (19 de septiembre de 2018). *mundohvacr*. Obtenido de Torres de enfriamiento: <https://www.mundohvacr.com.mx/2009/03/torres-de-enfriamiento/>
- Pacheco, G., Prieto, A., & Robles, L. (2021). *Diseño de un sistema de climatización para naves industriales*. Barranquilla: Universidad del Norte. <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/9573/Proyecto%20Final%20%28Pacheco%20-%20Prieto%20-%20Robles%29.docx.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, C. (2017). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. México: Soporte & Cía. Ltda. http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/RCM2%20EXPLICACION.pdf
- Prabhakar, D., & y Raj, J. (2014). CBM, TPM, RCM and A-RCM - A Qualitative Comparison of Maintenance Management Strategies. *International Journal of Management & Business Studies IJMBS*, 4 (3), 49-56. <http://www.ijmbs.com/Vol4.3/8-Deepak-Prabhakar-P.pdf>
- Raffo, J. (2016). *Propuesta de estrategia de mantenimiento para sistemas de aire acondicionado de alta criticidad mediante aplicación de metodología RCM en el marco de una política de confiabilidad operacional*. Santiago de Chile: Universidad Técnica Federico Santa María. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/22114/3560902048737UTFSM.pdf?sequence=1>
- Rodas, A. (2018). *Diseño de un sistema de aire acondicionado de bajo costo de operación de las oficinas administrativas del cuarto piso del edificio de ingeniería USAT Chiclayo*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1857/1/TL_RodasGomezFranco.pdf
- Singh, J., Rastogi, V., & Sharma, R. (2013). Total Productive Maintenance Review: A Case Study in Automobile Manufacturing Industry. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(5), 2011-2016.
- Valenzuela, R. (2010). *Apuntes de refrigeración*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Yavuz, O., Doğan, E., Carus, E., & Görgülü, A. (2019). Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry. *Procedia Computer Science*, 158, 227-234.